Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

> Retouradres Postbus 20401 2500 EK Den Haag

De Voorzitter van de Eerste Kamer
der Staten-Generaal
Kazernestraat 52
2514 CV DEN HAAG

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Bezoekadres
Bezuidenhoutseweg 73
2594 AC Den Haag

Postadres
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Overheidsidentificatienr
00000003952069570000

T 070 379 8911 (algemeen)
F 070 378 6100 (algemeen)
www.rijksoverheid.nl/ezk

Datum 2 april 2026
Betreft Voortgang aanpak netcongestie

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Bijlage(n)
8

Geachte Voorzitter,

De aanpak van netcongestie, het volle stroomnet, is een urgente uitdaging voor het nieuwe kabinet. Voldoende toegang tot transportcapaciteit voor elektriciteit is een essentiële randvoorwaarde voor grote maatschappelijke ambities op het gebied van woningbouw, economische groei, verduurzaming, en strategische autonomie. Het Coalitieakkoord 'Aan de slag' kent de aanpak van netcongestie dan ook de hoogste prioriteit toe. Het kabinet zet zich hier met ambitie en daadkracht voor in, samen met netbeheerders, medeoverheden en marktpartijen, en uiteraard in goed overleg met de Kamer.

De gevolgen van netcongestie worden breed gevoeld in de samenleving en de economie. Bedrijven en maatschappelijke instellingen voor onder meer zorg en onderwijs lopen aan tegen oplopende wachtrijen voor een nieuwe of zwaardere aansluiting. Het investeringsklimaat voor bedrijven staat hierdoor onder druk. Netcongestie is verder een knelpunt voor de bouw van voldoende nieuwe woningen. Kortom, de voortgang van de verduurzaming van onze economie, gebouwde omgeving en mobiliteit, en daarmee de energie-autonomie van ons land, dreigen te worden afgeremd door netcongestie. Die trend moet en kan worden gekeerd. De situatie op het stroomnet is echter fundamenteel veranderd ten opzichte van het verleden; we keren niet terug naar de oude toestand waarin transportcapaciteit voor elektriciteit altijd en overal praktisch oneindig beschikbaar was. Het kabinet werkt met alle betrokken partijen de komende jaren toe naar een situatie waarin netcongestie desondanks onder controle is, wachtrijen fors zijn teruggedrongen en de ingezette weg naar verduurzaming en versterking van onze energie-onafhankelijkheid via elektrificatie tempo behoudt. Dit vereist én een voortvarende uitbreiding van de netinfrastructuur én een structureel betere benutting van het net door flexibel gebruik van elektriciteit als 'het nieuwe normaal', ondersteund door slimme technologie, duidelijke afspraken en scherp inzicht in de belasting van het net. Daarnaast is in sommige gebieden meer nodig en schuwen we de taboes niet. Dit geldt in ieder geval voor de regio Flevopolder-Gelderland-Utrecht (FGU) waar het kabinet een gezamenlijke crisisaanpak met medeoverheden en netbeheerders is gestart. Hier halen we alles uit de kast om

een volledige aansluitstop in deze regio te voorkomen[1]. Lessen die daar worden geleerd zullen ook worden ingezet in andere delen van het land.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Zowel bij het sneller bouwen van nieuwe infrastructuur als bij het beter benutten van de beschikbare capaciteit is nog veel ruimte om stappen te zetten om het netcongestieprobleem structureel te verlichten. Binnen de bestaande wettelijke kaders is veel mogelijk en waar nodig past het kabinet wet- en regelgeving aan, zoals afgesproken in het Coalitieakkoord. In samenwerking met uw Kamer werk ik graag aan een snelle behandeling van deze voorstellen, gezien de urgentie van de netcongestieproblematiek. Het voorstel van de Europese Commissie voor een Grids Package biedt daarbij voor elektriciteitsprojecten uitzicht op een einde aan het stikstofslot.

Voor het realiseren van flexibel en efficiënt netgebruik zorgen we met de netbeheerders en het bedrijfsleven dat nieuwe flexibele contractvormen echt een aantrekkelijke en praktisch uitvoerbare optie worden voor bedrijven en instellingen, ook als sneller beschikbaar alternatief voor een 'ouderwets' vast transportrecht-contract waarvoor de wachttijd tot jaren kan oplopen. Met 50 grote elektriciteitsverbruikers gaan we direct aan de slag om hun potentieel voor flexibiliteit te benutten. Verder zal – over enkele jaren – de invoering van tijdsafhankelijke tarieven bij de regionale netbeheerders, zowel voor groot- als kleinverbruikers, bijdragen aan betere spreiding van het elektriciteitsgebruik. Ook schuwen we niet om aan de slag te gaan met het zwaarder belasten van het net en te kijken waar we ten aanzien van risicobereidheid scherper aan de wind kunnen varen. Om dit alles te realiseren zijn forse stappen nodig in verbetering en verfijning van het inzicht in de capaciteit, belasting en inrichting van het net, ook om op basis van scherpere prognoses binnen verantwoorde marges meer risico te nemen en zo extra transportcapaciteit beschikbaar te maken. Gezien het grote maatschappelijk belang dat hiermee is gediend neemt het kabinet hierin de regie.

Dit kabinet begint niet bij nul, maar zal voortbouwen op wat de afgelopen jaren in gang is gezet, in het bijzonder:

- het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) waarin het Rijk, medeoverheden, netbeheerders en marktpartijen samen werken aan het realiseren van toegang tot elektriciteit om maatschappelijke doelen bereikbaar te houden;
- de Versnellingsaanpak realisatie elektriciteitsinfrastructuur[2];
- en het Aansluitoffensief netcongestie[3].

Deze trajecten zijn uiteraard nauw met elkaar verweven. Het kabinet informeert de Eerste en Tweede Kamer twee keer per jaar over de integrale voortgang van de aanpak van netcongestie. Deze brief en bijlagen vormen de editie van het voorjaar 2026. Als bijlage bij deze brief vindt u de voortgangsrapportage van het LAN. Deze rapportage bevat een weergave van de voortgang van de acties binnen het programma, en cijfermatige informatie van de netbeheerders over zowel de fysieke uitbreiding van het elektriciteitsnet, als over de realisatie van aansluitingen, betere benutting van het net en ontwikkeling van de wachtrijen. Verder is een overzicht bijgevoegd van hoe het kabinet uitvoering heeft gegeven aan een aantal aan netcongestie gerelateerde moties en toezeggingen. Tot slot gaan bij deze brief enkele voor de aanpak van netcongestie relevante rapporten.

[1] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 638
[2] Kamerstukken II, 2024-25, 29023, nr. 566
[3] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 626

De cijfers in de voortgangsrapportage geven de stand weer aan het einde van het jaar 2025. De doorbraken uit het Aansluitoffensief hebben hier dus nog geen effect op gehad. Ik beschouw deze rapportage mede als 'nulmeting' van de situatie om de verwachte positieve impact van het beleid van dit kabinet, waaronder de uitvoering van het Aansluitoffensief, in de komende maanden en jaren tegen af te zetten.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

In de rest van deze brief geef ik langs de actielijnen van het LAN – Beter Benutten, Sneller Bouwen en Slimmer Inzicht – een overzicht van de gezette stappen en vooruitzichten.

Voortgang beleid aanpak netcongestie

Beter Benutten - Grootverbruik

Netcongestie remt de verduurzamings- en groeiambities van bedrijven en instellingen met een grootverbruikersaansluiting. Uit bijgevoegde rapportage blijkt dat de wachtrij voor grootverbruikers op 31 december jl. ruim 15.000 aanvragen van afnemers omvat, een stijging van ca. 1.000 in een half jaar. Dit betreft bedrijven en maatschappelijke instellingen met een grootverbruikersaansluiting bij de regionale netbeheerders. Ook de wachtrij voor invoeding is toegenomen. De wachtrij bij TenneT, met daarop onder andere energie-intensieve industrie en grootschalige batterijen, is juist afgenomen tot 211 aanvragers voor het landelijk hoogspanningsnet. Ook de invoedingswachtrij is daar afgenomen. Deze afname is onder andere het gevolg van het opschonen van de wachtrij waarover de Kamer in oktober jl. al is geïnformeerd.[4] Het beter benutten van het net is essentieel om op korte termijn partijen op de wachtrij van transportcapaciteit te kunnen voorzien. Daarom is dit ook de rode draad in het Aansluitoffensief. Dat er potentieel is om op structurele basis afnameflexibiliteit te ontsluiten bij specifieke sectoren en daarmee de wachtlijsten te kunnen verkorten blijkt uit recent onderzoek in opdracht van Topsector Energie.[5] De afgelopen tijd zijn er al verschillende stappen gezet rondom nieuwe flexibele contractvormen, het ondersteunen van bedrijven en instellingen en het zwaarder belasten van het net.

Flexibel netgebruik

Flexibel gebruik van het net zorgt ervoor dat de bestaande netcapaciteit beter wordt benut. Dit is mogelijk gemaakt door nieuwe vormen van aansluit- en transportovereenkomsten en congestiemanagementcontracten. De eerste stappen om tot grootschalige toepassing te komen zijn inmiddels gezet: de bijgevoegde voortgangsrapportage laat een duidelijke toename zien in het aantal afgesloten contracten ten opzichte van 2024. Zo is het aantal afgesloten Blokstroomcontracten verdrievoudigd (142 nu tegen 41 in 2024) en is er inmiddels bijna honderd keer meer vermogen gecontracteerd met een capaciteitsbeperkingscontract voor afname dan een jaar eerder. Ook bij andere nieuwe contractvormen zien we een positieve trend. Zo heeft Enexis in Nederweert een van de eerste groepstransportovereenkomsten (GTO) afgesloten. Hierdoor kan een bedrijventerrein vraag en aanbod van energie op elkaar afstemmen en wordt de beschikbare ruimte op het stroomnet efficiënter benut zodat er ruimte ontstaat voor verdere groei en verduurzaming van het bedrijvenpark. Toch zijn we er nog niet en moet de uitrol van flexibele contracten sneller. De netbeheerders hebben inmiddels verbeterplannen ingediend bij de toezichthouder Autoriteit Consument en Markt (ACM) waarin ze aangeven wanneer

[4] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 597
[5] https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/nederland-kan-netcongestie-sneller-verlichten-met-slimme-afnameflex/

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

ze de implementatie van congestiemaatregelen gereed hebben, hoe ze tot beter netinzicht komen en hoe de afstemming tussen de verschillende netbeheerders verbeterd wordt. Daarnaast zijn de netbeheerders, het ministerie van KGG, de ACM en de markt aan de slag met de doorbraken uit het Aansluitoffensief. Doorbraken rond het vooruitstrevender flexibiliteit inkopen boven de zogenoemde financiële grens en het verbeteren van de voorwaarden van de contracten leiden naar verwachting tot het ontsluiten van meer flexibiliteit. Netbeheerders maken dit jaar een extra stap met het flexibel aansluiten van partijen op de wachtrij en het contracteren van flexibiliteit bij bestaande klanten. Zo zullen netbeheerders, waar mogelijk, vaker een flexibel aanbod doen aan partijen op de wachtrij.

Flexibel gebruik van het elektriciteitsnet en het leveren van flexibiliteit aan de netbeheerder biedt ook kansen voor bedrijven, maar het vergt ook inzet van hun kant om deze te verzilveren. Ondernemers focussen zich logischerwijze op hun primaire bedrijfsprocessen en minder op hun energiehuishouding en mogelijke flexibiliteitsopties. Netbeheerders, het bedrijfsleven en de overheid zullen het komende halfjaar met 50 grote elektriciteitsverbruikers met kansrijk potentieel voor flexibiliteit gesprekken voeren. Het streven is om tot flexafspraken te komen tussen deze individuele bedrijven en netbeheerders, om zo het potentieel te benutten en andere partijen van de wachtrij van transportcapaciteit te kunnen voorzien. Deze top 50 aanpak is een van de doorbraken uit het aansluitoffensief. Bedrijven en instellingen worden ondersteund, zowel bij het flexibiliseren van hun bedrijfsprocessen als bij het mitigeren van de gevolgen van netcongestie. Begin mei wordt de Flex-e regeling opnieuw opengesteld met een verruimde doelgroep. Met deze regeling worden flexibiliteitsmaatregelen gestimuleerd zodat bedrijven en instellingen toch kunnen groeien en verduurzamen binnen hun gecontracteerde vermogen. Ook worden maatregelen gesubsidieerd die ervoor kunnen zorgen dat een bedrijf flexibiliteit kan leveren aan het systeem, waardoor andere partijen op de wachtrij alsnog kunnen worden aangesloten. Het kabinet verkent de mogelijkheden om de Flex-e regeling ook na 2026 te continueren en verbreden, zodat ook grotere industriële bedrijven hier gebruik van kunnen maken.

Tijdsafhankelijke nettarieven grootverbruikers
Een andere belangrijke maatregel voor flexibel netgebruik is de introductie van tijdsafhankelijke nettarieven. Deze zijn sinds 1 januari 2025 ingevoerd voor TenneT-klanten op het hoogspanningsnet. Uit een analyse van TenneT over de eerste helft van 2025 blijkt dat de gemiddelde maandelijkse piekbelasting van verbruikers op piekmomenten met 7,1% is afgenomen. Het verbruik is deels verplaatst van uren met hoge systeembelasting naar momenten met lagere systeembelasting.

Nu wordt gewerkt om dergelijke tijdsafhankelijke tarieven ook mogelijk te maken voor partijen met een grootverbruikersaansluiting bij regionale netbeheerders (ruim 70.000 netgebruikers). Het codewijzigingsvoorstel is onlangs door de netbeheerders ingediend bij de ACM. De verwachting is dat deze tijdsafhankelijke tarieven in 2028 in werking treden. Hiermee wordt een stimulans gecreëerd om drukke momenten op het elektriciteitsnet te vermijden en waar mogelijk het verbruik te verplaatsen naar rustige momenten. Netbeheerders verwachten dat met de invoering van deze tijdsafhankelijke tarieven tot 5,2% vraagverschuiving uit de piek mogelijk is[6]. Dit zorgt voor een betere benutting van het elektriciteitsnet van de regionale netbeheerders, wat bijdraagt aan het verkleinen van het tekort aan transportcapaciteit, en daarmee op termijn minder

[6] https://www.netbeheernederland.nl/sites/default/files/2025-05/ce_delft_240472_achtergrondrapport_tijdsafhankelijke_nettarieven_grootverbruikers_def_002.pdf

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

noodzaak tot uitbreiding van de infrastructuur. Tijdsafhankelijke tarieven zullen zo bijdragen aan het dempen van de verwachte toekomstige stijging van de nettarieven[7]. Hiervan zullen alle afnemers profiteren, omdat maatschappelijke kosten worden vermeden en nettarieven voor alle gebruikers van het elektriciteitsnet minder zullen stijgen.

De gevolgen voor afnemers zijn afhankelijk van de sector en de mate waarin een bedrijf anticipeert op de nieuwe tarieven en de kansen die dit biedt. Afnemers die acteren op tijdsafhankelijke nettarieven zullen voordeliger uit zijn, zeker als zij dit kunnen combineren met dynamische tarieven van hun elektriciteitsleverancier. Bedrijven en instellingen krijgen zo meer grip op hun energierekening en kunnen sturen op kostenverlaging. De verwachting is dat bijvoorbeeld de sector logistiek, met veel elektrisch vervoer, kan profiteren van deze tijdsafhankelijke tarieven.

Flextenders
Wanneer duidelijk is dat de reguliere fases van congestiemanagement (vrijwillig en verplicht) bij bestaande aansluitingen niet voldoende flexibiliteit opleveren om afnamecongestie te verhelpen, kan de netbeheerder als uiterste maatregel een flextender uitschrijven. Met deze tenders wordt flexibiliteit aan de markt gevraagd. Netbeheer Nederland en Energie-Nederland zijn een kader overeengekomen waarmee de voorwaarden en inrichting van flextenders is vastgelegd. Het kader geeft duidelijkheid aan alle partijen over welke informatie de netbeheerder verstrekt en wat de voorwaarden van de tender zijn. De flextenders zijn technologieneutraal, het kan bijvoorbeeld gaan om het plaatsen van batterijen of in het uiterste geval het inzetten van gasinstallaties. In de praktijk kan de inzet van een flextender dus leiden tot beperkte extra opwek met fossiele brandstof op piekmomenten om zo overbelasting en uitval te voorkomen en mogelijk klanten van de wachtrij aan te sluiten. Dit willen we zo veel mogelijk voorkomen, maar is ook niet geheel uit te sluiten. Gezien de urgentie van de situatie op het stroomnet en de ruimte die genoemde flextenders opleveren, kan het nadeel van eventuele (beperkte) tijdelijke CO2-uitstoot door het tijdelijk inzetten van gasinstallaties opwegen tegen mogelijk maken van vertraging van verdere verduurzaming, economische ontwikkeling en woningbouw. Ook voor deze situaties is CO2-vrije stroom het structurele antwoord.

Wachtrijen
De ACM heeft eind vorig jaar een nieuw prioriteringskader vastgesteld waarmee partijen met een groot maatschappelijk belang voorrang krijgen in de wachtrij zodra capaciteit beschikbaar komt. Verder is, in samenwerking met Topsector Energie, een internationale vergelijking naar de wachtrijsystematiek in andere landen uitgevoerd. Uit het onderzoek[8] komen verschillende aanbevelingen om meer inzicht te bieden in het wachtrijproces en in het perspectief van wachtenden. Netbeheerders hebben, mede naar aanleiding van dit onderzoek, het wachtrijproces verduidelijkt en relevante informatie voor bedrijven en instellingen rondom de wachtrij online gepubliceerd.[9] Bovendien moet het dit jaar voor klanten van de regionale netbeheerders in hun klantenportaal inzichtelijk worden wanneer zij naar verwachting transportcapaciteit krijgen. Daarnaast wordt de capaciteitskaart ook de komende tijd verder doorontwikkeld, zodat ook hier informatie over netuitbreiding en flexbehoefte per gebied te vinden is voor partijen.

---

[7] het IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur hanteert als prognose een stijging van 4,8% tot 6,7% per jaar, afhankelijk van de netgebruikersgroep (Kamerstukken II, 2024-25, 29023, nr. 553)
[8] https://topsectorenergie.nl/nl/nieuws/internationale-vergelijking-geeft-nieuwe-handvatten-voor-aanpak-wachtrijen-netaansluiting/
[9] https://www.partnersinenergie.nl/wachtlijst-voor-transportcapaciteit

Het rapport adviseert ook om de mate van projectgereedheid mee te laten wegen bij het verkrijgen en behouden van een plek in de wachtrij. Een dergelijke volwassenheidstoets voorkomt dat er niet-realistische aanvragen op de wachtrij komen. Met de netbeheerders en de ACM wordt gesproken over de eventuele toegevoegde waarde, uitvoerbaarheid en wenselijkheid van een dergelijke systematiek.

Zwaarder belasten elektriciteitsnet
Door het net zwaarder te belasten kan er meer elektriciteit door dezelfde infrastructuur getransporteerd worden. Dit is echter niet overal mogelijk en kan leiden tot meer risico's op overbelasting. De ACM en EZK hebben daarom het onderzoeksbureau DNV gevraagd om te na te gaan wat de huidige belasting is van het net, in welke mate netbeheerders nu al het net zwaarder belasten, welke mogelijkheden de netbeheerders hebben om het net binnen de huidige regelgeving nog verder verantwoord te belasten en welke beleidswijzigingen nodig zijn om dit nog verder mogelijk te maken. De focus ligt hierbij op het hoogspanningsnet, omdat volgens DNV de potentie op het midden- en laagspanningsnet beperkt is door de congestie op het (bovenliggende) hoogspanningsnet. Het rapport is als bijlage bij deze brief gevoegd.[10]

Volgens DNV is gemiddeld 60% van het hoogspanningsnet van TenneT beschikbaar voor netgebruikers. De overige 40% is de zogenoemde storingsreserve, dat volgens de wet beschikbaar moet zijn om stroom om te leiden tijdens storingen en onderhoud. Dit zodat een enkele storing niet direct leidt tot langdurige uitval. Op piekmomenten, zoals een koude winteravond, wordt nu ongeveer 53% gebruikt. Dit zit dus al dicht tegen de beschikbare 60% aan. Wel is er buiten de piek nog wel ruimte omdat de belasting dan gemiddeld 30% is. Over alle netvlakken gezien ligt de huidige gemiddelde belasting tussen de 45 tot 65% van de aanwezige transportcapaciteit (dus exclusief de storingsreserve die op verschillende netvlakken wordt aangehouden). De (piek)belasting blijft de komende jaren naar verwachting toenemen door groei van bestaande gebruikers en reeds toegezegde maar nog niet gerealiseerde projecten. DNV concludeert dat daardoor de laatste jaren voor de realisatie van netuitbreidingen op piekmomenten zelfs een deel van de storingsreserve op hoog- en middenspanning in sommige gebieden gebruikt zal moeten worden. DNV verwacht dat dit ten koste gaat van de ruimte bedoeld voor onderhoud en storingen, waardoor er vaker overbelasting en uitval kan optreden. Op sommige netcomponenten op het midden- en laagspanningsnet vinden er nu al overschrijding van de capaciteit plaats. DNV ziet ook dit toenemen en dit leidt eveneens tot meer risico op overbelasting.

Met markt-gebaseerde oplossingen, zoals de nieuwe flexibele contractvormen en tijdsafhankelijke tarieven, wordt de nog beschikbare ruimte beter benut. Partijen worden hiermee immers bewogen om hun elektriciteitsvraag te verschuiven van piek naar dalmomenten, pieken te verlagen, of krijgen alleen tijdens specifieke tijdsblokken nog beschikbare transportcapaciteit. Met het zwaarder belasten van netcomponenten wordt juist de fysieke capaciteit (transportcapaciteit en storingsreserve) verhoogd. Door het net zwaarder te belasten kan er meer elektriciteit door dezelfde kabel worden getransporteerd. Er is dan dus meer belasting mogelijk op de bestaande infrastructuur en dit kan ruimte geven voor partijen op de wachtrij en (toekomstige) overbelasting opvangen. DNV stelt dat

[10] Met deze toelichting en toezending van het rapport van DNV is tevens uitvoering gegeven aan de motie-Postma (Kamerstukken II, 2024-25, 29023, nr. 584) die verzoekt de Kamer te informeren over inzet van de "reservestrook".

het zwaarder belasten van het hoogspanningsnet van de landelijke netbeheerder in theorie circa 30% extra ruimte kan opleveren voor netgebruikers. In de netten van de regionale netbeheerders is dit eveneens maximaal 30%. Vanwege technische beperkingen en lokale omstandigheden is dit theoretische potentieel niet volledig te realiseren. Het geeft echter wel aan dat het zwaarder belasten ruimte biedt voor het inpassen van extra klanten van de wachtrij, maar ook soms nodig zal zijn om de verwachte overschrijding op te vangen. Voor het laagspanningsnet ziet DNV nauwelijks tot geen potentieel in maatregelen om deze netcomponenten zwaarder te belasten. Het zwaarder belasten gebeurt hier al omdat de vraag toeneemt, bijvoorbeeld als gevolg van autonome groei. Beschikbaarheid van capaciteit op hogere netvlakken is vaak een belemmering voor het aansluiten van partijen op lagere netvlakken. Met het zwaarder belasten van de hogere netvlakken kan er dus ook meer ruimte op lagere netvlakken beschikbaar komen.

Netbeheerders ondernemen al stappen rondom het zwaarder belasten van het hoog- en middenspanningsnet. Zo staan bijna alle netbeheerders voor bepaalde netcomponenten een hogere belasting toe dan de stroomlimiet van de fabrikant, doordat de netbeheerders rekening houden met de werkelijke omgeving in plaats van de testomstandigheden in de fabriek. Ook stellen alle netbeheerders de stroomlimieten vaak bij aan de hand van voorspelbare gebruikspatronen en temperaturen zoals dag en nacht, en zomer en winter. Wanneer het kouder is of harder waait kunnen sommige componenten sneller afkoelen, waardoor oververhitting door zwaarder belasten voorkomen wordt. Daarnaast lopen er meerdere pilots en onderzoeken door de netbeheerders om het potentieel van zwaarder belasten nog verder te benutten. Een deel van het genoemde potentieel wordt dus al gerealiseerd. DNV stelt dat er nog 15 tot 20% onbenut potentieel ligt op midden- en hoogspanningsnetten. Waarbij het realiseerbaar potentieel op het regionale netten momenteel sterk belemmerd wordt (tot maximaal 3%) door congestie op bovenliggende netvlakken. Naast lokale omstandigheden wordt het realiseren van het potentieel deels belemmerd door technische en organisatorische beperkingen bij de netbeheerders. DNV ziet mogelijkheden om het te realiseren van het potentieel te versnellen door het prioriteren van zwaarder belasten en een hogere risicobereidheid waarbij netdelen zwaarder worden belast omdat de samenleving een hoger risico op grootschalige en langdurige storingen accepteert. Hier wordt samen met de betrokken partijen naar gekeken binnen het Aansluitoffensief. DNV adviseert de netbeheerders bovendien om meer transparantie te bieden over de (on)mogelijkheden rondom zwaarder belasten.

De belangrijkste belemmering voor het realiseren van het potentieel is volgens DNV echter de huidige werkwijze rondom de elektromagnetische invloed op omliggende infrastructuur. Door het zwaarder belasten gaat er meer stroom door een kabel, waardoor het magnetische veld (niet voor de gezondheid schadelijk) groter wordt. Dit grotere magnetische veld kan invloed hebben op apparaten in de omgeving, bijvoorbeeld de spoorsystemen van ProRail of buisleidingen onder de grond. De mate van deze beïnvloeding wordt de elektromagnetische compatibiliteit (EMC) genoemd. Het is een gezamenlijke opgave van de netbeheerder en de omgeving om deze interferentie te mitigeren. TenneT heeft onlangs de limieten van 113 netschakels verhoogd wat tientallen MW heeft opgeleverd, maar loopt bij deze en circa 500 soortgelijke casussen tegen mogelijke grenswaarden op het gebied van EMC aan. Het onderzoeken van het mogelijke effect en eventuele mitigerende maatregelen kan op dit moment jaren in beslag nemen. TenneT en ProRail werken daarom, met nauwe betrokkenheid van EZK, een versnelde en pragmatischer methodiek uit. TenneT start dit traject

ook met andere stakeholders. Daarnaast kijken TenneT, de ACM en EZK samen of TenneT preventieve investeringen kan doen voor het mitigeren van EMC.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Naast dit potentieel, ziet DNV extra potentieel in het inzetten van de storingsreserve voor het aansluiten van nieuwe klanten. Een initiële inschatting van het realistische potentieel bedraagt 10%. Het inzetten van dit potentieel is gebiedsafhankelijk en afhankelijk van het lokale netontwerp, waardoor de reservecapaciteit in de praktijk maar op een beperkt aantal plekken veilig kan worden benut. TenneT is namelijk wettelijk verplicht om deze reservecapaciteit in het hoogspanningsnet te hebben zodat iedereen nog steeds veilig stroom heeft, zelfs wanneer het net wordt onderhouden én er op dat moment een storing optreedt. De reden hiervoor is dat uitval op het hoogspanningsnet een hele stad of zelfs een provincie kan raken. Ook op het middenspanningsnet houden de netbeheerders vaak een klein deel van de transportcapaciteit hiervoor over. Op plekken waar de storingsreserve meer kan worden ingezet zonder wijzigingen in de regelgeving, zouden volgens DNV de netbeheerders specifieke contracten af kunnen sluiten met bedrijven die bereid zijn om (tegen een vergoeding of korting) teruggeregeld of afgeschakeld te worden in het geval van een storing en/of tijdens onderhoud. Een andere mogelijkheid is het aanpassen van de eisen aan de storingsreserve in de regelgeving. Dit leidt echter mogelijk tot grotere risico's voor de leveringszekerheid en storingen. Bovendien is de storingsreserve ook nodig voor cruciale realisatie van netuitbreidingen. De netbeheerders, de ACM en EZK werken de opties en de daarbij benodigde wijzigingen in beleid en regelgeving gezamenlijk verder uit, rekening houdend met de maatschappelijke baten en risico's.

Kortom, het potentieel van zwaarder belasten wordt al deels door de netbeheerders benut. Echter er is nog niet gerealiseerd potentieel. Rekening houdend met lokale omstandigheden biedt dit kansen om meer partijen aan te kunnen sluiten. Dit vergt zowel van de netbeheerders, de ACM als het kabinet inzet. Het kabinet gaat in gesprek met netbeheerders om belemmeringen voor zwaarder belasten weg te nemen en het potentieel optimaal kunnen inzetten.

Subsidie-instrumentarium
In opdracht van het LAN heeft RVO onderzoek gedaan naar de impact van het subsidie-instrumentarium van RVO op netcongestie en de mogelijkheden om hier mitigerende maatregelen voor te treffen. Het onderzoeksrapport gaat als bijlage bij deze brief.[11] Veel van de onderzochte regelingen van RVO zijn opgezet om beleidsdoelstellingen op het gebied van energie en klimaat te behalen, maar kunnen ook leiden tot een hogere belasting van het elektriciteitsnet. Het onderzoek laat zien dat er in veel subsidieregelingen al rekening is gehouden met netcongestie, bijvoorbeeld in de regelingen rondom elektrisch wegvervoer. Ook geeft het onderzoek aan dat bij verschillende regelingen netcongestie vooral als knelpunt wordt ervaren. In het rapport worden aanbevelingen gedaan rondom het mitigeren van de impact van de elektrificatie als gevolg van de verschillende subsidieregelingen. Hierbij zijn er in verschillende regelingen kansen voor het toepassen van eisen rondom slimme aansturing van apparaten of het verplichten van congestiemanagementcontracten om hiermee piekbelasting te voorkomen. Omdat deze contractvormen nog niet grootschalig uitgerold zijn, zal dit op een later moment, kunnen worden overwogen. Bij de Flex-e regeling is wel een dergelijke koppeling gemaakt en de toepassing daarvan wordt gemonitord. De overige aanbevelingen, onder andere rondom het toevoegen van extra

[11] Met toezending van dit rapport en deze toelichting is uitvoering gegeven aan de toezegging aan het Tweede-Kamerlid De Vos, nr. TZ202512-006

(technische) voorwaarden bij het subsidiëren van batterijen, worden de komende tijd verder verkend en waar mogelijk geoperationaliseerd. Het onderzoek heeft ook geleid tot een overzicht van subsidies die ondernemers kunnen helpen wanneer zij te maken hebben met netcongestie. Dit overzicht wordt op het Loket Netcongestie geplaatst.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Beter Benutten - Kleinverbruikers
Het beter benutten van de laagspanningsnetten, waarop huishoudens, (kleine) bedrijven en maatschappelijke instellingen zoals scholen op zijn aangesloten, kan – met name in stedelijke gebieden – substantieel bijdragen aan het ontlasten van het net, ook op hogere netvlakken. Dit kan bovendien de investeringsopgave in het net te verminderen.

Flexibel netgebruik kleinverbruikers
Het is een prioriteit van het kabinet om flexibiliteit bij kleinverbruikers grootschalig te ontsluiten en als volwaardig netinstrument te benutten om overbelasting tegen te gaan, netverzwaringen te beperken en ruimte te creëren voor nieuwe woningen, en huishoudens en bedrijven die willen verduurzamen. Overbelasting van het laagspanningsnet kan het beste worden voorkomen door efficiënt netgebruik te stimuleren en verbruik op rustige momenten te belonen. Dit wordt bevestigd door het TNO onderzoek 'Technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers' Het rapport is bijgevoegd bij deze brief. TNO concludeert dat het op dit moment niet mogelijk is om kleinverbruikers op een passende manier te verplichten hun stroomverbruik op piekmomenten te verminderen en adviseert in te zetten op marktgebaseerde, lokale flexibiliteit, op basis van vrijwilligheid. Dit is in lijn met het kabinetsbeleid en aangenomen moties van de Tweede Kamer[12]. Daarbij is een belangrijke rol weggelegd voor marktpartijen die consumenten ontzorgen en helpen te profiteren van prijsprikkels, bijvoorbeeld via slimme apps en energiemanagementdiensten die net-intensieve apparaten in huis, zoals de thuisbatterij, laadpaal of warmtepomp, automatisch optimaal inzetten. Netbeheerders ontwikkelen samen met energieleveranciers en andere marktpartijen zowel landelijk als regionaal steeds meer van dit soort flexibiliteitsdiensten voor kleinverbruikers. Het kabinet werkt samen met de ACM en netbeheerders om belemmeringen in wet- en regelgeving voor brede toepassing weg te nemen. Zo bouwen we aan een toekomstbestendig systeem waarin kleinverbruikers efficiënt gebruikmaken van het laagspanningsnet, met behoud van inzicht, regie en comfort.

Tijdsafhankelijke nettarieven kleinverbruikers
Op 6 oktober 2025 is de Kamer geïnformeerd over een nieuw tariefstelsel met tijdsafhankelijke nettarieven voor kleinverbruikers[13]. Dit nieuwe tariefstelsel gaat uit van betalen naar gebruik, waarmee piekbelasting op het elektriciteitsnet wordt voorkomen en netcongestie wordt verminderd, waardoor uiteindelijk minder netuitbreiding nodig is wat bijdraagt aan demping van de stijging van de nettarieven. Het kabinet acht het van belang bij de uitwerking van het nieuwe tariefstelsel dat huishoudens en MKB-ers met een kleine aansluiting grip houden op hun energierekening, dat het gekozen model zo begrijpelijk mogelijk is voor gebruikers. Daarom is in samenwerking met netbeheerders en energieleveranciers gekozen voor een tariefstelsel met vier verschillende prijsniveaus in vijf tijdsblokken, verschillend voor het zomer- en winterseizoen. Momenteel werken de netbeheerders aan een codewijzigingsvoorstel waarin een nieuw tariefstelsel met tijdsafhankelijke nettarieven voor kleine aansluitingen wordt vormgegeven. Dit

[12] Kamerstukken II, 2023-24, 29023, nrs. 473 en 475
[13] Kamerstukken II, 2024-25, 29023 nr. 597

codewijzigingsvoorstel zal naar verwachting eind april naar de ACM worden verzonden. Parallel wordt de Energieregeling aangepast en worden de Meetregeling en Regeling gegevensuitwisseling zodanig vormgegeven dat implementatie van tijdsafhankelijke nettarieven mogelijk is. Tegelijkertijd wordt gewerkt aan de benodigde ict-wijzigingen om de tijdsafhankelijke nettarieven te kunnen invoeren. Deze stappen worden in intensieve samenwerking gezet door de netbeheerders, EZK, ACM en de energieleveranciers om tijdige implementatie te realiseren. De voorbereidingen voor het nieuwe tariefstelsel worden eind 2028 afgerond, met het oog op invoering per 1 januari 2029.[14]

Prioriteringskader - kleinverbruikers
Netbeheerders, het Rijk, IPO, VNG en ACM werken aan een zorgvuldige overgang naar een nieuwe werkwijze voor het aanvragen van transportcapaciteit. Dit is nodig omdat netbeheerders stoppen met de huidige werkwijze waarbij ze in congestiegebieden capaciteit vrijhouden voor alle kleinverbruikers. Het reserveren van capaciteit voor alle kleinverbruikers is niet houdbaar en kan leiden tot de situatie dat grootverbruikers, waaronder prioritaire partijen zoals ziekenhuizen of defensie, op de wachtrij komen terwijl kleinverbruikers, ook zonder prioriteit, wel worden aangesloten. Dit is niet in lijn met een maatschappelijk wenselijke verdeling van schaarse transportcapaciteit volgens het prioriteringskader van de ACM. Met de nieuwe werkwijze kan alleen voorrang worden verkregen op basis van de maatschappelijk prioritaire categorieën zoals gedefinieerd in het prioriteringskader van de ACM. Bij netcongestie worden zowel groot- als kleinverbruikers op een wachtrij geplaatst. Een belangrijk onderdeel van de nieuwe werkwijze is dat gemeenten voor woningbouwprojecten en onderwijsinstellingen[15] in een vroeger stadium van het bouwproject dan voorheen vermogen en prioriteit toegewezen kunnen krijgen. Hierdoor krijgen deze projecten eerder in het planproces duidelijkheid over de beschikbare transportcapaciteit.

Voor een zorgvuldige overgang naar de nieuwe werkwijze is het cruciaal dat de bestaande reserveringen voor kleinverbruik stapsgewijs worden afgebouwd, zodat partijen die voorheen niet op de wachtrij kwamen voldoende tijd en gelegenheid krijgen om transportvermogen en eventueel prioriteit aan te vragen. Hiermee kunnen zij aanspraak doen op de nog resterende netcapaciteit. Het afbouwpad in de komende maanden ziet er als volgt uit:

- Tot 1 juli blijft de werkwijze van reserveren voor kleinverbruik de praktijk.
- Vanaf 1 juli maken alleen nog prioritaire partijen, groot- en kleinverbruikers, aanspraak op gereserveerde ruimte.
- Vanaf 1 oktober wordt het mogelijk voor woningbouw en onderwijsinstellingen om eerder transportcapaciteit en prioriteit aan te vragen voor toekomstige projecten (tot 10 jaar vooruit). Indien er nog gereserveerde ruimte is kan deze ook direct worden gecontracteerd.
- Per 1 januari 2027 treedt de nieuwe werkwijze volledig in werking. Dit betekent dat ook niet-prioritaire partijen aanspraak kunnen maken op eventueel resterende transportcapaciteit.

Netbeheerders zijn druk met doorrekenen waar nog welke ruimte beschikbaar is, zodat dit ook inzichtelijk wordt. Netbeheerders geven aan dat het helaas voor zal

[14] Met deze toelichting is uitvoering gegeven aan de toezegging aan het Tweede-Kamerlid Kops (PVV), TZ202512-002
[15] Het prioriteringskader prioriteert alleen onderwijsinstellingen die onderwijs aanbieden waarvoor de leerplicht geldt. Dit is het basisonderwijs, voortgezet onderwijs en het mbo.

komen dat op plekken de gereserveerde transportcapaciteit beperkt is en op sommige plekken mogelijk op.

De komende tijd werken de betrokken partijen aan zorgvuldige uitwerking van de nieuwe werkwijze en worden enkele nog openstaande punten en zorgen geadresseerd. Parallel wordt al naar gemeenten en marktpartijen in de woningbouw gecommuniceerd over wat er op hen af komt en wat zij al kunnen doen ter voorbereiding op de veranderingen die op de genoemde data ingaan[16].

Netbewust laden
De afgelopen winter zijn de regionale netbeheerders Enexis en Stedin samen met 8 laadpaalexploitanten een pilot statisch netbewust laden[17] gestart met ongeveer 5.200 van de circa 60.000 publieke laadpunten in Nederland. Het gaat om locaties waar het elektriciteitsnet tijdens piekmomenten (werkdagen 16:00-21:00 uur) extra is belast. Door het laadvermogen daar tijdelijk te reduceren, blijft het net beter in balans en ontstaat ruimte voor nieuwe aansluitingen. Met alle partijen zijn intentieverklaringen getekend om in de komende winters dynamisch netbewust laden[18] breed toe te passen. Het einddoel is om te komen tot bilaterale contractafspraken tussen de drie grote regionale netbeheerders en laadpaalexploitanten. Deze aanpak heeft inmiddels een landelijk uniforme benadering waarbij Netbeheerders, laadpaalexploitanten, de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL) en het ministerie van IenW toewerken naar een landelijke propositie, die leidt tot afspraken over bestaande en nieuw te plaatsen laadpalen. Deze propositie is van toepassing op zowel concessie- als vergunningspartijen en gaat in zodra het herziene prioriteringskader per 1 juli 2026 ten aanzien van kleinverbruikers van kracht zal zijn. Publieke laadpalen hebben in het herziene kader geen prioriteit gekregen.

Het ministerie van IenW levert, conform de toezegging aan de Tweede Kamer[19], voor de zomer van 2026 een routekaart bi-directioneel laden op. Het doel van de routekaart is opschaling van bi-directioneel laden in Nederland te realiseren. Ook wordt er ingegaan op randvoorwaarden die hiervoor op orde moeten zijn en de acties die het Rijk en sectorpartijen uitvoeren om deze randvoorwaarden te realiseren. In lijn met de genoemde toezegging zal de routekaart daarnaast de acties benoemen die worden ondernomen m.b.t. dubbele energiebelasting die op dit moment nog wordt geheven bij bi-directioneel laden.

Netbewust renoveren en elektrificeren
Bij deze brief wordt het rapport ‘Netbewust renoveren en elektrificeren’ met de Kamer gedeeld. Dit rapport is opgesteld om woningcorporaties en netbeheerders handelingsperspectief te bieden bij verduurzaming van bestaande huurwoningen in een context van toenemende netcongestie. De reikwijdte van het rapport betreft woningen die worden verduurzaamd door middel van elektrificatie, dus in gebieden waar geen warmtenet komt, waar de grootste impact van netcongestie bestaat.[20] Het doel van deze handreiking is, zoals vastgelegd in de Nationale Prestatieafspraken 2025-2035, “een leidraad (op te stellen) om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen”. Het rapport geeft inzicht in de netbelasting van technische maatregelen die de woningcorporatie kan toepassen

[16] https://vng.nl/artikelen/eerder-aanvragen-in-het-bouwproces
[17] ‘statisch’ netbewust laden betreft reductie van het laadvermogen op vaste piekuren.
[18] Bij ‘dynamisch’ netbewust laden wordt het laadvermogen geoptimaliseerd aan de hand van een dynamisch stuursignaal dat is gebaseerd op de daadwerkelijke netbelasting op een specifieke tijd en plaats
[19] TZ202601-019
[20] Tegelijkertijd is het een nadrukkelijke wens om in de toekomst ook de werkelijke netbelasting van collectieve systemen (zoals warmtenetten) op basis van monitoringdata inzichtelijk te maken, zodat het handelingsperspectief verder kan worden verbreed.

in renovatie en verduurzamingsprojecten. Het idee is dat bij het kiezen van de verduurzamingsstrategie rekening kan worden gehouden met de netimpact van verschillende keuzes. De auteurs van het rapport hebben hiervoor een prestatiekader opgesteld. Nu start een vervolgtraject, samen met de woningcorporaties en de netbeheerders, voor de verdere toepassing van de adviezen uit het rapport in de praktijk.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Sneller Bouwen
Het versnellen van de aanleg van elektriciteitsinfrastructuur brengt de oplossing van netcongestie dichterbij. Op 25 april 2025 is een versnellingsaanpak[21] voor de uitbreiding van het hoogspanningsnet gestart, met verschillende sporen waaronder een wetgevingsprogramma, een beleidsaanpak en een projectenaanpak. Deze aanpak wordt in lijn met het coalitieakkoord versterkt. Hieronder volgt de stand van zaken van de versnellingsaanpak en een update over de aanpak van de stikstofproblematiek bij energie-infrastructuurprojecten.

Wetgevingsprogramma Stroomlijnen energieprojecten
In het Coalitieakkoord is een crisiswet netcongestie aangekondigd. Ik geef hier invulling aan met het wetgevingsprogramma Stroomlijnen energieprojecten, waarbinnen ik ook de reeds lopende aanpassingen van wet- en regelgeving onderbreng. Hierbij pas ik wet- en regelgeving in tranches aan om de realisatie van energieprojecten te stroomlijnen en te versnellen. Ik werk hierbij nauw samen met de minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening binnen haar verantwoordelijkheid voor de Omgevingswet en voor de woningbouwopgave. Door wet- en regelgeving in meerdere tranches aan te passen, wordt voorkomen dat snel op te pakken maatregelen moeten wachten op maatregelen die meer uitwerkingstijd vergen.

Maatregelen binnen het wetgevingsprogramma Stroomlijnen energieprojecten zijn onder meer gericht op de verbetering van wet- en regelgeving om procedures te versnellen, grondbeleid effectiever in te zetten, het vrijmaken van ruimte voor energie-infrastructuurprojecten en de betere benutting van het bestaande net. Waar mogelijk worden deze aanpassingen zo vormgegeven dat ook projecten op midden- en laagspanning en andere energiemodaliteiten (waterstof, warmte en CCS) hiervan profiteren. Dit maakt dat projecten die noodzakelijk zijn voor het verminderen van netcongestie zo snel mogelijk kunnen worden gerealiseerd. De eerste tranche maatregelen gaat in april in consultatie als onderdeel van de Vereenvoudigingswet die het kabinet in het coalitieakkoord heeft aangekondigd. In deze tranche zit een maatregel die het Rijk en provincies een wettelijke basis geeft om leges te kunnen heffen waarmee met de projectprocedure gemoeide ambtelijke kosten worden vergoed. Na advies van de Raad van State, zal het wetsvoorstel in het najaar aan de Kamer worden aangeboden. In samenwerking met de Eerste en Tweede Kamer werk ik graag aan een snelle behandeling van deze en volgende wetsvoorstellen, gezien de urgentie van de netcongestieproblematiek.

Binnen het wetgevingsprogramma Stroomlijnen energieprojecten wordt ook een verkenning gestart naar mogelijke project-specifieke maatregelen, gericht op extra versnelling van de procedures voor een specifieke groep netcongestie-verlichtende projecten. Deze versnellingen moeten passen binnen Europese kaders en vragen een afweging met andere ruimtelijke belangen, zoals de Omgevingswet dat ook vraagt. Ook wordt onderzocht of er wettelijke

[21] Kamerstukken II, 2024-25, 29023, nr. 566

aanpassingen noodzakelijk zijn om het net beter te benutten. Voor de zomer zal ik uw Kamer nader informeren over het resultaat van deze verkenningen en de vervolgstappen.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Beleidsaanpak
Aanvullend en vooruitlopend op het wetgevingsprogramma werkt het kabinet samen met provincies, gemeenten en netbeheerders aan versnellingsmaatregelen zoals het beschikbaar stellen van expertise, effectiever toepassen van grond- en ruimtelijk beleid, snellere procedures en kennisdeling. De bijgevoegde voortgangsrapportage LAN laat zien dat een deel van deze maatregelen inmiddels is geïmplementeerd en wordt toegepast zoals medewerkers uit de Expertpool energie-infrastructuur die de provincie Utrecht helpen bij de procedures voor de aanleg van station Utrecht Noord. Verder wordt dit jaar onder meer ingezet op het voorkomen van vertraging en op een zorgvuldige inpassing bij hoogspanningsprojecten in de nabijheid van werelderfgoed en het ontwikkelen van een uniforme taxatieaanpak om sneller grond te verwerven. Daarnaast worden waar mogelijk maatregelen toepasbaar gemaakt voor midden- en laagspanning.

Maatregelen TenneT
Een belangrijk onderdeel van de versnellingsaanpak is een herziening van de werkwijzen van TenneT. TenneT neemt meerdere maatregelen in zowel de planfase als de realisatie om projecten te versnellen. Deze maatregelen zijn gericht op een betere aansluiting van de verkenningsfase op de (juridische) besluitvorming, het eerder starten met grondverwerving en onteigening en het loskoppelen van onder meer EMC-studies en landschappelijke inpassing van het kritieke pad van de projectbesluitvorming. Daarnaast neemt TenneT meer risico door zo vroeg mogelijk te starten met bouwen, zet in op standaardisatie van netcomponenten en organiseert de inkoop portfolio-breed in plaats van per project. Een deel van deze maatregelen gestart in pilots, worden deels nu doorgevoerd of later in 2026 afgerond.

Projectenaanpak
In de zomer van 2025 is het kabinet met TenneT gestart met een projectenaanpak voor 26 doorbraakprojecten die cruciaal zijn voor het oplossen van netcongestie. Op 4 december is uw Kamer geïnformeerd over de aanpak en de projectateliers die hiervoor in het najaar zijn georganiseerd met netbeheerders, gemeenten en provincies[22]. Deze projectateliers hebben geleid tot eerste afspraken over het toepassen van versnellingsmaatregelen en versterking van de samenwerking. Er is echter meer nodig voor een succesvolle projectenaanpak. Om meer concretere projectafspraken te maken over zowel bestaande versnellingsmaatregelen als extra versnellingsopties is in de maanden februari tot en met april een tweede ronde projectateliers georganiseerd. Bij de projecten waar dit al heeft plaatsgevonden zijn zoals is beoogd meer concrete afspraken gemaakt. Het versnellingspotentieel van projecten verschilt en is afhankelijk van de omvang en de fase waarin het project zich bevindt. Enkele projecten zijn al vergevorderd, waardoor de maatregelen zich voornamelijk richten op het beperken van uitlooprisico's. In het vervolg gaan betrokken partijen per project in taskforces sturen op voortgang en nakomen van de projectafspraken.

Het is van belang de inzet van het kabinet doelgericht en met maximale effectiviteit te organiseren in de projectenaanpak. Hoewel alle projecten van TenneT maatschappelijke relevantie hebben, verschilt per project in de

[22] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 601

projectenaanpak de inzet die nodig is vanuit het Rijk. Structurele inzet van het Rijk is noodzakelijk op projecten met een groot en urgent maatschappelijk belang, zoals de hoogspanningsstations Utrecht-Noord en Einighausen. Bij andere projecten dragen juist incidentele interventies bij aan doorbraken in het project. .

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Stikstof
De aanleg van energie-infrastructuurprojecten wordt door stikstofbeperkingen 3 tot 12 maanden vertraagd[23], terwijl deze projecten juist randvoorwaardelijk zijn voor verduurzaming en daarmee bijdragen aan stikstofreductie en een snellere aanpak van netcongestie. De Europese Commissie biedt met het voorstel van het Grids Package een oplossing voor deze problematiek[24]. Door het voorstel zouden de gevolgen van stikstofdeposities door de aanleg van elektriciteitsinfrastructuur niet mee hoeven te worden genomen in een beoordeling van natuureffecten. Om deze potentiële versnelling te verzilveren zet het kabinet, gesteund door de motie-Klos[25], in op spoedige onderhandelingen en werkt het vooruitlopend op een akkoord aan de implementatie van deze wetgeving. Ook zet ik er in de onderhandelingen in Brussel op in dat deze oplossing ook voor alle type hernieuwbare energieprojecten gaan gelden zoals waterstof[26]. Als onderhandelingen voorspoedig verlopen kunnen vanaf begin 2028 alle elektriciteits-infrastructuurprojecten gebruik kunnen maken van deze oplossing voor stikstof. De bepaling over stikstof in het Grids Package is mede tot stand gekomen door de inzet van het Nederlandse kabinet[27]. Hiervoor is gebruik gemaakt van de resultaten van onderzoeken die zijn uitgevoerd als onderdeel van een verkenning van potentiële juridisch haalbare nationale routes (waaronder de ADC toets) voor stikstofvergunningverlening voor energie-infrastructuurprojecten en verduurzaming van industrie[28]. Als bijlage bij deze brief wordt een ecologische beoordeling verstuurd. Dit onderzoek bevestigt dat ook ecologisch gezien de verduurzaming van de industrie met daarvoor noodzakelijke aanleg van energie-infrastructuur bijdraagt aan stikstofreductie en daarmee aan het tegengaan van verslechtering van de natuur. Uit de verkenning die het kabinet heeft gedaan naar een mogelijke nationale route is gebleken dat deze nationale route dusdanig complex is dat deze niet of nauwelijks praktisch uitvoerbaar is. Daarom richt het kabinet zich nu volledig op het onderhandelingstraject van het Europese Grids Package om de vertraging van de aanleg van energie-infrastructuur weg te nemen.[29]

Slimmer Inzicht en risicobereidheid

Voor een gerichte aanpak van netcongestie door middel van betere benutting en uitbreiding van het net is scherp inzicht in de belasting, capaciteit en inrichting van het elektriciteitsnet essentieel, evenals betrouwbare prognoses van hoe zich dit in de toekomst ontwikkelt. Uit bijgevoegde voortgangsrapportage LAN komt naar voren dat de actielijn Slimmer Inzicht nuttige dataproducten oplevert en dat de interactieve capaciteitskaart[30] steeds meer informatie bevat. Er is echter nog veel ruimte voor verbetering van het inzicht in het elektriciteitsnet. De

[23] https://www.netbeheernederland.nl/publicatie/sneller-meer-energie-infrastructuur-dankzij-europa
[24] Kamerstukken II, 2025-26, 22112, nr.4260
[25] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 619
[26] Kamerstukken II, 2025-26, 22112, nr.4260
[27] Non-paper Versnellen van de energietransitie met tijdelijke, beperkte stikstofdepositie, bijlage bij Kamerstukken II, 2024-25, 21501-33, nr. 1145
[28] Onderzoek Samenhang energietransitie & stikstof in de industrie 2025, bijlage bij Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 597 en Samenvattend rapport Onderzoek samenhang Energietransitie en stikstof in de industrie, bijlage bij Kamerstukken II, 2023-24, 29826, nr. 201
[29] Met deze toelichting is uitvoering gegeven aan de toezegging om de Tweede Kamer te informeren over het stikstofprogramma gericht op energieprojecten, nr. TZ202512-004
[30] https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl

netbeheerders zijn hiervoor inhoudelijk aan zet. Het kabinet pakt hierbij de regie, in lijn met de motie-Jumelet[31]. Alleen zo kunnen we stappen zetten om het net structureel efficiënter te benutten en acties gericht te prioriteren.
Met het Aansluitoffensief zijn de eerste stappen gezet; met de doorbraak 'optimalisatie van prognoses' kan naar verwachting regionaal snel ruimte worden vrijgespeeld en de doorbraak 'inzicht in flexverwachtingen' is een essentiële randvoorwaarde om tot grootschalige uitrol van flexibele contracten te komen. Verder is een start gemaakt met concrete voorstellen om meer risico te nemen. In hoeverre het wenselijk is om een nieuwe adviesraad in te richten om de risico's maatschappelijk te wegen, zoals geadviseerd in het Aansluitoffensief, zal op basis van de eerste ervaringen nader worden bezien. Uitgangspunt is dat de maatschappelijke waarden betaalbaarheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van toegang tot elektriciteit met elkaar in evenwicht zijn.

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Ons kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 104145406

Tot slot
De aanpak van netcongestie vergt de komende jaren de volle inzet van kabinet en parlement, samen met netbeheerders, medeoverheden, betrokken marktpartijen en ook burgers. Alleen door samen alle mogelijkheden maximaal te benutten kunnen we wachtrijen terugdringen en netcongestie structureel aanpakken. We zullen in goede samenwerking scherpe maar zorgvuldige afwegingen moeten maken tussen toegang tot het elektriciteitsnet en andere maatschappelijke belangen en prioriteiten. Zo werken we toe naar een nieuw energiesysteem waarin schaarse transportcapaciteit van elektriciteit eerlijk wordt verdeeld en optimaal benut, en scheppen we de noodzakelijke randvoorwaarden voor het bouwen van woningen, het stimuleren van de economie en toegroeien naar een duurzaam, weerbaar en robuust energiesysteem.

Hoogachtend,

Jo-Annes de Bat
Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat

[31] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 612

Bijlage: uitvoering moties en toezeggingen netcongestie

Motie van het lid Grinwis c.s. over geschikte opslaglocaties zo nauwkeurig mogelijk in kaart brengen (Kamerstuk 29023, nr. 538)
Met deze motie heeft de Tweede Kamer verzocht samen met TenneT en regionale netbeheerders geschikte opslaglocaties zo nauwkeurig mogelijk in kaart te brengen, en om op basis van deze informatie in overleg met gemeenten en provincies vergunningverlening voor wenselijke locaties op gang te brengen. In de Kamerbrief over kostenbesparingen door betere benutting van het elektriciteitsnet[1] is toegelicht dat locatiesturing op aansluitingen van grootschalige energiefuncties de kostenstijging van netverzwaringen flink kan beperken. Het kabinet heeft samen met TenneT en regionale netbeheerders geschikte opslaglocaties nauwkeurig in kaart gebracht. Zo heeft TenneT het afgelopen jaar op het hoogspanningsnet 9,1 GW aan transportvermogen buiten de piekuren beschikbaar gesteld aan partijen op de wachtrij. Deze restruimte op het elektriciteitsnet kan door flexibele contracten (Tijdsduurgebonden Transportrecht; TDTR) worden ingevuld. De gevonden ruimte op de 150kV en 110kV hoogspanningsnetten zijn per provincie of regio onderverdeeld. Een groot deel van deze transportcapaciteit is toegekend aan batterijprojecten. In februari 2026 heeft TenneT een overzicht beschikbaar gesteld van stations waar TDTR-contracten zijn aangeboden[2]. Daarnaast hebben de regionale netbeheerders in hun Investeringsplannen voor 2026 de flexibiliteitsbehoefte per transformator, station of verbinding in kaart gebracht tot 2035. Dit geeft inzicht in het benodigde vermogen per locatie om knelpunten op te lossen. Deze flexibiliteitsbehoefte zal dit jaar in de capaciteitskaart van Netbeheer Nederland verder inzichtelijk worden gemaakt. Met de informatie van TenneT en de regionale netbeheerders kunnen gemeenten en provincies de vergunningverlening voor locaties waar flexibiliteit benodigd is, gerichter ondersteunen. Daarmee is uitvoering gegeven aan deze motie. In de aangekondigde Integrale Beleidsagenda Energieopslag zal verder uitwerking worden gegeven aan ruimtelijke inpassing van elektriciteitsopslag.

Motie van de leden Grinwis en Bontenbal over de ACM vragen om te verkennen of opslag kan worden gekwalificeerd als opwekker (Kamerstuk 29023, nr. 539)
Met deze motie heeft de Tweede Kamer verzocht de ACM te vragen te verkennen of opslag kan worden gekwalificeerd als opwekker. Het kabinet heeft deze vraag neergelegd bij de ACM. Met onderstaande toelichting wordt uitvoering gegeven aan deze motie.

De ACM doet op dit moment onderzoek naar de mogelijkheden voor het invoeren van een invoedingstarief. Op dit moment betalen alleen afnemers van elektriciteit voor de kosten van het elektriciteitsnet. Een invoedingstarief maakt het mogelijk een deel van de kosten van het elektriciteitsnet neer te leggen bij invoeders. De ACM heeft aangegeven bij het ontwikkelen van een eventueel invoedingstarief aandacht te zullen hebben voor bi-directionele netgebruikers, zoals energieopslag. Bij het in rekening brengen van een nettarief wordt gekeken naar het gebruik van het net door gebruikers en welke kosten zij daarmee veroorzaken (“kostenveroorzakingsprincipe”). Het kabinet heeft zijn overwegingen bij invoering van een invoedingstarief gedeeld in de kabinetsreactie op het IBO-rapport ‘Bekostiging van de elektriciteitsinfrastructuur’[3] en bij de beantwoording van Kamervragen[4]. Met een invoedingstarief zou de waarde van energieopslag voor het elektriciteitsnet door netbeheerders worden beloond. Voor de systeem- en congestiediensten die opslaginstallaties kunnen bieden aan netbeheerders, met een gunstig effect op het net, kunnen zij een vergoeding ontvangen op basis van een flexibel contract of een marktgebaseerde vergoeding op de balancerings- of congestiemarkt. Met name het capaciteitssturingscontract (CSC), dat de ACM in december 2025 mogelijk heeft gemaakt, kan het ontwikkelen van energieopslag aantrekkelijk maken.

Motie van de leden Peter de Groot en Postma over een concreet tijdpad voor aansluiting op het stroomnet voor cluster 6 bedrijven (Kamerstuk 29826, nr. 269)
Met deze motie heeft de Tweede Kamer verzocht in overleg met de netbeheerders te bewerkstelligen dat bedrijven in cluster 6 inzicht krijgen in een concreet en planbaar tijdpad voor

[1] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 628
[2] https://www.tennet.eu/nl/de-elektriciteitsmarkt/aansluiten-op-het-nederlandse-hoogspanningsnet/tijdsduurgebonden
[3] Kamerstukken II, 2024-25, 29023, nr. 567
[4] Kenmerk 2026Z00337 en 2026Z00465

hun aansluiting, zodat zij op basis daarvan investeringsbeslissingen kunnen nemen. Aan deze motie wordt als volgt uitvoering gegeven.

In de LAN-actielijn Slimmer Inzicht worden dataproducten ontwikkeld op basis van behoeften van stakeholders, waaronder de behoefte bij cluster 6-bedrijven aan voldoende inzicht om investeringsbeslissingen te kunnen nemen. De gezamenlijke netbeheerders werken hier aan met:

1) de dataproductengroep "Capaciteit/belasting/nettopologie (historie en verwachting)" waarmee per voedingsgebied op het laag- en middenspanningsnet inzicht wordt gegeven in de ontwikkeling van de capaciteit en belasting; deze dataproducten worden als onderdeel van het Aansluitoffensief[5] met prioriteit ontwikkeld.
2) de nieuwe feature "Capaciteitsontwikkeling door de tijd", die binnenkort aan de capaciteitskaart[6] wordt toegevoegd, waarmee per voedingsgebied inzicht wordt geboden in de capaciteitsontwikkeling in de tijd over alle netvlakken (hoog-, midden- en laagspanning) heen.

Motie van de leden Erkens en Grinwis over een pilot voor het toepassen van generatieve AI om vergunningsverlening te versnellen (Kamerstuk 32813, nr. 1482)
Met deze motie heeft de Tweede Kamer verzocht een pilot te starten voor het toepassen van generatieve Al om vergunningverlening te versnellen en te versimpelen. Het kabinet erkent dat het volledige proces om tot de uitgifte van vergunningen en de start van de bouwfase te komen te lang duurt[7]. Het ministerie van I&W ontwikkelt momenteel een generatieve AI-tool voor betere en efficiëntere participatie, met directe betrokkenheid van het ministerie van KGG. Naar verwachting kan deze tool samen met andere maatregelen rondom participatie leiden tot versnelling van 6 tot 12 maanden. Hiermee is uitvoering gegeven aan deze motie.

Motie van het lid Postma over in overleg treden met de ACM over het cascademodel en het effect op de netkosten (Kamerstuk 29023, nr. 583)
Met deze motie heeft de Tweede Kamer verzocht om in overleg te treden met de ACM over de werking van het cascademodel en het effect daarvan op de netkosten voor huishoudens en bedrijven. Met onderstaande terugkoppeling van het overleg met de ACM geeft het kabinet uitvoering aan deze motie.

Het cascademodel zorgt ervoor dat gebruikers op lagere netvlakken (zoals het laagspanningsnet) ook meebetalen aan hogere netvlakken. Daarbij wordt rekening gehouden met de mate waarin er uitwisseling plaatsvindt tussen de verschillende netvlakken. De belangrijkste reden achter het cascadebeginsel is dat elektriciteit doorgaans van hogere netvlakken naar lagere netvlakken wordt getransporteerd. Hoewel hier als gevolg van de energietransitie enige verschuivingen in zijn, is dit uitgangspunt volgens de ACM nog steeds grotendeels in overeenstemming met de werkelijkheid. Op dit moment is de ACM niet voornemens om het cascademodel aan te passen. De ACM blijft signalen vanuit de markt monitoren die aanleiding kunnen geven tot heroverweging van de cascadering.

Toezegging aan de Eerste-Kamerleden Petersen (VVD) en Baumgarten (JA21) over regionale verschillen en de concurrentiepositie van Nederland betreffende netcongestie (T04026)
Aan de Eerste Kamerleden Petersen (VVD) en Baumgarten (JA21) is toegezegd schriftelijk in te gaan op de regionale verschillen in Nederland en de concurrentiepositie van Nederland ten opzichte van andere landen betreffende netcongestie. In vrijwel heel Nederland is op dit moment sprake van netcongestie en komen bedrijven en instellingen die een aanvraag doen op een wachtrij. Dit heeft uiteraard invloed op hun groei-, verduurzamings- en vestigingsambities. Wanneer deze partijen kunnen worden aangesloten is afhankelijk van wanneer de netuitbreidingen voor het oplossen van de knelpunten in het net gereed zijn of wanneer er door alternatieve oplossingen rondom betere benutting van het net ruimte gevonden wordt. De capaciteitskaart van Netbeheer Nederland[8] laat per regio zien wanneer de belangrijkste knelpunten verholpen zullen zijn en geeft daarmee inzicht in de regionale verschillen.

[5] Kamerstukken II, 2025-26, 29023, nr. 626
[6] https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl
[7] Kamerstukken II, 2024-25, 29023, nr. 566
[8] https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl

Ook in andere Europese landen is sprake van wachtrijen voor het verkrijgen van een aansluiting op het elektriciteitsnet, met name voor projecten met duurzame opwek en opslag maar ook grote vermogensvragen aan de afname kant voor bijvoorbeeld elektrolysers en datacenters.[10] Landen waar dit speelt zijn onder andere Italië, Noorwegen, het Verenigd Koninkrijk en Duitsland. Hoewel de problematiek deels vergelijkbaar is met Nederland, is deze ook anders. Zo speelt in Duitsland, het Verenigd Koninkrijk en Noorwegen dat de (duurzame) opwek zich op grotere afstand bevindt van de vraag naar elektriciteit. De congestie bevindt zich dan met name in lange afstand hoogspanningsverbindingen. Veel van deze aanvragers in het buitenland wachten dan ook op een aansluiting op het netwerk van de landelijke netbeheerder; wachtlijsten op het net van de regionale netbeheerders, zoals in Nederland het geval is, zijn momenteel nog minder veelvoorkomend in deze landen. Binnen de Europese Unie blijven we informatie uitwisselen met andere landen waarbij deze landen kunnen leren van onze problematiek en de oplossingen en wij mogelijk kunnen leren van de beleidsacties van een andere landen. Ook het recent gepubliceerd Grids Package van de Europese Commissie helpt om deze problematiek in gezamenlijkheid aan te pakken en van elkaar te leren.

Derde voortgangsrapportage

Landelijk Actieprogramma Netcongestie

Meer informatie? Klik hier!

April 2026

Inhoudsopgave

Introductie

3 Inleiding
5 Communicatie
6 Risicobeheersing

Hoofdstuk 1

Sneller Bouwen

9 Doelstelling
10 Terug- en vooruitkijken
11 Overzicht van acties
24 Indicatoren

Hoofdstuk 2

Beter benutten

Grootverbruikers

33 Doelstelling
34 Terug- en vooruitkijken
35 Overzicht van acties
47 Indicatoren

Kleinverbruikers

60 Doelstelling
61 Terug- en vooruitkijken
62 Overzicht van acties
67 Indicatoren

Hoofdstuk 3

Slimmer Inzicht

72 Doelstelling
73 Terug- en vooruitkijken
74 Overzicht van acties

Inleiding

Voor u ligt de derde voortgangsrapportage van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN). Deze rapportage beslaat de voortgang van het programma in de periode sinds de publicatie van de actualisatie van de voortgang in het najaar 2025 tot de huidige publicatie in maart 2026.*

Netcongestie

De afgelopen jaren zien we meer opwek van elektriciteit uit duurzame energiebronnen (o.a. wind en zon) en een stijging van piekgebruik op het net door elektriciteitsafname (o.a. door een groei van warmtepompen en elektrische auto's). Er is géén capaciteit om toekomstige belasting van het elektriciteitsnet verder op te vangen en de uitbreiding van het net gaat te langzaam. Door deze combinatie van factoren ontstaat schaarste aan transportcapaciteit en daarmee netcongestie. Toegang tot het elektriciteitsnet wordt daardoor steeds beperkter.

Doelstelling

In het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) werken het Rijk, medeoverheden, netbeheerders en marktpartijen samen aan een gemeenschappelijk doel: zorgen voor toegang tot elektriciteit waardoor de maatschappelijke doelen zoveel mogelijk gewaarborgd zijn. Toegang tot het elektriciteitsnet is een voorwaarde voor economische ontwikkeling, woningbouw, mobiliteit en verduurzaming. Om deze toegang te waarborgen werkt het LAN langs vier actielijnen:

1 Sneller Bouwen

Het versneld uitbreiden van onze elektriciteitsinfrastructuur en bevorderen samenwerking netbeheerders, gemeenten, provincies en het Rijk.

2 Beter Benutten Grootverbruikers**

Efficiëntere netbenutting door en voor grootverbruikers om meer partijen toegang te geven tot transportcapaciteit.

3 Beter Benutten Kleinverbruikers

Slimmer en efficiënter gebruik van het laagspanningsnet. Gelijkmatiger belasting, meer gebruikers op hetzelfde net, minder uitbreiding nodig.

4 Slimmer Inzicht

Inzicht in netcapaciteit ten behoeve van handelingsperspectief voor gebruikers en data-gedreven beleidsvorming door middel van de ontwikkeling van uniforme landelijke dataproducten.

**De cijfers die afkomstig zijn uit de Stand van de Uitvoering en opgenomen in deze rapportage betreffen heel 2025.*

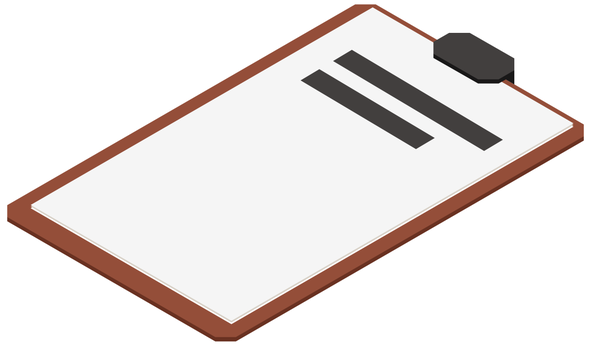
***Een samenvoeging van de actielijnen Beter Benutten Mogelijk Maken en Beter Benutten Bedrijven en Instellingen.*

Leeswijzer

De rapportage begint met een reflectie op de programma brede thema's communicatie en risicobeheersing. Onder communicatie wordt een toelichting gegeven op de strategie en initiatieven die afgelopen en komende periode opgepakt worden. Bij risicobeheersing wordt ingegaan op de belangrijkste programma-brede risico's en mitigaties die het LAN momenteel heeft geïmplementeerd.

Vervolgens heeft elke actielijn een eigen hoofdstuk met een korte samenvatting van de doelstelling, een reflectie op de achterliggende- en komende periode, een overzicht van de acties per thema en de stand van zaken en voortgang van alle acties. Ten slotte bevatten deze hoofdstukken ook alle relevante indicatoren uit de laatste Stand van de Uitvoering van Netbeheer Nederland.

Binnen het LAN lopen nu ruim honderd acties. In deze rapportage lichten we op basis van prioriteit de belangrijkste maatregelen uit. Sommige acties staan niet in de rapportage, maar zijn wel onderdeel van de totale aanpak. Heeft u vragen over specifieke maatregelen? Neem dan contact op via netcongestie@minezk.nl.



Communicatie

Netcongestie is een blijvend vraagstuk. Om de impact ervan te beperken is gedragsverandering noodzakelijk. Daarbij staat de leefwereld van de verschillende doelgroepen centraal.

De communicatieaanpak sluit aan bij wat mensen al weten, kunnen en doen, en bouwt daarop voort. De belangrijkste doelgroepen zijn decentrale overheden, ondernemers en het algemeen publiek. Om goed aan te blijven sluiten bij hun informatiebehoefte en belevingswereld wordt doorlopend communicatieonderzoek uitgevoerd. Dit gebeurt onder gemeenten, ondernemers en het algemeen publiek via zogeheten flitspeilingen. De resultaten hiervan worden gepubliceerd via de Rijksoverheid.

De communicatie richt zich op drie niveaus: vergroten van kennis (weten), versterken van vaardigheden en mogelijkheden (kunnen) en het stimuleren van gewenst gedrag (doen). De primaire benadering van doelgroepen verloopt via bestaande en vertrouwde kanalen, zoals de klantcommunicatie van netbeheerders en via adviseurs die dicht bij de doelgroep staan.

Daarnaast zijn specifieke ondersteuningsstructuren ingericht. Voor ondernemers is het Loket Netcongestie opgezet als centraal aanspreekpunt. Voor decentrale overheden is de Kenniscommunity Netcongestie ingericht, waar kennis, ervaringen en oplossingen worden gedeeld.

Voor het algemeen publiek wordt in het najaar een landelijke campagne gestart via televisie, radio en online kanalen. Deze campagne is gericht op het vergroten van kennis en bewustwording rondom netcongestie en het bieden van concrete handelingsperspectieven. Een effectmeting van deze campagne volgt en wordt separaat gedeeld.

Risicobeheersing

Het LAN voert periodiek risicobeheersingssessies uit, hierbij wordt geïnventariseerd welke risico's effect hebben op het behalen van de doelstelling van het LAN en van de individuele actielijnen. Op de volgende pagina's worden enkele hoog geprioriteerde risico's uitgelicht en beschreven.

1. Door een gebrek aan inzicht staan partijen onnodig op de wachtrij

Inzicht in netcapaciteit is essentieel om een handelingsperspectief voor gebruikers te creëren, om gericht beleidskeuzes te kunnen maken en om de verdere ontwikkeling van het probleem te monitoren. Onvoldoende inzicht raakt alle actielijnen en heeft direct impact op de doelstelling van het programma. Het programma is inmiddels in een fase beland waarin inzicht steeds belangrijker wordt voor het behalen van de doelstelling. Deze categorie risico's is nog niet eerder benoemd in een voortgangsrapportage maar raakt wel aan de risicocategorie 'gebrek aan handelingsperspectief en onrust over leveringszekerheid' die benoemd is in de rapportage van het voorjaar 2025.

De volgende risico's vallen binnen deze categorie:

- Gebrek aan kortcyclisch inzicht in de (toekomstige) belasting én flexibiliteit van het net kan als gevolg hebben dat het net potentieel niet goed benut wordt waardoor partijen onnodig op de wachtrij blijven staan. Dit leidt tot een gebrek aan handelingsperspectief en onrust over leveringszekerheid.
- Onzekerheid over inzicht in de bouw en uitbreiding van het net leidt tot onzekerheid over de ontwikkeling en de omvang van netcongestie.
- Gebrek aan inzicht over de impact van maatregelen kan als gevolg hebben dat beleidsafwegingen lastig te maken zijn. Het valt moeilijk te herleiden wat het effect van maatregelen op netcongestie is en hoe deze bijdragen aan de oplossing ervan.

Ondanks dat periodiek gereflecteerd wordt op de ontwikkeling van het elektriciteitsnet en netcongestie in de Stand van de Uitvoering bestaat bijvoorbeeld nog onvoldoende koppeling tussen maatregelen ten behoeve van het beter benutten van het net en wat dit betekent voor de wachtrijen en het aantal aansluitingen. Daarnaast moeten gezien de urgentie van het probleem soms maatregelen genomen worden zonder dat alle keuzes en consequenties inzichtelijk zijn. Hierdoor kan het zijn dat deze maatregelen niet op de juiste wijze het probleem aanpakken en in de praktijk niet effectief blijken te zijn.

Beheersmaatregelen

Soms is het niet vaststellen van beleid schadelijker dan het maken van een keuze op basis van beperkt inzicht. In die gevallen is het nodig om op basis van prognoses en voorspellingen beleid te maken. Uiteraard is het cruciaal om te blijven werken aan het verbeteren van inzicht. Bij netbeheerders wordt op veel vlakken hard gewerkt aan inzicht- en informatieverbeteringen, onder andere via de Roadmap Dataproducten (zie hoofdstuk ‘Slimmer Inzicht’). Daarnaast wordt in de werkgroep ‘Inzicht in flexverwachting’ binnen het aansluitoffensief gewerkt om de betrouwbaarheid van flexverwachting* voor netgebruikers en marktaanbieders robuuster te maken. Aanvullend op deze initiatieven zullen KGG, netbeheerders, marktpartijen en toezichthouder de komende periode met elkaar in gesprek gaan om het inzicht in het elektriciteitsnet en netcongestieproblematiek structureel te verbeteren.

*o.a. de frequentie & blokduur van de te verwachte congestie in voedingsgebied, periodes wanneer deze verwachte congestie voorkomt (maanden/dagen), totale MW van het capaciteitstekort dat door flex opgelost moet worden en eventuele additionele voorwaarden bij de uitvraag naar flex

2. Implementatie loopt achter op probleemontwikkeling

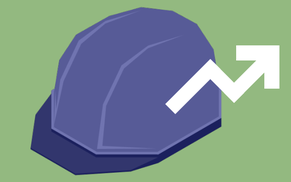
De implementatiesnelheid van maatregelen gericht op het verminderen en voorkomen van netcongestie ligt lager dan de snelheid waarmee het probleem zich ontwikkelt. Maatregelen sorteren dus niet snel genoeg het gewenste effect op netcongestie. Ook worden sommige maatregelen niet snel genoeg genomen. De volgende risico’s vallen binnen deze categorie:

- Onvoldoende prikkels in flexibiliteitscontracten en onvoldoende subsidiëring van flexibiliteit kan leiden tot een gebrek aan adoptie van deze nieuwe vorm van contracten. Grootschalige gedragsverandering bij grootverbruikers blijft uit waardoor onvoldoende flexibiliteit wordt ontsloten en deze maatregelen daarmee onvoldoende het gewenste effect sorteren.
- Implementatie van maatregelen wordt vertraagd door een gebrek aan capaciteit bij alle betrokken partijen, prioriteitstelling en door interne processen. Daarnaast bestaan onderlinge afhankelijkheden in beleidskeuzes, deze risicocategorie is ook benoemd in de voortgangsrapportage van het voorjaar van 2025.
- Onvoldoende draagvlak zorgt ervoor dat sommige maatregelen niet genomen kunnen worden.

Beheersmaatregelen

In het aansluitoffensief wordt gewerkt aan mitigatie van deze risico’s door het inventariseren en operationaliseren van doorbraken die de wachtrijen verder terugdringen, bijvoorbeeld door middel van de herziening van contractvoorwaarden en individuele top-50 flexafspraken om zo de adoptie van flex te stimuleren. Daarnaast blijft het LAN werken aan het versnellen van implementatie van maatregelen, het beperken van factoren die implementatie vertragen en het verbeteren van inzicht in de probleemontwikkeling:

- Lees meer over de maatregelen van Sneller Bouwen op pagina 8
- Lees meer over de maatregelen van Beter Benutten op pagina 31
- Lees meer over de maatregelen van Slimmer Inzicht op pagina 71

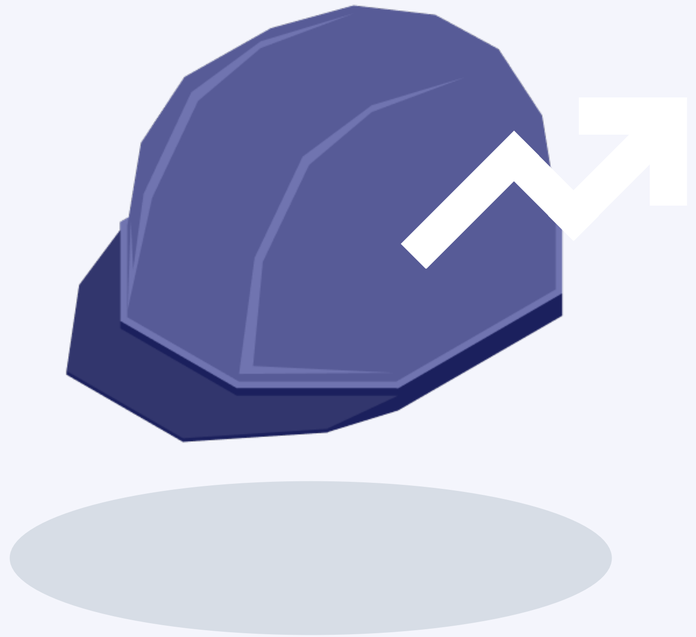


Hoofdstuk 1

Sneller Bouwen

Doelstelling

- Verkorten van doorlooptijden voor de realisatie van elektriciteitsinfrastructuur
- Bevorderen samenwerking tussen netbeheerders en overheden
- Implementeren van maatregelen en stimuleren van kennisuitwisseling



Terug- en vooruitkijken

In de actielijn Sneller Bouwen is afgelopen jaar gewerkt aan uiteenlopende maatregelen met betrekking tot meerdere thema's en spanningsniveaus. Hieronder wordt een selectie van mijlpalen en maatregelen uitgelicht van de afgelopen – en komende periode.

Voortgang afgelopen periode:

- Aankondiging maatregelenpakket voor sneller uitbreiding hoogspanningsnet en start projectenaanpak voor versnelling op 26 urgente HS projecten.
- Publicatie van handreiking Buurtaanpak en organisatie eerste Regiodag voor kennisuitwisseling tussen gemeenten en regionale netbeheerders rondom de verzwaringsopgave op laagspanning.
- Uitbreiding Expertpool Energie Infrastructuur met onder andere complexe middenspanningsprojecten.
- Inwerkingtreding van gedoogplicht van rechtswege in de ontwerpfase ter versnelling van de onderzoek-werkzaamheden.
- Lancering Kenniscommunity Netcongestie ter verbetering van de informatievoorziening.

Prioriteiten komend jaar:

- Uitwerking Crisiswet Netcongestie in relatie tot het bestaande wetgevingsprogramma om procedures te versnellen.
- Verdere uitwerking en implementatie van HS maatregelen zoals het versneld trechteren van locaties en efficiënte participatie.
- Implementatie Uniforme taxatieaanpak en artikel 5.55 omgevingswet aan de hand van pilots.
- Onderzoek naar de benodigde inzet voor het oplossen van knelpunten op midden- en laagspanning.
- De doorontwikkeling van kennisdeling met onder andere de organisatie van het congres Energiesysteem en Ruimte en meerdere Regiodagen.

Overzicht van acties

Grond & Procedures Hoogspanning

- Sturen op ruimte
- Implementatie Uniforme Taxatieaanpak
- ZRO ten behoeve van Ondergrondse Elektriciteitskabels
- Yes in my backyard (YIMBY)
- Werelderfgoed: LHIA TenneT
- Efficiënt Inrichten Participatie
- Versnellen Trechteren van Locaties
- Proactief Bouwen

Midden - en Laagspanning

- Onderzoek Beter Ontsluiten van Publieke Data
- Handreiking Versnellen Gemeentelijke Energieprojecten van Publiek Belang
- Uniformering Vergunnings- en Indieningsvereisten
- TNO-Onderzoek Verzwaring LS-netten
- Overlegtafel Laagspanning
- Koppeling MS/LS aan Versnellingspakket HS
- Projectenaanpak MS

Kennisdeling

- Regiodagen Buurtaanpak
- Leerkring Sneller Bouwen
- Doorontwikkeling Kenniscommunity Netcongestie
- Organisatie Congres Voorjaar

Grond & Procedures Hoogspanning, Beleidsmaatregelen (1/3)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Onderzoek Uniforme Taxatieaanpak	Met het onderzoek is verkend wat de versnelling kan zijn in het vereenvoudigen, vaststellen en eventueel standaardiseren van grondprijzen. Zo kan er versnelling worden gerealiseerd voor het bouwproces van HS & MS elektriciteitsinfrastructuur.	Het onderzoek naar een uniforme taxatieaanpak is in augustus 2025 afgerond en gepubliceerd op de Kenniscommunity Netcongestie. In 2026 zal worden gewerkt aan het implementeren van de methode.	Q3 2025	0- 0,5 jaar
Framework voor samenwerkingsafspraken rondom projectrealisatie	Het framework bespreekt stapsgewijs de rol verdeling voor netbeheerders en medeoverheden, de benodigdheden en bouwstenen in de realisatie van HS infrastructuur.	De samenwerkingsafspraken zijn in maart 2026 afgerond en worden binnenkort gepubliceerd op de Kenniscommunity Netcongestie.	Q1 2026	N.T.B.
Onderzoek naar sturen op ruimte	Onderzoek naar de verkenning die decentrale overheden handvatten biedt om van energievisie naar uitvoeringsagenda te komen. Hierbij komen diverse aspecten aan bod: Gebiedsaanpak en het benutten van netcapaciteit; Ruimtelijke reserveringen en grondverwerving; omgevingswet instrumentarium; en Governance en participatie.	Deze maand rondt Haskoning de verkenning af.	Q2/3 2026	N.T.B.
Implementatie Uniforme Taxatie Aanpak	Implementatie van de uniforme taxatie aanpak uit het onderzoek dat in Q3 2025 is opgeleverd. De methode zal getoetst worden aan de hand van meerdere pilots.	De koepelorganisatie voor taxateurs is begonnen met de implementatie van de methode, inclusief de uitvoering van pilots door Stedin, Liander en Tennet.	Q3 2026	0,5 - 1 jaar

Grond & Procedures Hoogspanning, Beleidsmaatregelen (2/3)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Zakelijk Recht Overeenkomst ten behoeve van Ondergrondse Elektriciteitskabels	Traject om de voorwaarden van de zakelijk recht overeenkomst of publieke vergunning voor ondergrond elektriciteitskabels te onderzoeken. Deze voorwaarden gaan over de ligrechten, beoordeling van verleggingsverzoeken en de financiële condities bij verleggingen. Voorheen de kabels en leidingen verordening.	Komende maanden worden bijeenkomsten georganiseerd om overeenstemming te vinden in het probleem en de mogelijke oplossingen.	N.T.B.	N.T.B.
Yes in my Backyard (YIMBY)	Onderzoek of er naast de bestaande invulling van participatie het draagvlak vergroot kan worden voor de bouw van LS elektriciteitsinfra. Hierbij worden het collectieve belang en lokale wensen benadrukt.	Er wordt onderzocht wat deze aanpak precies kan omvatten en hoe deze in de praktijk kan werken.	Q2/Q3 2026	0,5 - 1 jaar
Werelderfgoed: Landelijke Heritage Impact Assessment TenneT	Afgelopen jaar is er gewerkt aan een landelijke verkenning naar het voorkomen van vertraging bij hoogspanningsprojecten in de nabijheid van werelderfgoed. Hierin worden ook de benodigde maatregelen onderzocht om deze projecten voortvarend te realiseren en tegelijkertijd aantasting van de kernkwaliteiten van werelderfgoed te voorkomen. De uitkomsten zullen verwerkt worden in de projectprocedure waar het Rijk bevoegd gezag voor is en afspraken maken met TenneT over andere projecten. De resultaten worden breed gedeeld, zodat vertraging van andere projecten ook kunnen worden voorkomen.	In het tweede kwartaal van 2026 wordt de verkenning opgeleverd en worden de resultaten aan partners en overheden gedeeld. waarin duidelijk wordt welke projecten werelderfgoed raken.	Q2 2026	0,5 - 1 jaar
Efficiënt Inrichten Participatie	Verkenning met als doel om de omgeving beter te betrekken en draagvlak te creëren voor versnelling van de projectprocedure. Hierbij wordt benadrukt hoe en op welke momenten participatie terugkomt bij de aanleg van energie-infrastructuur binnen de projectprocedure.	Op basis van deze verkenning worden de komende periode enkele sporen geselecteerd en verder uitgewerkt.	Q2/Q3 2026	0 - 0,5 jaar

Grond & Procedures Hoogspanning, Beleidsmaatregelen (3/3)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Versnellen Trechteren van Locaties	Deze maatregel richt zich op het verbeteren van de effectiviteit en snelheid tijdens de locatiekeuze in een projectprocedure voor hoogspanningsstations en tracés, met een focus op de voorkeursbeslissing en het trechteren van alternatieven.	Momenteel wordt een handreiking uitgewerkt met, richtlijnen, een afwegingskader, casuïstiek en het raakvlak participatie met betrekking tot dit thema.	Q2/Q3 2026	1 - 3 jaar
Proactief Bouwen	KGG onderzoekt samen met TenneT of het mogelijk is om voor cruciale HS –projecten te bouwen op grond van inwerking getreden, niet onherroepelijke vergunningen (gedogen bouwen) of op het moment dat er nog geen vergunning verleend is (gedogen). Deze maatregel levert mogelijk versnelling op in de realisatiefase.	Op dit moment wordt onderzocht welke situaties en onder welke voorwaarden starten met bouwen vooruitlopend op het verkrijgen van (onherroepelijke) vergunningen mogelijk is.	N.T.B.	N.T.B.

Midden - en Laagspanning, Beleidsmaatregelen (1/3)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Verbeteren juridische borging realisatie transformatorhuisjes	Het borgen van de belangen en verantwoordelijkheden van zowel netbeheerders en gemeenten in een modelovereenkomst. Hiermee wordt het juridisch proces gestandaardiseerd in de realisatie van transformatorhuisjes.	Het regieartikel is in april 2025 afgerond en gepubliceerd op de Kenniscommunity Netcongestie. De werkzaamheden van de bestuurlijke coördinator worden voortgezet in de organisatie van overlegtafel laagspanning.	Q2 2025	0-0,5 jaar
Handreiking Buurtaanpak	Handreiking met betrekking tot de gezamenlijke opgave die regionale netbeheerders en gemeentes hebben in het uitbreiden van het laagspanningsnet. De handreiking draagt bij aan de verbeterde afstemming en samenwerking tussen netbeheerders en gemeenten.	De handreiking buurtaanpak is in september 2025 afgerond en gepubliceerd op de Kenniscommunity Netcongestie. De inzichten in de handreiking staan centraal in de Regiodagen.	Q3 2025	0-0,5 jaar
Methodiek rondom bulk – en koepelvergunningen	Onderzoek naar welke handvatten/instrumenten er zijn om vergunningsprocedures voor gemeentelijke energieprojecten te versnellen.	Het onderzoek is in juni 2025 afgerond en het rapport is gepubliceerd op Rijksoverheid.nl. De handreiking “Versnellen Gemeentelijke Energieprojecten van Publiek Belang” bouwt voort op één van de aanbevelingen uit het onderzoek.	Q3 2025	N.T.B.

Midden - en Laagspanning, Beleidsmaatregelen (2/3)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Uitbreiding Expertpool Energie-infrastructuur	De Expertpool ondersteunt gemeenten en provincies met extra personele capaciteit en expertise bij de realisatie van energie-infrastructuur, met name op het gebied van ruimtelijke ordening en inpassing. Sinds 2026 is de reikwijdte van de Expertpool uitgebreid met complexe hoog- en middenspanningsprojecten.	Voor de komende vijf jaar is aanvullende financiering uit het Klimaatfonds (€ 22,5 miljoen) beschikbaar gesteld, waardoor ondersteuning voor veel meer projecten mogelijk wordt.	Q1 2026 – Q4 2030	0,5 - 1 jaar
Onderzoek Beter Ontsluiten Publieke Data	Onderzoek naar hoe publieke data die essentieel is voor het ontwerp-, vergunnings- en realisatieproces van de energietransitie beter, sneller en uniform digitaal beschikbaar kan worden gesteld, zodanig dat deze direct inzetbaar zijn binnen geautomatiseerde engineering en werkvoorbereiding.	Het onderzoek is van start gegaan met een verwachte opleveringsdatum in Q2 2026.	Q2 2026	0,5 - 1 jaar
Handreiking Versnellen Gemeentelijke Energieprojecten van Publiek Belang	Gemeenten kunnen Artikel 5.55 uit de Omgevingswet gebruiken als instrument voor een versnelde procedure bij gemeentelijke energieprojecten van publiek belang. Het instrument wordt op dit moment nog weinig ingezet door gemeenten.	Een handreiking wordt uitgewerkt over de toepassing van Artikel 5.55 uit de Omgevingswet voor het versnellen van de realisatie van de elektriciteits-infrastructuur.	Q3 2026	0,5 - 1 jaar
Uniformering Vergunnings- en Indieningsvereisten	Op dit moment zijn er voor meerdere werkzaamheden diverse vergunnings- en indieningseisen. In deze maatregel worden de kansen onderzocht hier meer uniformiteit aan te brengen om de administratieve lasten te beperken.	Het onderzoek is in juni 2025 afgerond en wordt binnenkort gepubliceerd op de Kenniscommunity Netcongestie. De Handreiking Versnellen Gemeentelijke Energieprojecten van Publiek Belang bouwt voort op één van de aanbevelingen van het onderzoek.	N.T.B.	N.T.B.

Midden - en Laagspanning, Beleidsmaatregelen (3/3)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
TNO-Onderzoek Verzwaring LS-netten	TNO onderzoekt de kansen en knelpunten in het proces van de verzwaring van de LS-netten door regionale netbeheerders.”	Voor de komende vijf jaar is aanvullende financiering uit het Klimaatfonds (€ 22,5 miljoen) beschikbaar gesteld, waardoor ondersteuning voor veel meer projecten mogelijk wordt.	Q2 2026	N.T.B.
Overlegtafel Laagspanning	(Bestuurlijke) overlegtafel met gemeenten en netbeheerders gericht op de realisatie van laagspanningsprojecten. Doel van de overlegtafel is specifieke knelpunten uit de praktijk te agenderen en waar mogelijk gezamenlijk op te lossen.	Eerste overlegtafel vindt plaats in Q2 2026.	Doorlopend	0 - 0,5 jaar
Koppeling MS/LS aan Versnellingspakket HS	Het versnellingspakket dat in april ’25 is gepresenteerd richt zich voornamelijk op hoogspanningsprojecten. De LAN-partners inventariseren welke maatregelen direct toepasbaar (te maken) zijn voor midden- en laagspanning.	Analyse wordt gefinaliseerd in Q2 2026.	Q2 2026	N.T.B.
Projectenaanpak MS	(In verkenning) Vergelijkbaar met de projectenaanpak op hoogspanning richt deze aanpak zich op extra ondersteuning én versnelling van prioritaire MS-projecten.	Deze maatregel bevindt zich nog in de verkenningsfase.	Q2/3 2026	0,5 - 1,5 jaar

Kennisdeling

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Basisinformatie netcongestie en sneller bouwen	Beschikbaar stellen van basisinformatie en handreikingen over de aanleg van elektriciteitsinfrastructuur en netcongestie, voornamelijk voor netbeheerders en medeoverheden.	De basisinformatie is verzameld en is één van de bouwstenen van de Kenniscommunity Netcongestie, die in 2026 wordt doorontwikkeld.	Q3 2025	N.V.T.
Regiodagen Buurtaanpak	Regiodagen zijn bijeenkomsten tussen gemeenten, netbeheerder en betrokkenen waar de buurtaanpak met plaatselijke casuïstiek centraal staat. Eind 2025 is de eerste Regiodag georganiseerd in Noord-Oost Brabant met gemeente Den Bosch, netbeheerder Enexis.	Dit jaar volgen meer Regiodagen in andere provincies met verschillende gemeenten en netbeheerders.	Doorlopend	0 - 0,5 jaar
Leerkring Sneller Bouwen	De Leerkring is een cyclische bijeenkomst tussen energie en ruimtelijke ordening medewerkers van provincies en de partners van het LAN. Hierin worden relevante thema's besproken en kennis uitgewisseld.	De Leerkring wordt elke 2 maanden georganiseerd. In 2026 zullen er ongeveer 5 bijeenkomsten plaatsvinden	Doorlopend	N.V.T.
Doorontwikkeling Kenniscommunity Netcongestie	De Kenniscommunity is een website waar alle LAN producten zoals handreikingen, modelovereenkomsten, etc. op gedeeld worden. Op deze pagina worden ook best practices gedeeld om stakeholders die betrokken zijn bij de energietransitie te inspireren.	De Kenniscommunity is begin oktober gelanceerd en wordt in de loop van 2026 doorontwikkeld.	Doorlopend	N.V.T.
Organisatie Congres Energiesysteem en Ruimte	Jaarlijks congres dat zich richt op de toekomstbestendigheid van het energiesysteem in tijden van groeiende urgentie rondom netcongestie en ruimte schaarste,	Volgende editie vindt plaats op 15 april.	Q2 2026	N.V.T.

Versnelling procedures, Juridische Maatregelen (1/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Gedoogplicht van rechtswege in de ontwerpfase	Het wetsvoorstel wijzigt de Omgevingswet en voert opnieuw een gedoogplicht van rechtswege in voor de ontwerpfase van werken van algemeen belang. Met een gedoogplicht kan de overheid of netbeheerder een eigenaar verplichten om onderzoekswerkzaamheden op zijn grond te gedogen.	Het wetsvoorstel is afgerond en per 1 januari 2026 inwerking getreden. Voor meer informatie, zie de pagina van RVO.	Q3 2025	N.V.T.
Invoeren versnelde beroepsprocedures	Versnelde beroepsprocedure voor elektriciteitsprojecten vanaf 21 kV: alleen beroep bij de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State en niet langer ook bij de rechtbank. Als tegen besluiten voor elektriciteitsinfrastructuur, vooral middenspanning-projecten, beroep wordt ingesteld, kan de afhandeling daarvan jaren duren. Daardoor vertraagt de realisatie, er wordt dan vaak in de tussentijd ook niet altijd gebruik gemaakt van nog niet onherroepelijke vergunningen.	Momenteel ter advisering bij de Raad van State, advies wordt in maart verwacht.” Beoogde oplevering is “In afwachting van de Wet Versterking regie volkshuisvesting (VRO)	Doorlopend	0,5 - 1,5 jaar
Voorbereidingsbesluit Verlengen	Omdat projectfases lang kunnen duren, is bij complexe energie-infrastructuurprojecten de huidige termijn van een voorbereidingsbesluit (maximaal 1,5 jaar) soms te kort. Momenteel loopt na deze termijn de planologische bescherming af en kan deze niet verlengd of opnieuw aangevraagd worden. Door het verlengen van de termijn is er een langere bescherming tegen tegenstrijdige ontwikkelingen.	Interdepartementaal afgestemd wetsvoorstel.	Onderdeel van de Wijzigingswet Omgevingswet (VRO), op korte termijn in internetconsultatie.	Voorkomen van geen doorgang bij projecten.

Versnelling procedures, Juridische Maatregelen (2/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Invoeren Kostenverhaal	Het rechtelijk borgen van het kostenverhaal (gemaakte kosten door Rijk/provincies ophalen bij initiatiefnemers) via publiekrechtelijke overeenkomsten en het mogelijk maken van een publieksrechtelijke variant. Dit geeft duidelijkheid aan initiatiefnemers van projecten en voorkomt vertraging door onduidelijkheden over het al dan niet afsluiten van een vrijwillige privaatrechtelijke overeenkomst.	In voorbereiding	Q1 2028	Sneller opstarten van projecten
Verduidelijken Verkenningsfase	Wegnemen onduidelijkheden in de Omgevingswet bij de regeling voor publieksparticipatie in de verkenningsfase van de projectprocedure. Doel hiervan is meer ruimte te bieden voor maatwerk en flexibiliteit dan de huidige kaders	Interdepartementaal afgestemd wetsvoorstel	Onderdeel van de Wijzigingswet Omgevingswet (VRO), op korte termijn in internetconsultatie.	Enkele maanden

Planologie & Ruimte, Juridische Maatregelen

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Coronageluid	Bovengrondse delen van hoogspanningsverbindingen kunnen geluideffecten veroorzaken. Dit heet coronageluid. Deze maatregel regelt dat er voor bestaande HS-verbindingen (≥110 kV) geen strengere geluidsregels kunnen worden gesteld. Daarnaast wordt een uniforme aanpak van geluid door HS-verbindingen geïntroduceerd met een instructieregel in het Besluit kwaliteit leefomgeving.	Wordt uitgewerkt	Q2 2027	0 – 0,5 jaar.
Vergunningsvrije ruimte bij kleine uitbreidingen van stations	Op dit moment wordt verkend of de vergunningverlening voor uitbreidingen van bestaande hoogspanningsstations kan worden vereenvoudigd. Kleine bouwwerken en andere uitbreidingen passen vaak niet binnen de huidige omgevingsplannen vanwege beperkingen zoals bouwhoogte of bouwvlak. De procedures die hiervoor moeten doorlopen kosten tijd.	In verkenning.	Q4 2027	0 – 0,5 jaar.
Versnellen van vergunningsproces voor tijdelijke infrastructuur	Ook het vereenvoudigen van vergunningverlening voor tijdelijke bouwwerken en bouwactiviteiten die nodig zijn voor het realiseren van nieuwe permanente elektriciteitsinfrastructuren wordt verkend.	In verkenning.	Q4 2027	0 – 0,5 jaar.
Betere planologische bescherming van 110/150kV	Er wordt verkend of de bescherming van 110/150 kV-verbindingen gelijk kan worden getrokken met die van 220/380 kV-verbindingen in het omgevingsplan. Op dit moment worden deze verbindingen niet automatisch vastgelegd in het omgevingsplan, wat kan leiden tot conflicterende ruimtelijke ontwikkelingen en onvoorziene verleggingen.	In verkenning.	Q4 2027	N.T.B.

Overige Maatregelen (1/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Implementatie REDIII	In de implementatie van REDII wordt onderzocht of versnellingsgebieden kunnen worden aangewezen voor snellere vergunningsverlening en optie tot financiële compensatie van natuurschade.	In de kamerbrief van 6 oktober is gecommuniceerd dat de meerwaarde van REDIII zeer beperkt is. Desondanks moet de richtlijn wel geïmplementeerd worden in nationale regelgeving en zal het wetvoorstel hiervoor binnenkort behandeld worden door de Tweede Kamer.	Q4 2025	N.V.T.
Prioriteren Raad van State	Onderzoek naar de mogelijkheid om doorlooptijden voor aangewezen elektriciteitsprojecten vanaf 21kv of meer te verkorten door de beroepsprocedure de versnellen bij de Raad van State.	Het onderzoek naar de mogelijkheid om de beroepsprocedure bij de Raad van State te verkorten voor elektriciteitsprojecten is in september afgerond. Dit is niet mogelijk in verband met de prioriteit van woningbouw.	Q3 2025	N.V.T.
Aanpak stikstofvergunningen voor energie-infrastructuur	De aanleg van bepaalde energie-infrastructuurprojecten wordt door stikstofbeperkingen 3 tot 12 maanden vertraagd. De Europese Commissie biedt met het voorstel van het Grids Package een oplossing voor deze problematiek. Door het voorstel zouden de gevolgen van stikstofdeposities door de aanleg van elektriciteitsinfrastructuur niet mee hoeven te worden genomen in een beoordeling van natuureffecten.	Onderhandelingen vinden plaats over het pakket in Raadswerkgroepen Energie. Parallel aan onderhandelingen in Europa wordt onderzocht hoe dit voorstel geïmplementeerd kan worden in nationale wetgeving.	2028	0,5 - 1 jaar

Overige Maatregelen (2/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering	Tijdswinst
Projectenaanpak	Met de Projectenaanpak wordt de regierol van het Rijk versterkt voor de versnelling van 26 urgente elektriciteitsinfrastructuur projecten op de korte termijn. Sinds september 2025 is gewerkt aan het opzetten van een nieuwe manier van samenwerken tussen Tennet, KGG en regionale overheden.	Komende maanden worden de projectplanningen geconcretiseerd en verwerkt in de halfjaarlijkse update van het TenneT investeringsplan. Het aantal projecten in de Projectenaanpak zal komende maanden worden uitgebreid.	Doorlopend	0,5 – 1,5 jaar
Gebiedsinvesteringen	Voor recente/aankomende projecten op 220kV/380kV is door het kabinet €197 mln. beschikbaar gesteld voor gebiedsinvesteringen. Het doel is een bijdrage leveren aan verbeteren van de leefomgevingskwaliteit van direct omwonenden in gemeenten waarbinnen deze projecten bovengemiddeld veel impact hebben.	De regeling is nog in ontwikkeling met Q2 als streefdatum voor de publicatie/ openstelling en Q3 voor de eerste uitkeringen. Voor projecten op 110 kV/150 kV niveau wordt onderzocht of hiervoor ook een soortgelijke regeling opportuun is	Q2/Q3 2026	N.T.B.
Interne Maatregelen TenneT	Een kernonderdeel van de versnellingsaanpak is een grondige herziening van de werkwijzen van TenneT. Hierbij wordt onder andere ingezet op het versnellen van processen door ze meer gelijktijdig te laten verlopen en het standaardiseren van processen die nu maatwerk zijn.	De interne reorganisatie bij TenneT is gereed in Q2 2026. Daarna zullen de interne maatregelen geïmplementeerd worden.	2026/2027	0,5 – 1,5 jaar



Indicatoren

Op de volgende pagina’s worden de belangrijkste indicatoren beschreven, afkomstig uit de laatste Stand van de Uitvoering van Netbeheer Nederland. Dit zijn indicatoren die verbonden zijn met het uitbreiden en verzwaren van het net.

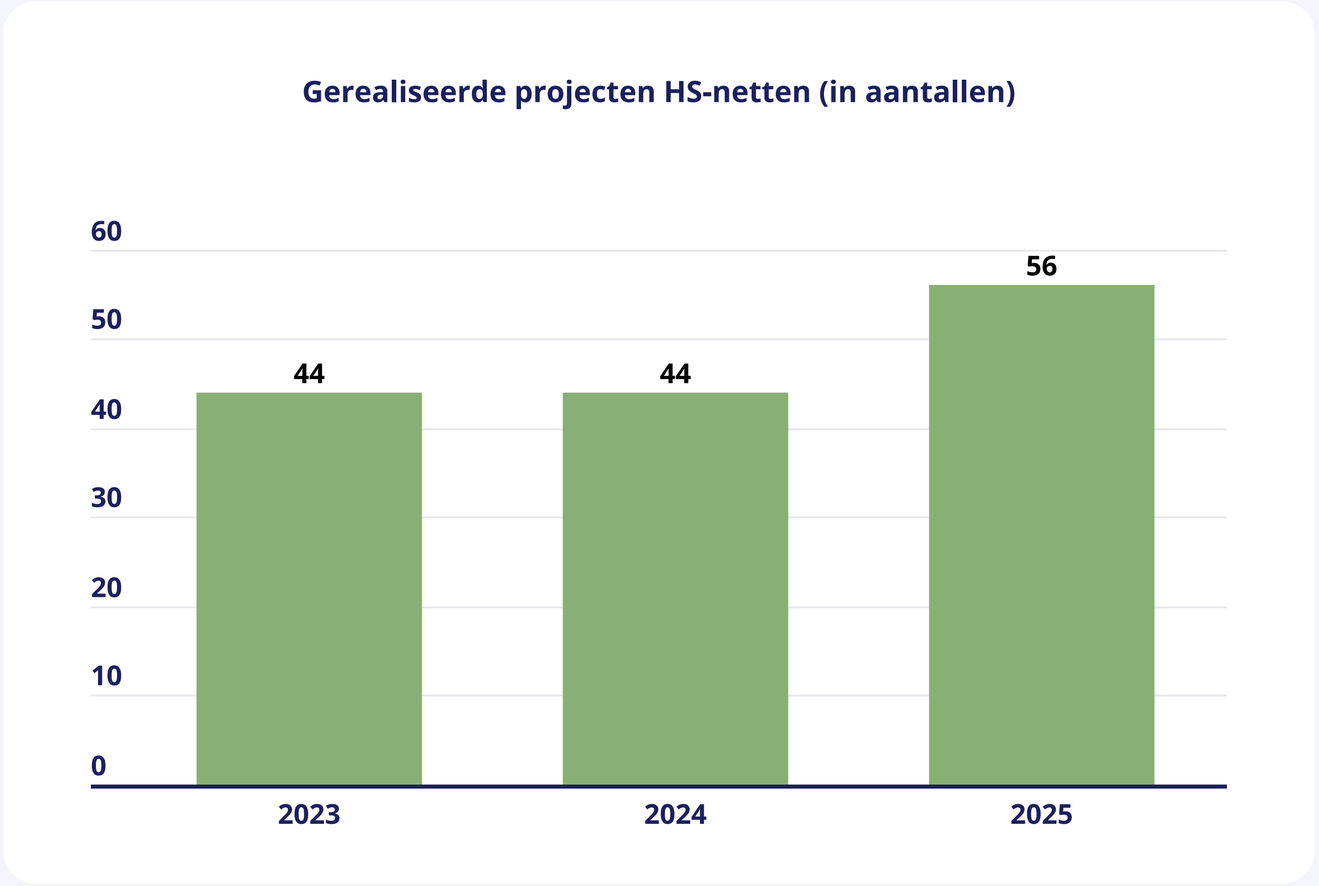
Gerealiseerde uitbreidingen hoogspanningsnetten

Het hoogspanningsnet verbindt grootschalige opwek, internationale verbindingen en regionale netten met elkaar.

In 2025 zijn 56 projecten gerealiseerd. De uitbreiding van het hoogspanningsnet is van uitzonderlijke schaal. Een nieuw station beslaat al snel vijftien voetbalvelden en de doorlooptijd bedraagt gemiddeld tien jaar. Vergunningprocedures, ruimtelijke inpassing, afhankelijkheden tussen projecten en schaarste aan personeel en materiaal bepalen in belangrijke mate het tempo.

De figuur op de volgende pagina laat zien hoe de portefeuille van lopende projecten groeit en hoe deze is opgebouwd uit verschillende typen projecten. Het aantal lopende projecten stijgt met 256 projecten, van 659 (2024) naar 915 (2026) volgens de recente investeringsplannen van TenneT. Vooral het aantal klantgedreven uitbreidingsprojecten neemt sterk toe. Daarmee groeit de projectportefeuille en wordt gewerkt aan structurele uitbreiding van de transportcapaciteit. Tegelijkertijd blijft versnelling nodig.

De focus van nieuwe capaciteitsprojecten ligt steeds nadrukkelijker op het oplossen van knelpunten. Daardoor leveren de projecten die nu in uitvoering zijn meer structurele netruimte op.



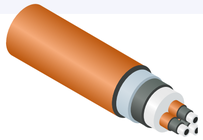
 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

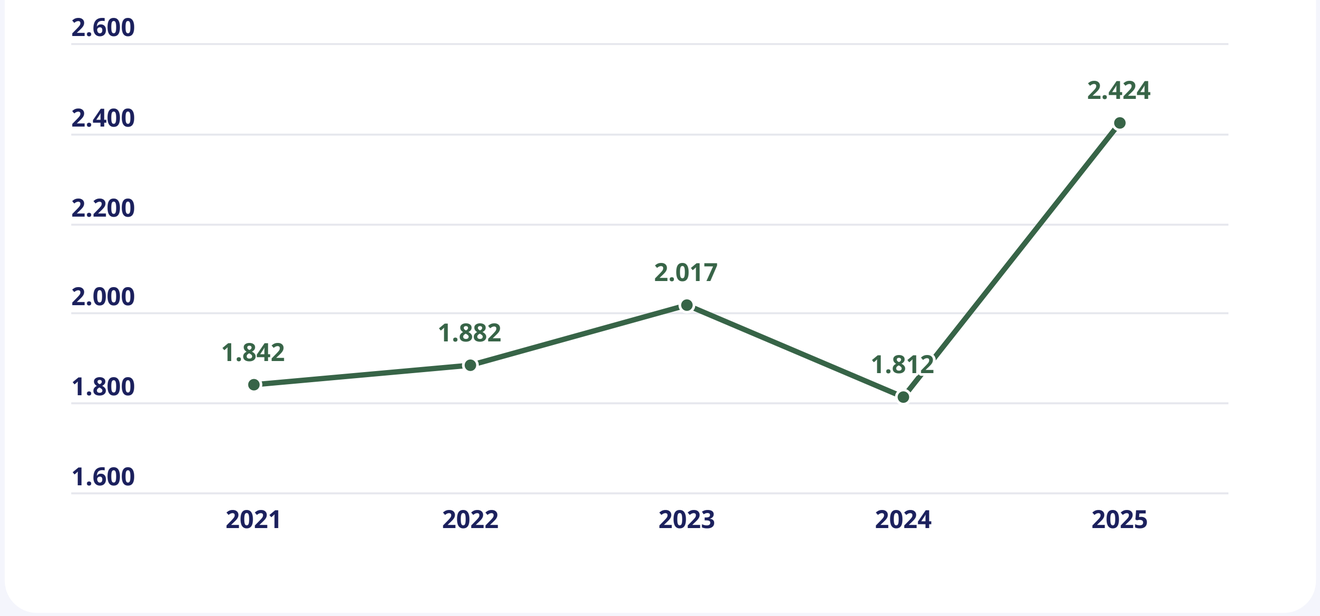
Gerealiseerde uitbreidingen middenpanningsnetten

Het middenspanningsnet vormt de schakel tussen het hoogspanningsnet en woonwijken, bedrijventerreinen en grootschalige opwek. Om inzicht te geven in wat er op het middenspanningsniveau (1 tot 110 kV) gerealiseerd is, wordt de aanleg van kabels, stations en aansluitingen getoond.

Het middenspanningsnet vormt de schakel tussen het hoogspanningsnet en woonwijken, bedrijventerreinen en grootschalige opwek. Om inzicht te geven in wat er op het middenspanningsniveau (1 tot 110 kV) gerealiseerd is, wordt de aanleg van kabels, stations en aansluitingen getoond.

De uitbreiding van het middenspanningsnet zet door. In 2025 is 2.424 kilometer middenspanningskabel aangelegd, een duidelijke stijging ten opzichte van 2024 (1.812 km).



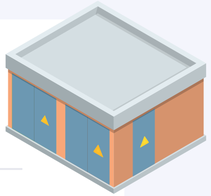


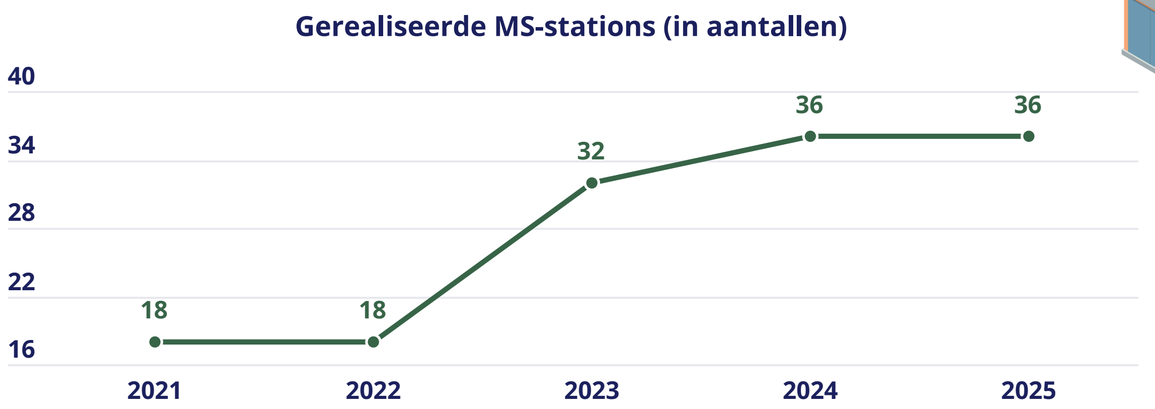
 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Deze toename is het positieve effect van de gebiedsaanpak die door de regionale netbeheerders is ingezet. Bij de gebiedsaanpak verschuiven in toenemende mate de werkzaamheden van de netbeheerder naar de aannemer. De aannemer kan hierdoor de werkzaamheden binnen een gebied efficiënter inrichten en uitvoeren. Ook worden vaker meerdere kabels tegelijk aangelegd om capaciteit sneller uit te breiden. Dit leidt, zoals zichtbaar wordt in de realisatiecijfers, tot een hogere productie.

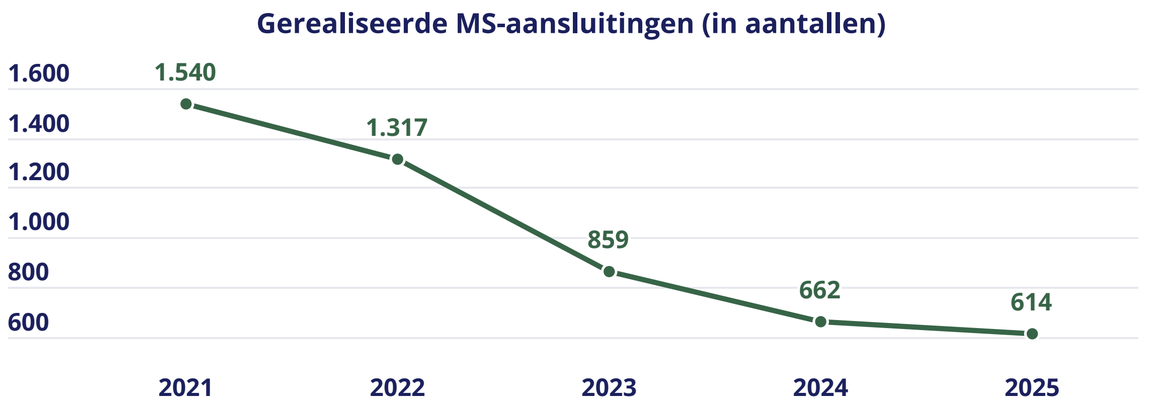
In 2025 zijn 36 middenspanningsstations gerealiseerd, evenveel als in 2024. De bouwtijd van een station is aanzienlijk verkort, doordat steeds vaker kant-en-klare onderdelen worden aangeleverd die op locatie snel kunnen worden samengevoegd. Het verkrijgen van locaties en het doorlopen van wettelijke procedures zorgen er echter voor dat de totale doorlooptijd nog steeds lang blijft. Verdere versnelling is daarom vooral afhankelijk van verbeteringen in deze processtappen.

Hoewel de snelheid van de uitbreidingen toeneemt, is er nog steeds een gebrek aan capaciteit op het elektriciteitsnet. Hierdoor kunnen bedrijven niet of nauwelijks aangesloten worden. Dat leidt tot een daling van de realisatie van nieuwe middenspanningsaansluitingen.









Gerealiseerde uitbreidingen laagspanningsnetten

Het laagspanningsnet (≤ 1kV) verbindt huishoudens, publieke laadpunten en onbemande objecten zoals waterpompen, GSM-masten en openbare verlichting met het elektriciteitsnet.

Netbeheerders breiden het laagspanningsnet in hoog tempo uit. In 2025 is 2.015 kilometer aan kabels gelegd. Daarnaast is er een stijging zichtbaar in het aantal geplaatste transformatorhuisjes.

De stijging is te verklaren door de buurtaanpak, waarbij wijk voor wijk het laagspanningsnet wordt verzwaard. Net als bij de gebiedsaanpak verschuiven werkzaamheden steeds meer van de netbeheerder naar de aannemer. Door niet per straat maar per wijk te werken aan uitbreiding van het laagspanningsnet, kunnen aannemers het werk efficiënter organiseren en uitvoeren. De relatie tussen netbeheerders en aannemers ontwikkelt zich daarbij steeds nadrukkelijker tot een gelijkwaardig partnership.

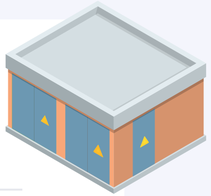
Daarnaast passen aannemers nieuwe werkmethoden toe. Op veel locaties wordt bijvoorbeeld spanningsloos gewerkt. Dat is veiliger voor monteurs en maakt het mogelijk om per dag meer kabels te leggen. Ook worden buurten steeds vaker tijdelijk volledig afgesloten voor verkeer, zodat aannemers goed door kunnen werken. Bewoners ervaren hierdoor kortdurend extra hinder, maar de werkzaamheden zijn sneller afgerond. Netbeheerders en aannemers delen best practices, zodat opgedane kennis in volgende buurten kan worden toegepast.

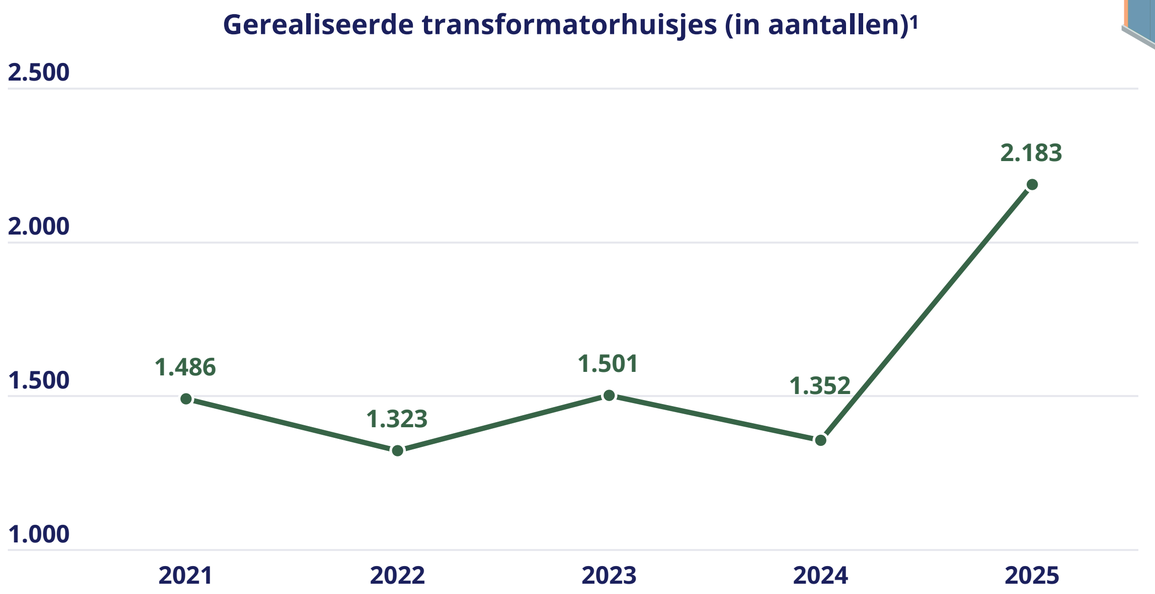


 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Naast deze versnellingskansen wordt ingezet op verdere digitalisering van het proces en op innovatie. Zo worden momenteel stekkerbare kabels en tegelwippers getest. Daarnaast is in 2025 onder de noemer ‘LV Next’ een marktuitvraag gedaan naar innovatieve ideeën met de ambitie de werkzaamheden met factor tien te versnellen.

Het tempo van verdere uitbreiding is afhankelijk van geschikte locaties voor transformatorhuisjes en soepele vergunningverlening door gemeenten. Ook op deze onderdelen is blijvende aandacht vereist.





[1] *De cijfers van 2024 wijken significant af van de cijfers die vorig jaar zijn gepresenteerd. Dat komt door een administratieve wijziging bij Enexis. In 2024 werden transformatorhuisjes waar één klant op werd aangesloten ook meegeteld als transformatorhuisjes, maar in 2025 niet meer.*

Om een betere vergelijking tussen 2024 en 2025 mogelijk te maken, is deze correctie ook doorgevoerd in het cijfer van 2024. Hierdoor lijkt het alsof er in 2024 minder gerealiseerd is, omdat de realisatie berekend wordt op basis van het verschil in aantal stations tussen de jaren.

Stand van zaken buurtaanpak

Netbeheerders gebruiken de buurtaanpak als gestandaardiseerde manier om het elektriciteitsnet buurt voor buurt toekomstbestendig te maken. Daarbij worden extra transformatorhuisjes geplaatst en kabels aangelegd, zoveel mogelijk in één keer per buurt. Dit gebeurt in afstemming met gemeenten over locatiekeuze, planning, het beperken van overlast en het uitgeven van vergunningen.

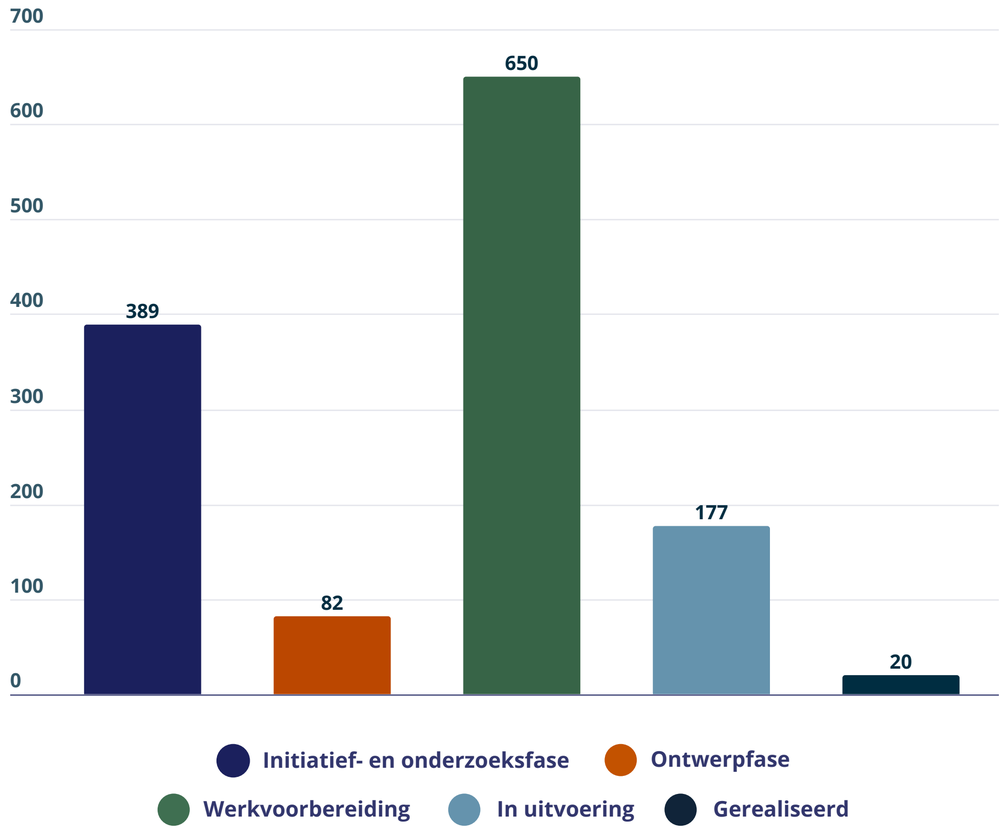
In 2024 verzwaarden netbeheerders 11 buurten; in 2025 waren dat er 20. Het aantal woningen per buurt verschilt echter sterk, waardoor de omvang van de realisatie niet goed met deze indicator alleen kan worden weergegeven. De ontwikkeling van het aantal laagspanningskabels en transformatorhuisjes geeft dit beter weer. Netbeheerders starten bovendien met de buurten waar de noodzaak van verzwaring het grootst is. Dat zijn vaak ook complexe opgaven, waardoor het langer kan duren voordat een buurt volledig is verzwaard.

Eind 2025 werken netbeheerders in 1.298 buurten aan uitbreiding van het net, van onderzoek tot en met uitvoering. Een jaar eerder betrof dit 563 buurten. De groei van de werkvoorraad laat zien dat de gebiedsgerichte aanpak breed wordt toegepast en de basis legt voor verdere uitbreiding in de komende jaren. Inmiddels zijn in alle regio's de contracten met aannemers afgesloten, zodat de uitvoering overal kan beginnen.



1298 buurten totaal in uitvoering

Buurten per fase in de buurtaanpak in 2025 (in aantallen)



De faseringen van de netbeheerders lopen niet hetzelfde, dus de aantallen zijn geconsolideerd.



Hoofdstuk 2

Beter benutten

Grootverbruikers*

**Een samenvoeging van de actielijnen Beter Benutten Mogelijk Maken en Beter Benutten Bedrijven en Instellingen*

Doelstelling

Doel: Efficiëntere netbenutting door en voor grootverbruikers om meer partijen toegang te geven tot transportcapaciteit.

- Stimulering flexibel netgebruik bij bedrijven en instellingen met een grootverbruikersaansluiting
- Bieden van handelingsperspectief aan bedrijven en instellingen die te maken hebben met netcongestie
- Ontwikkelen en verbeteren van de instrumenten die het beter benutten van het net mogelijk maken
- Zorg dragen voor de implementatie en de uitrol van deze instrumenten



Terug- en vooruitkijken

Voortgang afgelopen periode:

- 1e openstellingsronde Flex-e regeling, in totaal zijn circa 550 aanvragen gehonoreerd waarmee bedrijven flexscans, haalbaarheidsstudies en investeringen in flexibiliteitsmaatregelen hebben kunnen doen.
- Nieuw besluit ACM prioriteringskader voor voorrang voor aanvragers met een groot maatschappelijk belang en congestieverzachters.
- Afronding verschillende onderzoeken rondom het zwaarder belasten van het net, flexibiliteitspotentieel in sectoren en de impact van het subsidie-instrumentarium van RVO op netcongestie.
- Publicatie codebesluiten rondom nieuwe contractvormen: groepstransportovereenkomst en capaciteitssturingscontract

Prioriteiten komend jaar:

- 2e openstellingsronde Flex-e regeling met een uitbreiding van de doelgroep en een nieuwe subsidiecategorie specifiek voor het ontsluiten van flexibiliteit voor congestiemanagement
- Implementatie en doorontwikkeling van de verschillende contractvormen.
- Opvolging aanbevelingen uit de verschillende onderzoeken, bijvoorbeeld uit het zwaarder belasten onderzoek het inzetten van de vluchtstrook of aanpassen EMC eisen verder uitwerken, om zo meer partijen aan te sluiten.
- Doorontwikkeling Loket Netcongestie met relevante informatie voor bedrijven en instellingen

Overzicht van acties (1/2)

Adoptie flexoplossingen

- Analyse congestiemanagement – effectiviteit ontsluiten flex
- Harmoniseren naamgeving contracten LNB en RNBs
- Uitrol nieuwe contracten stimuleren bij netbeheerders
- Analyse flexibiliteitspotentieel sectoren
- Congestieneutrale energiehubs
- Monitoring uitrol contractvormen

Inrichten systeem

- Analyse subsidie-instrumentarium voor netcongestieneutraliteit
- Afschakelplannen netbeheerders
- Interactie inzet CBC-redispatch op de markt
- Onderzoeken mogelijkheden standaard flex na verzwaring
- Opschonen wachtrij en rechtvaardigheid toekennen plek op wachtrij
- Inzet Flextenders verbeteren

Technische capaciteit vergroten

- Analyse congestiemanagement – prognoses
- Inzet gasgestookte opwek voor netcongestie
- Onderzoek zwaarder belasten van het net
- Locaties flexibiliteit voor netcongestie verkennen
- Inzet grootschalige batterijen voor invoedings- en afnamecongestie

Overzicht van acties (2/2)

Handelingsperspectief

- Sectorale aanpak
- Ondersteunen MKB
- Flex-e subsidie
- Inzicht wachtrij
- Loket netcongestie

Juridische instrumenten

- Groeps CBC mogelijk maken
- Capaciteitssturingscontract mogelijk maken
- Non firm ATO mogelijk maken (VVTR)
- Uitwerking alternatieve transportrechten (TBTR en TDTR)
- Uitbreiden mogelijkheden cable pooling
- Groeps-TO mogelijk maken
- Groeps-CBC mogelijk maken
- Tijdsduurgebonden transportrecht op RNB vlak
- Tijdsafhankelijke transporttarieven RNB
- Codebesluit GOTORK

1. Adoptie flexoplossingen (1/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Analyse flexibiliteitspotentieel sectoren	Via een onderzoek wordt gekeken naar verschillende sectoren (logistiek, kantoren, datacenters en chemische industrie) om een beeld te krijgen van het flexpotentieel en de benodigde incentives om te gaan flexibiliseren.	Het rapport is opgeleverd. De mate van flexibiliteit en de kosten daarvoor variëren per sector. Het rapport doet verschillende aanbevelingen om dit potentieel te ontsluiten. Hiermee wordt aan de slag gegaan bij andere lopende acties.	Q1 2026
Analyse congestiemanagement-effectiviteit ontsluiten flex	Door middel van een onderzoek met onder andere diepte-interviews wordt gekeken naar de wijze waarop de netbeheerders congestiemanagement uitvoeren en de barrières en motivaties die ondernemers ervaren voor het leveren van flexibiliteit.	Het onderzoek wordt uitgevoerd door BlueTerra en Trinomics.	Q2 2026
Harmoniseren naamgeving contracten LNB en RNBs	De verschillende nieuwe contractvormen worden momenteel onder verschillende namen door de verschillende netbeheerders aangeboden. Deze naamgeving wordt zoveel mogelijk geharmoniseerd om de uitrol te vergemakkelijken en herkenbaarheid te vergroten.	Voor nieuwe contractvormen wordt uniforme naamgeving standaard doorgevoerd, bij bestaande contractvormen wordt er per contract gekeken wanneer dit kan.	Q4 2025

1. Adoptie flexoplossingen (2/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Uitrol nieuwe contractvormen stimuleren bij netbeheerders	Netbeheerders en marktvertegenwoordigers informeren en stimuleren actief bedrijven en instellingen om gebruik te maken van de mogelijkheden van de nieuwe flexcontracten (aanbodkant verbeteren).	Netbeheerders spannen zich in om in congestiegebieden meer regelbaar vermogen te contracteren. Dat doen zij door o.a. flextenders, flex ontsluiten bij nieuwe klanten, en bestaande klanten te benaderen. De netbeheerders maken afspraken hierover met de ACM in het kader van het verbeterplan*.	Q2 2026
Congestieneutrale voorwaarden energiehubs	Het programma Energiehubs (waarin gewerkt wordt aan de ambitie van het realiseren van 500 energiehubs) verder uitgewerkt, vanuit het LAN wordt meegedacht over de randvoorwaarden om energiehubs congestieneutraal of -positief in te passen.	Het programma Energiehubs wordt verder uitgewerkt.	2030
Monitoring	De implementatie en uitrol van de contractvormen wordt gemonitord en besproken met de stakeholders om knelpunten tijdig te identificeren en adresseren.	Elk kwartaal wordt de implementatie en uitrol van contractvormen besproken met stakeholders.	Doorlopend

* *ACM: netbeheerders moeten meer prioriteit geven aan maatregelen die slimmer netgebruik mogelijk maken | ACM*

2. Handelingsperspectief

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Beslisboom voor bedrijven	De Wegwijzer op de RVO-website biedt bedrijven inzicht in welke oplossingen geschikt zijn voor welke situatie, zodat de instrumenten effectiever kunnen worden geïmplementeerd.	Met de laatste update van de Wegwijzer is deze actie afgerond, De Wegwijzer is onderdeel van het loket en zal op die manier bijgehouden worden.	Q4 2025
Sectorale aanpak	Met verschillende sectoren wordt gewerkt aan een sectorspecifieke aanpak voor het bieden van handelingsperspectief en het ontsluiten van flex.	De aanpakken bevinden zich in verschillende stadia van gereedheid.	Verschilt per sector
Ondersteunen mkb	Inspanningen om het mkb handelingsperspectief te geven, flex te ontsluiten en te ondersteunen bij netcongestie, onder andere via een subsidie aan MKB Nederland.	Subsidie is verleend aan MKB Nederland, concrete maatregelen, zoals een opleiding voor installateurs, worden nu verder uitgewerkt.	Doorlopend
Flex-e subsidie	Financiële ondersteuning voor bedrijven en instellingen om hen te helpen flexibiliseren om te kunnen vestigen, groeien of verduurzamen en om regelbare flexibiliteit voor congestiemanagement te ontsluiten via een subsidieregeling.	De 2e ronde openstelling staat gepland voor mei 2026 waarbij de doelgroep is uitgebreid en een extra categorie is toegevoegd.	Q4 2026
Inzicht wachtrij	Een analyse om meer inzicht te ontwikkelen over ondernemers in de wachtrij en hun behoeften om hier beter op in te kunnen spelen.	RVO is bezig met het onderzoek en kijkt naar uitbreiding van het aantal respondenten.	Q4 2026
Loket netcongestie	Het inrichten van een digitaal loket waar gerichte en betrouwbare informatie te vinden is over netcongestie om bedrijven en instellingen handelingsperspectief te bieden bij netcongestie.	De website is live bij RVO en wordt continu verbeterd en geüpdatet.	Doorlopend

3. Inrichten systeem (1/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Analyse van het subsidie-instrumentarium voor netcongestieneutraliteit	Analyseren van de invloed op en de kansen van het huidige subsidie-instrumentarium voor het mitigeren van netcongestie.	RVO heeft het onderzoek afgerond. RVO en KGG gaan nu aan de slag met de aanbevelingen.	Q4 2025
Onderzoeken mogelijkheden standaard flex na verzwaring	Onderzoeken in welke situatie het standaard aanbieden van een flexcontract wenselijk is. En hoe omgegaan wordt met de bestaande (flex) contracten na verzwaring.	Deze actie is onderdeel van het Aansluitoffensief en wordt daar verder opgepakt.	
Afschakelplannen netbeheerders	Set aan uniformele, operationele afspraken vastleggen over het proces van afschakeling wanneer vrijwillige en verplichte redispatch en de marktuitvraag te weinig opleveren en overbelasting van het net dreigt, met hierin een duidelijke beschrijving van het proces en de te volgen stappen.	Netbeheerders hebben uniforme operationele afspraken vastgesteld rondom afschakelen bij overbelasting van netcomponenten. De ruimte voor maatschappelijke afwegingen is beperkt gezien er meestal direct gehandeld moet worden bij overbelasting. In overleg met de netbeheerders wordt nog bepaald of hiermee voldoende invulling is gegeven aan de actie.	Q2 2026
Interactie inzet CBC-redispatch op de markt	CBC en redispatch zijn twee contractvormen om flexibiliteit te ontsluiten, in deze actie wordt de behoefte aan beide en beleid rondom het kiezen van een van de twee in kaart gebracht.	Actie wordt op gepauzeerd totdat producten en de markt voldoende volwassen zijn.	

3. Inrichten systeem (2/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Nieuw besluit voorrang maatschappelijke projecten op stroomnet	Nieuw besluit over het prioriteringskader met betere onderbouwing om te zorgen dat congestieverzachters en aanvragen met een groot algemeen belang met voorrang kunnen worden aangesloten.	Het nieuwe prioriteringskader is ingegaan op 31 december 2025.	Q1 2026
Inzet flextenders verbeteren	Met een flextender kan de netbeheerder voor een langere periode op strategische plekken flexibel vermogen contracteren. Via een landelijk kader worden uniformele afspraken over het proces rondom flextenders vastgesteld. Deze afspraken worden daarna door de netbeheerders geïmplementeerd.	Het kader is afgerond en alle partijen zijn akkoord.	Q1 2026
Opschonen wachtrij en rechtvaardigheid toekennen plek op wachtrij	Er wordt gewerkt aan het verbeteren en verduidelijken van de wachtrijsystematiek. Ook wordt er een internationale verkenning naar wachtrijsystematieken in het buitenland uitgevoerd.	De netbeheerders hebben het wachtrijproces verduidelijkt (o.a. via webpagina's) en geharmoniseerd. Ook is de wachtrij, met name bij TenneT, opgeschoond. Daarnaast is het onderzoek naar buitenlandse wachtrijsystematiek is afgerond. Momenteel worden de aanbevelingen geoperationaliseerd.	Q2 2026

4) Juridische instrumenten (1/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Uitwerking alternatieve transportovereenkomsten (Tijdsblokgebonden transportrecht en tijdsduurgebonden transportrecht)	Mogelijk maken van specifieke vormen van non firm ATOs namelijk het tijdsduurgebonden- (op TenneT-vlak) en tijdsblokgebondencontract (RNB-vlak) door codebesluiten.	Implementatie is afgerond en alle TDTR capaciteit is volledig vergeven en de contracten worden afgesloten. De verdere uitrol is onderdeel van de verbeterplannen*. De uitrol wordt verder gemonitord.	Q1 2026
Capaciteitssturingscontract mogelijk maken	Mogelijk maken voor netbeheerders om aan partijen te vragen om meer of minder in te voeden of af te nemen in ruil voor financiële vergoeding, vastgelegd in een codebesluit.	Op 12 december is het definitieve codebesluit gepubliceerd, netbeheerders hebben simultaan gewerkt aan de implementatie. In het aansluitoffensief wordt met het bedrijfsleven gewerkt aan het verbeteren van de voorwaarden.	Q1 2026
Non-firm ATO mogelijk maken (volledig variabel transportrecht)	Mogelijk maken van contracten zonder gegarandeerde transportcapaciteit om het net niet verder te belasten zodat partijen voor wie dit passend is, toch transportcapaciteit kunnen krijgen vastgelegd in een codebesluit.	Product wordt aangeboden door TenneT, regionale netbeheerders werken aan de implementatie, dit is onderdeel van de verbeterplannen* die de netbeheerders bij de ACM hebben aangeleverd.	Q2 2029
Groeps-CBC mogelijk maken	Mogelijk maken voor een groep bedrijven om samen deel te nemen aan congestiemanagement middels een codebesluit.	Netbeheerders werken aan de implementatie, dit is onderdeel van de vvdcdscsdvdsvsdvsd* die de netbeheerders bij de ACM hebben aangeleverd.	Q4 2026

* *definitieve oplevertermijn wordt bepaald in verbeterafspraken ACM en netbeheerders*

4) Juridische instrumenten (2/2)

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Tijdsduurgebonden transportrecht op RNB vlak	Mogelijk maken van een tijdsduurgebonden transportrecht voor aangeslotenen bij de regionale netbeheerder waarmee de aangeslotene recht heeft op transport gedurende een percentage van de uren op jaarbasis door een codebesluit.	In verband met een gebrek aan ruimte op het net voor dit product, en onduidelijkheid over de behoefte van de markt wordt deze actie voorlopig niet verder opgepakt. Daarnaast is er beperkte implementatiecapaciteit bij de netbeheerders.	
Uitbreiding mogelijkheden cable pooling	Uitbreiden van de wettelijke mogelijkheden van cable pooling (delen van een kabel met verschillende aansluitingen) voor andere technieken dan zon en wind zodat kabelcapaciteit volledig benut kan worden middels opname in de Energiewet.	Cable pooling is wettelijk mogelijk met inwerkingtreding van Energiewet 1 januari 2026.	Q1 2026
Codebesluit niet gebruikte transportrechten GOTORK (Gebruik op Tijd of Raak Kwijt)	Met een codebesluit mogelijk maken voor netbeheerders om niet-gebruikte transportrechten terug te nemen en opnieuw uit te geven. Hiermee wordt ruimte op het bestaande net gemaakt voor andere partijen.	Netbeheerders werken aan de implementatie. De regionale netbeheerders ronden hun pilots af en de landelijk netbeheerder zal nu GOTORK ook gaan toepassen.	Q3 2026
Groepstransportovereenkomst mogelijk maken	Door middel van een codebesluit mogelijk maken van een overeenkomst waarbij een groep netgebruikers een gezamenlijk transportvermogen krijgt toegekend.	Op 19 december 2025 is het definitieve codebesluit gepubliceerd. Netbeheerders werken aan de implementatie voor Q1 2027.	Q1 2027
Tijdsafhankelijke transporttarieven Regionale Netbeheerder	Via een codebesluit wijzigen van nettarieven voor grootgebruikers op de netten van de regionale netbeheerders om met financiële prikkels de piekvraag te verlagen.	De netbeheerders hebben het codewijzigingsvoorstel ingediend bij de ACM, de ACM werkt aan een codebesluit.	2028

5) Technische capaciteit vergroten

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Analyse congestiemanagement – prognoses	Een analyse rondom congestiemanagement specifiek gericht op de aannames die door de netbeheerders gedaan worden in congestieonderzoeken.	Het onderzoek is uitgezet. Netbeheerders werken aan verbeteren van prognoses, in het Aansluitoffensief wordt besproken hoe stakeholders beter betrokken kunnen worden bij dit proces.	Q2 2026
Inzet gasgestookte opwek voor netcongestie	Het nader verkennen van de inzet van het bestaande gasgestookte vermogen voor congestiemanagement met een focus op centrales die, rekening houdend met de voor- en nadelen en juridische mogelijkheden, het meeste potentieel tonen.	Netbeheerders hebben het potentieel geanalyseerd en de uitdagingen voor het ontsluiten daarvan worden nu in kaart gebracht.	Q2 2026
Onderzoeken mogelijkheden zwaarder belasten van het net	Door middel van een onderzoek inzicht krijgen in wat er al gebeurt en welke mogelijkheden er nog zijn om het net zwaarder te belasten, inclusief de benodigde afwegingen.	Het onderzoek is afgerond. KGG, ACM, netbeheerders en marktpartijen gaan aan de slag met de aanbevelingen.	Q1 2026
Locaties flexibiliteit voor netcongestie verkennen	Het vergroten van inzicht in de flexbehoefte van de netbeheerder, bijvoorbeeld in de vorm van grootschalige batterijen, op het midden- en hoogspanningsnet voor het mitigeren van opwek- en afname-congestie.	De netbeheerders hebben hun flexbehoefte op verschillende wijze in kaart gebracht en dit wordt in 2026 opgenomen in de capaciteitskaart.	Q4 2026
Inzet grootschalige batterijen voor invoedings- en afnamecongestie	Een onderzoek naar de rol van grootschalige opslag bij het mitigeren van afname- en invoedingscongestie met als doel om hier adequaat beleid op te kunnen maken.	DNV is eind januari begonnen met het onderzoek.	Q2 2026

Contractvormen (1/2)

In dit overzicht is zichtbaar welke producten er op dit moment aangeboden worden bij welke netbeheerder afkomstig uit de producten- en dienstencatalogus van Netbeheer Nederland (januari 2026).

	opwek	afname	wachtrij	actieve aansluiting	Te[4]	En[2]	Li[3]	St[4]	Co[5]	Re[6]	Wt[7]
Mogelijkheden voor grootverbruikers binnen het gecontracteerd vermogen (GTV)											
Cablepooling	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			
Groepstransportovereenkomst (GTO)	✓	✓	✓	✓	Beschikbaar vanaf Q1 2027						
Gesloten Distributiesysteem (GDS)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Alternatief Transportrecht											
Blokstroom (tijdsblokgebonden transportrecht	✓	✓	✓	✓		✓	Vanaf Q1 ‘26	Vanaf Q1 ‘26	Vanaf Q1 ‘26	Vanaf Q1 ‘26	✓
Tijdsduurgebonden transportrecht	✓	✓	✓	✓	✓						
Reststroom (volledig variabel transportrecht)	✓	✓	✓	✓	✓	Vanaf Q2 ‘29	Vanaf Q2 ‘29	Vanaf Q2 ‘29	Vanaf Q2 ‘29	Vanaf Q2 ‘29	Vanaf Q2 ‘29

Legenda 1 TenneT 2 Enexis Netbeheer 3 Liander 4 Stedin 5 Coteq Netbeheer 6 Rendo Netwerken 7 Westland Infra netbeheer

Contractvormen (2/2)

	opwek	afname	wachtrij	actieve aansluiting	Te[1]	En[1]	Li[2]	St[3]	Co[5]	Re[6]	Wt[7]
Congestiemanagment											
Capaciteitsbeperkingscontract CBC per aansluiting: CBC-Afroep, CBC-Tijdsblok	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Groeps-CBC	✓	✓	✓	✓	Vanaf Q4 2026						
Capaciteitssturingscontract CBC per aansluiting: CSC-Afroep, CSC-Tijdsblok	✓	✓	✓	✓	Vanaf Q1 2026						
Redispatch (vrij aanbieden flexvermogen)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Biedplichtcontract voor redispatch	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Verplichte deelname congestiemanagement	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



Indicatoren

Op de volgende pagina’s worden de belangrijkste indicatoren beschreven, afkomstig uit de laatste Stand van de Uitvoering van Netbeheer Nederland. Dit zijn indicatoren die verbonden zijn met het beter benutten van het net voor grootverbruikers.

Wachtlijsten grootverbruik

De vraag naar transportvermogen van grootverbruikers blijft toenemen. In veel regio's groeit het aantal aanvragen sneller dan het elektriciteitsnet kan worden uitgebreid, waardoor wachtlijsten verder oplopen. Tegelijkertijd worden op landelijk niveau maatregelen genomen om bestaande capaciteit beter te benutten en aanvragen gerichter te beoordelen.

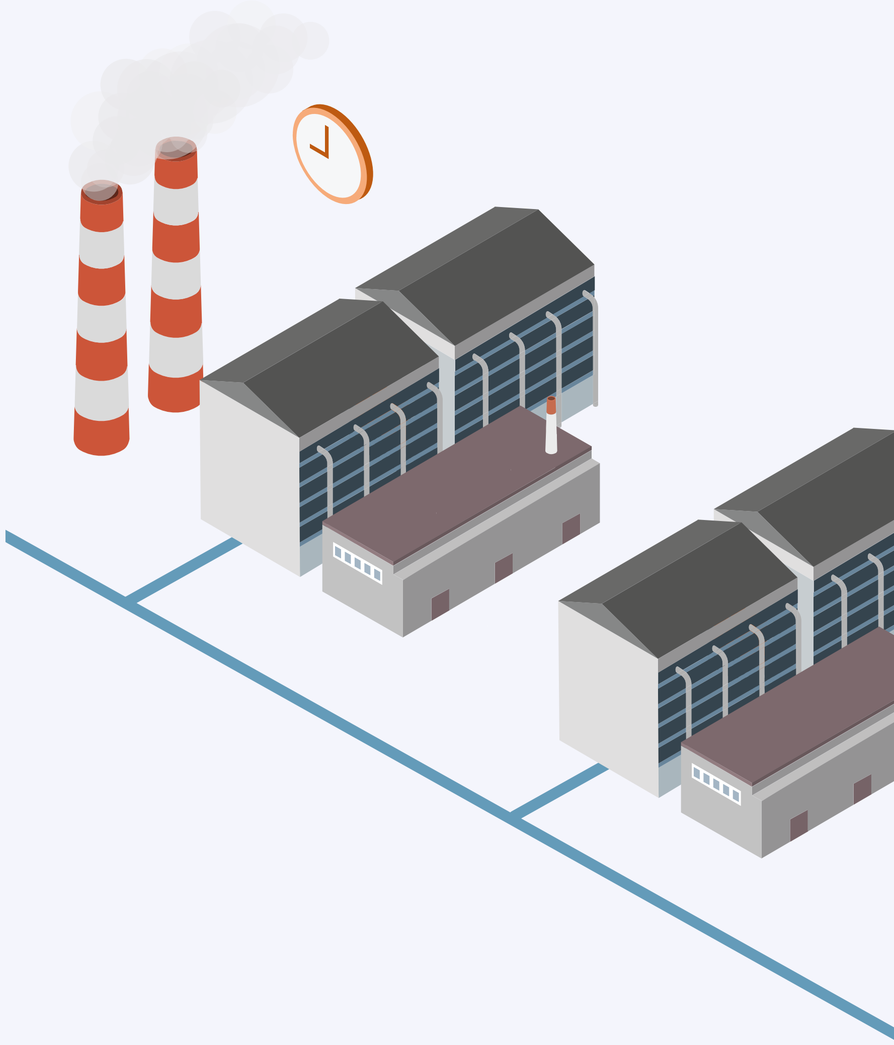
Grootverbruikers zijn bedrijven, instellingen en industriële partijen met een aansluiting groter dan 3x80 Ampère. In gebieden waar geen transportcapaciteit beschikbaar is, worden aanvragen op een wachtlijst geplaatst totdat uitbreiding of herverdeling van capaciteit mogelijk is. De wachttijd kan daarbij oplopen tot meerdere jaren.

De wachtlijsten zijn onderverdeeld in afname en invoeding en bestaan zowel bij regionale netbeheerders als bij de landelijke netbeheerder. Bij afname gaat het om bedrijven die elektriciteit willen gebruiken; bij invoeding om partijen die elektriciteit willen terugleveren, bijvoorbeeld via zonne- of batterijprojecten.

Netbeheerders zetten in op twee sporen om de wachtlijsten te verkorten. Enerzijds wordt het net uitgebreid en verzwaard, wat op langere termijn zorgt voor structurele extra transportcapaciteit. Anderzijds wordt het bestaande net beter benut, bijvoorbeeld door verbruik te verschuiven van piekmomenten naar daluren. Hierdoor kan op kortere termijn extra ruimte ontstaan.

Door het net efficiënter te benutten, kan de benodigde uitbreiding gerichter plaatsvinden en blijven de netkosten beheersbaar.

Meer informatie over de wachtlijsten is beschikbaar via de Capaciteitskaart van Netbeheer Nederland. De Q&A op Partners in Energie geeft uitleg over het wachtlijstproces.

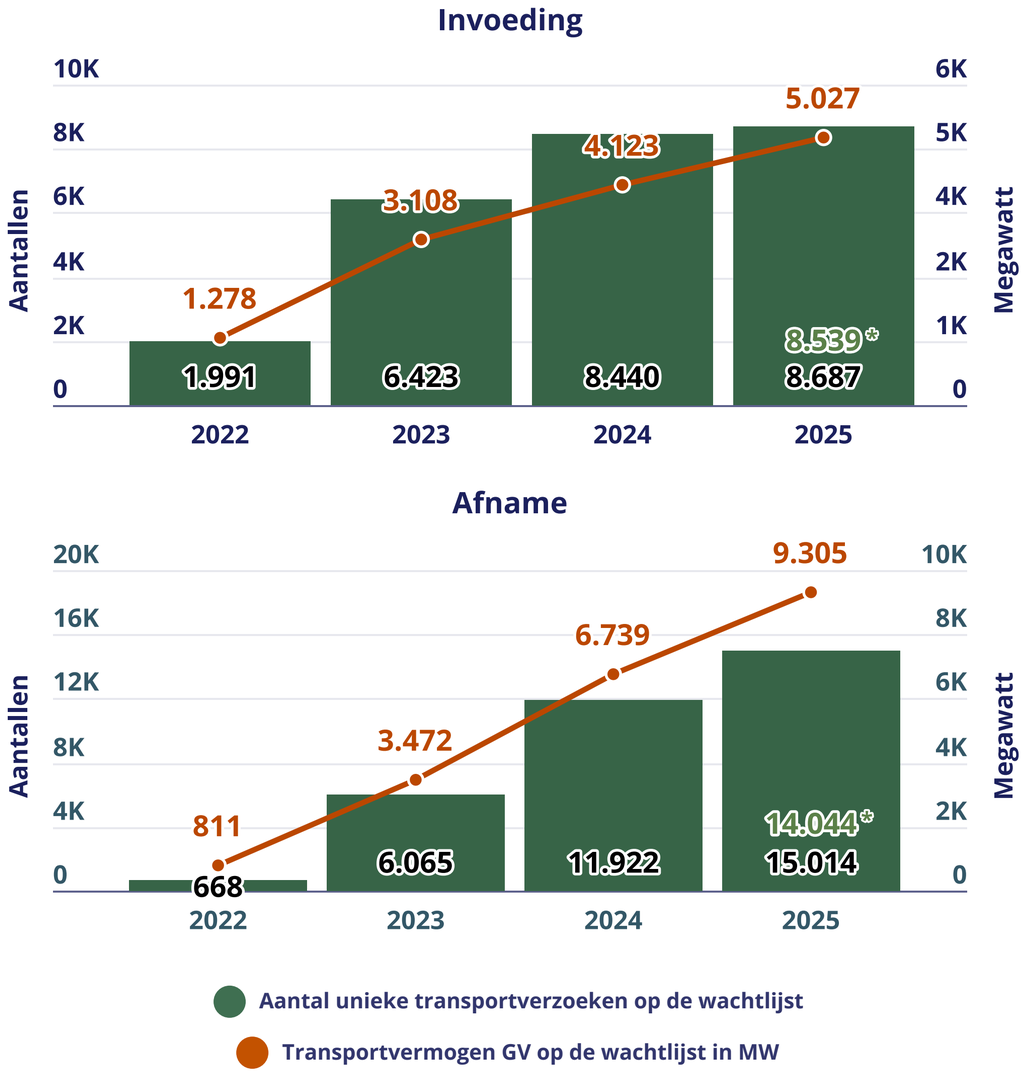


Wachtlijsten regionale netbeheerders

Op de wachtlijsten van de regionale netbeheerders staan grootverbruikers die transportvermogen hebben aangevraagd en die niet meteen transportvermogen toegezegd hebben gekregen. Deze partijen zijn doorgaans aangesloten op het middenspanningsnet. Bij afname gaat het voornamelijk om aanvragen van bedrijven. Bij invoeding betreft het veelal (kleinere) zonneparken en zonneprojecten op daken van bedrijven en instellingen.

In 2025 zijn de wachtlijsten verder toegenomen, zowel voor afname als voor invoeding. Voor afname staan 15.014 unieke transportverzoeken op de wachtlijst. Voor invoeding gaat het om 8.687 aanvragen. Ook het gezamenlijk gevraagde vermogen (de totale omvang van de elektriciteitsvraag) is verder gestegen.

In het afgelopen jaar is – met name door het beter benutten van het bestaande net – extra ruimte gecreëerd. Hierdoor kon ongeveer 5% van de transportverzoeken worden gehonoreerd. Desondanks blijft het aantal nieuwe aanvragen groter dan het aantal aanvragen waarvoor transportcapaciteit beschikbaar kan worden gesteld. Per saldo zijn de wachtlijsten daardoor verder toegenomen.



** aantal unieke transportverzoeken op de wachtlijst in het eerste halfjaar van 2025, afkomstig uit de Stand van de Uitvoering halfjaarpublicatie 2025*

Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Wachtlijst landelijke netbeheerder

Op de wachtlijst van landelijke netbeheerder TenneT staan met name industriële grootverbruikers, batterijprojecten en datacenters.

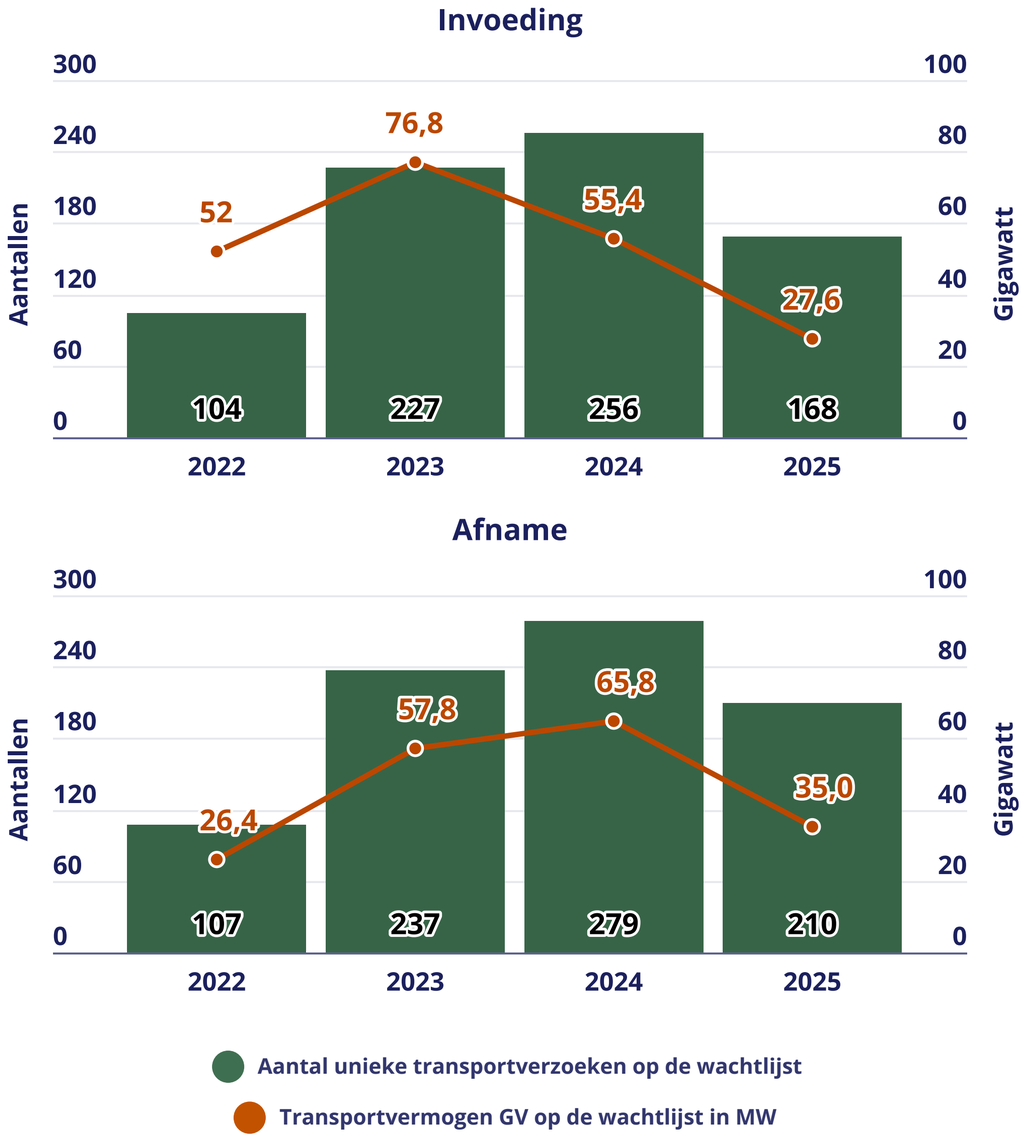
Eind 2025 staan 210 unieke aanvragen voor afname op de wachtlijst en 168 voor invoeding. Daarmee is de wachtlijst kleiner dan een jaar eerder, maar nog steeds omvangrijk.

Tot en met 2024 groeide de wachtlijst sterk. Dat kwam onder meer doordat partijen soms op meerdere hoogspanningsstations tegelijk een aanvraag indienden om hun kans op transportcapaciteit te vergroten. Hierdoor lag het aantal aanvragen hoger dan het aantal unieke projecten.

In 2025 is de wachtlijst verkort door verschillende maatregelen. TenneT heeft de lijst opgeschoond, waardoor alleen aanvragen met een reële economische kans op aansluiting zijn blijven staan. Daarnaast is via onder meer het Tijdsduurgebonden transportrecht (TDTR) aan bijna 50 klanten een contract aangeboden, waarvan er inmiddels 20 zijn ondertekend.

Als gevolg daarvan is ongeveer de helft van de aanvragen die eind 2024 op de wachtlijst stonden in 2025 gehonoreerd of geannuleerd. Tegelijkertijd blijven nieuwe aanvragen binnenkomen. Ongeveer een kwart van de huidige wachtlijst bestaat uit verzoeken die in 2025 zijn ingediend, waardoor de lijst in beweging blijft.

De verkorting van de landelijke wachtlijst verandert niet dat de vraag naar transportvermogen op hoogspanningsniveau structureel groot blijft. Nieuwe aanvragen bestaan in toenemende mate uit projecten waar maatschappelijke prioriteit voor wordt aangevraagd. Het gaat daarbij vaak om batterijpartijen die als congestieverzachter op het net aangesloten willen worden. Tegelijkertijd neemt ook het aantal aanvragen van datacenters toe.



 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Maatschappelijke prioriteit in de wachtlijst

Het prioriteringskader van de ACM bepaalt hoe netbeheerders beschikbare transportcapaciteit verdelen in tijden van transportschaarste. Dit kader zorgt ervoor dat aanvragen voor maatschappelijke functies niet onderaan de wachtlijst terechtkomen, maar voorrang (prioriteit) krijgen wanneer transportcapaciteit beschikbaar komt.

Het gaat om congestieverzachters, veiligheidsinstanties en basisbehoeften zoals wonen en onderwijs. Aanvragers die niet tot een geprioriteerde categorie behoren, komen in aanmerking op volgorde van aanvraag.

Per 1 januari 2026 is het prioriteringskader van de ACM ingegaan. De netbeheerders hebben tot 1 juli 2026 de tijd om het nieuwe kader te implementeren. Vanaf dat moment komen groot- en kleinverbruikers op één integrale wachtlijst te staan.

Congestieverzachters verminderen netcongestie en creëren ruimte voor andere klanten

Dit betekent echter niet dat congestieverzachters automatisch transportcapaciteit krijgen. Aanvragen worden stapsgewijs beoordeeld. Netbeheerders toetsen eerst of een aanvraag voldoet aan de gestelde voorwaarden en beoordelen vervolgens of de voorgestelde oplossing technisch daadwerkelijk kan bijdragen aan het verminderen van congestie.

Daarnaast kan het voorkomen dat er meer congestieverzachters op de wachtlijst staan dan op een bepaald moment nodig zijn om het knelpunt op te lossen. In dat geval selecteren netbeheerders de meest doelmatige oplossingen, bijvoorbeeld op basis van kostenefficiëntie. Pas wanneer alle afspraken zijn vastgelegd en de congestieverzachter daadwerkelijk inzetbaar is, wordt deze van de wachtlijst gehaald.



Onderstaande figuur toont het aantal aanvragen voor maatschappelijke prioriteit dat op de wachtlijst staat op basis van het oude kader. In 2025 is het aantal aanvragen voor transportcapaciteit in alle categorieën toegenomen. Tegelijkertijd is ongeveer een kwart van de aanvragen die eind 2024 op de wachtlijst stonden, in 2025 gehonoreerd of geannuleerd.

Naar verwachting zal het totaal aantal aanvragen met maatschappelijke prioriteit, mede door het nieuwe kader, de komende jaren verder toenemen.

Categorie 1: Congestieverzachters

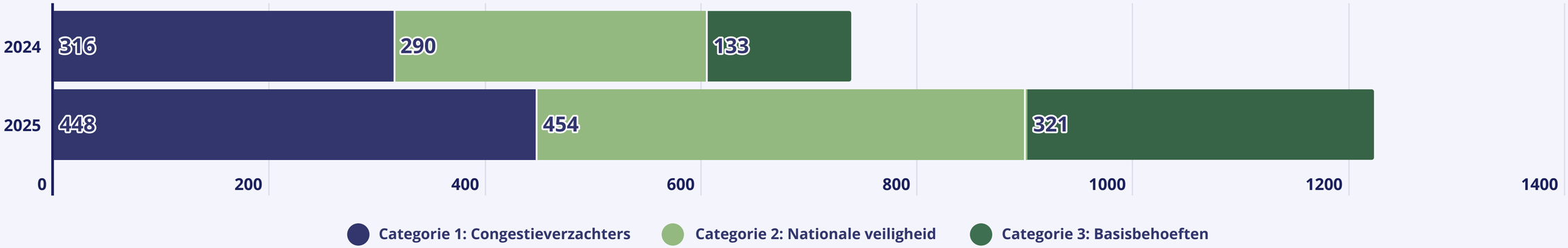
Klanten in deze categorie verminderen netcongestie en creëren daarmee ruimte voor andere klanten.

Categorie 2: Veiligheid

Klanten in deze categorie vervullen een veiligheidsfunctie, zoals noodhulp, politie, defensie, veiligheidsdiensten, justitie, waterbeheer en acute gezondheidszorg.

Categorie 3: Basisbehoeften

Klanten in deze categorie voorzien in basisbehoeften, zoals onderwijs, warmtevoorzieningen, gasnetten en toekomstige woningbouwprojecten.



 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Congestiemanagement

Wanneer op delen van het elektriciteitsnet overbelasting dreigt, zetten netbeheerders congestiemanagement in. Daarmee voorkomen zij dat kabels en transformatoren overbelast raken en storingen ontstaan. Congestiemanagement is daarmee een instrument om het net veilig en betrouwbaar te houden wanneer uitbreiding (nog) niet mogelijk is.

Netbeheerders maken afspraken met grootverbruikers via congestiemanagementcontracten. Klanten ontvangen hiervoor een vergoeding en spreken af dat zij hun invoeding of afname tijdelijk aanpassen wanneer dat nodig is. In de praktijk kan dat betekenen dat een zonnepark tijdelijk minder teruglevert of dat een bedrijf tijdens piekuren zijn productieproces aanpast.

De afgelopen jaren waren twee vormen van capaciteitsmanagementcontracten beschikbaar: het capaciteitsbeperkingscontract (CBC) en redispatch.

- Capaciteitsbeperkingscontracten: dit contract wordt vooral ingezet bij voorzienbare drukte op het net. Netbeheerder en klant maken vooraf afspraken over het tijdelijk beperken van transportvermogen.
- Redispatch: dit contract wordt ingezet wanneer op dezelfde dag bijsturing nodig is door onverwachte veranderingen in opwek of verbruik. Dit vraagt om een directe marktuitvraag en gelijktijdige bijsturing binnen én buiten het congestiegebied.

Het verschil tussen beide vormen zit daarmee vooral in het moment van inzet en de wijze waarop flexibiliteit wordt georganiseerd.



Capaciteitsbeperkingscontracten

Met een capaciteitsbeperkingscontract (CBC) spreken netbeheerder en klant vooraf af onder welke voorwaarden het transportvermogen tijdelijk kan worden beperkt.

Er zijn twee vormen van CBC:

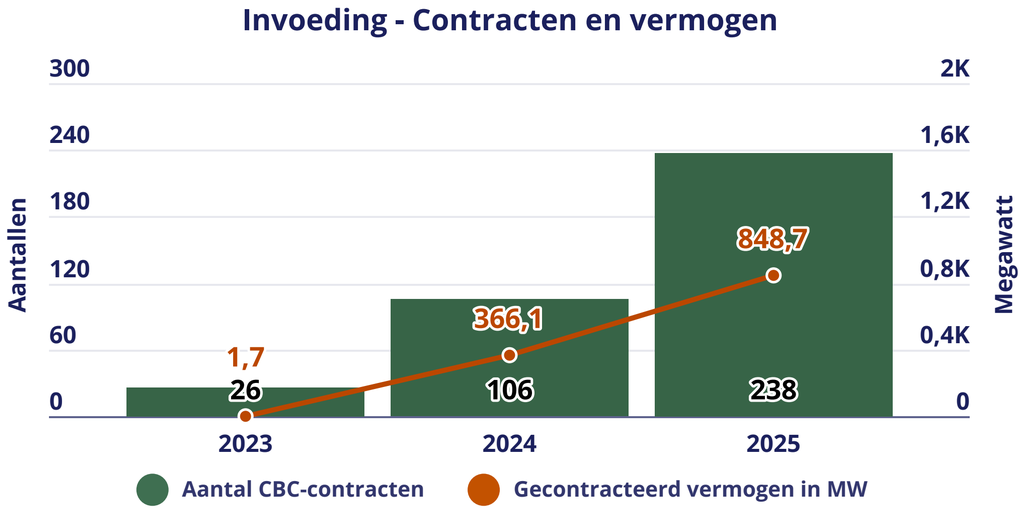
- **Beperking op afroep:** de netbeheerder kan vragen het transport tijdelijk te beperken wanneer dat nodig is.
- **Beperking tijdens vooraf overeengekomen tijdsblokken:** de beperking geldt automatisch binnen afgesproken perioden, bijvoorbeeld tijdens structurele piekuren.

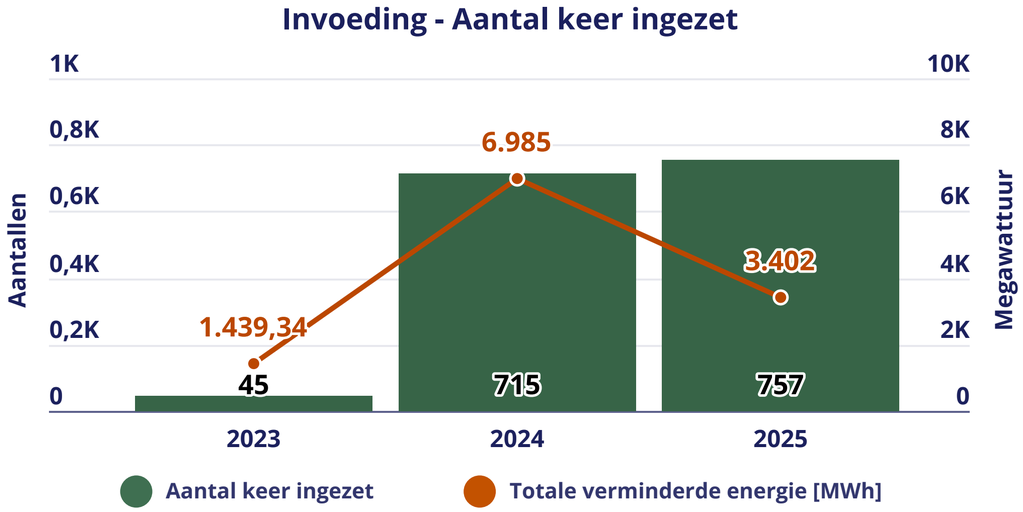
Capaciteitsbeperkingscontracten op invoeding

Er waren in 2025 voor invoeding 238 CBC-contracten actief (848,7 MW). Het deel van deze contracten dat op afroep werkt is in 2025 757 keer ingezet. Daardoor is er 3.402 MWh minder energie ingevoed. Dat is aanzienlijk minder dan het jaar ervoor. In 2024 was sprake van overbelasting van enkele stations. Door technische maatregelen te nemen is dit probleem opgelost en was in 2025 minder congestiemanagement bij invoeding nodig.

Het afsluiten van een capaciteitsbeperkingscontract met invoeders is doorgaans eenvoudiger dan met afnemers. Het tijdelijk verlagen van invoeding, bijvoorbeeld door een zonnepark, is in veel gevallen technisch en operationeel makkelijker te realiseren dan het verminderen van afname door een fabriek.

Het tijdelijk verminderen van het elektriciteitsverbruik kan directe gevolgen hebben voor productieprocessen en de bedrijfsvoering. Daardoor is de bereidheid om dergelijke afspraken te maken bij afnemers vaak beperkter.





Capaciteitsbeperkingscontracten op afname

Voor afname waren in 2025 243 CBC-contracten actief (499 MW). De contracten op basis van afroep zijn 47 keer ingezet. Dat is een stijging ten opzichte van 2024. Deze toename loopt echter niet volledig gelijk met de groei van het aantal afgesloten contracten. Dat komt vooral doordat netbeheerders contracten steeds vaker proactief afsluiten in gebieden waar nu nog geen fysieke congestie optreedt, maar waar op termijn knelpunten worden verwacht. Zo wordt het systeem tijdig voorbereid op toekomstige congestie.

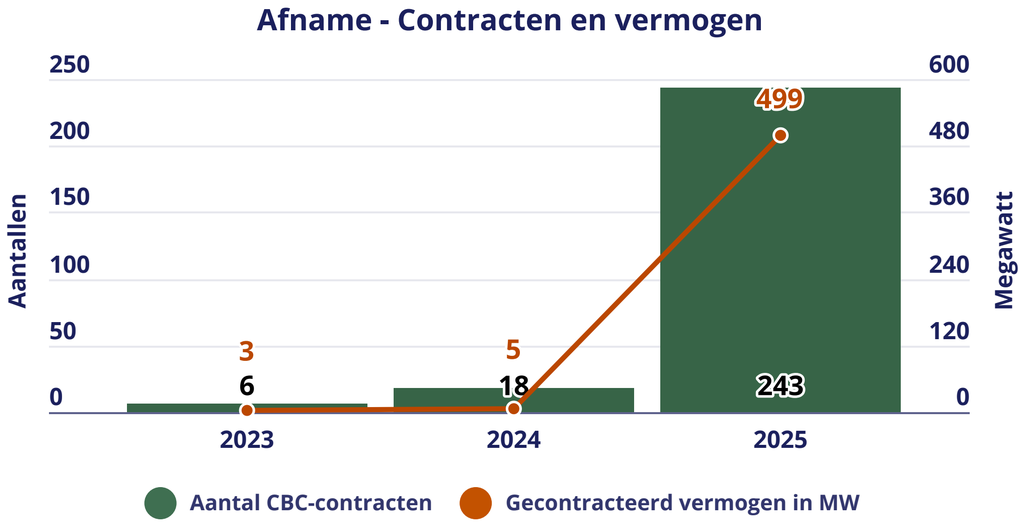
Ontwikkeling van capaciteitsbeperkingscontracten

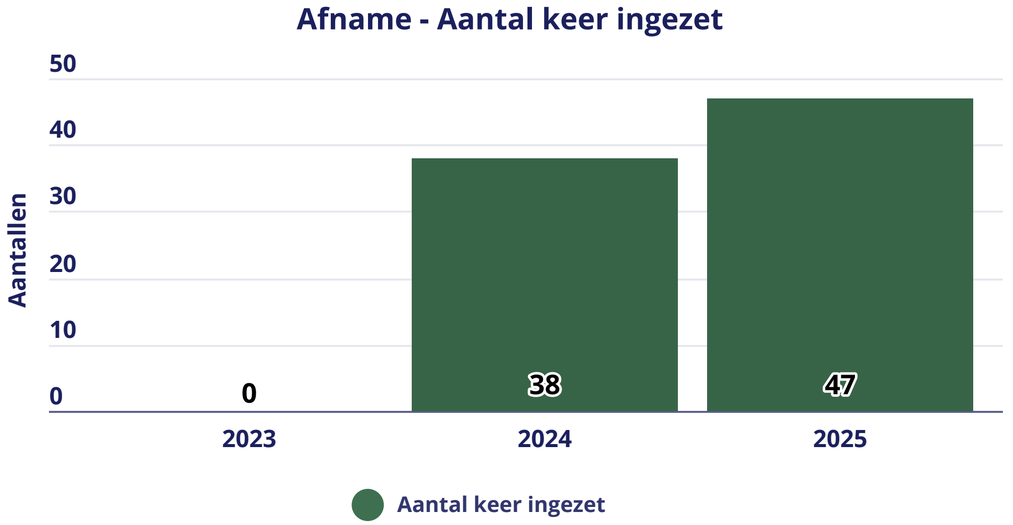
Het totale aantal afgesloten capaciteitsbeperkingscontracten is de afgelopen periode sterk toegenomen. Een belangrijke reden hiervoor is de standaardisatie van contracten. Waar voorheen vaak maatwerk per overeenkomst nodig was, ligt er nu een gestandaardiseerd contract waarvan de voorwaarden vooraf duidelijk zijn. Daardoor kost het minder tijd om met klanten afspraken te maken en kunnen netbeheerders meer contracten in een kortere tijd afsluiten.

Daarnaast zijn raamovereenkomsten met grotere partijen gesloten, bijvoorbeeld met beheerders van meerdere zonneparken. Dit maakte het mogelijk om voor meerdere aansluitingen tegelijk een capaciteitsbeperkingscontract af te sluiten onder vergelijkbare voorwaarden.

Netbeheerders hebben ook hun klantbenadering verder opgeschaald en verbeterd. Tegelijkertijd groeit bij bedrijven het bewustzijn dat flexibel gebruik van elektriciteit een onderdeel wordt van hun bedrijfsvoering. Dat maakt het voor steeds meer partijen een werkbare optie om afspraken te maken over flexibel gebruik.

Netbeheerders werken momenteel aan de doorontwikkeling van het capaciteitsbeperkingscontract naar het capaciteitssturingscontract (CSC). Dit contract biedt meer flexibiliteit: naast het beperken van afname of teruglevering is het nu ook mogelijk om in de piek extra stroom terug te leveren en af te nemen.





 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Redispatch

Redispatch wordt ingezet wanneer op korte termijn extra flexibiliteit nodig is om overbelasting op het elektriciteitsnet te voorkomen. Netbeheerders plaatsen in dat geval een uitvraag op GOPACS, het platform voor congestiemanagement. Aangesloten bedrijven kunnen een bod uitbrengen om hun invoeding of afname tijdelijk aan te passen tegen vergoeding.

Redispatch kent twee vormen:

- Vrije bieding: een klant beslist zelf of zij een bod uitbrengt naar aanleiding van een uitvraag. De netbeheerder beoordeelt vervolgens of het aanbod wordt geaccepteerd en onder welke voorwaarden.
- Biedplichtcontract: een klant is verplicht een bod uit te brengen volgens vooraf overeengekomen voorwaarden en prijskaders. Deze verplichting kan gelden voor dagelijkse biedingen, voor specifieke periodes in het jaar of voor vaste tijdsblokken.

Redispatch kan alleen plaatsvinden wanneer twee acties gelijktijdig worden uitgevoerd om het elektriciteitsnet in balans te houden. In een gebied waar overbelasting dreigt, vermindert een partij de afname of invoeding. Tegelijkertijd compenseert een andere partij buiten het congestiegebied dit volumeverlies door juist meer af te nemen of in te voeden. Deze ‘tegenbieding’ is noodzakelijk om vraag en aanbod in evenwicht te houden.

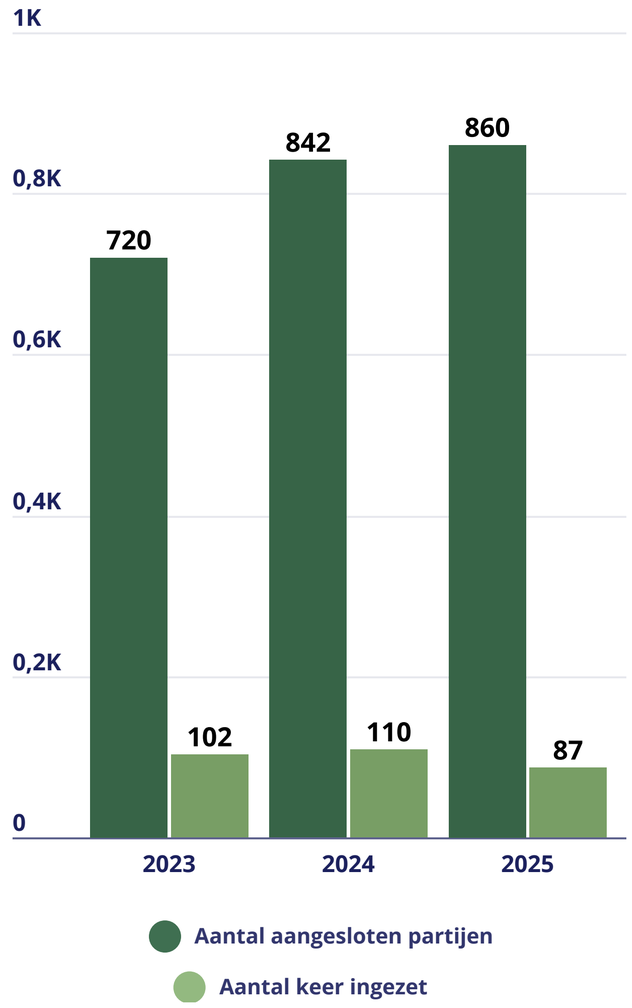
In 2025 waren 860 partijen geprekwalificeerd voor redispatch, tegenover 842 in 2024. Daarmee groeit het aantal partijen dat kan deelnemen aan deze vorm van congestiemanagement. Het aantal keren dat redispatch is ingezet daalde van 110 in 2024 naar 87 in 2025.

Tegelijkertijd blijft het aantal daadwerkelijke biedingen achter bij wat nodig is om redispatch op grotere schaal in te zetten. De toepassing kent nog uitdagingen. Zo is het technisch niet altijd mogelijk om elektriciteitsgebruik te sturen.

Ook is redispatch voor onafhankelijke congestiedienstverleners nog beperkt toegankelijk en kan deelname belemmeringen opleveren in andere marktprocessen. Wanneer onvoldoende biedingen beschikbaar zijn, kan redispatch niet plaatsvinden en wordt noodcurtailment ingezet.

Netbeheerders werken samen met GOPACS en marktpartijen aan verdere ontwikkeling van redispatch, zodat het instrument breder en effectiever kan worden ingezet.

Afname - Aantal keer ingezet (in aantallen)



 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Alternatieve transportrechten

Niet alle capaciteit op het elektriciteitsnet wordt op ieder moment benut. In daluren, bijvoorbeeld ’s nachts of in perioden met lagere vraag, is er vaak nog transportruimte beschikbaar. Alternatieve transportrechten maken het mogelijk om deze ruimte beter te gebruiken.

Met een alternatief transportrecht krijgen klanten geen continu en volledig transportrecht, maar toegang tot capaciteit onder specifieke voorwaarden. Zo wordt het gebruik verplaatst naar momenten waarop het net structureel minder belast is en wordt het bestaande net beter benut. Klanten met een alternatief transportrecht ontvangen een korting op hun nettarieven.

Als een klant kan volstaan met een alternatief transportrecht, kan die soms sneller over transportcapaciteit beschikken dan wanneer deze blijft wachten op een vast transportrecht.

Ook bestaande klanten kunnen helpen het net beter te benutten. Zij kunnen hun vaste transportrecht (gedeeltelijk) omzetten naar een alternatief transportrecht als zij hun elektriciteitsgebruik in de tijd kunnen verschuiven. Door bijvoorbeeld een wagenpark of batterij buiten de piekuren te laden, maken zij gebruik van beschikbare capaciteit in daluren en helpen zij piekbelasting te verminderen.

Alternatieve transportrechten zijn in principe in heel Nederland beschikbaar. In de praktijk verschilt de ruimte op het elektriciteitsnet echter per regio. Sommige delen van het net zijn voller dan andere, waardoor er niet overal voldoende dalruimte is om deze alternatieve rechten aan te bieden. Daardoor kan het voorkomen dat een netbeheerder in het ene gebied of voor de ene klant wél een alternatief transportrecht kan toekennen en in een ander gebied of voor een andere klant niet.

In 2025 is het aantal alternatieve transportrechten toegenomen. Daarmee worden deze contractvormen vaker ingezet om beschikbare dalruimte te benutten en het net efficiënter te gebruiken.

10 2025 — **3** 2024

Reststroom
(volledig variabel transportrecht)

Transportrecht in een congestiegebied op momenten dat er voldoende transportcapaciteit beschikbaar is. De netbeheerder laat uiterlijk een dag van tevoren weten of en, zo ja, op welke momenten en hoeveel transportcapaciteit er beschikbaar is.

142 2025 — **41** 2024

Blokstroom
(tijdsblokgebonden transportrecht)

Transportrecht binnen vooraf vastgelegde tijdsblokken buiten de piekmomenten. Bijvoorbeeld voor het opladen van een wagenpark in de nacht. Dit contract wordt alleen door de regionale netbeheerders aangeboden.

10 2025 — **4** 2024

Tijdsduurgebonden transportrecht

Transportrecht op het hoogspanningsnet voor minimaal 85% van het aantal uren in de overeenkomst. Voor de overige 15% laat de netbeheerder een dag van tevoren weten of en hoeveel transportvermogen beschikbaar is. Dit contract wordt alleen door TenneT aangeboden.

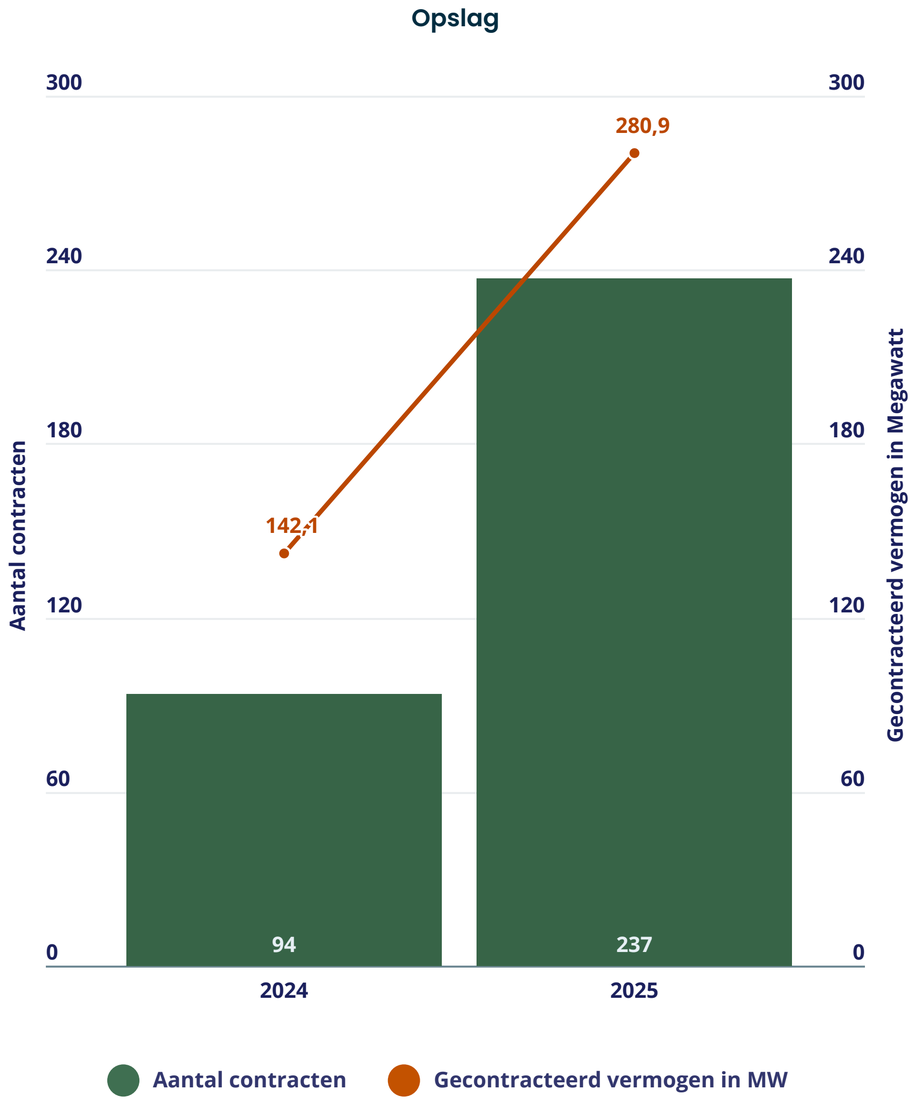
Overige vormen van flexibiliteit

Naast congestiemanagement en alternatieve transportrechten ondersteunen netbeheerders ook andere oplossingen die flexibel gebruik van het net mogelijk maken. Deze oplossingen richten zich op het slimmer gebruiken van het net, het opvangen van pieken en het beter verdelen van bestaande capaciteit.

Opslag

Opslag speelt een steeds grotere rol in het energiesysteem. Doordat opwek uit zon en wind fluctueert, vallen opwek en vraag niet altijd samen in tijd en plaats. Opslaginstallaties, zoals batterijen of e-boilers, maken het mogelijk overschotten tijdelijk op slaan en later te gebruiken, zodat vraag en aanbod beter in balans blijven.

Opslaginstallaties kunnen onder voorwaarden worden ingezet als congestieverzachter. Binnen het prioriteringskader van de ACM hebben netbeheerders ruimte om aanvullende kaders te stellen voor deze inzet, bijvoorbeeld ten aanzien van minimale omvang en inzetbaarheid bij het verminderen van congestie. Dit vraagt om afspraken tussen klant en de netbeheerder over beschikbaarheid en inzet van de installatie. Opslag kan zo – onder voorwaarden - bijdragen aan het vrijmaken van transportcapaciteit binnen het bestaande net. Tegelijkertijd vergroot het de flexibiliteit en leveringszekerheid van het energiesysteem op korte en lange termijn.



April 2026 *Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland*

Kleinverbruikers

Doelstelling

Kleinverbruikers zijn huishoudens, bedrijven en instellingen aangesloten op het laagspanningsnet

Doel: efficiënter gebruik van het laagspanningsnet

Financiële prikkels
Tijdafhankelijke tarieven en flexibiliteitsdiensten voor kleinverbruikers

Slimme apparaten
Automatisch sturen naar rustige momenten, zonder comfortverlies

Publiekscommunicatie
Bewustwording en gedragsverandering bij huishoudens (Zet ook de knop om)

Inzicht en netveiligheid
Beter inzicht in belasting en capaciteit van het laagspanningsnet



Terug- en vooruitkijken

De actielijn Beter Benutten - Kleinverbruikers werkt aan een toekomstbestendig energiesysteem waarin kleinverbruikers het laagspanningsnet slimmer benutten, met behoud van comfort en regie. De volgende pagina's beschrijven de voortgang van een selectie van maatregelen binnen deze actielijn.

Voortgang afgelopen periode:

- Standaarden slimme apparaten: Trajecten gestart voor Nederlands Technische Afspraken (NTA) voor warmtepompen, zonne-omvormers, thuisbatterijen en Home Energy Management systemen (HEMS); NTA voor warmtepompen in afrondende fase.
- Publiekscampagne netbewust gedrag: nieuwe campagneflight uitgevoerd met breed doelgroepbereik en inzichten in effectieve communicatie.

Prioriteiten komend jaar:

- Time-of-Use nettarieven: afronden en indienen codevoorstel voor tijdsafhankelijke nettarieven als landelijke prikkel voor flexibel netgebruik.
- Flexibiliteitsdiensten voor kleinverbruikers: wegnemen van belemmeringen voor brede toepassing van kleinverbruikersflexibiliteit, in samenwerking met marktpartijen, netbeheerders en de ACM.
- Afronding standaarden: oplevering NTA's en voorbereiding implementatie bij marktpartijen.
- Campagne vervolg: nieuwe flight met meer focus op slimme apparaten en handelingsopties voor huishoudens.

Overzicht van acties

Slimme apparaten, gebouwen en voertuigen

- Slimme apparaten en HEMS
- Netbewust laden
- Net-efficiënte installaties de bestaande bouw
- Netbewuste nieuwbouw

Financiële prikkels en marktordening

- Tijdgebonden nettarief voor kleinverbruikers
- Vrijwillig congestiemanagement en flexproducten

Communicatie, gedrag en draagvlak

- Vraagrespons en gedragsprikkels
- Publiekscommunicatie over flexibel energieverbruik

Inzicht en netveiligheid

- Veiligheidsmaatregelen om stroomstoringen te voorkomen
- Vergroten van inzicht in de belasting van laagspanningsnetten

A. Slimme apparaten, gebouwen en voertuigen

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Nationaal afsprakenstelsel energie-slimme apparaten	Vastleggen van afspraken met marktpartijen over waar energie-slimme apparaten aan moeten voldoen en hoe ze veilig en interoperabel communiceren.	Alle normtrajecten zijn van start. NTA voor warmtepompen in afrondende fase.	Q1 2027
Internationale strategie energie-slimme apparaten	Vergroten van de Nederlandse invloed in Europese en internationale beleids- en normprocessen rond energie-slimme apparaten door actief en gecoördineerd bij te dragen aan relevante gremia, zodat de Nederlandse uitgangspunten en belangen effectief worden ingebracht.	Netwerk met Nederlandse experts rond slimme apparaten opgezet. Nederlandse secretariaatspositie binnen internationale normcommissies geborgd. In de zomer hosten IenW en KGG EU-bijeenkomst over slimme apparaten.	Doorlopend
Stimuleren adoptie van energie-slimme apparaten	Het aantal slimme apparaten dat verkocht, geïnstalleerd en ingezet wordt vergroten, om de potentie van slimme apparaten om netcongestie tegen te gaan maximaal te benutten.	Certificatieschema voor slimme laadpalen gereed.	Doorlopend

B. Financiële prikkels en marktordening

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Implementatietraject en wijziging van de netcode	Nieuw nettarief voor kleinverbruikers dat kostenreflectief is en helpt drukte op het net te verspreiden.	Voorgesteld tariefstelsel versimpeld naar 4 prijsniveaus. Codewijzigingsvoorstel wordt uitgewerkt. Aanpassingen regelingen onder Energiewet worden voorbereid.	Q4 2026 (codewijziging behandeling ACM)
Ontwikkeling flexproducten voor kleinverbruikers	Flexibiliteit ontsluiten bij kleinverbruikers via marktpartijen.	Samenwerking tussen netbeheerders en marktpartijen geïntensiveerd. Lopende pilots uitgebreid met slimme warmtepompen.	Q3 2026 (opschaling uitrol)
Netbewust publiek laden	Flexibiliteit ontsluiten door dynamische inzet van publieke laadpunten.	CPO's met Enexis en Stedin gestart met netbewust publiek laden in FGU-regio. Landelijke opschaling wordt voorbereid i.s.m. Nationale Agenda Laadinfrastructuur	Q4 2026

Legenda Lopend Doorlopend Afgerond

C. Communicatie, gedrag en draagvlak

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Co-creatietraject ‘Het Grote Stroomgesprek’	Inzicht in effectieve communicatie voor netbewust stroomgebruik. Bouwstenen voor partners en stakeholders om te gebruiken in eigen communicatie en campagnes.	Sessies georganiseerd met verschillende groepen burgers over netbewust stroomgebruik.	Q1 2026
Gedragsonderzoek vraagrespons bij huishoudens	Huishoudens inzicht bieden in eigen energieverbruik en helpen verschuiven verbruik naar rustige momenten.	Veldexperiment Buurtnet van start in 40 wijken in Nederland.	Q2 2026
Publiekscampagne ‘Zet ook de knop om’	Bewustwording bij algemeen publiek over het veranderende energiesysteem en de rol van netbewust stroomverbruik bij het tegengaan van netcongestie.	Flight najaar 2025 afgerond. Flight zomer 2026 in ontwikkeling. Parallel wordt gewerkt aan een doorontwikkeling van ZODKO naar gerichte energiesysteem campagne	Doorlopend

D. Inzicht en netveiligheid

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Technische veiligheidsmaatregelen op apparaat- en aansluitingsniveau	Strategievorming voor technische maatregelen om het elektriciteitsnet in noodsituaties te beschermen, gericht op het tijdelijk begrenzen van de capaciteit van apparaten of aansluitingen.	TNO verkenning naar technische netbeschermingsmaatregelen opgeleverd. Visie op ontsluiten flexibiliteit bij kleinverbruikers gedeeld met Tweede Kamer	Q1 2026
Doorontwikkeling probleemanalyse laagspanningsnetten	Inzicht in de situatie van de LS netten, inclusief een vooruitblik over het ontstaan van knelpunten en mogelijke storingen.	Regionale netbeheerders hebben de data-uitwisseling voor metingen en voorspellingen van directe congestie gestandaardiseerd. Gezamenlijke probleemanalyse wordt momenteel uitgevoerd.	Q2 2026



Indicatoren

Op de volgende pagina’s worden de belangrijkste indicatoren beschreven, afkomstig uit de laatste Stand van de Uitvoering van Netbeheer Nederland. Dit zijn indicatoren die verbonden zijn met het beter benutten van het net voor kleinverbruikers.

Kleinverbruiksaansluitingen

Het aantal kleinverbruiksaansluitingen (KV-aansluiting) betreft alle nieuw aangelegde en in gebruik genomen aansluitingen tot en met 3 x 80 A voor onder andere woningbouw en MKB.

De realisatie van nieuwe KV-aansluitingen is de laatste jaren vrij constant. Aanvragen voor nieuwe woningen vormen een groot aandeel, maar nemen niet toe, omdat de bouw van nieuwe woningen de laatste jaren daalt.[1]

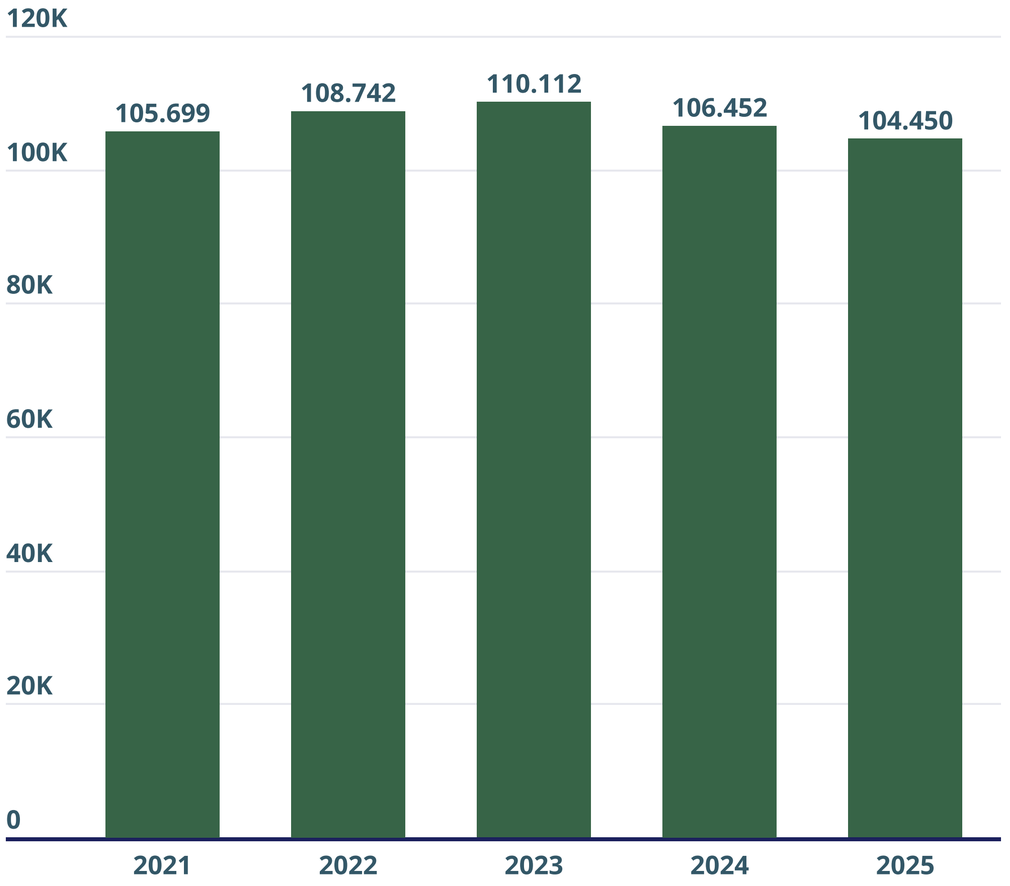
Het verzwaren, verplaatsen en aanpassen van KV-aansluitingen vormt de laatste jaren een steeds groter deel van het werkpakket. Door de gestegen gasprijzen is de elektrificatie sinds 2021 toegenomen, wat leidt tot meer aanvragen voor een gewijzigde aansluiting, bijvoorbeeld voor de installatie van zonnepanelen of een warmtepomp.

Het verzwaren van KV-aansluitingen vormt een substantieel deel van de werkzaamheden van de netbeheerder. Het elektriciteitsnet is namelijk oorspronkelijk niet gebouwd voor invoer en piekafname bij dit type aansluitingen, waardoor verzwaringen van aansluitingen vaker nodig zijn.



[1] *Bron: https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2026/05/derde-jaar-op-rij-met-minder-woningen-erbij*

Gerealiseerde KV-aansluitingen (in aantallen)



Aansluittermijnen kleinverbruik

In 2025 bedraagt de gemiddelde aansluittermijn voor een nieuwe kleinverbruiksaansluiting 45 weken. Voor een gewijzigde aansluiting is dat 21 weken. Daarmee blijven de gemiddelde termijnen hoog en zet de stijgende lijn van de afgelopen jaren door.

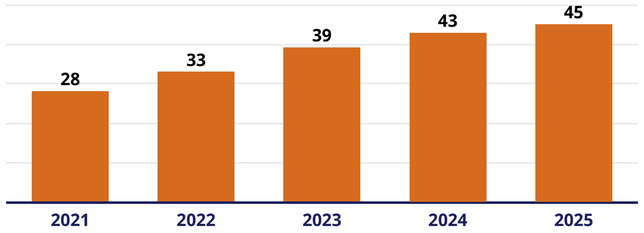
De verwachte aansluittermijn van nieuwe en gewijzigde aansluitingen wordt bepaald door de aard van de werkzaamheden. Wanneer een aansluiting binnen het bestaande net kan worden gerealiseerd, is de doorlooptijd vaak aanzienlijk korter dan de gemiddelde termijn. Is netuitbreiding of aanvullend graafwerk nodig, dan loopt de termijn op.

Bij de uiteindelijke planning spelen bovendien verschillende factoren een rol, die niet altijd binnen de invloed van de netbeheerder liggen, zoals weersomstandigheden, bodemgesteldheid, het verkrijgen van vergunningen of noodzakelijke voorbereidingen door de klant.

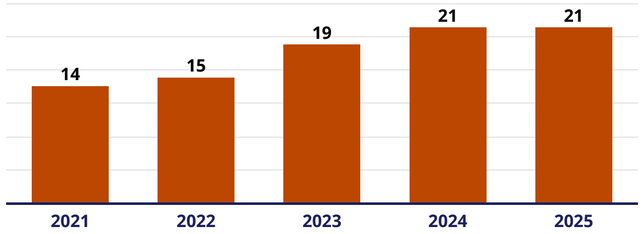
Netbeheerders werken samen met de ACM en andere stakeholders aan een nieuw codebesluit om meer duidelijkheid te bieden over verwachte aansluittermijnen. Daarbij wordt rekening gehouden met eventueel noodzakelijke uitbreidingen van het net. Daarnaast verbeteren zij hun interne processen om klanten eerder en frequenter te informeren over de voortgang van hun aanvraag.

De toenemende druk op het elektriciteitsnet en de benodigde uitbreiding daarvan zorgen ervoor dat de gemiddelde aansluittermijnen de afgelopen jaren zijn opgelopen. Ook de beschikbaarheid van technici blijft een bepalende factor.

Gemiddelde aansluittermijn kleinverbruik (in weken)



nieuwe aansluitingen



gewijzigde aansluitingen

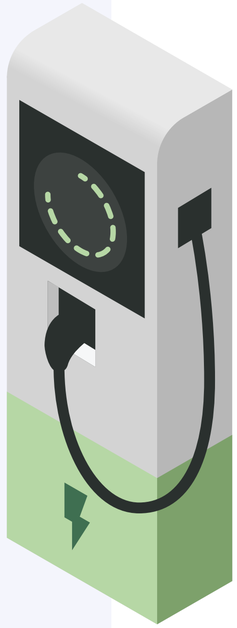
 Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland

Laadinfrastructuur voor elektrisch vervoer

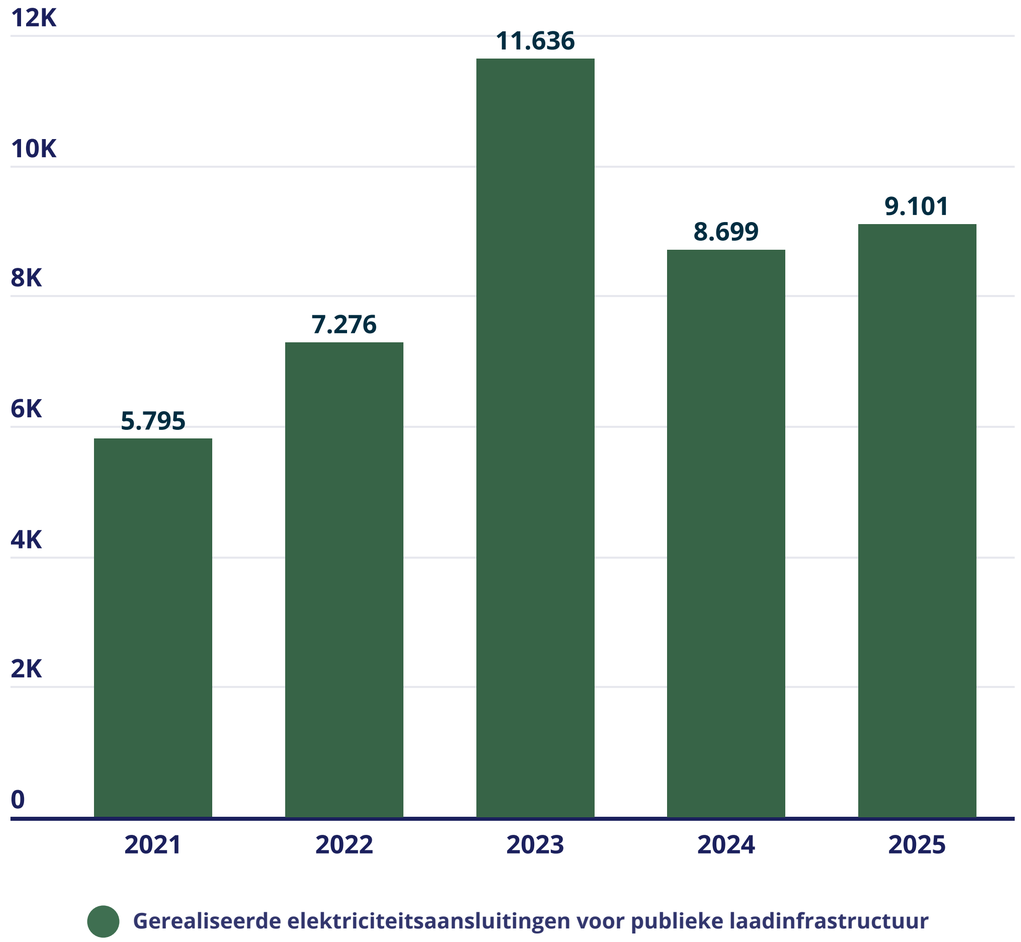
In 2025 zijn 9.101 nieuwe elektriciteitsaansluitingen gerealiseerd voor laadpunten in de openbare ruimte. Deze laadpunten zijn 24/7 toegankelijk en beschikken over een eigen netaansluiting.

Het aantal gerealiseerde aansluitingen fluctueert per jaar, maar ligt hoger dan in de jaren voor 2023. Volgens marktanalyses van ElaadNL wordt verwacht dat de vraag naar laadpunten de komende jaren verder toeneemt.

Meer informatie over deze marktanalyses is te vinden op de website van ElaadNL.



Gerealiseerde elektriciteitsaansluitingen (in aantallen)



April 2026 *Bron: Stand van de Uitvoering (maart 2026), Netbeheer Nederland*



Hoofdstuk 3

Slimmer Inzicht

Doelstelling

Doel: De ontwikkeling van uniforme, landelijke dataproducten ter facilitering van:

Inzicht en actiegericht handelingsperspectief voor gebruikers bij congestieproblematiek

Data-gedreven beleidsvorming ter beperking of voorkoming van congestie-effecten

Daarom prioriteert Slimmer Inzicht in 2026 de realisatie van dataproducten met belastingsprofielen en capaciteitsontwikkeling in de tijd en op basis van nettopologie en over netvlakken heen.



Binnen de kaders van de nieuwe energiewet

- Actief en passief openbaar maken van gegevens (artikel 3.78)
- Inzage verkrijgen in de eigen gegevens door of namens een klant (artikel 4.1)

Terug- en vooruitkijken

Voortgang afgelopen periode:

- Het verbeteren van het gebruiksgemak van de Capaciteitskaart.
- Het opschalen van de Buurtnet consumentenapp pilot naar 48 wijken. De app geeft bewoners realtime inzicht in de drukte op het lokale stroomnet in hun wijk en ondersteunt onderzoek naar het vergroten van netbewust gedrag bij huishoudens.
- Het beschikbaar stellen van verbruiksgegevens ter facilitering van het toezicht door omgevingsdiensten op de energiebesparingsplicht van organisaties.
- Het beschikbaar stellen van aansluitingsdata ter facilitering van de werking van de in de energiewet verankerde data deel voorzieningen van de Gegevens Uitwisselings Entiteit (GUE). Dit is randvoorwaardelijk voor het kunnen delen dataproducten waarvan de inhoud herleidbaar is tot een klant.
- Het lanceren van het Invoedingskompas groen gas waarmee gemeenten, provincies, netbeheerders en andere stakeholders worden ondersteund om tijdig capaciteitsknelpunten te identificeren, strategische planningen te ondersteunen en daarmee de energietransitie te versnellen.
- Twee actualisaties van de Roadmap Data Delen voor de Energie Transitie op basis van vragen van en gesprekken met vertegenwoordigers van belanghebbenden.

Prioriteiten komend jaar:

Voor 2026 is de **absolute prioriteit** gesteld op het realiseren van dataproducten die een **gedetailleerd en meerjarig inzicht geven in belastingprofielen en capaciteit over netvlakken heen**. Hiermee vullen we een veelvoud aan behoeften in, van het ondersteunen van investeringsbeslissingen bij de industrie tot het ontwikkelen van flexibiliteitsoplossingen door dienstverleners. Deze dataproducten zijn tevens onderdeel van de doorbraak “Inzicht in flex verwachtingen” binnen het **Aansluitoffensief**.

Belangrijkste acties

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Capaciteit, belasting en nettopologie	Met deze dataproducten groep worden locatie, tijd, duur en omvang van knelpunten inzichtelijk gemaakt, zodat klanten en dienstverleners handelingsperspectief (incl. inzet flex vermogen) kunnen ontwikkelen.	MS	Q3 2026
		LS	Q4 2026
Energiegebiedsprofielen	Dit dataproduct geeft inzicht in elektriciteitsafname en -invoeding in een buurt, wijk of gemeente zodat energieoptimalisatie gebiedsgericht kan plaatsvinden.	MS	Q2 2026
		LS	Q3 2026
Stand van de Uitvoering	Deze publicatie geeft tweemaal per jaar een cijfermatige onderbouwde toelichting over de ontwikkeling van het elektriciteitsnet. Op basis van de actualiteit voegen we nieuwe indicatoren toe en verdiepen we bestaande indicatoren.	2025	Q1 2026
		2026-1	Q3 2026

Belangrijkste acties

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Buurtnet	Opschalen van de pilot naar 48 wijken en het ondersteunen van het onderzoek naar het vergroten van netbewust gedrag bij huishoudens.		Q4 2025
	Faciliteren van het onderzoek over gedragsverandering in net-kritische wijken.		Q1 2026
	Opschalen van de Buurtnet consumentenapp.		Q2 2026
	Realiseren van het Buurtnet dataproduct voor marktpartijen.		Q4 2026

Belangrijkste acties

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Verbruiksgegevens t.b.v. toezicht energiebesparingsplicht	Op basis van dit dataproduct zijn omgevingsdiensten in staat om toezicht te kunnen houden op de energiebesparingsplicht van organisaties.		Q4 2025
Aansluitingsdata t.b.v. de Gegevens Uitwisselings Entiteit (GUE)	Dit dataproduct is randvoorwaardelijk voor de werking van de in de energiewet verankerde data deel voorzieningen bij de GUE.		Q1 2026
Slimme meter uitrol data t.b.v. toezicht	Dit dataproduct stelt de Rijksinspectie Digitale Infrastructuur (RDI) in staat toezicht te houden op de voortgang van de hernieuwde uitrol van slimme meters (via GUE).		Q2 2026
Aansluitingsdata t.b.v. planning warmetenetten	Dit dataproduct geeft gemeenten inzicht in aansluitdata van aansluitingen binnen de gemeentegrenzen ten behoeve van de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (via GUE).		Q2 2026
KV aansluitdata t.b.v. vergelijken energiecontracten	Dit dataproduct biedt partijen de mogelijkheid een minimale set van aansluitingsdata op te vragen op basis van toestemming van de aangeslotene (via GUE).		Q4 2026

Belangrijkste acties

Actie	Beschrijving	Status	(Beoogde) Oplevering
Invoedingskompas Groen Gas	Dit dataproduct biedt gemeenten, provincies, netbeheerders en andere stakeholders inzicht in de huidige en toekomstige capaciteit van het gasnet voor groen gas op zowel de regionale als landelijke netten.		Q1 2026
Netbeheer Nederland Capaciteitskaart	Vergroten van het gebruiksgemak.		Q4 2025
	Introductie nieuwe functie die inzicht geeft in capaciteits-ontwikkeling door de tijd over netvlakken heen. De regionale netbeheerders (incl. Tennet limieten) worden stap voor stap toegevoegd. Deze functie is vertraagd en zal in Q2 2026 alsnog worden toegevoegd aan de capaciteitskaart.		Eerste RNB Q2 2026
	Implementeren van nieuwe visualisatie voor voedingsgebieden o.b.v. nettopologie die inzicht geeft in de opbouw van knelpunten, dit maakt tevens wachtrijposities beter uitlegbaar.		Q4 2026
	Introductie van nieuwe functie waarbij zichtbaar wordt waar vraag naar en afroep van flex capaciteit door de netbeheerder de grootste impact heeft voor het net en flex-aanbieders.		Q4 2026

landelijk actieprogramma netcongestie

Meer informatie? Klik hier!

DNV

WHEN TRUST MATTERS

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

ONDERZOEK ZWAARDER BELASTEN

Potentie van technische oplossingen voor het congestievraagstuk



RAPPORT

INHOUDSOPGAVE

Management samenvatting 03

Woordenlijst 11

1. Introductie 15
   - 1.1 Aanleiding 15
   - 1.2 Onderzoeksvragen 16
   - 1.3 Onderzoeksaanpak 17

2. Het Nederlandse elektriciteitsnet 19
   - 2.1 Opbouw van het net 19
   - 2.2 Betrouwbaarheidseisen en impact op het netontwerp 22
   - 2.3 De impact van de energietransitie op het Nederlandse elektriciteitsnet 26

3. Analyse hoogspanningsnet 28
   - 3.1 Klantinspanningsproces: bepaling van capaciteit 29
   - 3.2 Huidige en geprognotiseerde benutting van het net 32
   - 3.3 Analyse technische oplossingen 37
   - 3.4 Algemene bevindingen 64

4. Analyse tussen- en middenspanningsnet 66
   - 4.1 Huidige benutting van het net 67
   - 4.2 Analyse van technische oplossingen 70

5. Analyse laagspanningsnet 82
   - 5.1 Congestieproblematiek en wachtrijen 82
   - 5.2 Huidige benutting van het net 85
   - 5.3 Analyse technische oplossingen 87

6. Conclusies en aanbevelingen 93
   - 6.1 Hoogspanningsnet 93
   - 6.2 Tussen- en middenspanningsnet 101
   - 6.3 Laagspanningsnet 104

Appendix A - Overige technische oplossingen 105

Appendix B - Beoordelingsmethodiek technische oplossingen 113

MANAGEMENT SAMENVATTING

Inleiding

Nederland kampt op grote schaal met netcongestie, dit belemmert de economische en maatschappelijke ontwikkelingen en kost naar schatting 40 miljard euro per jaar[1]. Er is daarom veel aandacht voor drie oplossingsrichtingen om de gevolgen van netcongestie te beperken, te weten (i) sneller bouwen, (ii) beter benutten en (iii) slimmer inzicht[2]. Onder de tweede categorie valt, naast markt-gebaseerde oplossingen, ook het *realiseren van een efficiëntere benutting door het net gecontroleerd zwaarder te belasten dan tot nu toe gebruikelijk is.* Dit betreft technische oplossingen zoals het zwaarder belasten van netcomponenten, maar ook de inzet van de enkelvoudige storingsreserve (de storingsreserve is het gedeelte van de netcapaciteit dat niet wordt toegekend als transportvermogen aan klanten, maar wordt gereserveerd voor onderhoud en netuitbreidingen, en tijdens storingen).

Doel van dit onderzoek en onderzoeksvragen

Het doel van dit rapport is om inzicht te verschaffen in hoe netbeheerders de maximale belasting van het elektriciteitsnet bepalen en benutten, welke mogelijkheden er zijn om het net zwaarder te belasten, en wat daarbij de technische, economische en beleidsmatige afwegingen zijn. Dit inzicht moet bijdragen aan een bestuurlijke of politieke afweging of – en hoe – zwaarder belasten wenselijk en verantwoord is.

1. Hoe worden de grenzen van het elektriciteitsnet bepaald?
2. In welke mate wordt het net momenteel al zwaarder belast?
3. Welke mogelijkheden hebben het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en de Autoriteit Consument en Markt (de ACM) om (nog) zwaarder belasten van het net te stimuleren of te faciliteren?



[1] Bron: Schakelen naar de toekomst - IBO bekostiging elektriciteitsinfrastructuur
[2] Bron: Aanpak netcongestie, kamerbrief 6 oktober 2025

Dit rapport beschouwt technische oplossingen zowel voor hoogspanning (het landelijke transmissienet van TenneT, alsmede de onderstations van de Regionale Netbeheerders (RNB's) die hieraan gekoppeld zijn), als voor midden- en laagspanning. Hierbij wordt bepaald welke oplossingen het versneld aansluiten van klanten bij afnamecongestie kunnen faciliteren.

De focus ligt hierbij op de twee technische oplossingen met het hoogste potentieel om de aanwezige transportcapaciteit te verhogen:

1

Door hogere belasting van componenten, waarbij er drie manieren zijn waarop aanvullende capaciteit gecreëerd wordt in de hele keten:

a. Netcomponenten binnen een netverbinding of onderstation kunnen groter gedimensioneerd zijn dan de netcapaciteit die gedefinieerd is voor het geheel (per verbinding of station) en waar de netbeheerder mee rekent. Als dit voor de zwakste schakel in de keten geldt, dan bestaat er al ruimte voor zwaarder belasten;
b. Netcomponenten zoals transformatoren, lijnen en kabels kunnen vaak zwaarder belast worden dan de nominale capaciteit, rekening houdend met specifieke omgevingscondities en representatieve belastingprofielen;
c. Netcomponenten die de zwakste schakel vormen, en daarmee de totale capaciteit van de keten beperken, kunnen vaak vervangen of verzwaard worden.

2

Het inzetten van de enkelvoudige storingsreserve (de "vluchtstrook"), hierdoor ontstaat tijdens normaalbedrijf meer capaciteit, waarmee meer klanten aangesloten kunnen worden.
we onderscheiden twee varianten die met name verschillend zijn ten aanzien van storings- en onderhoudsituaties.

a. Het afsluiten van (markt-gebaseerde) "curatieve N-1" contracten met aangeslotenen. Hierbij kunnen deze klanten afgeschakeld of afgeregeld worden in geval van storing (evt. tijdens onderhoud). Dit geldt zowel voor bestaande als nieuw aan te sluiten klanten.
b. Het accepteren van een lagere betrouwbaarheid, lokaal, tijdens de congestieperiode.

Naast deze twee oplossingen, zijn ook andere technische oplossingen onderzocht, zoals "spanningsregeling" en "gesloten ring bedrijf".

Omdat uit dit onderzoek geen aanvullend potentieel voor deze oplossingen naar voren kwam, zijn de beschrijvingen hiervan alleen in de bijlage opgenomen.

Om tot het gewenste onderzoeksresultaat te komen, is zowel een literatuurstudie uitgevoerd, als een uitgebreide uitvraag bij TenneT en de drie grootste RNB's.

Huidige benutting van het elektriciteitsnet

Uit de analyse van de wijze waarop de netbeheerders de grenzen van het elektriciteitsnet bepalen, en op grond van een data-analyse van congestiegebieden, kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat voor de geanalyseerde congestiegebieden er geen ruimte is om meer klanten in te passen en dat er zelfs veelal aanvullende maatregelen nodig zijn om de betrouwbaarheid van het net te kunnen garanderen tegen het einde van de congestieperiode. Voor het LNB (Landelijk Netbeheerder)-net is sprake van een gemiddelde overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit aan het einde van de congestieperiode met 20%, voor het RNB (Regionale Netbeheerder)-net met 8% (HS), 11% (MS-transformatoren) en 17% (MS-kabels). Hierbij bedraagt de gemiddelde huidige benuttingsgraad in congestiegebieden 45-55% in deze netten.

Wel zijn er grote inherente onzekerheden die de juiste mate van klantinpassing compliceren, zowel in de natuurlijke belastinggroei (groei binnen bestaande transportovereenkomsten) als de ingebruiknamedatum van netinvesteringen. In dit rapport wordt verklaard hoe de hoge mate van congestie en de momenteel ogenschijnlijke lage benuttingsgraad met elkaar overeenkomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een beoordeling van de kwaliteit van de prognosemethodieken van de netbeheerders buiten scope van deze studie is, hiervoor heeft EZK het aansluitoffensief traject gestart. Onze bevindingen zijn gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch en betrouwbaar zijn. Ook is niet in detail gekeken op welke wijze de LNB rekening houdt met regelbaar vermogen bij het bepalen van de toekomstige, benodigde transportcapaciteit. Ten slotte kunnen recente wijzigingen in het prioriteringskader van invloed zijn op onze conclusies.

Het inzicht in de actuele belasting is met name in het MS-net en LS-net beperkt doordat van een aanzienlijk deel van de netcomponenten geen metingen beschikbaar zijn of de frequentie van de meetwaarden zeer laag is.
De belasting in deze delen van het MS-net en LS-net wordt bepaald door gebruik te maken van modellen, die de belasting berekenen. Een beter inzicht verbetert de bepaling van de belastbaarheid. Alle RNB's werken op dit moment aan verbeterde monitoring van het MS-net richting 2030, inclusief het gebruik van slimme meter data ten behoeve van LS-monitoring.

De constatering dat aan het einde van de congestieperiode aanvullende maatregelen nodig zijn, betekent ook dat het potentieel van technische oplossingen deels aangewend zal moeten worden om de natuurlijke groei te absorberen, en dus niet volledig gebruikt kan worden om versneld meer klanten aan te sluiten. Dit maakt de toepassing van deze oplossingen niet minder relevant, maar betekent wel dat het geïdentificeerde potentieel voor beide doeleinden benodigd is, de verhouding zal verschillen per congestiegebied.

1 Zwaarder belasten

Het zwaarder belasten van het hoog- en middenspanningsnet biedt een significant potentieel voor klantinpassing, terwijl er in het laagspanningsnet geen additioneel potentieel is. Een deel van dit potentieel wordt al door de LNB en de RNB's benut om de verwacht belastinggroei tot aan de netuitbreiding te faciliteren. Het resterende potentieel is nog onbenut door diverse technische, organisatorische en wettelijke belemmeringen.

Per netvlak en verantwoordelijke netbeheerder(s) is het potentieel als volgt:

Landelijke netbeheerder – (Extra) Hoogspanningsnet

Naar verwachting heeft deze oplossing in het landelijke EHS- en HS-net een potentieel om totaal ongeveer 30% capaciteit vrij te maken voor klantinpassing. Dit kan worden gerealiseerd door componenten (voornamelijk lijnen en transformatoren) lokaal zwaarder te belasten met 10 tot 50% boven de huidige aanwezige capaciteit. Een deel van dit potentieel (10-15%) is reeds gerealiseerd.

Regionale netbeheerders

In de RNB netten bedraagt het potentieel in totaal ongeveer 30% (voor het HS-net en voor het MS-net). Een deel van dit potentieel is reeds gerealiseerd. De resterende potentie van het zwaarder belasten voor klantinpassing is sterk afhankelijk van de congestie op het bovenliggende net. Doordat er congestie is op 80% van het (E)HS-net, is het resterende potentieel van deze oplossing 3%. Zodra bovenliggende congestie wordt opgelost, wordt deze oplossing ook op RNB-niveau zeer relevant. Per netvlak betekent dit:

- Hoogspanning
  In het HS-net bedraagt het resterende potentieel 15% op RNB-niveau (dit betreft HS/MS-transformatoren). Hierbij is er rekening mee gehouden dat deze oplossing in 80% van de gevallen toegepast kan worden, vergelijkbaar met het LNB HS-net. Dit wordt bereikt doordat, afhankelijk van lokale omstandigheden en technische eigenschappen van transformatoren, deze 10 tot 50% hoger te belasten zijn dan nominaal.
- Tussen en middenspanning
  In het TS en MS-net bedraagt het resterende potentieel 15% tot 20%. Hierbij is rekening gehouden dat zwaarder belasten in 20% en 70% (voor transformatoren en kabels, respectievelijk) van de gevallen toegepast kan worden. Voor TS/MS- en MS/MS-transformatoren zijn de mogelijkheden voor zwaarder belasten vergelijkbaar met die van de HS/MS-transformatoren en kunnen deze onder dezelfde voorwaarden 10% tot 50% boven hun normale vermogen worden belast. Dit is echter maar in 10% van de congestiegebieden toepasbaar, wat voornamelijk door de beperkte grootte van de populatie komt. Voor kabels is het potentieel groter (32%). Deze kunnen namelijk tot ca. 45% boven hun normale waarde belast worden, in maximaal 70% van de gevallen. Het potentieel van het kabelnet is het meest bepalend voor de te benutten capaciteit van het TS- en MS-net.
- Laagspanning
  Het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren en LS-kabels wordt momenteel al toegestaan door de RNB's. Dit is enerzijds onderdeel van het beleid, anderzijds onvermijdelijk. Als de totale belasting de nominale capaciteit overschrijdt, heeft de RNB geen mogelijkheden dit te voorkomen door op afstand (een deel van) de belasting af te schakelen, of anderszins. Het zwaarder belasten in LS vindt momenteel zeer beperkt plaats, omdat de aanwezige transportcapaciteit in de meeste gevallen nog voldoende is. In de komende jaren kan door de toepassing van deze oplossing de (grotendeels) natuurlijke groei tot zekere hoogte geabsorbeerd worden. Daarbij zullen nieuwe aanvragen voor transportcapaciteit grotendeels stuiten op bovenliggende congestie. Deze oplossing biedt hiermee geen *aanvullend* potentiaal om congestie te verlichten.

Het potentieel van zwaarder belasten wordt al deels door de netbeheerders benut. Hiervoor passen ze een aantal strategieën toe en zijn ze andere aan het (door)ontwikkelen.

De netbeheerders hebben de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar het zwaarder belasten van netcomponenten, hebben hier deels al beleid voor ontwikkeld, en hebben al eerste resultaten hiermee geboekt (extra klanten aan kunnen sluiten). De netbeheerders zorgen met het actualiseren van de Nederlandse Praktijkrichtlijn *voor de belastbaarheid van kabelsystemen en transformatoren* voor meer transparantie in de uitgangspunten ten aanzien van de belastbaarheden van hun net.

Internationale benchmarks tonen aan dat toonaangevende netbeheerders in Europa vergelijkbare methoden toepassen om componenten in hun hoogspannings- en middenspanningscomponenten boven de nominale limieten te belasten om ruimte te creëren die (tijdelijk) benut kan worden tijdens N-1-situaties. Deze strategieën leveren deze netbeheerders percentages van zwaarder belasten die vergelijkbaar zijn met die van de Nederlandse netbeheerders. De programma's en initiatieven van TenneT (LNB) en de RNB's tot nu toe, en het al benutte potentieel, zijn als volgt:

Landelijke netbeheerder – (Extra) Hoogspanningsnet

- MaxLimit-programma, om de werkelijke belastbaarheid van alle netschakels (het geheel aan componenten dat een aaneengesloten keten vormt tussen twee stations) te bepalen. Tot nu toe is er voor 10% van de netschakels een 10 tot 20% capaciteitswinst gerealiseerd.
- In dit programma wordt onder meer gerekend met een verhoogde minimale windsnelheid, die gebaseerd is op waargenomen windsnelheden in Nederland, als uitgangspunt om de capaciteit van componenten te bepalen. Dit potentieel is op 50% van de lijnen vastgesteld, wat lokaal voor tot 15% capaciteitsverhoging van de hele netschakel kan zorgen, door het verkoelende effect van de wind.

Hiermee zijn de componenten nog niet boven hun nominale capaciteit belast. Daar is nog ruimte voor. TenneT heeft de volgende initiatieven gestart.

- Year Rating Curve-model (YRC), waarmee componenten lokaal tot nog eens 30% boven de MaxLimit-waarden belast kunnen worden.
- Ontwikkelen van het Dynamic Transformer Rating-model (DTR) om transformatoren cyclisch tot 20% zwaarder te kunnen belasten.

Bovendien is ongeveer 50% van de transformatoren van TenneT voorzien van geforceerde koeling. Deze hebben standaard een hogere belastbaarheid dan transformatoren met natuurlijke koeling, hun nominale (100%) waarde is hierop gebaseerd. Door transformatoren met natuurlijke koeling van ventilatoren te voorzien, kunnen deze ook zwaarder belast worden.

Regionale netbeheerders

- Transformatoren in de HS-, TS- en MS-netten van de RNB's worden al jaren boven hun nominale capaciteit belast. Op dit moment wordt zowel statische als cyclische belasting toegepast, wat lokaal 10 tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit oplevert, verschillend per RNB. De impact van het hoger belasten van TS/MS- en MS/MS-transformatoren is beperkt, aangezien deze in minder aantallen aanwezig zijn.
- Één netbeheerder staat belasting tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit toe, indien mogelijk.
- Op dit moment passen alle RNB's (een combinatie van) statisch en cyclisch zwaarder belasten van MS-kabels toe.
- Dynamische modellen worden (door)ontwikkeld om de impact van het (lokaal) toepassen van hogere belastingwaarden en de haalbaarheid daarvan te kunnen inschatten.

Net als bij TenneT, maakt ongeveer 50% van de RNB-transformatoren (40 tot 70%, afhankelijk van de RNB) gebruik van geforceerde koeling en kan de capaciteit van de rest van de transformatoren potentieel verhoogd worden door het toepassen van ventilatoren.

Zowel de LNB als de RNB's onderzoeken ook de mogelijkheden om dynamisch te kunnen belasten (met gebruik van dezelfde YRC- en DTR-modellen als voor cyclisch belasten). Dit levert echter geen aanvullende potentieel om capaciteit vrij te maken om extra klanten aan te sluiten op het net, en wordt daarom hier verder niet behandeld.

Er ligt nog 15% tot 20% onbenut potentieel dat niet gebruikt wordt doordat er diverse belemmeringen zijn. De belemmering ten aanzien van de huidige EMC-richtlijnen is daarin cruciaal.

Hoewel netbeheerders al langere tijd zwaarder belasten toepassen, is nog altijd 15% tot 20% van het beschikbare potentieel onbenut. Dit extra vermogen kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het verkorten van wachtrijen voor transportcapaciteit en het versnellen van klantinpassing. In de praktijk blijkt echter dat een reeks belemmeringen, zowel technisch, organisatorisch als regelgevend, ervoor zorgt dat dit potentieel nog niet wordt ontsloten. Daarbij speelt ook mee dat netbeheerders tot op heden beperkt transparant waren over de mate waarin zwaarder belasten al is toegepast en welke knelpunten zij daarbij ervaren. De inzichten in dit rapport geven hier een eerste antwoord op, maar dit is een momentopname; structurele monitoring en rapportage worden geadviseerd.

De belangrijkste rem op brede toepassing van zwaarder belasten is de huidige EMC regelgeving. Bij 60%–80% van de TenneT cases is eerst een EMC onderzoek nodig, met doorlooptijden van twee tot zes jaar. Hierdoor is het uitvoeren van maatregelen op schaal vrijwel onmogelijk. Ook bij RNB's is de impact groot: in circa 80% van de gevallen stuiten zwaardere belastingmogelijkheden op bovenliggende congestie, waardoor extra capaciteit in HS/MS netten nog nauwelijks kan worden ingezet voor klantinpassing en de potentie dus maar beperkt wordt benut.

Naast deze structurele belemmeringen zijn er aanvullende beperkingen:

- Ketenbeperkingen door kritieke zwakkere componenten (transformatoren, verbindingen) die de hogere belasting van het geheel verhinderen.
- Gebrek aan uniforme uitgangspunten tussen RNB's, vooral in MS netten, waar verschillende belastbaarheidswaarden worden gehanteerd.
- Organisatorische complexiteit, schaarse expertise en trage IT/OT aanpassingen die implementatie vertragen.
- Beperkingen in vergunningen rond geluidsnormen, al spelen deze slechts in circa 5% van de gevallen en is de impact op het totale potentieel beperkt (~1%).
- Beperkte praktijkervaring met cyclisch (of dynamisch) belasten (YRC, DTR), waarvoor modellen nog verder ontwikkeld en gevalideerd moeten worden.

Zolang deze belemmeringen bestaan, blijft het daadwerkelijke schaalbare potentieel zeer beperkt. Door de congestie op het bovenliggende net kan effectief slechts ~3% van het potentiële extra vermogen voor klantinspanning worden gebruikt.

Het tijdig aanpassen van EMC-kaders én het versnellen van de aanpak van de netbeheerders is bepalend om het beschikbare potentieel sneller te ontsluiten.

Om het resterende potentieel daadwerkelijk te benutten, moeten zowel de LNB als de RNB's hun huidige programma's versnellen en verbreden, terwijl zij tegelijkertijd afhankelijk blijven van aanpassingen in randvoorwaarden die zij niet volledig zelf kunnen beïnvloeden. Wat dit betekent voor elke partij:

Landelijke netbeheerder – (Extra) Hoogspanningsnet

Voor de LNB betekent dit dat lopende programma's zoals MaxLimit, hogere windsnelheden, Yearly Rating Curves en Dynamic Transformer Rating niet alleen moeten worden voortgezet, maar ook in tempo en schaal vergroot, en dat geforceerde koeling breder toegepast moet worden. Waar ketenbeperkingen worden veroorzaakt door zwakke componenten in verbindingen of transformatoren, zullen deze gericht vervangen moeten worden om hogere belasting van het gehele systeem mogelijk te maken, een potentieel dat nu nog niet volledig is meegenomen in MaxLimit. Verder kan de risico gebaseerde EMC aanpak op specifieke locaties worden benut om sneller ruimte te creëren, al blijft brede toepassing afhankelijk van aanpassingen die buiten de directe sturing van de LNB liggen.

Regionale netbeheerders

Ook voor de RNB's geldt dat zij hun aanpak moeten verbreden. Zij moeten ervoor zorgen dat zij operationeel klaar staan om zwaarder belasten op grote schaal toe te passen zodra de bovenliggende congestie wordt opgeheven. Een belangrijk onderdeel daarvan is dat zij de huidige verschillen in belastbaarheidswaarden verkleinen, door harmonisatie naar hogere waarden. Dit vraagt om een minder terughoudende en selectieve benadering, maar dat er breed wordt ingezet op het verruimen van belastinggrenzen waar dit technisch verantwoord is. Daarbij horen ook het verbeteren van thermische modellen, uitbreiding van monitoring en het aanvullen van componentinformatie, zodat hogere belastingen verantwoord en reproduceerbaar kunnen worden toegepast. Net als bij de LNB moeten ook bij de RNB's geforceerde koeling verder uitgerold worden en de ketenbeperkingen worden weggenomen door kritieke componenten te vervangen, omdat deze anders de totale potentie beperken. Geluidseisen en geluidsdempende maatregelen kunnen worden herzien op locaties waar zij daadwerkelijk een blokkade vormen voor klantinpassing, al is de totale impact daarvan zeer beperkt.

Wet- en regelgeving

Zowel LNB als RNB's blijven voor het breed kunnen inzetten van zwaarder belasten afhankelijk van noodzakelijke aanpassingen in de regels en procedures die de toepassing nu vertragen. De huidige EMC kaders zorgen voor langdurige, casuïstische trajecten en beperken het schaalbaar toepassen van maatregelen. Snellere en meer risico-gebaseerde besluitvorming is noodzakelijk om de beoogde versnelling mogelijk te maken. Ook vergunningprocedures voor technische maatregelen en de evaluatiekaders die verschillende betrokken stakeholders hanteren moeten worden aangepast, zodat netbeheerders niet gehinderd worden door doorlooptijden die niet in verhouding staan tot de urgentie van de congestieproblematiek. Pas wanneer deze randvoorwaarden zijn aangepast, kunnen LNB en RNB's de opgeschaalde technische oplossingen breed toepassen en het volledige potentieel van zwaarder belasten benutten.

Zonder aanpassing van de EMC kaders blijven onderzoeken en vergunningstrajecten twee tot zes jaar duren, waardoor de brede uitvoering traag blijft, waardoor het beschikbare potentieel voorlopig nauwelijks benut kan worden. Wanneer de EMC belemmeringen wel worden weggenomen en bovenliggende congestie tijdig wordt opgelost, kan een eerste deel van de maatregelen al binnen één jaar worden toegepast. In dat versnelde tempo kunnen de belangrijkste programma's vervolgens binnen één tot drie jaar breder worden uitgerold. Hierdoor worden zichtbare effecten eind begin 2027 haalbaar en komt benutting van het volledige resterende potentieel binnen handbereik.

2 Gebruik storingsreserve

Technisch gezien heeft deze oplossing een enorm potentieel, deze is vergelijkbaar met het potentieel van de vluchtstrook bij invoeding, welke ca. 30% additionele transportcapaciteit oplevert. Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van enerzijds klantparticipatie, en anderzijds risicobereidheid. Een initiële inschatting van het realistisch potentieel bedraagt 10%.

Het **inzetten van de enkelvoudige storingsreserve** (ten behoeve van afnameklanten) wordt nog niet toegepast in HS, vanwege de huidige wettelijke verplichting voor het hanteren van deze enkelvoudige storingsreserve in HS, met uitzondering van enkele situaties waarvoor een ontheffing is verleend en een pilot door TenneT. Twee belangrijke belemmeringen zijn:

1. De schaalbaarheid van de curatieve N-1 variant (afschakelen of afregelen van klanten bij storingen op basis van afspraken) is zeer afhankelijk van het aantal klanten (grootverbruikers) dat hiervan gebruik wil maken. Dit betreft met name bestaande klanten zoals energie intensieve industrie en datacenters. Ook gelden hier nog operationele beperkingen en technische uitdagingen die verder onderzocht moeten worden, met de kanttekening dat in België dit product al aangeboden wordt door de LNB. Vanwege een mogelijke lange herstelduur, kan de impact van een storing groot zijn voor een dergelijke klant. Deze oplossing is daarmee meer geschikt op LNB-niveau omdat daar een ruimere storingsreserve aanwezig is (N-1 tijdens onderhoud).
2. De netbeheerders lijken terughoudend in het accepteren van een iets lagere betrouwbaarheid, mede gezien de impact hiervan op de eigen organisatie, en vanwege de sterke interne focus op betrouwbaarheid. Gezien de grote maatschappelijke impact van netcongestie is een heroverweging op zijn plaats, ook omdat de acceptatie van een beperkte vermindering van de betrouwbaarheid, de ruimte biedt om veel klanten aan te sluiten. De afweging tussen het versneld aansluiten van meer klanten en het accepteren van een lagere betrouwbaarheid is echter een maatschappelijk vraagstuk. Daarom adviseren we deze in een open dialoog te beslechten, bij voorkeur als onderdeel van het aansluitoffensief[3].

Op MS wordt ook een enkelvoudige storingsreserve gehanteerd (niet tijdens onderhoud). Hier is geen wettelijke grondslag voor, maar deze is nodig om de huidige, hoge betrouwbaarheid te kunnen realiseren. In bepaalde gebieden wordt de enkelvoudige storingsreserve al ingezet om de natuurlijk groei op te vangen. Behalve enkele specifieke gevallen waar nieuwe klanten op de vluchtstrook worden aangesloten, is er nog geen algemeen beleid ontwikkeld om deze oplossing toe te passen voor het versneld aansluiten van meer klanten. Dit komt voornamelijk door bovenliggende congestie (Inzet van de storingsreserve door de RNB stuit in 80% van de gevallen op deze beperking), maar ook door de grote organisatorische impact.

Op LS is deze oplossing niet van toepassing, aangezien daar geen enkelvoudige storingsreserve aanwezig is.

Binnen de huidige beleidskaders kunnen de netbeheerders (met name LNB) meer initiatief tonen

Doordat de storingsreserve bij wet nog niet gebruikt mag worden, zijn de huidige mogelijkheden voor de netbeheerders beperkt om deze oplossing op HS toe te passen. Desondanks kan met name de LNB meer initiatief tonen rond het curatieve N-1 concept. Enerzijds omdat deze variant vooral op LNB-niveau relevant is, anderzijds gezien de beperking van de bovenliggende congestie op toepasbaarheid van deze oplossing voor RNBs. Daarnaast kan dit concept mogelijk via een CSC-constructie toegepast worden, en zijn er veel activiteiten ter voorbereiding benodigd die al door de LNB geïnitieerd kunnen worden. Aangezien dit concept in andere landen zoals België al wordt toegepast, lijkt een snelle introductie binnen 2-3 jaar haalbaar.

Het beleid moet gericht zijn op benodigde wetswijzigingen, alsmede de risicobereidheid

Beide varianten voor het gebruik van de enkelvoudige storingsreserve zijn relevant, waarbij het grootste potentieel voor de curatieve N-1 variant zich op LNB-niveau bevindt, en het grootste potentieel voor acceptatie van een lagere betrouwbaarheid zich op RNB-niveau bevindt.

Om de enkelvoudige storingsreserve deels te kunnen gebruiken om meer klanten aan te sluiten in de tweede variant, zijn wetswijzigingen nodig. Daarnaast zal hiervoor de risicobereidheid aangepast dienen te worden, hetgeen een maatschappelijk vraagstuk is.

[3] Zie: Aansluitoffensief: Acht doorbraken voor beter benutten van het net

3 LNB-RNB samenwerking

Ook de **samenwerking tussen LNB en RNB** is nader onderzocht. Het gezamenlijk congestieonderzoek in specifieke regio's heeft al geleid tot verlichting van de congestie. Een nauwere samenwerking in alle congestiegebieden lijkt daarmee raadzaam. Ook het aansluiten van grotere klanten in het distributienet op de enkelvoudige storingsreserve van TenneT is een relevante oplossing, zeker in de vele distributienetten die kampen met bovenliggende congestie.

Laagspanning

In deze studie is vastgesteld dat er geen technische oplossingen zijn in laagspanning waarmee de congestie problematiek verder verzacht kan worden.

Aangezien de belastinggroei in LS voornamelijk achter de meter (binnen bestaande transportovereenkomsten) plaatsvindt, kan deze groei moeilijk beperkt worden. De enige oplossing die momenteel aanwezig is om aan de groeiende transportvraag te voldoen, is het verzwaren van het LS-net. Dit stuit echter op een beperkte uitvoercapaciteit (de beschikbare uitvoercapaciteit in verhouding tot de benodigde uitvoercapaciteit om alle knelpunten op te kunnen lossen bedraagt 68% per 2030 volgens opgave netbeheerders).

Het is dus noodzakelijk om deze groei te gaan beteugelen. Niet alleen vanwege de, door de netbeheerders, verwachte congestie in LS, maar ook omdat de natuurlijke, toekomstige groei in LS een grote impact heeft op de huidige congestieproblematiek (en wachtrijen) in MS en HS.

Dit leidt tot de conclusie dat oplossingen in het markt- en klantdomein noodzakelijk zijn om de congestieproblematiek in LS, maar ook in het algemeen, het hoofd te bieden. Denk hierbij aan een bredere acceptatie (of stimulering) van dynamische leveringscontracten, een nieuwe methodiek voor kleinverbruik-nettarieven en congestie management in laagspanning. Hierbij kan een besluit tot een toekomstige (beleids-) wijziging, vandaag al de mogelijkheid creëren om meer klanten aan te sluiten, ook op hogere netvlakken.

Aanbevelingen

Op basis van de geconstateerde belemmeringen zijn de volgende beleidsaanbevelingen geformuleerd die zwaarder belasten kunnen faciliteren of stimuleren:

1. De overheid (EZK/ VRO/IenW met de regie bij EZK) dient het EMC-vergunningstraject, benodigd bij zwaarder belasten hoogspanningsverbindingen, te versnellen en te vereenvoudigen.
2. EZK dient in een open dialoog met netbeheerders een herijking te bepalen tussen het versneld aansluiten van klanten en de betrouwbaarheid van het net. Hierbij dienen ook de geassocieerde kosten en de druk op de (netbeheer) organisaties beschouwd te worden. Bij voorkeur is dit onderdeel van het aansluitoffensief, waarbij het risico deels overgeheveld kan worden naar EZK (bijv. via een storingsfonds).
3. EZK dient de verplichting van de enkelvoudige storingsreserve in de planningsfase tijdsafhankelijk te maken (bijv. 99% van de tijd, waarbij de waarde afhankelijk is van het netvlak). Hiertoe dient het onlangs gepubliceerde Energiebesluit aangepast te worden Netbeheer Nederland dient hierbij een voorstel voor het percentage per netvlak/spanningsniveau of anderszins voor te stellen, alsmede aangepaste hersteltijden.
4. Het Landelijk Actieprogramma Netcongestie dient de curatieve N-1 propositie met prioriteit te ontwikkelen. Hierbij dienen de netbeheerders benodigde pilots uit te voeren en technische vraagstukken te adresseren, en EZK en de ACM dienen het regulatorisch kader te bepalen. Het is vooral belangrijk een product te ontwikkelen dat voldoende interessant is voor relevante klantgroepen, met name de industrie en datacenters. Dit kan gekoppeld worden aan de individuele top-50 flexafspraken die binnen het *Aansluitoffensief* opgesteld gaan worden.
5. De ACM dient de mogelijkheid te onderzoeken om bepaalde afname-klantgroepen (met name grote klanten zoals datacenters) alleen een vluchtstrook aansluiting aan te bieden in congestiegebieden, tijdens congestie periodes.
6. De netbeheerders dienen een gezamenlijk onderzoek uit te voeren, zoals nu voor de Flevoland-Gelderland Utrecht (FGU) regio plaats vindt, voor alle regio's waar congestie op LNB-niveau leidt tot wachtrijen op het distributienet. Dit betreft zowel samenwerking bij het opstellen van prognoses, als bij mogelijke klantinpassing
7. De netbeheerders dienen de mogelijkheid te onderzoeken om RNB's en aangeslotenen op het distributienet (deels/tijdelijk) aan te sluiten op de enkelvoudige storingsreserve van TenneT.
8. De netbeheerders dienen hun programma's ten aanzien van zwaarder belasten te versnellen, eventueel ten koste van andere initiatieven met een lager potentieel. Omdat hiervoor de inzet van schaarse expertise benodigd is, dient dit onderdeel te zijn van de "open dialoog", alsmede het aansluitoffensief.
9. De netbeheerders dienen transparantie te bieden over mogelijkheden en onmogelijkheden t.a.v. het zwaarder belasten van netschakel(s)/onderstations/MS-ringen via het congestieonderzoek of vooraankondiging.
10. De netbeheerders dienen meer transparantie over de veronderstelde in-gebruik-name-datum van een netinvestering op te nemen in het congestieonderzoek, met name over de impact op de mate van klant-inpassing.
11. De regionale netbeheerders dienen hun beleid ten aanzien van het zwaarder belasten van MS netcomponenten zodanig te harmoniseren dat hogere limieten breder in het net toegepast kunnen worden.

12. Overheden (EZK/VRO/IenW/VNG met de regie bij EZK) dienen de vergunningstrajecten ten aanzien van geluidsnormen te versnellen of te vereenvoudigen.

Indien de vastgestelde belemmeringen niet versneld weggenomen worden, zal het (op grote schaal) toepassen van deze technische oplossingen meerdere jaren (2-6) vergen en niet snel, op grote schaal, tot het versneld aansluiten van klanten leiden. Echter, aangezien het aansluiten van extra klanten in de meeste gevallen niet direct leidt tot betrouwbaarheidsissues (congestie treedt met name op tegen het einde van de congestieperiode), kan er ook voor gekozen worden om op korte termijn, op specifieke locaties, al extra klanten aan te sluiten, anticiperend op het in de toekomst toe kunnen passen van deze oplossingen. Deze optie zou onderdeel moeten zijn van de open dialoog die in aanbeveling 2 vermeld is.

Onderstaande aanbevelingen hebben weliswaar geen directe relatie tot de technische oplossingen die in deze studie onderzocht zijn, maar volgen uit onze analyse en zijn daarmee zeker zo belangrijk:

13. EZK en de netbeheerders moeten meer haast maken met het doorvoeren van markt-/klantoplossingen in laagspanning, om de mogelijke impact van de natuurlijke groei op de congestieproblematiek te verkleinen.

14. De netbeheerders dienen hun prognosemethodiek aan te scherpen, en kunnen hierbij een voorschot nemen op de impact van recente en toekomstige beleidswijzigingen (bijv. afschaffen saldering, invoering nieuwe KV-tariefmethodiek, etc.). Daarnaast kan de methodiek verder geharmoniseerd worden tussen regionale netbeheerders.



WOORDENLIJST

TERM	DEFINITIE
Aanwezige transportcapaciteit	De maximale capaciteit die beschikbaar is voor klantinpassing.
ACM	Autoriteit Consument en Markt
AMvB	Algemene Maatregel van Bestuur
Autonome groei	Groei binnen reeds gecontracteerd vermogen (GV&KV) en prognoses voor woningbouw.
Beter benutten	Het gemiddeld gebruik van het net wordt verhoogd door vraag te verschuiven van de piek naar het dal (bijvoorbeeld middels tijdsafhankelijke nettarieven), de piek te verlagen (bijvoorbeeld middels CBCs) of het dal te vullen (bijvoorbeeld middels TDTR).
CBC	Capaciteit Beperkend Contract
CSC	CapaciteitsSturingsContract
Curatief N-1	Contracten worden afgesloten met klanten die (op bepaalde piekmomenten) op de vluchtstrook worden geplaatst. Hiermee kan gesteld worden dat de enkelvoudige storingsreserve gehandhaafd blijft, met dien verstande dat dit deels middels afschakelbare contracten wordt ingevuld. Afschakeling kan plaats vinden als een onverwachte storing optreedt, eventueel t.b.v. onderhoud (dit laatste alleen op RNB-niveau).
Cyclisch zwaarder belasten	De maximale belasting ten opzichte van het nominaal vermogen van een component, die bepaald wordt op basis van de beschikbare thermische ruimte en een periodiekbelastingprofiel, waarbij specifieke omgevingscondities gebruikt kunnen worden.
Dynamisch zwaarder belasten	De maximale belasting ten opzichte van het nominaal vermogen van een component, die bepaald wordt op basis van een belastingsprognose, gebruikmakend van real-time metingen en actuele omgevingscondities.
EMC	ElektroMagnetische Compatibiliteit
Enkelvoudige storingsreserve	De reservecapaciteit, die in het net aanwezig is zodat de uitval van één object niet leidt tot een onderbreking van de stroomvoorziening.
Fysieke transport-capaciteit	De capaciteit die lokaal getransporteerd kan worden op basis van nominale waarden van netcomponenten, zonder rekening te houden met beperkingen elders in het net of benodigde storingsreserves.
Gelijktijdig-heid(sfactor)	Ratio tussen de piek van de som van alle belastingprofielen en de som van alle individuele piekvermogens.
GV	GrootVerbruik
HS	HoogSpanning
IBN	Datum in gebruik name netinvestering. De beoogde/verwachte in-gebruik-name datum van een netinvestering, daarmee (vaak) de einddatum van een congestieperiode op die locatie.
IP	InvesteringsPlan
IT/OT	Information Technology en Operational Technology
Klantinpassing	Het verwerken van een klantaanvraag voor transportcapaciteit door de netbeheerder.
KV	Kleinverbruik

TERM	DEFINITIE
LNB	Landelijk NetBeheerder
Limiterende component	De component die ervoor zorgt dat de volledige capaciteit van het opgestelde vermogen van de transformatoren, kabels of lijnen niet benut kan worden.
LS	LaagSpanning
Maakbaarheidsgat	Verhouding tussen de niet-tijdig realiseerbare investeringen en de benodigde investeringen door de netbeheerders.
MS	MiddenSpanning
MSR	MiddenSpanningsRuimte
MS-T	MiddenSpannings-Transportnet
MS-D	Middenspannings-Distributienet
Natuurlijke groei	Groei binnen reeds gecontracteerd vermogen (GV MS, GV LS & KV LS)
Netcomponent	Een component of systeem dat een eenduidig functie verricht in een net.
Netinzicht	Mate waarin de netbeheerder zicht heeft op de daadwerkelijk belasting van het net op basis van metingen in het net en/of op aansluitingen.
Netschakel	Het geheel aan componenten dat een aaneengesloten keten vormt tussen twee stations.
Nominale capaciteit	Nominale capaciteit zoals gedefinieerd op het type plaatje door de fabrikant.
Opgesteld vermogen	Het maximale vermogen per netcomponent dat onder nominale condities benut kan worden voor het leveren van elektrische energie.
Overbelasten	Een netcomponent is overbelast wanneer meer elektriciteit doorheen gaat dan is voorgeschreven, waarbij ook de maximum ontwerptemperatuur is overschreden.
Prognose piek-belasting laatste congestie jaar	De piekbelasting volgens de prognose van het laatste jaar voor het oplossen van de congestie (middels netverzwaring).
Regelbaar vermogen	Het opgesteld vermogen van aangeslotenen dat door middel van een stuursignaal geregeld kan worden door de netbeheerder.
RNB	Regionale NetBeheerder
Spanningsniveau	Spanningsniveau waarop het netwerkelement aangesloten is (bij transformator de hoogste waarde).
Statisch zwaarder belasten	De maximale belasting ten opzichte van het nominaal vermogen van een component tot een waarde die continu van toepassing is op basis van een constante belasting en specifieke langdurige omgevingscondities.
TDTR	TijdsDuurgebonden TransportRecht

TERM	DEFINITIE
TRL	Technology Readiness Level of maturiteit van de oplossing. Lage TRL's (1–3) richten zich op fundamenteel en theoretisch onderzoek. Midden-TRL's (4–6) vragen om prototypes, testen en multidisciplinaire samenwerking. Hoge TRL's (7–9) draaien om praktijktoepassingen, pilots en marktintroductie – en vereisen sterke samenwerking met eindgebruikers of implementatiepartners.
TS	TussenSpanning
Verlengde vluchtstrook	Het aansluiten van een klant in het distributienet op de storingsreserve van LNB TenneT (al dan niet ook op de storingsreserve van de RNB).
Zwaarder belasten	Een netcomponent is zwaarder belast wanneer er meer elektriciteit door stroomt dan is voorgeschreven op basis van de nominale capaciteit maar zonder de maximum ontwerptemperatuur te overschrijden.



1 INTRODUCTIE

1.1 Aanleiding 15

1.2 Onderzoeksvragen 16

1.3 Onderzoeksaanpak 17

1. INTRODUCTIE

1.1 Aanleiding

Nederland kampt op grote schaal met netcongestie. Dit belemmert de economische en maatschappelijke ontwikkelingen en kost naar schatting 40 miljard euro[4] per jaar. Tegelijkertijd heeft het Nederlandse elektriciteitsnet, internationaal gezien, een uitzonderlijk hoge betrouwbaarheid. Dit roept de vraag op of het (tijdelijk) zwaarder belasten van het net – door operationele grenzen op te rekken – een oplossing kan bieden om sneller capaciteit vrij te maken.

Hoewel zwaarder belasten technisch mogelijk is, is er bij het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (in het vervolg: EZK) en de Autoriteit Consument en Markt (in het vervolg: ACM) onvoldoende inzicht hoe netbeheerders de grenzen van het net bepalen, welke mogelijkheden er zijn om het net slimmer en zwaarder te belasten, wat de risico's en randvoorwaarden zijn, en hoe beleidsmakers dit kunnen faciliteren of stimuleren. Deze kennislacune belemmert een effectieve inzet van zwaarder belasten als instrument tegen netcongestie.

Aangezien de maatschappelijke impact van afnamecongestie significant hoger is dan de maatschappelijk impact van invoedingscongestie, richt deze studie zich op technische oplossingen die een bijdrage kunnen leveren aan het verminderen van afnamecongestie en hoe de ACM en EZK belemmeringen weg kunnen nemen.



Bron: Schakelen naar de toekomst – IBO bekostiging elektriciteitsinfrastructuur

1.2 Onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te verkrijgen in hoe netbeheerders de maximale belasting van het elektriciteitsnet bepalen en benutten, welke mogelijkheden er zijn om het net zwaarder te belasten, en wat daarbij de technische, economische en beleidsmatige afwegingen zijn. Dit inzicht moet bijdragen aan een bestuurlijke of politieke afweging of – en hoe – zwaarder belasten wenselijk en verantwoord is.

De onderzoeksvragen zijn:

1. **Hoe worden de grenzen van het elektriciteitsnet bepaald? Specifieke aandachtspunten hierbij zijn:**

    a. De mate van inzicht per spanningsniveau in de feitelijke belasting van het elektriciteitsnet;
    b. De huidige wijze waarop netbeheerders de limieten van netelementen bepalen en waarop die limieten zijn gebaseerd;
    c. Welke reservecapaciteit de netbeheerders aanhouden i.v.m. de netontwerpcriteria en operationele veiligheidsgrenzen en hoe deze reservecapaciteit in de praktijk wordt gebruikt;
    d. In hoeverre de netbeheerders gebruik maken van mogelijkheden om het net slimmer te bedrijven, zoals bijvoorbeeld dynamic line rating, advanced power flow control, topology optimisation en actieve koeling van assets;
    e. In hoeverre dit zich verhoudt tot de veiligheid en de betrouwbaarheid van het net.

2. **In welke mate wordt het net momenteel al zwaarder belast? Hieronder valt:**

    a. Het verbeteren van het inzicht per spanningsniveau in de feitelijke belasting van het elektriciteitsnet;
    b. Het verhogen van de limieten van netelementen;
    c. Het benutten van de reservecapaciteit (storingsreserve);
    d. Mogelijkheden om het net slimmer te bedrijven.

3. **Wat zijn de voor- en nadelen van verschillende mogelijkheden, waaronder per maatregel een inschatting van de impact, implementatiekosten, implementatietijd, het effect op de betrouwbaarheid, de impact op de omgeving/veiligheid alsmede de samenhang en wisselwerking van de mogelijkheden.**

4. **Mitigerende maatregelen om gesignaleerde risico's en nadelen te beperken.**

5. **Belemmeringen en voorwaarden om gebruik te maken van mogelijkheden om zwaarder te belasten.**

6. **Welke mogelijkheden hebben het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de Autoriteit Consument en Markt om (nog) zwaarder belasten van het net te stimuleren of te faciliteren?**

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden, is het onderzoek op de volgende doelstellingen gericht:

1. Inzicht verschaffen t.a.v. de huidige werkwijze van netbeheerders bij het bepalen en benutten van de netcapaciteit, inclusief inzet van reservecapaciteit en slimme technologieën.
2. Het identificeren van extra mogelijkheden om het net zwaarder te belasten. Tot op heden is vanuit beleid de nadruk gelegd op markt-gebaseerde oplossingen, de realiteit toont dat deze mechanismes, in ieder geval tot nu toe, lang niet toereikend zijn om netcongestieproblemen (lange aansluittermijnen als gevolg van het maakbaarheidsgat) op te lossen. De extra mogelijkheden waar deze studie zich op richt zijn (in eerste instantie) technisch van aard. Niet inbegrepen zijn technische oplossingen die substantiële investeringen behoeven en het verbeteren van de methodieken voor de prognose van autonome groei.
3. Analyse van de voor- en nadelen van deze mogelijkheden, inclusief impact, kosten, doorlooptijd en effect op betrouwbaarheid en veiligheid.
4. Het tonen van de belemmeringen en randvoorwaarden voor toepassing. Hieronder vallen onder meer technische, regulatorische en organisatorische belemmeringen en uitdagingen.
5. Het opleveren van de belangrijkste bevindingen en het formuleren van beleidsaanbevelingen voor netbeheerders, EZK en de ACM.

Afbakening

Gezien de maatschappelijke impact, richt dit onderzoek zich op afnamecongestie. Overigens zijn de meeste technische oplossingen ook relevant voor invoedingscongestie, maar dit zal alleen vermeld worden als dit een nuttige analogie is voor de afnamecongestie problematiek.

Voor de eerste vraag (hoe worden de grenzen van het elektriciteitsnet bepaald?) wordt uitgelegd welke rol de belastingprognoses hierin spelen. Deze studie kijkt niet in detail hoe de belastingprognoses opgesteld worden, noch in welke mate deze plausibel realistisch zijn.



FIGUUR 1-1

Schematische overzicht van de onderzoeksaanpak

1.3 Onderzoeksaanpak

Figuur 1-1 toont de toegepaste methode op een schematische manier. Het startpunt is een lange lijst van mogelijke technische oplossingen, door DNV opgesteld op basis van eerdere onderzoeken. Vanuit dit startpunt heeft DNV verdere informatie verzameld om de huidige situatie te analyseren en bepaalde haalbare oplossingen, met significante potentie, te selecteren.

De analysemethode omvat verschillende stappen, zoals literatuuronderzoek, internationale ervaringen en DNV-expertise, maar berust grotendeels op enquêtes en interviews met de netbeheerders. De drie grotere regionale netbeheerders (RNB's) hebben aan drie enquêtes deelgenomen, gericht op het verzamelen van feitelijke informatie over de huidige stand van zaken met betrekking tot zwaarder belasten op resp. hoogspannings- (HS), middenspannings- (MS) en laagspannings- (LS) niveau. Hierbij is onder "hoogspanning" ook *extra-hoogspanning* geschaard. Dit betreft het huidige beleid t.a.v. zwaarder belasten, data over de huidige benutting van het net, en de verwachte toekomstige benutting binnen ongeveer 60 netcomponenten en onderstations die door congestie in het hoogspanningsnet getroffen worden. Daarnaast ging de enquête in op de visie van de netbeheerder t.a.v. het toekomstig (aanvullend) potentieel, en mogelijke belemmeringen om dit potentieel te verwezenlijken. De landelijke netbeheerder (LNB) TenneT heeft alleen aan een enquête deelgenomen gericht op het HS-niveau.

Hierbij zijn door DNV vijf stappen voor elke oplossing doorgelopen: het beschrijven van de huidige toepassing, het identificeren van de mogelijkheden voor verdere implementatie, de analyse van de voor- en nadelen, en de beschrijving van de belemmeringen.

Hiertoe zijn tien kritieke prestatie-indicatoren (KPI) gedefinieerd om de potentie van de verschillende oplossingen te kunnen beoordelen en onderling te kunnen vergelijken:

- **Capaciteit:** In welke mate biedt de technologie voldoende capaciteit om de aansluiting van klanten in de wachtrij te versnellen?
- **Schaalbaarheid:** In welke mate kan de oplossing generiek worden toegepast in verschillende situaties?
- **Kosteneffectiviteit:** Staan de operationele/implementatie kosten in verhouding tot de baten (maatschappelijk perspectief)?
- **Compliant met regelgeving:** Zijn er substantiële wijzigingen van het regelgevingskader nodig?
- **Technology Readiness level (TRL):** Is de technologie voldoende volwassen/kan de markt deze technologie of dienst leveren? Zijn er technische belemmeringen?
- **Implementatietijd:** Hoe snel kan de oplossing worden geïntroduceerd?
- **Organisatorische impact:** Hoeveel inspanning zal netbeheerder moeten leveren voor het ontwerpen, implementeren en gebruiken van de oplossing (personeel en IT/OT-aanpassingen)?
- **Operationele complexiteit:** In welke mate worden real-time operaties beïnvloed door de oplossing?
- **Betrouwbaarheid:** Heeft de oplossing invloed op de betrouwbaarheid van het net (storingsminuten)?
- **Veiligheid:** Heeft de oplossing een invloed op de (aanraak)veiligheid en/of (cyber)beveiliging van het net?

Aan iedere KPI is voor iedere oplossing een waarde toegekend op een schaal van één tot en met vijf, waarbij een waarde van één het meest ongunstig is, en een waarde van vijf het meest gunstig. De definitie van iedere waarde voor ieder van deze KPI's is weergegeven in Appendix B.

Op de basis van de beoordeling van elke oplossing, zijn de bevindingen geformuleerd en vertaald naar aanbevelingen, die als input voor de Netbeheerders, EZK en de ACM dienen voor besluitvorming en verdere beleidsontwikkeling.



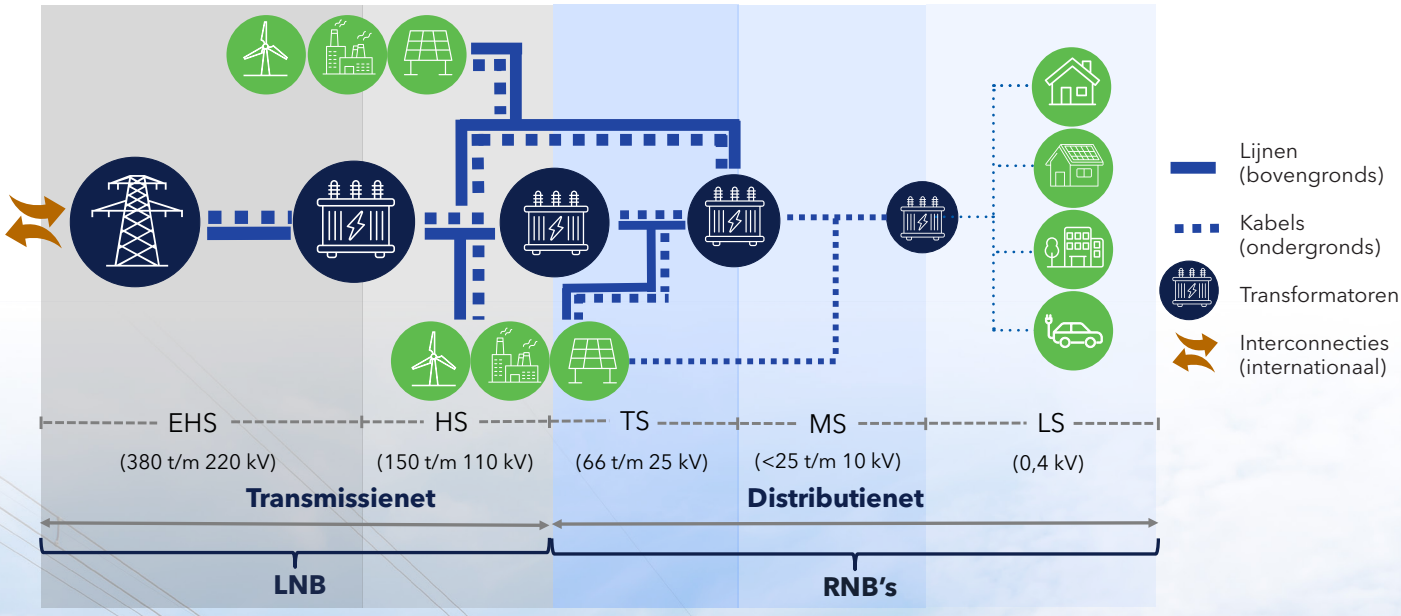
2 HET NEDERLANDSE ELEKTRICITEITSNET

2.1	Opbouw van het net	19
2.2	Betrouwbaarheidseisen en impact op het netontwerp	22
2.3	De impact van de energietransitie op het Nederlandse elektriciteitsnet	26

2. HET NEDERLANDSE ELEKTRICITEITSNET

2.1 Opbouw van het net

Het Nederlandse elektriciteitsnet is opgebouwd als een gelaagd systeem dat functioneert als een elektrisch wegennet, waarin ieder spanningsniveau een eigen rol, capaciteit en beheerder heeft. Hoe hoger de spanning, hoe groter de hoeveelheid energie die veilig en efficiënt kan worden vervoerd – vergelijkbaar met hoe brede snelwegen grotere verkeersstromen aan kunnen dan lokale straten. De structuur is ingedeeld in twee hoofdnetten: het **transmissienet**, beheerd door de landelijke netbeheerder **TenneT (LNB)** en het **distributienet**, beheerd door de **regionale netbeheerders (RNB's)**.
Deze structuur, de verschillende lagen en hoe ze aan elkaar gekoppeld zijn wordt schematisch weergegeven in Figuur 2-1.



FIGUUR 2-1

Schematisch overzicht van het Nederlands elektriciteitsnet



TRANSMISSIENET

- Het **Extra Hoogspanningsnet** (EHS-net), ook bekend als het koppel- of transmissienet, functioneert als de snelwegen van het elektriciteitssysteem. Over de verbindingen in het EHS-net – met spanningsniveaus van 220 kV en 380 kV – worden grote hoeveelheden elektriciteit efficiënt over lange afstanden getransporteerd, zowel binnen Nederland als internationaal.
- Het **Hoogspanningsnet** (HS-net), met spanningen van 110 en 150 kV en bekend als het transportnet, fungeert als het netwerk van provinciale wegen. Deze kunnen worden beschouwd als ruggengraat van het verkeersnetwerk, waarover grote verkeersstromen tussen regio's plaatsvinden. Het is minder zwaar uitgevoerd dan het EHS-net, maar nog steeds robuust genoeg voor grote vermogens.

DISTRIBUTIENET

- Het **Tussenspanningsnet** (TS-net), heeft ook een transportfunctie, maar op kortere afstanden en op spanningsniveaus van 25 t/m 66 kV. Deze netten zijn niet overal aanwezig, alleen waar nodig.
- Het **Middenspanningsnet** (MS-net), kent spanningen hoger of gelijk aan 10 kV en lager dan 25 kV en functioneren als regionale en stedelijke wegen, waarop de transportvolumes kleiner zijn, de afstanden korter en het distributienetwerk zich verder vertakt richting wijken, bedrijven en lokale stations. Het wordt opgesplitst in het MS-transportnet (MS-T) dat verbonden is aan het TS- of HS-net, en het MS-distributienet (MS-D) dat verbonden is aan het laagspanningsnet (LS-net).

LAAGSPANNINGSNET

Het **Laagspanningsnet** (LS-net), heeft een spanning van 0,40 kV en vormt het netwerk van lokale wegen, waarmee de kortere afstanden naar woningen en MKB worden overbrugd.

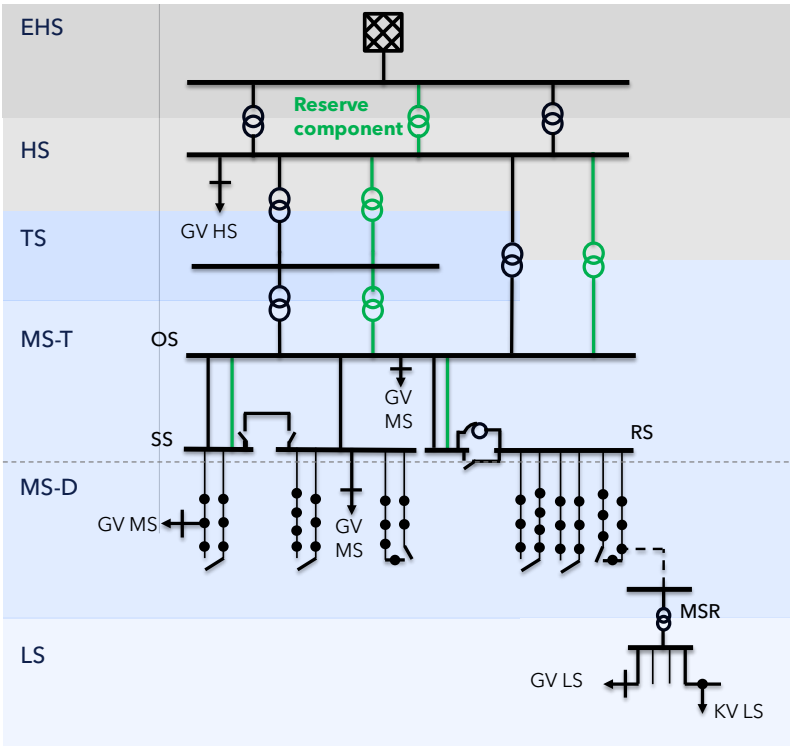
Het overdrachtspunt voor het beheer van deze netten zit op de grens tussen het HS en het TS-/MS-net, waarbij de RNB's verantwoordelijk zijn voor het distributienet vanaf de HS/TS of HS/MS transformatoren.

Hoewel elk spanningsniveau een duidelijke functie heeft, kennen de netten ook nadelen en uitdagingen. Hogere spanningsniveaus zijn efficiënter voor transport, maar de benodigde infrastructuur is groter, specialistischer en duurder. De impact op de omgeving is het grootst, omdat de verbindingen (lijnen) veelal bovengronds zijn. Ze hebben de meeste elektromagnetische interferentie en hebben, net als de snelwegen, de grootste impact op doorkruising van landschappen, geluid en fijnstof. Daarentegen, zijn lagere spanningsniveaus beter geschikt voor lokale distributie, maar veel gevoeliger voor piekbelasting, spanningsproblemen en teruglevering.

De combinatie van deze ontwerpkenmerken bepaalt hoe robuust, flexibel en uitbreidbaar het elektriciteitsnet is. Ook van belang zijn de onderdelen van het net, waarvan de netstations een essentiële rol spelen in het functioneren. Onder andere als schakel tussen de verschillende netten en voor het aansluiten van klanten. Deze netstations en de klanten die op de verschillende netten aangesloten zijn, worden in de volgende alinea's toegelicht en zijn in Figuur 2-2 weergegeven.

Netstations

- **Onderstations (OS):** Faciliteren de verbinding tussen verschillende spanningsniveaus van het EHS- tot het MS-net. Met transformatoren wordt op deze onderstations de spanning omzetten naar het juiste spanningsniveau.
- **Schakelstations (SS):** bevinden zich in het MS-T-net en hun functie is vergelijkbaar met die van een stekkerdoos. De spanningsniveaus blijven gelijk, maar de elektriciteit wordt in meerdere richtingen verdeeld.
- **Regelstations (RS):** Zijn vergelijkbaar met de schakelstations maar hebben als hoofdfunctie het reguleren van de spanning in de MS-T-netten, door middel van regeltransformatoren. Transport van elektriciteit over lange afstanden gaat namelijk gepaard met spanningsverliezen, wat tot spanningsproblemen kan leiden.
- **Middenspanningsruimte (MSR):** vergelijkbaar met de onderstations op het MS-T en hoger, faciliteren de MSR's de verbinding tussen het MS- en LS-net door het omzetten van de spanning naar het juiste niveau door middel van transformatoren.



FIGUUR 2-2

Netstations en klanten van het elektriciteitsnet

Klanten

De afnemers van het elektriciteitsnet worden aangesloten op de verschillende netvlakken afhankelijk van de grootte van hun aansluiting, zoals weergegeven in Tabel 2-1.

CATEGORIE	KLANT TYPE EN VERMOGEN	LOCATIE VAN AANSLUITING
Grootverbruik HS (GV HS)	• Industriële afnemers en datacenters > 100 MVA • Energiecentrales < 500 MVA	HS-net – direct op onderstation
Grootverbruik MS (GV MS)	300 kVA - 100 MVA: • ≥ 2 MVA • ≥ 300 kVA (0,3 MVA)	TS-net of MS-net: • Direct op onderstation, regelstation of schakelstation met eigen kabel • MS-net – MS-zijde van MSR
Grootverbruik LS (GV LS)	60 kVA - 300 kVA	LS-net – LS-zijde van MSR met eigen kabel
Grootverbruik LS (KV LS)	Huishoudens en MKB	LS-net – aftak op LS-hoofdkabel

TABEL 2-1

Klanten van het elektriciteitsnet

2.2 Betrouwbaarheidseisen en impact op het netontwerp

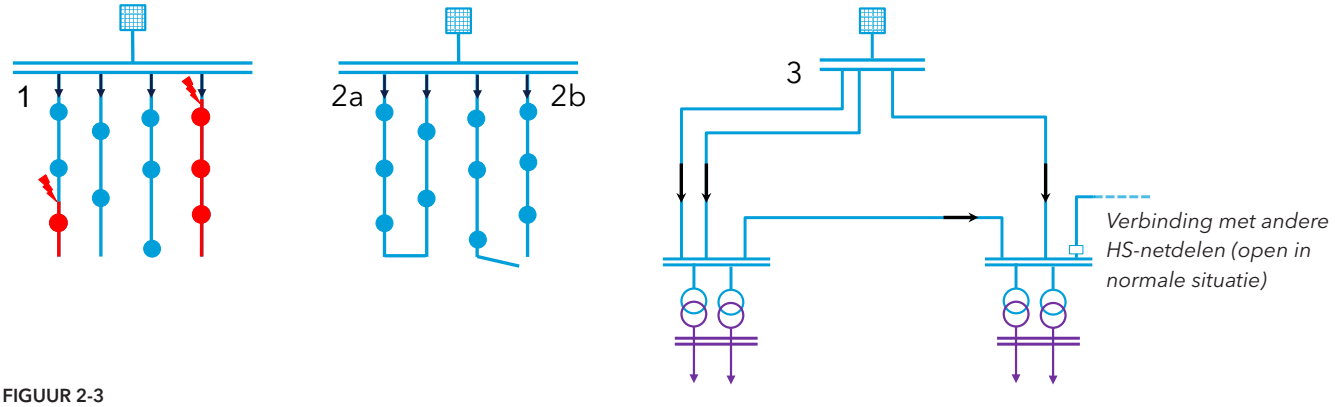
Het (E)HS-net van 110 kV en hoger, inclusief de daaraan gekoppelde transformatoren van de regionale netbeheerders, is ontworpen om te voldoen aan **wettelijke betrouwbaarheidseisen** zoals vastgelegd in artikel 3.26 van de Energiewet en de daarop van toepassing zijnde vrijstellingen (Energiebesluit) en verleende ontheffingen. Deze eisen waarborgen dat de elektriciteitsvoorziening kan worden gecontinueerd wanneer een willekeurig netcomponent uitvalt, wat bekend staat als het N 1 criterium. Dit betekent dat voldoende storingsreserve aanwezig moet zijn voor:

- **N 1 situatie:** een component valt uit tijdens normaal bedrijf.
- **N 1 situatie tijdens onderhoud:** een storing treedt op terwijl een component buiten bedrijf is vanwege onderhoud.

Hoewel TS- en MS-netten geen wettelijke verplichting kennen voor het aanhouden van storingsreserve, voorzien regionale netbeheerders hier in de praktijk wel in. Prestatie-indicatoren die de tarieven beïnvloeden zoals Jaarlijkse Uitvalduur en Jaarlijkse Uitvalfrequentie, evenals de inspanningsverplichting om storingen binnen gestelde richttijden op te lossen, maken redundantie ook in deze spanningslagen noodzakelijk. Daarnaast dienen de netbeheerders de spanning die aangeboden wordt aan de klanten stabiel en binnen de wettelijke grenzen te houden, wat eveneens vraagt om voldoende reservecapaciteit. Deze indicatoren sturen de infrastructuurplanning en operationele beslissingen, en zorgen ervoor dat de elektriciteitsvoorziening zo betrouwbaar mogelijk blijft onder wisselende belastingcondities van het net.

De benodigde storingsreserve kan gefaciliteerd worden d.m.v. fysiek aanwezige additionele of reservecomponenten in het net. Dit betekent dat een deel van de aanwezige netcapaciteit gereserveerd blijft en dus niet benut wordt tijdens de normale toestand of bedrijfssituatie van het net, zonder onderhoud en/of een storing. Deze normale bedrijfssituatie staat bekend als ‘N situatie’ (ook wel ‘N-0’ genoemd). De storingsreserve kan ook gerealiseerd worden door de aanwezigheid van omschakelmogelijkheden in het netontwerp.





FIGUUR 2-3

Voorbeeld van een radiaal (1), een ringvorming (2) en een vermaasd net (3)

De mate van storingsreserve verschilt per netconfiguratie. Drie hoofdtypen, weergegeven in Figuur 2-3 worden onderscheiden.

- **Radiale netten (1)** bevatten doorgaans geen storingsreserve. Doordat er alternatieve voedingen en schakelmogelijkheden ontbreken worden klanten achter de storingslocatie direct spanningsloos bij zowel storingen als onderhoud. Normaliter zijn allen LS-netten radiaal aangelegd, waardoor de impact relatief beperkt is en dit netontwerp geaccepteerd wordt. Dit wordt in Figuur 2-3 geïllustreerd met twee storingen bij het radiaal ontwerp: als er een storing is aan het einde van de linker kabel, dan is het aantal getroffen klanten beperkter ten opzichte wanneer er een storing is aan het begin van de meest rechtse kabel (beide in rood weergegeven).

- **Ringvormige netten (2)** zien we voornamelijk in MS-D-netten, waar de impact van storing of aanzienlijk toeneemt ten opzichte van storing of onderhoud in een LS-net. In dit ontwerp zijn netdelen op twee punten verbonden met het station; er ontstaat een ring, waardoor het net een N-1 mogelijkheid kent via een alternatieve route (situatie 2a), zonder dat een reservecomponent is aangelegd. Wel wordt er met de aanleg rekening mee gehouden dat de kabels voldoende capaciteit beschikbaar hebben voor het voeden van alle belasting bij een storing. Echter, in de praktijk worden deze netten vaak radiaal bedreven, met een geopende ring of netopening (situatie 2b) voor eenvoudiger bedrijfsvoering, beveiligingscoördinatie en lokalisatie van storingen. Bij storing kan deze opening worden gesloten, waardoor na tijdelijke onderbreking de stroomvoorziening binnen korte tijd kan worden hersteld. De werkelijke storingsreserve zit in de omschakelbaarheid en het feit dat kabels ontworpen zijn om de belasting van de alternatieve route tijdelijk over te nemen.

- **Vermaasde netten (3)** kenmerken zich doordat ieder punt via meer dan twee verbindingen op het net is aangesloten. Hierdoor kan aan het N-1 criterium worden voldaan zonder dat voor elk component een afzonderlijk reservecomponent nodig is. Vanwege de grote impact van storingen in deze hogere spanningslagen zijn het EHS- en HS-net in Nederland vrijwel volledig vermaasd uitgevoerd. Daarnaast gelden wettelijke verplichtingen die voorschrijven dat alle (E)HS-netten over voldoende storingsreserve beschikken; voor netdelen met een transportvermogen van ≥ 200 MW geldt bovendien het N-1 tijdens onderhoud criterium.

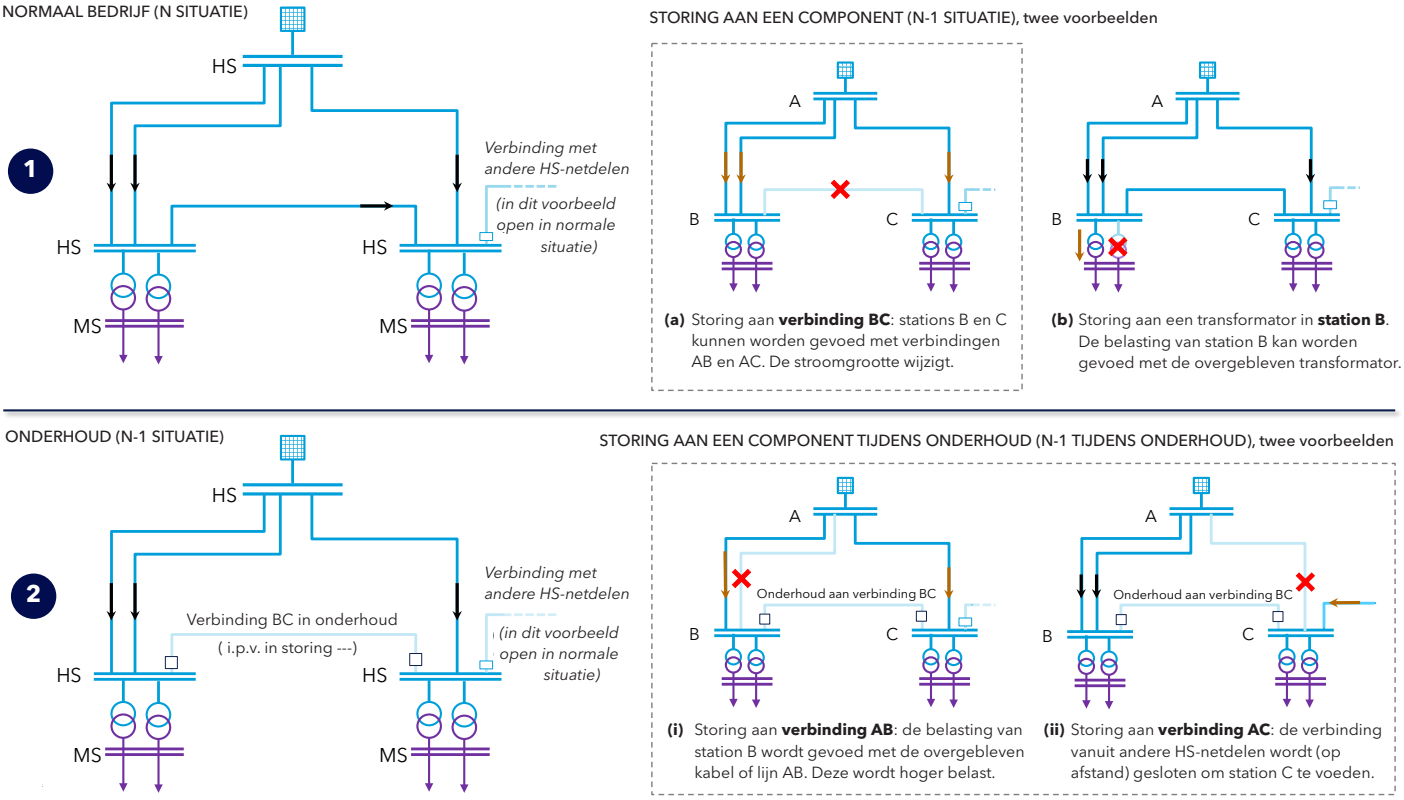
  Een belangrijk voordeel van vermaasde netten is dat op afstand bedienbare schakelmogelijkheden, aangestuurd vanuit centrale control rooms, het mogelijk maken om het net tijdelijk te herconfigureren wanneer zich een storing voordoet. Hierdoor hoeft de stroomvoorziening niet te worden onderbroken en blijft het net, ondanks het uitvallen van één component, volledig operationeel. Afhankelijk van de mate van automatisering van het net, kan het voorkomen dat ook handmatige handelingen nodig zijn in een vermaasd net.

  Op basis van de verwachte piekbelastingen wordt bepaald of het net onder alle relevante storingsscenario's binnen zijn technische limieten blijft. Voor elk type N-1 situatie wordt geanalyseerd of de resterende verbindingen en transformatoren de belasting kunnen verwerken zonder overschrijding van thermische of elektrische grenzen.

Figuur 2-4 (1) laat enkele mogelijke N-1 situaties zien (**X**: gestoord component) die in een vermaasd net kunnen optreden én hoe de belasting voorzien blijft in deze situaties. Figuur 2-4 (2) geeft de werking weer van het N-1 tijdens onderhoud principe.
In Figuur 2-4 (1a) is te zien dat als er een storing aan een verbinding, in dit geval tussen HS-station B en HS-station C optreedt, er geen onderbreking in de belasting optreedt. Maar dat het enkel leidt tot een verschuiving van het vermogen over de overige verbindingen tussen HS-station A en B, alsmede HS-station A en C.
In Figuur 2-4 (1b) is op een soortgelijke manier te zien dat als er een storing aan een transformator bij HS-station B optreedt, er dan ook geen onderbreking in de belasting optreedt. In dit geval leidt het enkel tot een verschuiving van al het vermogen naar de overgebleven transformator bij HS-station B. In beide voorbeelden gaat het om een enkele storing. Mocht er een tweede storing tegelijkertijd optreden dan is levering aan alle belasting niet meer verzekerd.

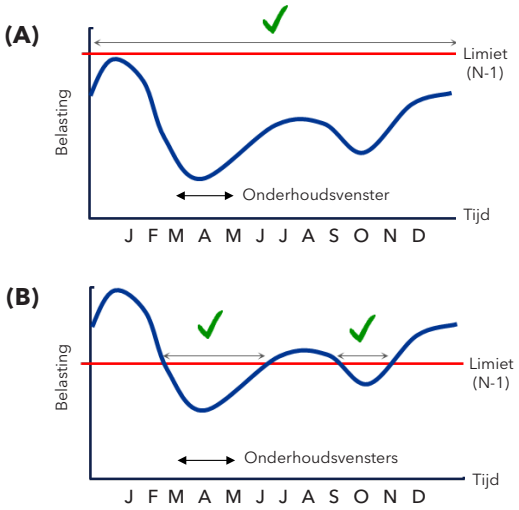
In Figuur 2-4 (2a) is te zien dat er een verbinding uit gebruik is genomen voor onderhoud, in dit geval de verbinding tussen HS-station B en C, én er vindt een storing plaats op een van de twee verbindingen tussen HS-station A en B. In dat geval is er nog steeds geen onderbreking in de belasting omdat er voldoende verbindingsmogelijkheden over zijn voor levering. Dit leidt nog wel tot een verschuiving van het vermogen over de overige verbindingen tussen HS-station A en B. Deze wordt hoger. In Figuur 2-4 (2b) is op een soortgelijke manier te zien dat als er tijdens onderhoud aan de verbinding tussen HS-station B en C, een storing plaats vindt op de enkelvoudige verbindingen tussen HS-station A en C, de levering nog vanuit een ander deel van het vermaasd net kan gebeuren waardoor er ook dan geen onderbreking in de belasting is.

Om tijdens onderhoud ook te kunnen voldoen aan het N-1-criterium moet er ook gekeken worden of er voldoende capaciteit in de overgebleven ketens aanwezig zijn om het vermogen dat tijdens onderhoud omgeleid moet worden op te kunnen vangen. Figuur 2-5 laat zien dat de er dus rekening gehouden moet worden met de actuele belasting bij het plannen van de onderhoudswerkzaamheden, en dat er op bepaalde momenten in het jaar, wanneer de belasting hoog is, dus geen onderhoudsmogelijkheid is waarbij het N-1 criterium in stand kan worden gehouden.



FIGUUR 2-4

(1) Voorbeeld van het N-1 criterium in een vermaasd net, twee storingssituaties
(2) Voorbeeld van het N-1 tijdens onderhoud in een vermaasd net, twee storingssituaties



Voor onderhoud aan verbinding BC (en andere verbindingen en componenten) worden de onderhoudsvensters bepaald na netanalyse. Het kan zijn dat:

(A) De belasting van de verbinding onder de limiet blijft en daarmee het onderhoud het hele jaar door gepland kan worden.

(B) De belasting hoger is dan 100 MW waardoor een overschrijding van N-1 limiet tijdens onderhoud is. In deze situaties wordt het onderhoud gepland op de momenten waarop de belasting van de overige verbindingen en componenten onder hun N-1 limiet blijft.

FIGUUR 2-5

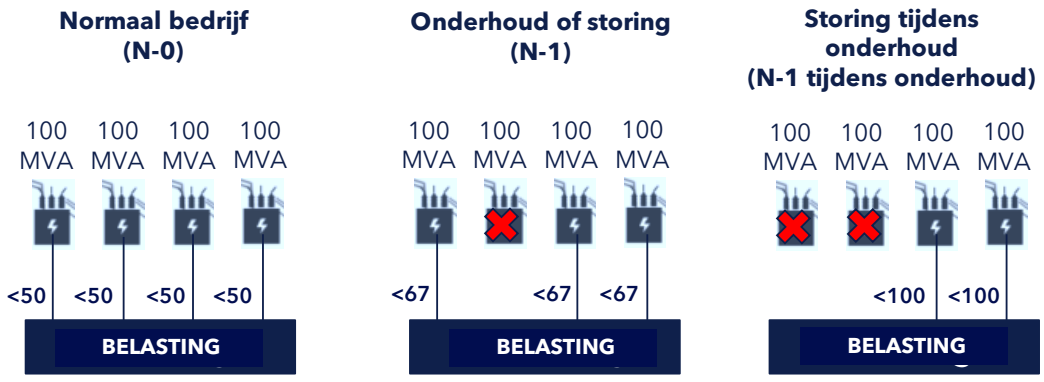
Bepalen van onderhoudsvensters

Het voorbeeld van een EHS/HS onderstation met vier transformatoren van elke 100 MVA, in Figuur 2-6 weergegeven, illustreert in meer detail hoe de benodigde reservecapaciteit wordt bepaald in een vermaasd net.

Het *totaal opgesteld vermogen* is 400 MVA. Rekening houdend met een enkelvoudige onderhouds- of storingssituatie betekent in dit voorbeeld dat één van de transformatoren moet kunnen uitvallen (N-1). In het geval van een storing tijdens onderhoud (N-1 tijdens onderhoud) betekent het in dit voorbeeld dat er twee transformatoren tegelijk niet in bedrijf zijn. De *aanwezige transportcapaciteit* is in dit voorbeeld daarom gelijk aan 200 MVA. Dit is dus de maximale belasting, die tijdens onderhoud aanwezig mag zijn. Op deze manier kunnen twee transformatoren die nog in bedrijf zijn veilig opereren wanneer een storing tijdens onderhoud optreedt. Hierdoor is tijdens normaal bedrijf de belasting van iedere transformator altijd ≤ 50% en de storingsreserve is in dit geval 200 MVA. Omdat het een willekeurige storing betreft valt in de praktijk het reservecomponent niet te onderscheiden van de andere componenten.

Onderstations van RNB's worden ook wel bedreven in 'hot-stand by modus', Dat wil zeggen dat in tegenstelling tot het besproken voorbeeld in Figuur 2-6, de reservetransformator niet belast wordt tijdens de normaal situatie, maar wel paraat staat om de belasting over te nemen als zich een N-1 situatie voordoet.

Het in parallel bedrijven van transformatoren beïnvloedt het kortsluitgedrag van het net. De vluchtstrook kan dus enkel bestaan, en benut worden om klanten op aan te sluiten, als er ook voldaan wordt aan de gestelde criteria voor kortsluitgedrag.



FIGUUR 2-6

Voorbeeld van vier transformatoren in verschillende situaties

2.3 De impact van de energietransitie op het Nederlandse elektriciteitsnet

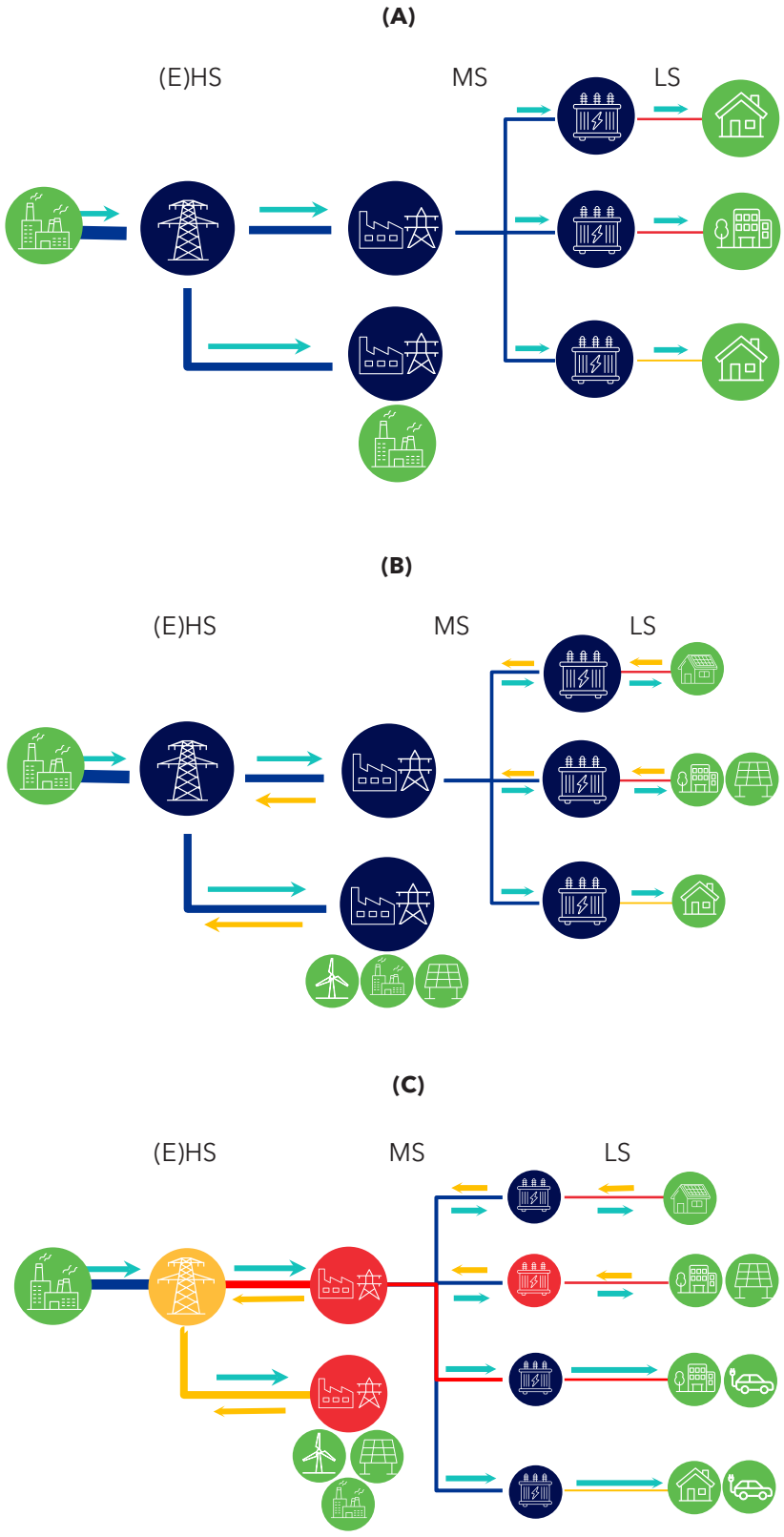
In Figuur 2-7 wordt de ontwikkeling van de vermogensstromen als gevolg van de energietransitie en de impact hiervan op het elektriciteitsnet weergegeven.

Traditioneel stroomt elektriciteit van conventionele, grootschalige energiecentrales, die zijn aangesloten op het (E)HS-net, via het MS-net naar de LS-netten waar de meesten verbruikers zijn aangesloten **(A)**.

Door **de energietransitie** worden hernieuwbare energiebronnen (zoals zonne-energie en windenergie) doorgaans aangesloten op het MS- en LS-net doordat zij een kleiner vermogen hebben dan de traditionele energiecentrales. Als gevolg hiervan kan het voorkomen dat elektriciteit in tegenovergestelde richting getransporteerd moet worden. Dat wil zeggen van lagere naar hogere spanningsniveaus **(B)**.

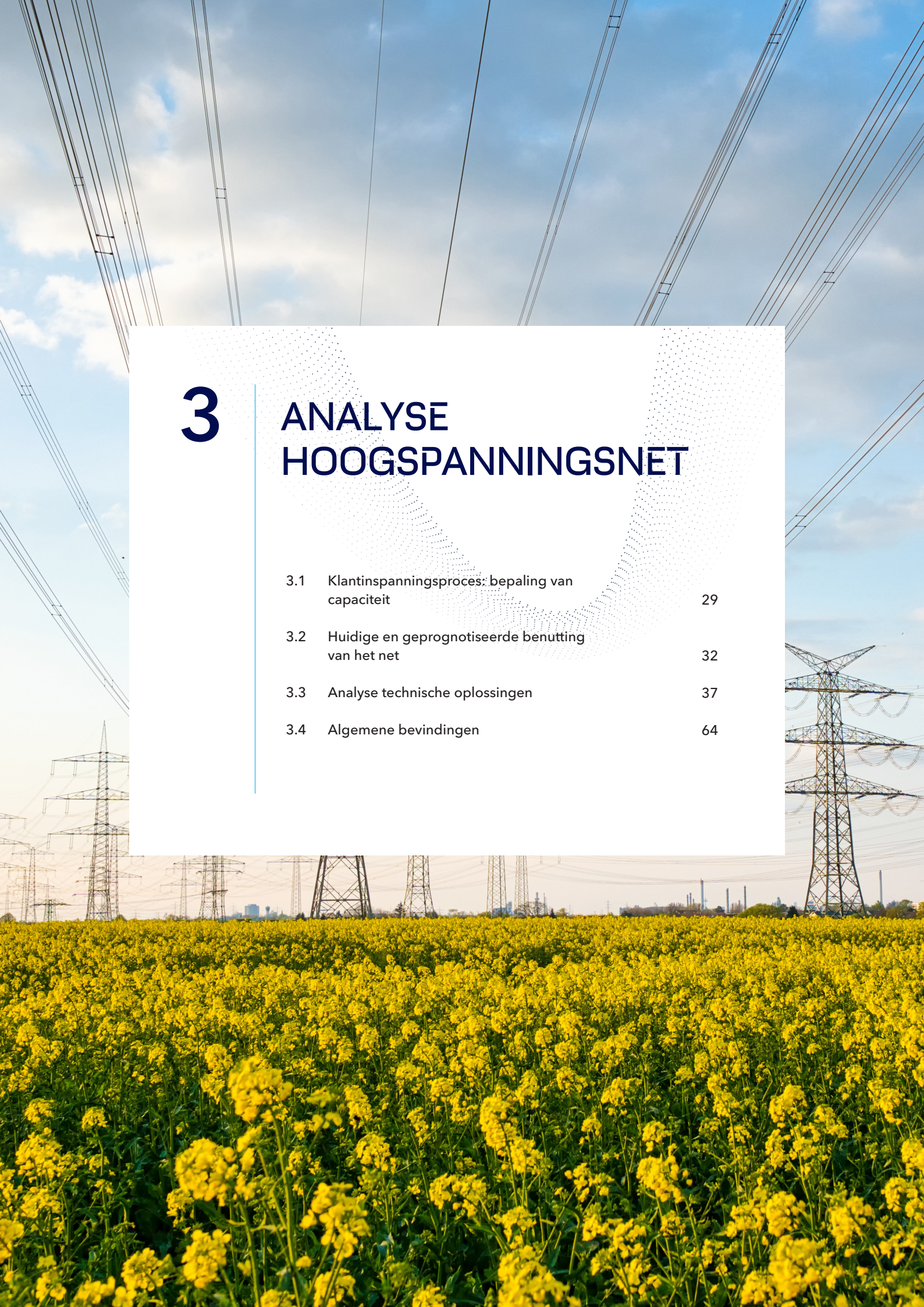
De vraag naar elektriciteit neemt tegelijk toe door de elektrificatie van de warmtevraag en vervoer, en door de groei van datacenters. Dit leidt steeds vaker tot **lokale congestie** tijdens piekuren van zowel vraag als opwek, doordat de aanwezige capaciteit op het elektriciteitsnet niet toereikend is **(C)**.
Dit betekent dat:

- De capaciteitslimieten van sommige componenten overschreden dreigen te worden doordat er meer stroom door die specifieke componenten verwerkt moet worden of stroom in de andere richting dan waarvoor ze ontworpen zijn verwerkt moet worden.
- De spanning bij de klanten niet binnen de wettelijk gestelde normen blijven.



FIGUUR 2-7

Verandering in de vermogensstromen in het net als gevolg van de energietransitie leiden tot capaciteitstekort (en lokale congestie) in het net



3 ANALYSE HOOGSPANNINGSNET

3.1	Klantinspanningsproces: bepaling van capaciteit	29
3.2	Huidige en geprognotiseerde benutting van het net	32
3.3	Analyse technische oplossingen	37
3.4	Algemene bevindingen	64

3. ANALYSE HOOGSPANNINGSNET

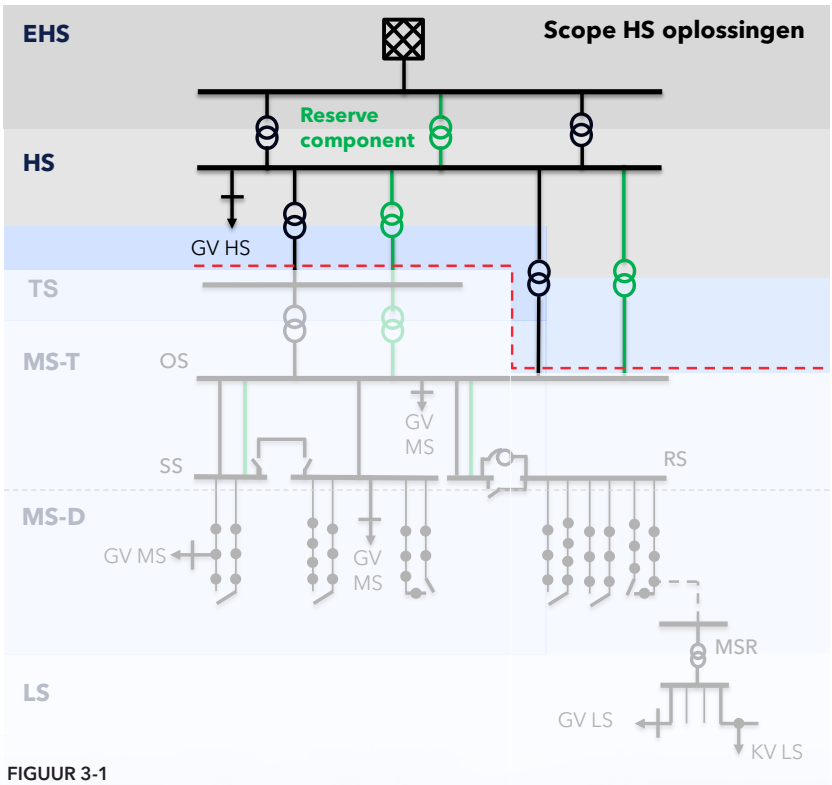
In dit hoofdstuk worden de technische oplossingen voor het hoogspanningsnet geanalyseerd. In Figuur 3-1 is weergegeven welke afbakening in dit rapport gehanteerd wordt voor het hoogspanningsnet. In hoofdstukken 4 en 5 worden de technische oplossingen voor midden- respectievelijk laagspanning geanalyseerd.

De technische oplossingen die in dit hoofdstuk beschouwd worden (zie paragraaf 3.3) hebben betrekking op de wijze waarop het HS-net bedreven wordt, ofwel de (korte termijn/real time) bedrijfsvoering. Bedrijfsvoering zit aan de knoppen en zorgt voor een goede leveringszekerheid en betrouwbaarheid.

Een ander belangrijk proces binnen de netbeheerder is de (lange termijn) netplanning. Enerzijds wordt binnen de netplanning bepaald welke netuitbreidingen en -vervangingen nodig zijn om aan de toekomstige vraag naar transportcapaciteit te kunnen voldoen, anderzijds wordt hier bepaald of en hoeveel klanten aangesloten kunnen worden. Het bepalen van de benodigde netuitbreidingen en -vervangingen is een iteratief proces dat eens in de twee jaar leidt tot het vaststellen van de InvesteringsPlannen (IPs); de klantinpassing is een continu proces dat steeds wordt uitgevoerd indien een klant een aanvraag indient voor transportvermogen.

In dit rapport wordt onderzocht in welke mate meer klanten aangesloten kunnen worden door het toepassen van technische oplossingen. Dit betekent dat in het planningsproces rekening moet worden gehouden met de technische oplossingen die de bedrijfsvoering tot zijn beschikking heeft (of zal hebben). Hiermee ontstaat een belangrijke link tussen beide processen.

Vanwege deze link wordt in dit hoofdstuk eerst ingegaan op het klantinpassingsproces (paragraaf 3.1), alsmede de huidige benutting van het net (paragraaf 3.2), voordat de technische oplossingen worden geïntroduceerd en geanalyseerd (paragraaf 3.3).



FIGUUR 3-1

Scope HS-oplossingen

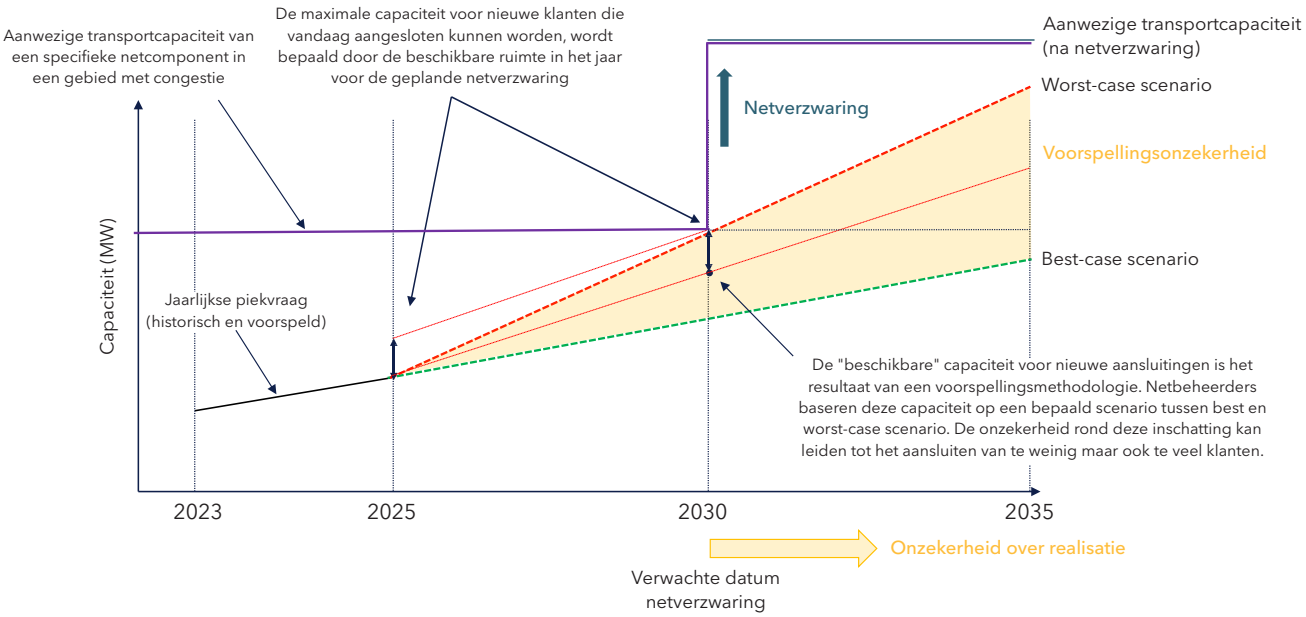
3.1 Klantinspanningsproces: bepaling van capaciteit

Om te begrijpen hoe technische oplossingen kunnen bijdragen aan het versneld aansluiten van klanten, is het van belang om nader in te gaan op het klantinpassingsproces bij de netbeheerder. Hierbij wordt in deze sectie toegelicht waarom er wachtrijen ontstaan, ook in gebieden waar de benuttingsgraad van het net nog relatief laag is.

3.1.1 TOELICHTING KLANTINSPANNING, CONGESTIE ONDERZOEK EN CONGESTIEMANAGEMENT

Bij iedere aanvraag van transportcapaciteit moet beoordeeld worden of deze gefaciliteerd kan worden binnen de bestaande en toekomstige infrastructuur. Hierbij zijn de volgende factoren van belang:

- Als de aanvraag in een congestiegebied gesitueerd is, is er reeds vastgesteld dat er transportschaarste is, en zal de aanvraag op de wachtrij geplaatst worden.
- Als er lokaal voldoende transportcapaciteit aanwezig is, moet er nog wel een toetsing op hogere netvlakken plaatsvinden. Bijvoorbeeld een aanvraag van enige omvang op het distributienet zal zowel op MS-D niveau als op MS-T -en (E)HS-niveau geverifieerd moeten worden, want de inpassing van deze klant zal immers impact hebben op alle niveaus.
- Als de transportcapaciteit schaars (of al ontoereikend) is, betekent dit in de meeste gevallen dat er al investeringen gepland zijn om de aanwezige capaciteit te verruimen. In de tweejaarlijkse investeringsplannen worden namelijk capaciteitsknelpunten in kaart gebracht, en investeringen gepland om deze op te lossen.
- Voor de klantinpassing betekent dit, dat vooral de periode tot de geplande investering van belang is. Hierbij is het laatste jaar voor de investering het meest kritisch, aangezien in de regel in dat jaar de belasting van de kritieke componenten het hoogst is.
- Als er in een bepaald gebied geen congestie is afgeroepen, kan een klantaanvraag deze wel initiëren. Dit betekent niet dat het toekennen van transportcapaciteit aan deze klant direct tot fysieke congestie leidt, maar wel dat het toekennen tot fysieke congestie kan leiden aan het einde van de congestieperiode (d.w.z. kort voor de netuitbreiding), zie ook de visualisatie in Figuur 3-2. Onder fysieke congestie wordt verstaan dat het net niet te allen tijde N-1 veilig bedreven kan worden, waarmee de betrouwbaarheid in gevaar komt.
- Om te bepalen of een klantaanvraag ingepast kan worden, is de prognose van de totale belasting van de kritieke netcomponent aan het eind van de congestieperiode (soms over 5-10 jaar) cruciaal. Deze prognose is echter aan vele onzekerheden onderhevig, zoals in paragraaf 3.1.2 verder wordt toegelicht.



FIGUUR 3-2

Impact van onzekerheden op de mate van klantinpassing

Bovenstaande factoren zijn gevisualiseerd in Figuur 3-2. Dit fictieve voorbeeld laat de inherente onzekerheden zien waar netbeheerders mee geconfronteerd worden bij het klantinpassingsproces. In paragraaf 3.1.2 wordt beschreven hoe netbeheerders in hun huidige werkwijze omgaan met deze onzekerheden: deze is niet gebaseerd op een worst-case scenario.

Volgens dit fictieve voorbeeld bedraagt de piekbelasting in 2025 slechts de helft van de aanwezige transportcapaciteit; er lijkt dus voldoende ruimte te zijn om nieuwe klanten aan te sluiten. Op basis van een worst-case scenario (d.w.z. maximale autonome groei) zal de totale vraag in 2030 (het jaar voor de netverzwaring) gelijk zijn aan de aanwezige transportcapaciteit, en kunnen er dus geen klanten aangesloten worden. Indien gerekend wordt met een gemiddelde prognose, is er nog enige ruimte om klanten aan te sluiten, zoals weergegeven.

Naast de onzekerheid in de belastingprognose, is ook de "datum ingebruikname" (IBN) van de netinvestering van groot belang. Als deze niet in 2030, maar pas in 2032 plaatsvindt, zal ook een berekening o.b.v. een gemiddelde prognose, geen ruimte meer tonen om nieuwe klanten aan te sluiten. Dit geldt nog sterker in situaties waarbij weliswaar de netuitbreiding in gebruik is genomen, maar er nog geen extra transportcapaciteit beschikbaar is. Daarmee zijn zowel de prognosemethodiek, als de veronderstelde IBN-datum, van groot belang bij de klantinpassing, in de wetenschap dat beide inherente onzekerheden bevatten.

Congestiemanagement is gedefinieerd in de netcode, hoofdstuk 9. Het is erop gericht om bij transportschaarste, toch meer klanten aan te kunnen sluiten door deze of andere klanten binnen hetzelfde congestiegebied op momenten van schaarste hun opwek of afname aan te laten passen. Dit gaat dus primair over marktoplossingen, in tegenstelling tot technische oplossingen die in deze studie belicht worden. Echter, artikel 9.7.1.a van de netcode geeft ook aan dat de netbeheerder bij transportschaarste "de mogelijkheid om door middel van technische maatregelen anders dan netverzwaring de beschikbare transportcapaciteit te vergroten" dient te onderzoeken.

3.1.2 METHODE OPSTELLEN BELASTINGPROGNOSES

Zoals in paragraaf 3.1.1 beschreven, zijn belastingprognoses cruciaal om te bepalen of klanten ingepast kunnen worden op basis van de aanwezige transportcapaciteit in het net. Om deze reden gaan we globaal in op de vraag op welke wijze deze worden bepaald. Dit onderzoek richt zich echter niet op de vraag of de belastingprognoses voldoende nauwkeurig c.q. realistisch zijn. De netbeheerders geven aan dat de belastingprognoses die voor klantinpassing worden gebruikt, niet dezelfde zijn als de belastingprognoses die voor de investeringsplannen gebruikt worden. Hieronder wordt in grote lijnen beschreven waar deze prognoses uit bestaan, zowel voor de LNB als RNB.

Belastingprognoses LNB

Zowel in het landelijke als regionale transportnet, is sprake van vermaasde bedrijfsvoering van het net. Om de belastingprognose van componenten te bepalen, zijn technische berekeningen nodig. In vermaasde netten zijn deze berekeningen complex omdat er een veelvoud aan scenario's/gevoeligheden, ongeplande uitvalsituaties (storingen) en onderhoudssituaties doorgerekend moet worden.

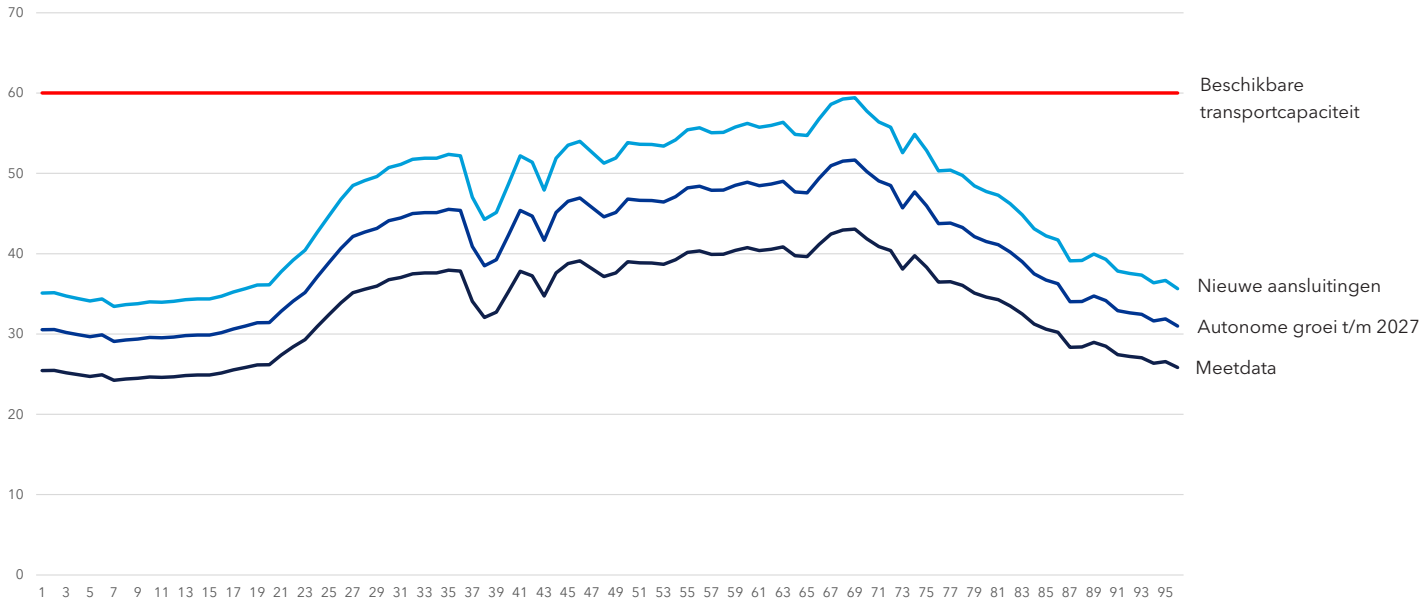
Een belangrijke input voor de berekeningen is de toekomstige vraag (en opwek) van aangeslotenen. Hiervoor geldt dat:

- Merendeel van belasting komt van distributienetten. RNB's stellen de belastingprognose per HS/MS onderstation op en leveren deze aan bij de LNB;
- Voor bestaande aangeslotenen op het transportnet wordt uitgegaan van historische data;
- Voor nieuwe klanten (met gecontracteerd transportvermogen) wordt de prognose opgesteld op basis van informatie van de klant.

In deze berekening dient ook rekening te worden gehouden met regelbaar vermogen of belasting die beïnvloed kan worden (via redispatch, TijdsDuurgebonden TransportRecht (TDTR), CapaciteitsBeperkende Contracten (CBC), etc.), waarmee de piekbelasting van bepaalde componenten en delen van het net omlaag gebracht kan worden.

Belastingprognoses RNB - HS/MS onderstations

Om de belasting op of achter een HS/MS onderstation te voorspellen zijn minder complexe berekeningen nodig dan op het transportnet. Deze voorspelling wordt gebaseerd op historische meetdata, en aangevuld met toekomstige toegezegde of onvermijdbare toename in belasting en het risiconiveau van het knelpunt. Deze is o.a. afhankelijk van het aantal overschrijdingen van het veilig vermogen. Hierbij is met name de dag uit het historisch verbruik met de hoogste piek van belang.



FIGUUR 3-3

Voorbeeld van een geprognotiseerde belasting van een onderstation ('slechtste' dag)

De prognose wordt vastgesteld voor elk jaar voorafgaand aan de netuitbreiding waarmee de congestie wordt opgeheven (hierbij is het laatste jaar in de regel het meest kritisch). In Figuur 3-3 raakt de geprognotiseerde piek, voor de "slechtste" dag in het "slechtste" (laatste) jaar, de aanwezige transportcapaciteit. Dit betekent dat er geen extra klanten meer aangesloten kunnen worden, en congestie wordt afgeroepen, ondanks dat de huidige piekbelasting slechts 72% bedraagt, en de huidige benutting (op jaarbasis) slechts 39% (fictief voorbeeld).

De aanwezige transportcapaciteit is hierbij het "bedrijfszekere vermogen", d.w.z. exclusief de gereserveerde storingsreserve.

De belastingprognose wordt opgebouwd uit de volgende elementen:

- Historisch verbruik, gemeten op het onderstation (vorig kalenderjaar).
- Autonome groei
  - Groei binnen het kleinverbruiksegment (m.n. EV-laders, warmtepompen).
  - Nieuwe woonwijken.
- Nieuwe klanten (of uitbreidingen) met een afgesloten transportovereenkomst, die niet in het 2024 profiel zijn opgenomen.

Per medio 2026 gaat dit veranderen, waarbij in beginsel geen ruimte gereserveerd zal worden voor nieuwe kleinverbruik aansluitingen, zoals nieuwe woonwijken.

Zowel de autonome groei, als het gedrag van nieuwe klanten, bevatten inherente onzekerheden. De RNB's hebben aangegeven dat de gemiddelde onzekerheid in hun belastingprognoses 15% bedraagt. Bij congestieperiodes van 5-10 jaar heeft deze onzekerheid een grote invloed op de mate waarin klanten ingepast kunnen worden.

Er bestaan veel misverstanden over deze belastingprognoses. Voor de goede orde vermelden we daarom:

- Voor bestaande grootverbruik klanten wordt geen rekening gehouden met het gecontracteerde transportvermogen (GTV), alleen met het historisch verbruik. Berekeningen gebaseerd op GTV zouden de prognose onrealistisch hoog maken aangezien deze dan geen rekening houdt met gelijktijdigheid (het feit dat niet alle piekbelastingen op dezelfde moment van de dag optreden).
- Ook bestaande, industriële klanten kunnen structureel un aansluiting/GTV beter gaan benutten, hier wordt bij de prognose geen rekening mee gehouden.
- Grootverbruikers en (grootschalige) opwekkers die geen transportovereenkomst hebben worden niet meegenomen.

3.2 Huidige en geprognotiseerde benutting van het net

Het elektriciteitsverbruik in Nederland is de afgelopen 10 jaar zeer stabiel geweest, met een jaarlijks verbruik van ca. 120 TWh[5] en een piek van 18-19 GW[6]. Met een ruim gedimensioneerd elektriciteitsnet en veel geplande netverzwaringen roept dit de vraag op waarom er zoveel klanten in de wachtrij staan. In een aantal publicaties wordt vermeld dat het hoogspanningsnet maar voor 30-40% benut wordt, waarbij gesuggereerd wordt dat er nog voldoende ruimte is om meer klanten versneld aan te sluiten. De enige reden waarom dit niet zou gebeuren is dat de netbeheerders te veel veiligheidsmarges op elkaar stapelen.

Voor klantinpassing moet altijd de jaarlijkse piekbelasting beschouwd worden, omdat dit het kritieke moment bepaalt. Bovendien, zoals beschreven in paragraaf 3.1, om de beschikbare capaciteit voor nieuwe klantinpassingen te beoordelen, moet niet alleen naar de huidige pieken gekeken worden, maar juist naar de voorspelde pieken binnen de volledige congestieperiode. De maximale capaciteit voor nieuwe klanten die vandaag kunnen worden aangesloten, wordt bepaald door de geschatte toekomstige beschikbare capaciteit, zoals weergegeven in Figuur 3-2.

Om het potentieel van elke technische oplossing voor klantinpassing in perspectief te plaatsen, is het relevant om te begrijpen wat de huidige status van het gebruik van het elektriciteitsnet is. De capaciteit in het elektriciteitsnet wordt bepaald op basis van de volgende elementen:

1. De **aanwezige transportcapaciteit** is de capaciteit die de netbeheerders in het elektriciteitsnet beschikbaar hebben en wordt bepaald door netontwerpcriteria en operationele veiligheids-grenzen. De aanwezige transportcapaciteit bepaalt hoeveel klanten ingepast kunnen worden, rekening houdend met gelijktijdigheid. De netontwerpcriteria en operationele veiligheidsgrenzen bepalen wat een net of een deel daarvan zou moeten kunnen. Elementen die hieronder vallen zijn onder andere de maximale belastbaarheid van componenten, spanningshuishouding van het net, kortsluit-vermogens, selectiviteit van beveiligingen, redundantie-eisen en ontwerpnormen uit technische standaarden. Om deze criteria en grenzen te bepalen, wordt rekening gehouden met onzekerheden zoals die van de belastingprognoses en de weersomstandigheden, die in veiligheidsmarges voor de aanwezige transportcapaciteit resulteren. Een deel van deze marges dient om voor een stabiele en veilige bedrijfsvoering van het net te zorgen en zijn noodzakelijk, andere marges kunnen mogelijk gerekt worden om meer aanwezige transportcapaciteit te creëren. Dit laatste is onderdeel van het onderzoek in deze studie, waarbij de maximale belastbaarheid van componenten en de mogelijkheid om deze te verhogen beoordeeld worden en ook het tijdelijk inzetten van de enkelvoudige storingsreserve ten behoeve van het versneld aansluiten van klanten.
2. De **storingsreserve** is de capaciteit die regelmatig gebruikt wordt voor onderhoud en netuitbreidingen, zelden in geval van storingen. Daarmee garanderen de netbeheerders de betrouwbaarheid van het net. De **fysieke transportcapaciteit** is daarmee de som van de aanwezige transportcapaciteit en de storingsreserve.
3. De huidige benodigde transportcapaciteit die nodig is om aan de huidige vraag van alle aangeslotenen (de huidige **piekbelasting**) te kunnen voldoen.
4. De **verwachte groei** bevat de toename in de elektriciteitsvraag. Deze bestaat uit reeds toegezegde transportovereenkomsten die nog niet operationeel zijn, en natuurlijke groei. Toekomstige aanvragen voor transportcapaciteit en huidige aanvragen in de wachtrij zijn hier niet in opgenomen.
5. De **gevraagde transportcapaciteit** is opgebouwd uit de (**huidige) benodigde transportcapaciteit** en de **verwachte groei**. Deze capaciteit is gebaseerd op belastingprognoses.

Om het huidige gebruik van het net te beoordelen, heeft DNV gegevens verzameld over het capaciteitsgebruik van ongeveer 60 netcomponenten en onderstations die door congestie in het hoogspanningsnet getroffen worden. Dit betreft een steekproef van beperkte omvang, waarbij we de netbeheerders verzocht hebben een representatieve steekproef aan te leveren. DNV heeft hierbij niet vast kunnen stellen in welke mate de steekproef representatief is, omdat DNV geen inzicht had hoe deze steekproef is samengesteld.

[5] Bron: Aanbod en verbruik van elektriciteit, 1990-2024 | Compendium voor de Leefomgeving
[6] Bron: ENTSO-E Transparency Platform

3.2.1 HUIDIGE EN GEPROGNOTISEERDE BENUTTING TRANSPORTNET (LNB)

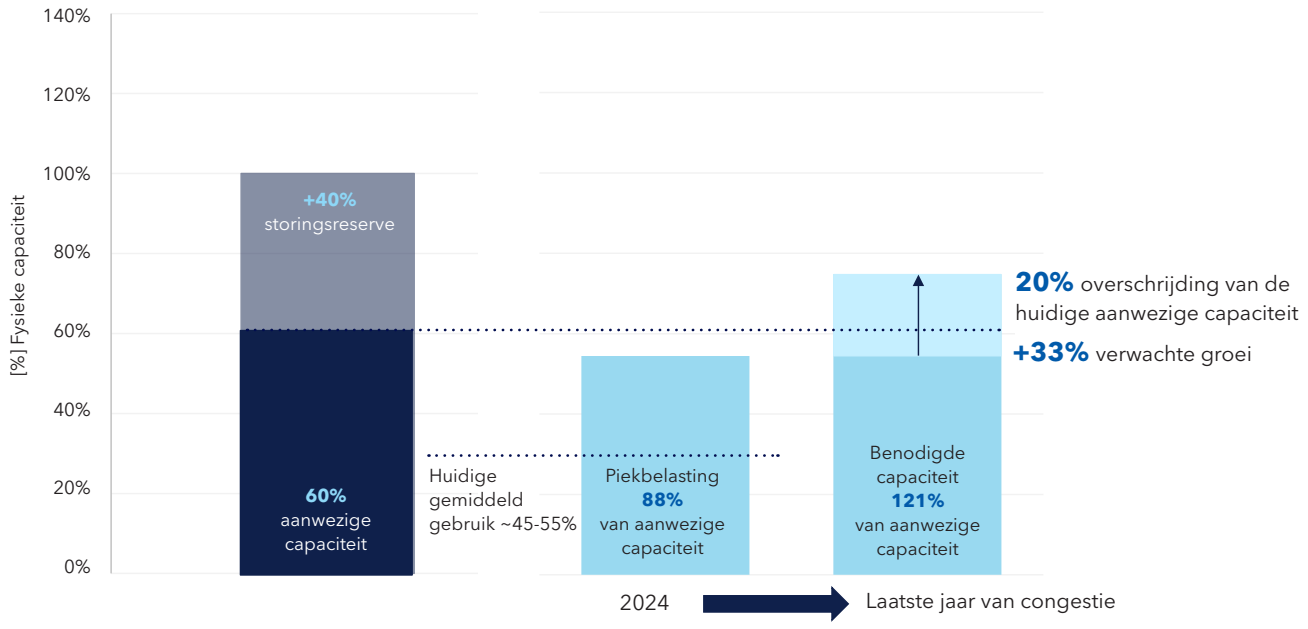
In Figuur 3-4 wordt de huidige benutting van het transportnet weergegeven. Dit overzicht is beperkt tot transformatoren waar transportschaarste heerst, d.w.z. dat de transformator (of het onderstation waar deze zich bevindt) de limiterende factor is. Dit betekent dat voor het gehele net de gemiddelde relatieve piekbelasting en benutting lager ligt dan in de figuur weergegeven is. We tonen de transportcapaciteit aan de hand van transformatoren, omdat het zeer complex is om de transportcapaciteit van het transportnet als geheel te tonen. Transformatoren zijn hierbij een goede representatie, omdat deze belangrijke componenten vormen in het net. De figuur toont drie kolommen:

- De linker kolom toont de fysieke transportcapaciteit Vanwege de storingsreserve is deze niet volledig beschikbaar om klanten aan te sluiten, alleen de aanwezige transportcapaciteit kan hiervoor gebruikt worden. Deze kolom is minder tijdsafhankelijk, de waardes blijven gelijk tijdens de congestieperiode, pas de netverzwaring aan het eind van de congestieperiode leidt tot een verhoging hiervan.
- De twee rechter kolommen tonen de gevraagde transportcapaciteit van de aangeslotenen (inclusief distributienetten). Deze groeit door de tijd heen. Voor 2024 was deze gelijk aan de metingen op de transformatoren. Voor het laatste jaar van de congestie wordt de prognosemethodiek gehanteerd zoals beschreven in paragraaf 3.1.2. Dit overzicht is beperkt tot de vraag van aangeslotenen, de transportbehoefte van de klanten in de wachtrij is hier niet in opgenomen. Het plaatsen van klantaanvragen in de wachtrij is juist een manier om te voorkomen dat deze gevraagde transportcapaciteit nog verder boven de aanwezige capaciteit stijgt.

Op basis van TenneT data is Figuur 3-4 opgesteld. Dit betreft een simplificatie, zo wordt de lokaal aanwezige transportcapaciteit niet alleen op basis van transformatorgegevens bepaald, maar wordt naar de gehele netschakel gekeken. Desondanks geeft dit enig inzicht in de huidige benutting van het net, maakt het duidelijk waarom er congestie is, ook al is de huidige benutting relatief laag. Tevens kan hiermee de technische potentie van oplossingen geduid worden (zie paragraaf 3.2.3).

De volgende observaties kunnen gemaakt worden:

- TenneT reserveert gemiddeld 40% van de fysieke capaciteit storingsreserve.
- De gemiddelde benutting (gemiddeld gebruik) bedraagt ca. 27%-33% ten opzichte van de fysieke capaciteit (45-55% ten opzichte van de aanwezige capaciteit). Dit percentage is -als enige- niet gebaseerd op de aangeleverde data (alleen piekgegevens zijn uitgevraagd), maar op eerdere DNV-analyses. Het gemiddelde is hierbij genomen over verschillende transformatoren (onderstations/locaties), over het jaar 2024.
- Omdat deze gegevens zich beperken tot transformatoren met congestie, worden er geen extra klanten aangesloten. Toch voorspelt TenneT dat de piekbelasting stijgt met 18% ten opzichte van de fysieke capaciteit (33% ten opzichte van de aanwezige capaciteit) tot het laatste jaar voor de netverzwaring, door onder meer natuurlijke groei.
- Dit betekent dat zonder aanvullende maatregelen in de laatste jaren van congestie, het net op meerdere momenten van het jaar niet N-1 veilig bedreven kan worden. In de praktijk betekent dit dat TenneT op zoek moet naar regelbaar vermogen om de 20% overschrijding van de aanwezige capaciteit tegen te gaan.



FIGUUR 3-4

Benutting van de capaciteit van transformatoren met transportschaarste in het LNB-hoogspanningsnet (gemiddeld)

Conclusies
Uit deze gegevens blijkt dat gemiddeld genomen het inpassen van klanten geen optie is zonder aanvullende maatregelen (markt-gebaseerd, dan wel technisch van aard). Hierbij gelden de volgende kanttekeningen:

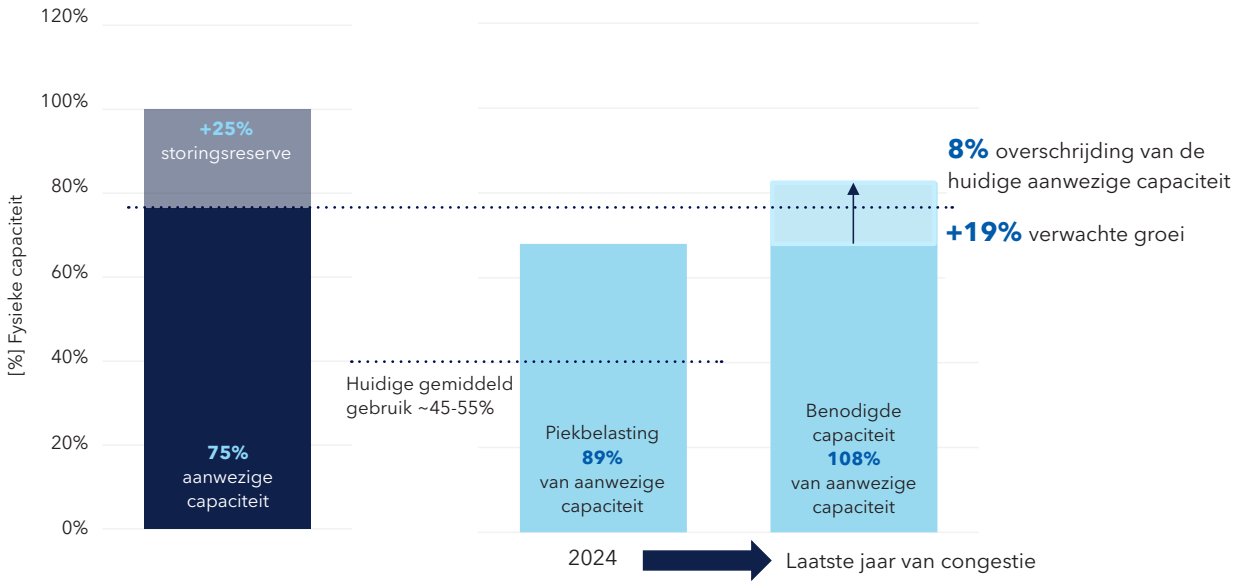
1. Deze studie heeft niet in detail gekeken naar de prognosemethodieken van de netbeheerders, hiervoor heeft EZK een ander traject gestart. Deze conclusie is gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch/betrouwbaar zijn.
2. Deze studie heeft niet in detail gekeken op welke wijze de LNB rekening houdt met regelbaar vermogen bij het bepalen van de toekomstige, benodigde transportcapaciteit.
3. Deze beschrijving heeft betrekking op de situatie in 2024. Het nieuwe prioriteringskader per 2025 heeft invloed op de benodigde reservering voor autonome groei; deze wordt beperkt tot de natuurlijke groei (de groei van het netgebruik binnen bestaande KV-aansluitingen en binnen het gecontracteerde transportvermogen van grootverbruikers), Deze wijziging kan leiden tot een verlaging van de geprognotiseerde, benodigde capaciteit in het laatste jaar van congestie.
4. De mate van representativiteit van de aangeleverde data voor het gehele hoogspanningsnet kon niet vastgesteld worden.

3.2.2 HUIDIGE EN GEPROGNOTISEERDE BENUTTING HS/MS ONDERSTATIONS (RNB)

Voor de HS/MS onderstations van de RNB's is een vergelijkbaar figuur samengesteld (Figuur 3-5).
Dit betreft gemiddelde resultaten voor de drie RNB's.

De volgende observaties kunnen gemaakt worden:

- De RNB's reserveren gemiddeld 25% van de fysieke capaciteit als storingsreserve. Deze kan ook tijdens onderhoud ingezet worden. Hierbij is de fysieke capaciteit in principe gelijk aan de nominale capaciteit van de transformator. Indien zwaarder belasten al wordt toegepast, is dit verwerkt in de fysieke capaciteitswaarde.
- De huidige gemiddelde piekbelasting bedraagt ongeveer 67% ten opzichte van de fysieke capaciteit (89% ten opzichte van de aanwezige transportcapaciteit).
- De gemiddelde benutting bedraagt slechts ca. 33-41% ten opzichte van de fysieke capaciteit (45-55% ten opzichte van de aanwezige capaciteit). Dit percentage is -als enige- niet gebaseerd op de aangeleverde data (alleen piekgegevens zijn uitgevraagd), maar op eerdere DNV-analyses. Het gemiddelde is hierbij genomen over verschillende transformatoren (onderstations/locaties), over het jaar 2024.



FIGUUR 3-5

Benutting van de capaciteit van HS/MS transformatoren met transportschaarste (gemiddeld)

- Omdat deze gegevens zich beperken tot transformatoren met congestie, worden er geen extra klanten aangesloten. Ondanks deze maatregel voorspellen de netbeheerders dat de piekbelasting met 14% stijgt ten opzichte van de fysieke capaciteit (19% ten opzichte van de aanwezige capaciteit) tot het laatste jaar voor de netverzwaring.
- Dit betekent dat, zonder aanvullende maatregelen, in de laatste jaren van congestie, de onderstations op meerdere momenten van het jaar niet altijd N-1 veilig bedreven kunnen worden. In de praktijk betekent dit dat de RNB's op zoek moeten naar regelbaar vermogen om de 8% overschrijding van de aanwezige capaciteit tegen te gaan.

Conclusie
Vanwege de verwachte groei van het verbruik vóór de geplande netverzwaring, blijkt uit deze analyse dat er gemiddeld geen capaciteit beschikbaar is om meer klanten aan te sluiten. Ondanks het lage gemiddelde gebruik van het elektriciteitsnet komen tijdens pieken kritieke momenten voor, die momenteel de beperkende factor vormen voor het vrijmaken van ruimte voor nieuwe klanten. Dezelfde kanttekeningen gelden voor deze conclusie als voor de conclusies t.a.v. de LNB.

3.2.3 EFFECT VAN OPLOSSINGEN VOOR NETCONGESTIE

In bovenstaande figuren zijn de wachtrijen nog niet weergegeven. De figuren bieden een goede basis om weer te geven op welke wijze bepaalde oplossingen kunnen leiden tot het inpassen van meer klanten in congestiegebieden, en welk technisch potentieel hiervoor geldt. We gebruiken hiertoe het RNB-overzicht in Tabel 3-1 (voor LNB is dit niet wezenlijk anders). De oplossingen vallen uiteen in drie categorieën:

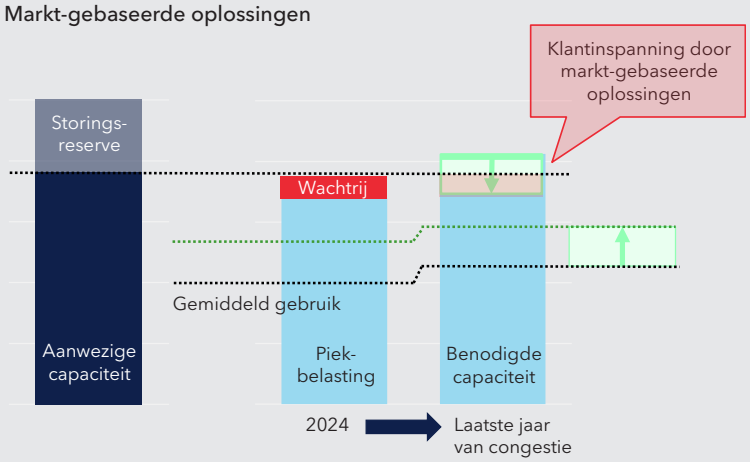
1. Het beter benutten van het net. Hierbij wordt de benutting verhoogd door de vraag te verschuiven van de piek naar het dal (bijvoorbeeld middels tijdsafhankelijke nettarieven), de piek te verlagen (bijvoorbeeld middels CBC's) of het dal te vullen (bijvoorbeeld middels TDTR). Hieronder vallen alle markt gebaseerde oplossingen. De analyse hiervan valt buiten de scope van dit onderzoek.
2. Het zwaarder belasten van netcomponenten. Dit is een van de belangrijkste technische oplossingen binnen dit onderzoek, deze wordt nader geïntroduceerd in paragraaf 3.3.1.
3. Het gebruik van de storingsreserve. Dit is ook een van de belangrijkste technische oplossingen binnen dit onderzoek, deze wordt nader geïntroduceerd in paragraaf 3.3.2.



De figuren in Tabel 3-1 maken inzichtelijk dat de drie categorieën op een andere wijze gebruik maken van beschikbare ruimte. Het technisch potentieel is hierbij een bovengrens, zo is voor marktoplossingen de bereidheid/ mogelijkheid voor klanten om te flexibiliseren een beperkende factor. Voor de technische oplossingen zullen de belemmeringen geïdentificeerd worden in de volgende paragraaf.

Dit overzicht toont aan dat oplossingen waarmee meer klanten aangesloten kunnen worden, ook deels nodig zijn om de verwachte groei, boven de aanwezige transportcapaciteit, op te vangen. Hiermee kan dit potentieel dus niet een-op-een doorvertaald worden naar het terugdringen van wachtrijen, dit zal per locatie geanalyseerd moeten worden.

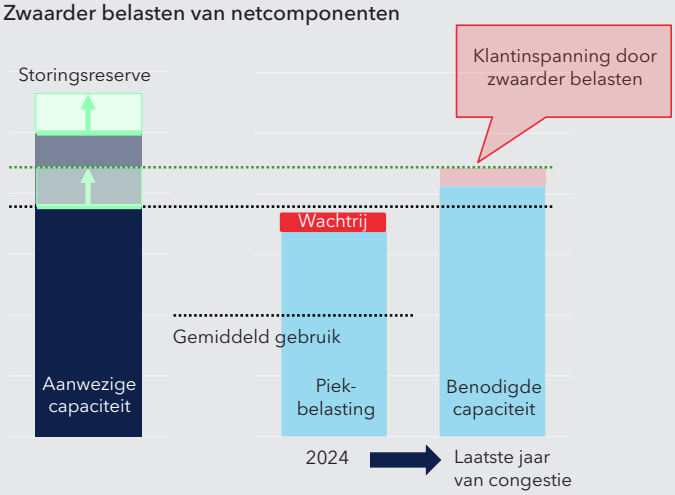
Markt-gebaseerde oplossingen



1

Bij markt-gebaseerde oplossingen wordt de ruimte tussen de gemiddelde belasting en piekbelasting benut. Eerder intern onderzoek binnen Netbeheer Nederland heeft aangetoond dat vraagverschuiving een technisch potentieel heeft om 25-30% meer klanten aan te sluiten, op HS/MS onderstation niveau. Dit betreft het technisch potentieel, niet het marktpotentieel dat vooral afhankelijk is van de vrijwillige participatie van aangeslotenen.

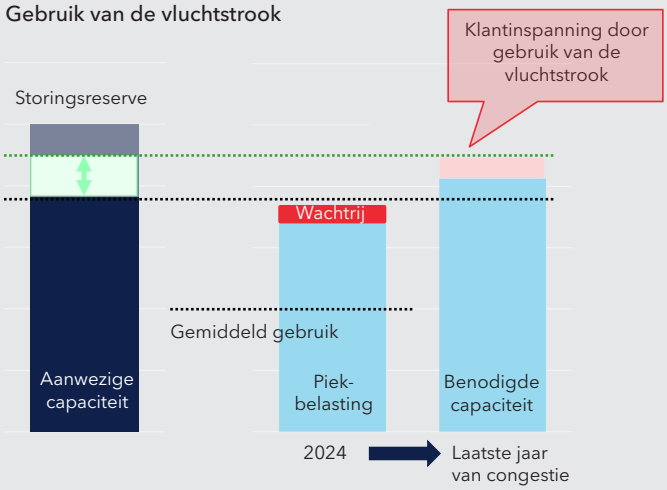
Zwaarder belasten van netcomponenten



2

Het zwaarder belasten van netcomponenten verhoogt de fysieke capaciteit (aanbodzijde van capaciteit), hiermee wordt zowel de aanwezige transportcapaciteit als de capaciteit van de storingsreserve verhoogd. Het technisch potentieel wordt in deze studie onderzocht, deze heeft dezelfde orde grootte als categorie 1 en 3.

Gebruik van de vluchtstrook



3

Het gebruik van de storingsreserve bevindt zicht eveneens aan de aanbodzijde van de capaciteit. Het technisch potentieel hiervan is gelijk aan de capaciteit van deze reserve, voor de RNB is deze 33% ten opzichte van de aanwezige transportcapaciteit.

TABEL 3-1

Technische potentie van markt-gebaseerde en technische oplossingen

3.3 Analyse technische oplossingen

Zoals in de inleiding van dit rapport aangegeven, heeft DNV een lange lijst van mogelijke technische oplossingen opgesteld die gebaseerd is op eerdere DNV-congestie en belastbaarheidsonderzoeken. De oplossingen die van toepassing zijn op het (E)HS-net beheerd door de LNB en op de transformatoren van de RNB's die deze netten met het TS- en MS-net verbinden (conform scope weergegeven in Figuur 3-1) zijn in Tabel 3-2 opgenomen.

Hieruit zijn de kansrijke oplossingen, met significante potentie voor het rekken van de netcapaciteit ten behoeve van klantinpassing, geselecteerd en in de volgende secties uitgewerkt. Elke oplossing is in detail beschreven. Vervolgens is op basis van de informatie die door de netbeheerders is verstrekt de mate en manier waarop ze deze op dit moment toepassen beschreven. Waarna de analyse van DNV, belemmeringen voor het benutten van de potentie van de oplossing en de conclusies en aanbevelingen presenteert.

De oplossingen waarvan is gebleken dat deze ofwel niet geschikt zijn om toe te passen op hoogspanning, ofwel al volledig benut worden, zijn kort toegelicht in Appendix A.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
Kansrijke oplossingen HS		
3.3.1	Zwaarder belasten van netcomponenten	Voor een specifiek aantal componenten mag de werkelijke stroom door een component onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximum ontwerptemperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
3.3.2	Inzet storingsreserve	De inzet van de enkelvoudige storingsreserve t.b.v. het aansluiten van meer klanten. Hierbij zijn veel mitigerende maatregelen nodig om de impact van een storing op te vangen, bijv. afschakelbare contracten met (industriële) eindgebruikers.
3.3.3	LNB-RNB coördinatie	Nauwere/geavanceerde samenwerking tussen LNB en RNB. Voorbeelden hiervan zijn: (1) Verlengen vluchtstrook en (2) Gezamenlijke congestieonderzoeken.
Onvoldoende potentie of al volledig benut door netbeheerders (Appendix A)		
Geavanceerde stroomsturing		Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van PST's (faseverschuivingstransformatoren ofwel dwarsregelaar) en HVDC's (High-Voltage Direct Current-systemen).
Spanningskwaliteitsbeheersing		Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitproblemen, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan.
Herconfigurering van het elektriciteitsnet		Dit betreft oplossingen om het bestaande net anders te configureren, teneinde lokaal de aanwezige transportcapaciteit te verhogen.
Risico-gebaseerde klantinpassing		Verdere verschuiving van een deterministische naar risico-gebaseerde methode voor de klantinpassing. In principe in combinatie met mitigerende maatregelen, dit kunnen zowel technische of marktgebaseerde oplossingen zijn.

TABEL 3-2

Lijst van technische oplossingen

3.3.1 ZWAARDER BELASTEN

3.3.1.1 Beschrijving

Wanneer een netcomponent op een veilige manier meer stroom mag voeren dan de nominale capaciteit, zonder dat de maximale ontwerptemperatuur overschreden wordt (zoals verderop in dit hoofdstuk wordt uitgelegd), spreekt men van "zwaarder belasten". Dit biedt de mogelijkheid om met bestaande infrastructuur meer elektriciteit te transporteren en daarmee (tijdelijk) aan een hogere vraag te voldoen.

De nominale capaciteit van een netcomponent wordt door de fabrikant vastgesteld onder uniforme, vaak ongunstige testomstandigheden, zoals ongunstigere omgevingstemperaturen dan op de locaties waarop de componenten geplaatst worden. Daardoor is in de praktijk regelmatig meer capaciteit beschikbaar dan deze vaste ontwerpsituaties suggereren.

In de eerder gebruikte wegen analogie is de elektriciteit het verkeer, en zijn de netcomponenten de bruggen die voor een bepaalde draagkracht zijn ontworpen.
De nominale capaciteit is te vergelijken met de maximale verkeersbelasting die de brug mag dragen onder ongunstige omstandigheden, zoals hoge temperaturen of hogere gemiddelde snelheden. Net als bij een brug kan een netcomponent tijdelijk meer 'verkeer' verwerken wanneer de omstandigheden gunstiger zijn dan waarvoor het is ontworpen. Bij lagere omgevingstemperaturen kan een kabel of transformator bijvoorbeeld extra stroom voeren zonder oververhitting of blijvende schade. Zolang de belasting zorgvuldig wordt begrensd—vergelijkbaar met een tijdelijke snelheidsbeperking op een brug—blijft de situatie veilig en kan extra capaciteit worden benut.

Zwaarder belasten heeft echter ook grenzen. Wanneer langdurig en vaak boven de nominale capaciteit wordt belast, zorgt de hogere stroom voor hogere temperaturen in de elektrische componenten. Extra warmte leidt tot versneld verouderen van kritieke onderdelen, zoals isolatiematerialen in kabels en transformatoren, en temperatuurschommelingen kunnen verbindingen, lassen en behuizingen verzwakken. Dit verhoogt het risico op uitval en kan op termijn leiden tot verminderde efficiëntie of het volledig falen van de component, met mogelijke veiligheidsrisico's voor medewerkers en afnemers. Ook kan zwaarder belasten de netprestaties beïnvloeden: het kan tot spanningsvariaties en ongewenste netreacties leiden.

Naast de integriteit van de componenten en de effecten op de betrouwbaarheid van het net, moet rekening worden gehouden met omgevingsfactoren. Dit kan vergeleken worden met de verkeerssituatie, waarin rekening moet worden gehouden met extra geluid en fijnstof die worden geproduceerd bij meer of sneller verkeer.

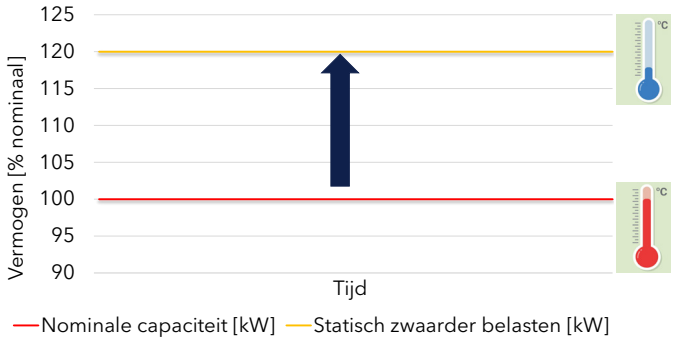
Meer stroom betekent sterkere elektromagnetische velden, waardoor de elektromagnetische beïnvloeding van nabijgelegen infrastructuur, zoals spoorlijnen van ProRail, toeneemt. Richtlijnen voor elektromagnetische compatibiliteit (EMC: het vermogen van elektrische en elektronische apparatuur om correct te functioneren zonder andere apparaten te storen én zonder zelf door elektromagnetische invloeden verstoord te worden), die opgesteld zijn om de beïnvloeding op de omgeving te reguleren, begrenzen daarom in sommige situaties de mate waarop zwaarder belasten toegepast kan worden, met name voor lijnen en kabels.

Samengevat vereist de toepassing van zwaarder belasten een gebalanceerde afweging tussen beschikbare thermische marge, levensduurimpact op de component, netbetrouwbaarheid, omgevings- en EMC beperkingen. Indien zorgvuldig toegepast kan zwaarder belasten een waardevol instrument zijn om meer transportcapaciteit te creëren, in afwachting op geplande netuitbreidingen.

Methoden voor zwaarder belasten

Er zijn verschillende methoden om netcomponenten zwaarder te belasten. Deze methoden helpen netbeheerders om de capaciteit van netcomponenten (tijdelijk) veilig te verhogen zonder dat dit tot oververhitting leidt.

1. **Statisch** zwaarder belasten houdt in dat voor een netcomponent één vaste maximale belasting boven de nominale capaciteit wordt vastgesteld, op basis van lokale omstandigheden. Wanneer de werkelijke omgevingstemperaturen lager liggen dan in de door de fabrikant aangegeven testomstandigheden, ontstaat extra thermische marge. Netbeheerders kunnen deze marge benutten om een vaste hogere belastinglimiet toe te staan, zonder dat de maximale ontwerptemperatuur wordt overschreden. Dit kan leiden tot verschillende seizoenlimieten, zoals een hogere limiet in de winter en een lagere in de zomer. In het voorbeeld van Figuur 3-6 is een continue belasting van 20% boven de nominale capaciteit toegestaan.



FIGUUR 3-6

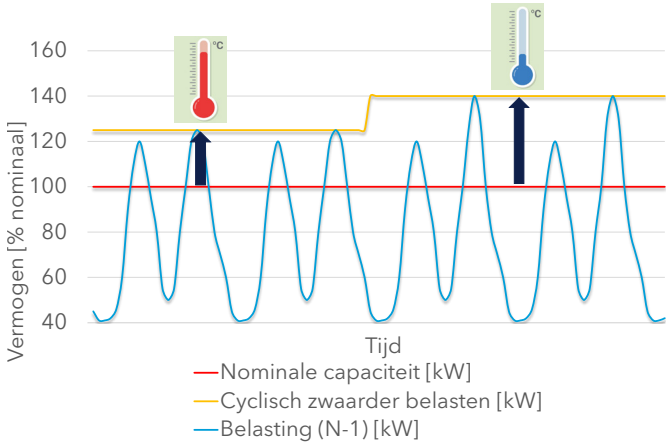
Voorbeeld van statisch zwaarder belasten

2. **Cyclisch** zwaarder belasten maakt gebruik van voorspelbare belastingpatronen die gedurende de dag, week of met de seizoenen variëren. In de praktijk worden netcomponenten niet continu met het piekvermogen belast; ze warmen langzaam op bij hogere belasting en koelen weer af wanneer de belasting afneemt. Door rekening te houden met deze cycli kunnen tijdelijke pieken boven de nominale capaciteit worden toegestaan, zolang de componenten tussentijds voldoende kunnen afkoelen. Denk aan een brug, waar gedurende specifieke perioden een hogere belasting toegestaan kan worden, zodat er op drukke tijdstippen tijdelijk meer auto's op een lage snelheid kunnen rijden, omdat de rest van de dag het aantal auto's dat over de weg rijdt laag is.

   Optioneel kan de netbeheerder ook rekening houden met omgevingspatronen, zoals dagelijkse of seizoensgebonden temperatuurcycli. Koelere periodes – vaak 's nachts of in de winter – vergroten de thermische marge en versterken dit effect. Hierdoor kan een piekvraag in de winter soms wél worden toegestaan, omdat componenten dan sneller kunnen afkoelen dan bij een vergelijkbare piekvraag in de zomer. Figuur 3-7 illustreert hoe de maximaal toelaatbare belasting afhankelijk is van zowel het belastingprofiel als de omgevingstemperatuur: bij lagere temperaturen (rechts) ligt de maximale belasting hoger dan bij warmere omstandigheden (links). Door cyclische patronen zorgvuldig te benutten kunnen netbeheerders dus tijdelijk, meestal onder N-1 situaties tijdens onderhoud, hogere belastingen toestaan zonder thermische limieten te overschrijden.

3. **Dynamisch** zwaarder belasten betekent dat de maximale belasting van een component die toegestaan is op elk moment kan veranderen, zoals weergegeven in Figuur 3-8. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van real-time gegevens van zowel de belasting als de temperatuur. Temperatuursensoren en belastingmetingen voeden thermische modellen die gebruikt worden om de actuele toestand van componenten continu te monitoren en de belasting van componenten te voorspellen. Hierdoor kunnen netbeheerders de limieten dynamisch aanpassen aan de actuele omstandigheden om de benutting van componenten veilig te maximaliseren zonder thermische limieten te overschrijden.

   Dit werkt als matrixborden boven een brug die de toegestane snelheid dynamisch aanpassen op basis van real-time en op basis van de dagen daarvoor voorgespelde verkeersdrukte. Wanneer voorspeld wordt dat een transformator afkoelt, kan de limiet worden verhoogd; bij verwachte hogere temperaturen wordt de limiet verlaagd.

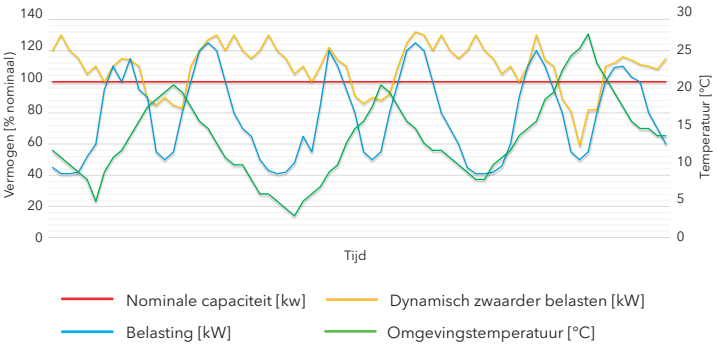


FIGUUR 3-7

Voorbeeld van cyclisch statisch zwaarder belasten

In noodsituaties mogen netbeheerders zelfs een lichte oververhitting toestaan, zolang de langetermijneffecten op het gebied van componentveroudering beheerst kunnen worden en dit geen onveilige situaties voor de medewerkers van de netbeheerder, klanten en omgeving oplevert.

Dynamisch zwaarder belasten is geschikt om de benutting van bestaande capaciteit te maximaliseren, vooral bij tijdelijke piekbelasting. Het is echter niet bedoeld om structureel meer klanten aan te sluiten, omdat er altijd een handelingsperspectief nodig is wanneer de dynamische limiet wordt benaderd. Wel kan het worden ingezet om andere congestie-maatregelen, zoals het dynamisch bepalen van beperking van invoeding van duurzame opwek, efficiënter in te zetten. Ook kan sensor data gebruikt worden om de modellen te voeden die ten grondslag liggen aan het cyclisch zwaarder belasten, en daarmee te verfijnen.



FIGUUR 3-8

Voorbeeld van dynamisch zwaarder belasten

Risico's en toleranties voor zwaarder belasten

Veel netcomponenten, zoals transformatoren, ondergrondse kabels en bovengrondse lijnen, kunnen tijdelijk zwaarder belast worden onder gecontroleerde omstandigheden. Bepaalde netcomponenten in een netschakel, zoals vermogensschakelaars, hebben echter strikte operationele limieten en mogen niet boven 100% van hun nominale capaciteit worden belast. Deze componenten zijn doorgaans ontworpen met vaste drempels voor veiligheid, nauwkeurigheid of betrouwbaarheid, en het overschrijden van deze limieten kan leiden tot directe uitval of blijvende schade.

Een belangrijke categorie zijn beveiligingscomponenten, zoals zekeringen, vermogensschakelaars en beveiligingsrelais. Deze zijn gekalibreerd om bij specifieke stroomniveaus te reageren om kortsluitstromen te onderbreken en verdere schade aan het systeem te voorkomen. Wanneer zwaarder belasten wordt toegepast, moeten de instellingen van de beveiligingsrelais mogelijk worden aangepast om onnodige uitschakeling te voorkomen bij tijdelijke stroompieken die binnen veilige thermische grenzen blijven. Indien thermische grenzen overschreden worden door zwaarder belasten van deze apparaten kan dit hun vermogen om correct te functioneren tijdens echte storingen aantasten, wat kan leiden tot onveilige situaties doordat de beveiligingscomponenten niet meer adequaat reageren.

Het is dus cruciaal om rekening te houden met de omkeerbaarheid van schade. Een transformator die tijdelijk zwaarder is belast en daarna is afgekoeld, hoeft geen slijtage op te lopen. Daarentegen, als een vermogensschakelaar zwaarder wordt belast en materiaalvervorming optreedt, is de schade onomkeerbaar en zal het apparaat niet herstellen, zelfs niet na afkoeling. Om de toepasbaarheid van zwaarder belasten in iedere situatie te beoordelen, is het daarom van cruciaal belang dat er inzicht is in de tolerantie om boven de nominale capaciteit belast te worden en de bijbehorende faalmechanismen van elk type netcomponent.

De potentie voor het zwaarder belasten van het net

De capaciteit van het net of een deel daarvan wordt gedreven door de component met de minste capaciteit. Dit geldt voor de capaciteit van zowel netstations (lokaal) als voor verbindingen (over langere afstanden). Zwaarder belasten is in het geval van het elektriciteitsnet niet in alle situaties een effectieve oplossing om de capaciteit van het net te vergroten, zodat er meer klanten aangesloten kunnen worden. In het voorbeeld hierboven, betekent dit dat het niet veel zin heeft om op een route het aantal auto's dat over een weg vóór de brug kan te vergroten, als het aantal auto's dat vervolgens over de brug zelf kan beperkend is. In het geval van het elektriciteitsnet kan de situatie zo zijn dat de capaciteit van een onderstation beperkt wordt door de capaciteit van bijvoorbeeld een vermogensschakelaar of een lastscheider. Het zwaarder belasten van de transformator helpt in dit geval niet om de capaciteit van het hele onderstation te vergroten, omdat een ander component al op zijn maximale capaciteit belast wordt. Er komt dus niet meteen over de hele keten van componenten van het onderstation dezelfde capaciteit beschikbaar door de toepassing van zwaarder belasten, waardoor er ook niet meer klanten aangesloten kunnen worden. Dit geldt niet alleen op onderstationsniveau, maar ook op net niveau, waarbij het hoger belasten van een lijn of kabelverbinding beperkt kan worden door de belastbaarheid van de daarop aangesloten transformatoren of andersom.

Vanuit een ketenbenadering moet daarom worden beoordeeld welk component de zwakste schakel vormt en in hoeverre zwaarder belasten daar extra capaciteit kan ontsluiten voor de gehele keten, totdat de volgende beperkende component wordt bereikt. Een alternatief is het vervangen van deze zwakste schakel, maar dit is niet in alle situaties optimaal. De beslissing om een component te vervangen hangt af van meerdere factoren, zoals de verwachte capaciteitswinst, de financiële afweging, de beschikbaarheid van interne middelen en de totale doorlooptijd.

Daarnaast vergen de benodigde onderzoeken en analyses voor dergelijke oplossingen aanzienlijke tijd en inspanning. RNB's geven aan dat zij organisatorische uitdagingen ervaren bij het versnellen van dit proces.

3.3.1.2 Huidige toepassing

In dit hoofdstuk wordt, op basis van de door de netbeheerders verstrekte informatie, aangegeven hoe zwaarder belasten door de LNB TenneT en de RNB's op dit moment wordt toegepast. Voor de LNB is dit opgesplitst in lijnen en kabels, en transformatoren.

Landelijke netbeheerder

TenneT geeft aan het concept van zwaarder belasten te onderzoeken en actief toe te passen om de lokale transportcapaciteit te verhogen, conform onderstaande beleidsmaatregelen. In een N-1 situatie mogen transformatoren, bovengrondse lijnen en kabels, statisch zwaarder belast worden dan tijdens normaal bedrijf, maar alleen gedurende vastgestelde periodes en onder gecontroleerde condities. Deze toepassing wordt ontwikkeld via een combinatie van beleidsaanpassingen, technische innovaties en pilotprogramma's.

Één van de belangrijkste strategische initiatieven van TenneT op dit gebied is het MaxLimit-programma, waarin TenneT de maximale belastbaarheid van het bestaande hoogspanningsnet opnieuw aan het bepalen is, op basis van een ketenanalyse. Door ontbrekende data van tienduizenden assets te reconstrueren en nieuwe inzichten toe te passen, blijkt dat veel verbindingen meer stroom kunnen vervoeren dan gedacht, meestal omdat de capaciteit van de zwakste schakel nog ruim hoger is dan de "ontwerpcapaciteit" van de netschakel, dat wil zeggen de capaciteit waarmee gerekend wordt bij klantinpassing, door het verhogen van de aangenomen windsnelheid en/of door het vervangen van de zwakste schakels. Hiermee kan al meer transportcapaciteit vrijgemaakt worden, nog zonder boven nominale waarden te belasten. Pilots tonen 10 tot 20% extra transportcapaciteit op 113 netschakels (het geheel aan componenten dat een aaneengesloten keten vormt tussen twee stations) en het programma wordt opgeschaald naar 1.200 netschakels. Deze waarden zijn exclusief de verhoogde capaciteit als gevolg van het vervangen van het zwakste component in de schakel. Het programma is cruciaal voor het verkleinen van netcongestie op korte termijn, terwijl uitbreidingstracés op langere termijn worden gerealiseerd. En het vormt een belangrijk onderdeel van TenneT's data gedreven asset en capaciteitsstrategie. Het vaststellen van de karakteristieken van alle componenten in de keten is hierbij een tijdrovende activiteit.

Ten aanzien van het belasten van componenten boven de nominale capaciteit worden hieronder de maatregelen benoemd die TenneT op dit moment toepast of wil gaan toepassen om de componenten hoger te belasten.
Dit zijn aanvullende maatregelen op het bepalen van de correcte belastbaarheid van de componenten en de keten.

1

Voor bovengrondse **lijnen** en ondergrondse **kabels** heeft TenneT aangegeven om verschillende beleidsmaatregelen toegepast te hebben om zwaarder te belasten:

- Het statisch zwaarder belasten van lijnen op basis van de windsnelheid is in beleid opgenomen. Hiermee is een capaciteitsverhoging (statisch zwaarder belasten) van 10 tot 15% voor ongeveer 50% van alle lijnen mogelijk en dit wordt al in beleid toegepast. Onder andere doordat een hogere transportcapaciteit tot verwarming van de lijn leidt en daarmee de "sagging" (doorhanging) vergroot, is hiervoor nog wel een aanscherping van de huidige standaardnormen nodig. De limieten voor sagging maar ook voor EMC zijn afhankelijk van de nabijheid van infrastructuur om de veiligheid te garanderen. Ook stuit toepassing in de praktijk op EMC-normen, vanwege verhoogde stromen (zie de door TenneT genoemde belemmeringen verderop in deze sectie). Op kabels wordt statisch zwaarder belasten niet toegepast.
- Het cyclisch zwaarder belasten van lijnen is seizoensafhankelijk toegepast zoals voorgeschreven in het beleid AM-Req-0970, waarbij winterse omstandigheden ongeveer 15% meer capaciteit mogelijk maken dan in de zomer, vergeleken met statisch belasten. Ook voor kabels past TenneT seizoensafhankelijk zwaarder belasten toe, waarbij een zeer beperkt aantal kabels tot 110% belast wordt in de winter.
- Een model, genaamd 'Year Rating Curve' (YRC), wordt verder ontwikkeld door TenneT. Op basis van historische weers- en belastinggegevens kan met dit model de capaciteit van de lijnen vastgesteld worden voor elk uur in het jaar. Het wordt op dit moment nog niet toegepast. De presentatie van de eerste resultaten staat gepland voor de eerste helft van 2026, met volledige publicatie later in het jaar. De inschatting van TenneT is dat met dit concept maximaal 30% boven de nominale capaciteit wordt behaald, afhankelijk van het type verbinding en risicoprofiel.

- Het dynamisch zwaarder belasten van bovengrondse lijnen en kabels wordt ook door TenneT onderzocht. Hoewel dit extra capaciteit kan opleveren, geeft TenneT aan dat dit momenteel nog geen snellere klantinpassing mogelijk maakt vanwege de afhankelijkheid van weersomstandigheden, terwijl voor klantinpassing meer zekerheid nodig is. De onderzochte methoden zijn:

  - Voor lijnen wordt Dynamic Line Rating, oftewel het dynamisch zwaarder belasten op basis van weersverwachtingen, onderzocht. Real-time weersgegevens en sensoren worden vervolgens gebruikt voor kalibratie van capaciteitsinschattingen. Dit zou tot 10% (zonder sensoren) en 20% (met sensoren) meer capaciteit vrij kunnen maken.
  - Voor ondergrondse kabels wordt gekeken naar dynamisch belasten met behulp van glasvezelsensoren en temperatuurmetingen. Volgens TenneT, kan dit gemiddeld ongeveer 10% extra transportcapaciteit bieden in situaties zonder sensoren en tot 20%-30% met sensoren, vooral ter verbetering van de operationele betrouwbaarheid en minder voor het realiseren van nieuwe aansluitingen. Om dit succesvol te kunnen toepassen, is voor betere monitoring en veiligheid de inzet van glasvezelsensoren en integratie met SCADA-systemen vereist.

- Vanwege veiligheid en leveringszekerheid staat het huidige beleid van TenneT geen versnelde veroudering van lijnen toe. Hiervoor is het houden van een veilige afstand tussen de geleider en de grond maatgevend. Voor kabels geeft TenneT door dat de maximale temperatuurgrenzen steeds dichter worden benaderd, specifiek in het geval van oudere kabels zonder glasvezel, waar mogelijke hotspots kunnen ontstaan, waardoor kabels en moffen (koppelstukken tussen de kabels) naar verwachting zullen falen. TenneT is bezig om het vervangen en repareren van moffen en kabels in geval van falen te versnellen (nu vereist dit rond de 2 weken) door het beschikbaar maken van noodmaterialen.

2

Er zijn ook beleidsmaatregelen geïmplementeerd om **transformatoren** zwaarder te belasten:

- Technisch gezien kunnen transformatoren volgens IEC-normen (zoals de IEC 60067) gedurende één uur tot tussen 130% en 150% van hun nominale belasting aan. Dit wordt alleen in geval van nood toegepast en niet voor klantinpassing, vanwege het risico op verkorte levensduur en storingen.
- Het omschakelen van type transformatorkoeling kan ook een statische capaciteitsverhoging van 10% tot 30% opleveren, volgens TenneT. Technisch gezien betekent dit dat er wordt overgestapt van transformatorkoeling met ongeforceerde luchtkoeling (oil natural air natural of ONAN) naar geforceerde luchtkoeling (oil natural air forced of ONAF). Dit past TenneT al toe in 50% van de transformatoren. Opschaling naar andere transformatoren hangt af van de haalbaarheid om (additionele) ventilatoren toe te voegen aan ONAN-transformatoren.
- TenneT is bezig met het project Dynamic Transformer Rating (DTR). Hier zijn de onderzoeken naar en de implementatie van cyclisch en dynamisch belasten van transformatoren onderdeel van. Over wanneer het DTR-project wordt afgerond, is geen informatie verstrekt. De status van de onderzoeken en implementatie bij Tennet zijn als volgt:

  - TenneT is bezig met het schrijven van het beleid voor het toepassen van cyclisch zwaarder belasten van transformatoren op basis van de norm IEC 60076-7. Met het toevoegen van voldoende informatie per transformator aan het DTR-model, verwacht TenneT dat ongeveer 5% tot 20% meer transportcapaciteit beschikbaar gemaakt kan worden.
  - TenneT is van plan om vanaf 2026 transformatoren dynamisch zwaarder te belasten, wat per transformator 10% tot 30% extra capaciteit kan opleveren ten opzichte van statisch belasten, afhankelijk van de netconfiguratie en transformatortype. Net als bij lijnen en kabels wordt deze vorm van zwaarder belasten niet ingezet om meer klanten aan te sluiten.

- Beleidsnormen van TenneT staan versnelde veroudering toe bij zwaarder belasten van transformatoren waarbij de hoogste temperatuur van de transformator (hotspottemperaturen) wordt beperkt tot 140°C (conform de internationale technische standaarden) om het risico op uitval te minimaliseren. Daarnaast zijn beleidswijzigingen nodig om flexibelere transformatorbelasting mogelijk te maken.

Belemmeringen

TenneT heeft aangegeven dat op dit moment EMC (elektromagnetische compatibiliteit) de belangrijkste belemmering voor bredere toepassing van zwaarder belasten is. Door het zwaarder belasten van componenten kunnen er verschillende beïnvloedingen optreden, zoals verstoringen op de infrastructuur in de omgeving door hogere elektromagnetische velden. Door middel van EMC-studies dienen daarom alle beïnvloedingen bestudeerd te worden om te toetsen of geldende EMC-normen niet overschreden worden ten gevolge van het verhogen van de stroom. Als EMC-normen overschreden worden, dienen mitigerende maatregelen onderzocht te worden. Dit zijn studies die 2 tot 6 jaar in beslag nemen, omdat het doorgaans complexe en tijdrovende studies zijn, waarbij alle mogelijke interferenties op een hoog detailniveau onderzocht moeten worden, en omdat de ingenieursbureaus die dit soort studies uitvoeren niet aan de vraag kunnen voldoen. TenneT heeft daarom een intern programma opgezet om de implementatie van zwaarder belasten te kunnen versnellen, waarbij onder andere beleidsmatige en regelgevende aspecten worden aangepakt, in samenwerking met stakeholders zoals ProRail en Gasunie. Er wordt een risico-gebaseerde benadering gehanteerd, waarbij beslissingen worden genomen met ongeveer 80% van de benodigde informatie. Dit maakt proactieve investeringen mogelijk om de robuustheid van het net te verbeteren. Een voorbeeld hiervan is een gezamenlijk project met ProRail om potentiële knelpunten nabij spoorlijnen in kaart te brengen.

Zoals hierboven aangegeven zijn er binnen het MaxLimit programma, 113 (10%) netschakels die al 10% tot 20% boven nominaal belast worden. Tegen 2027 verwacht TenneT dat tussen de 400 en 1.200 netschakels (tussen 33% en 100%) zwaarder belast kunnen worden. Dit weerspiegelt een aanzienlijke opschaling van zwaardere belastingpraktijken binnen het net. De mate en snelheid waarop dit gerealiseerd kan worden hangen af van de uitkomsten van EMC-onderzoeken en andere technische beperkingen.

Regionale netbeheerders

De regionale netbeheerders (RNB's) hebben aangegeven dat ze zwaarder belasten in het HS-net toe passen door o.a. HS/TS- en HS/MS-transformatoren boven hun nominale capaciteit te laten opereren, terwijl ze binnen veilige operationele grenzen blijven. De toegestane stroomlimiet wordt dus verhoogd zonder dat de toegestanetemperatuurlimiet overschreden wordt.
De schaalbaarheid van deze aanpak is beperkt vanwege congestie in hoger gelegen spanningsniveaus. Ca. 80% van alle HS/MS-onderstations kampt met bovenliggende congestie. Zwaarder belasten van transformatoren is hier geen oplossing voor het versneld inpassen van klanten, omdat deze niet ingepast kunnen worden in het transportnet.

Indien er geen bovenliggende congestie is, geven RNB's aan zwaarder belasten toe te passen om meer klantaansluitingen mogelijk te maken. De manier waarop zwaarder belasten wordt aangepakt, verschilt per RNB. Zowel de schaal als de methode hangen af van lokale omstandigheden, technische en operationele beperkingen en het regelgevend kader. Er zijn verschillen tussen RNB's in de wijze waarop dit in de praktijk gebeurt en in hoeverre zwaarder belasten is toegestaan. Deze verschillen komen deels voort uit beleidskeuzes: sommige RNB's kiezen voor een voorzichtige en selectieve aanpak, terwijl andere het breder toepassen. Alle RNB's benadrukken het belang van het te allen tijde borgen van veiligheid en betrouwbaarheid.

In meer detail is de aanpak van de RNB's en de beperkingen die ze hebben als volgt:

- Twee van de drie RNB's passen statische belasting toe, waarbij doorgaans 110% tot 120% van de nominale transformatorcapaciteit wordt toegestaan. Dit wordt vooral toegepast in gebieden met congestie. Eén van deze RNB's geeft aan dat statisch zwaarder belasten van alle HS/MS transformatoren toegestaan wordt.
- Net als TenneT, erkennen de drie RNB's dat het extra koelen van de transformator een statische capaciteits-verhoging kan opleveren. Ze geven aan dat ONAF voor 40% tot 70% van de HS/MS transformatoren al toegepast is.
- Alle RNB's passen cyclisch belasten toe op een deel van hun transformatoren, variërend tussen maximaal 110% en 130% van de nominale belasting, waarbij:
  - Een RNB staat generiek een tijdelijke belasting toe tot 110% en tot 130% in de worst-case situatie (tijdens de winter). Dit gebeurt alleen na gedetailleerde thermische berekeningen en op onderstations waar de transformator als belangrijkste knelpunt is geïdentificeerd. In augustus 2025 werd deze methode al toegepast op 25 van hun 155 onderzochte stations (16%).
  - De tweede RNB staat 110% tot 120% toe, afhankelijk van het seizoen.
  - De derde RNB past cyclisch zwaarder belasten toe tot 110% op alle transformatoren, en is bezig met de implementatie van het belasten tot 120%. Om de transformatoren te monitoren is het nodig om sensoren te installeren en om monitoringssystemen te updaten. Ook is inzet van extra personeel noodzakelijk Elke locatie vergt ongeveer zes maanden voorbereiding.
- Geen van de RNB's heeft aangegeven dynamisch zwaarder belasten in HS/MS transformatoren toe te passen. Voor de scope van dit onderzoek is dit niet relevant, omdat het geen potentie heeft voor het aansluiten van meer klanten. Dit kan wel een nuttige toepassing zijn in combinatie met de inzet van de enkelvoudige storingsreserve, omdat het de noodzaak om klanten af te schakelen kan beperken na een storing, door eerst de kritieke component zwaarder te belasten.

Belemmeringen
Indien de transformator niet de beperkende component van een onderstation is, kan het in sommige gevallen nodig zijn om de kritieke component op een onderstation te vervangen of veilig zwaarder te belasten. Netbeheerders geven aan dat dit echter niet effectief is in alle situaties. Beslissingen over vervanging zijn afhankelijk van afwegingen tussen de verwachte capaciteitswinst, de kosten, de beschikbaarheid van interne middelen en de doorlooptijd, waarbij de vraag is of de capaciteitswinst voldoende opweegt tegen de kosten en voornamelijk het inzetten van kritische resources.

Onderzoek en analyse voor deze implementaties vergen aanzienlijke tijd en inspanning, en RNB's melden organisatorische uitdagingen bij het versnellen van dit proces.

Er zijn beperkingen op het gebied van regelgeving, voor het zwaarder belasten van transformatoren. Deze beperkingen zijn geluidsnormen (hoe hoger de belasting, hoe hoger het geluid dat een transformator maakt) in 5% van de gevallen waarbij de transformator boven 100% belast wordt, en het 100 MW-criterium, dat het vermogen van specifieke onderstations dat bij een storing mag uitvallen tot 100 MW en 10 minuten beperkt. Aangezien deze grens (per 1 januari 2026) verhoogd is naar 200 MW (via Energiebesluit), is deze beperking komen te vervallen.

Het beheren van hogere belastingen in combinatie met congestiemanagement maakt het geheel complexer. Congestiemanagement leidt immers tot een ander, vlakker belastingprofiel, waarmee de mogelijkheden tot cyclisch en dynamisch zwaarder belasten beperkt worden.

De RNB's geven ook aan dat zwaarder belasten de veroudering van netcomponenten kan versnellen en de onderhoudsbehoefte kan vergroten. De kosten die hier in de praktijk aan verbonden zijn, zijn echter onbekend omdat ze hier geen ervaring mee hebben. Daarnaast kunnen hogere belastingen het herstelvermogen bij storingen verminderen, maar zolang er sprake is van een storingsreserve (redundantie), worden de betrouwbaarheid en veiligheid van het net niet aangetast.

3.3.1.3 DNV Analyse

Deze sectie bevat een analyse van de potentie van deze oplossing om capaciteit in het net op korte termijn vrij te maken voor klantinpassing. Deze analyse is gebaseerd op de input die DNV heeft ontvangen van de netbeheerders, beoordeling door DNV's componentenspecialisten met diepgaande technische kennis van transformatoren, kabels, lijnen en elektriciteitsnetten in Nederland en in het buitenland, internationale technische normen (zoals IEC standards) en internationale best practices van landelijke en regionale netbeheerders op dit gebied.

Internationale benchmarken[7] tonen aan dat toonaangevende netbeheerders in Europa vergelijkbare methoden toepassen om componenten in hun hoogspanningsnetten statisch, cyclisch of seizoenafhankelijk boven de nominale limieten te belasten. Zo hebben LNB's in naburige landen ook programma's lopen of afgerond om de reële capaciteit van hun hoogspanningscomponenten te bepalen, zoals TenneT met het MaxLimit-programma doet. Ook rapporteren de netbeheerders vergelijkbare haalbare belastingpercentages (doorgaans maximaal 20% tot 30%) en uitdagingen, zoals beperkingen in de keten door zwakke schakels, afhankelijkheid van lokale (weers)omstandigheden en individuele technische beperkingen van componenten, operationele complexiteit en tijdrovende processen voor implementatie. Ondanks de uitdagingen passen deze netbeheerders van hoogspanningsnetten ook al zwaarder belasten toe, voornamelijk bij lijnen en transformatoren.

Net als in Nederland wordt het hoger belasten van componenten bij andere LNB's toegepast om de aanwezige transportcapaciteit en de capaciteit van de storingsreserve te verhogen. Deze verhoogde belasting op het net geschiedt alleen in N-1 situaties voor een beperkte tijd, maar gedurende normaal bedrijf zijn de componenten nog steeds ver onder 100% belast (zoals weergegeven in Tabel 3-1 (3)).

De potentie van deze oplossing voor het (tijdelijk) creëren van extra capaciteit ten behoeve van klantinpassing is beoordeeld aan de hand van de KPI's die beschreven zijn in sectie 1.3. De details van de beoordeling worden in Tabel 3-3 gepresenteerd. In deze tabel wordt elke KPI afzonderlijk geanalyseerd, conform de definities en scores in *Appendix B: Beoordelingsmethodiek technische oplossingen*. Er wordt gebruik gemaakt van de input geleverd door de netbeheerders, met daarbij het DNV-perspectief.

Er zijn drie manieren waarop aanvullende capaciteit gecreëerd wordt in de hele keten door hogere belasting van componenten:

- Netcomponenten binnen een netverbinding of onderstation kunnen groter gedimensioneerd zijn dan de netcapaciteit die gedefinieerd is voor het geheel (per verbinding of station) en waar de netbeheerder mee rekent. Als dit voor de zwakste schakel in de keten geldt, dan bestaat er al ruimte voor zwaarder belasten;
- Netcomponenten zoals transformatoren, lijnen en kabels kunnen vaak zwaarder belast worden dan de nominale capaciteit, rekening houdend met specifieke omgevingscondities en representatieve belastingprofielen;
- Netcomponenten die de zwakste schakel vormen, en daarmee de totale capaciteit van de keten beperken, kunnen vaak vervangen of verzwaard worden.

[7] O.a.: - Dynamic Line Rating for Overhead Lines – Current Practice of Continental European TSOs - ENTSOE RGCE SPD WG;
- Dynamic Line Rating (DLR) en ENTSO-E RDI Roadmap 2024–2034;
- Increasing line capacity by 20% using data science – Data Science @ Statnett;
- Case Study on Applications of Measurement Equipment for Dynamic Line Rating

Door hoogspanningscomponenten in N-1-situaties zwaarder te belasten, kan het hieronder beschreven potentieel worden benut om extra klanten op het hoogspanningsnet (HS-net) aan te sluiten. Het genoemde potentieel betreft een inschatting en geen exacte of gegarandeerde capaciteit. De verwachte extra capaciteit is bepaald als het gewogen gemiddelde van de lokaal haalbare belastbaarheden bij toepassing van één of meerdere maatregelen. Dit gewogen gemiddelde wordt berekend door per maatregel de maximale extra belastbaarheid te vermenigvuldigen met het aandeel van de locaties waar deze maatregel naar verwachting toepasbaar is (de schaalbaarheid). De bijdragen van de afzonderlijke maatregelen worden vervolgens bij elkaar opgeteld. De capaciteit per netvlak (LNB- of RNB-niveau) is de laagst ingeschatte capaciteitswinst per componentgroep.

Landelijke netbeheerder

Een overzicht van het totale, reeds benutte en resterende potentieel van deze oplossing in het LNB-net is hieronder opgesomd:

- **Voor lijnen geldt:**
  - MaxLimit-programma heeft een potentieel van 10-20%, het kan toegepast worden op 80% van de locaties, waarvan 10% van de locaties al gerealiseerd is. Dit houdt rekening met hogere minimale windsnelheden.
  - Deze potentie houdt geen rekening met de mogelijkheid van het vervangen van de zwakste schakel, we rekenen daarom met een potentieel van 20%.
  - YRC heeft een potentieel van 30%, om dubbeltellingen t.a.v. windsnelheden te voorkomen rekenen we met een potentieel van 20%. Dit kan toegepast worden op 80% van de locaties, is nog niet gerealiseerd.
  - Het resterend potentieel voor lijnen bedraagt daarmee 70% * 20% + 80% * 20% = 30%.
- **Voor transformatoren geldt:**
  - Het gebruik van het Dynamic Transformer Rating-model (cyclisch zwaarder belasten) heeft een potentieel van 20%. Dit kan toegepast worden op 80% van de locaties, is nog niet gerealiseerd.
  - Het gebruik van ventilatoren heeft een potentieel van 30%. Dit kan toegepast worden op 70-80% van de locaties, waarvan 50% al gerealiseerd is.
  - Het resterend potentieel voor transformatoren bedraagt daarmee 80% * 20% + 25% * 30% = 23,5%.
- **Voor het totale potentieel op EHS en HS-net geldt:**
  - De ruimte die gecreëerd wordt hangt sterk af van de nettopologie, in welke mate lijnen, transformatoren of andere componenten de beperkende factor(en) vormen. Het potentieel om een lijn 30% zwaarder te belasten kan bijvoorbeeld beperkt worden als een transformator maar 20% zwaarder belaskt kan worden.
  - Gebaseerd op het totale potentieel voor lijnen (32%) en transformatoren (38%) schatten we het totale potentieel in op 30%, vrij te maken voor klantinpassing.
  - Gebaseerd op het resterende potentieel voor lijnen (30%) en transformatoren (23,5%) schatten we het totale potentieel in op 15-20%

De belangrijkste voorwaarde om daadwerkelijk gebruik te kunnen maken van de bovengenoemde ruimte door brede toepassing van zwaarder belasten is het opheffen van de belemmering door de huidige EMC-richtlijn. Door een risico-gebaseerde aanpak te hanteren, in samenwerking met relevante externe stakeholders, tracht TenneT om de EMC-belemmering weg te nemen in een aantal specifieke cases. Echter kan dit pas structureel en breed toegepast worden na aanpassing van de EMC-regelgeving. Met het huidige tempo (2 tot 6 jaar voor EMC-onderzoek) duurt het te lang om de potentie van het MaxLimit-programma (400 tot 1200 netschakels tot 20% van hun huidige capaciteit belasten) te realiseren. Door lokaal de risico-gebaseerde aanpak te hanteren, kan naar verwachting een deel hiervan eind 2027 gerealiseerd worden. Hoeveel dit is heeft TenneT niet aangegeven en kan daarom lastig ingeschat worden. Versnelling van de aanpassing van de EMC-wetgeving faciliteert snellere implementatie van hogere belastingpercentages. Als TenneT er klaar voor staat, dan is begin 2027 haalbaar om een significant resultaat te behalen, inclusief het implementeren van de YRC- en DTR-modellen op de eerste locaties en het vervangen van zwakke schakels op congestielocaties met grote impact, tegenover een relatief lage inspanning. Naar verwachting zal niet al het potentieel, ongeacht het opheffen van de EMC-belemmering, benut kunnen worden op deze termijn, wel het merendeel.

Het oplossen van (een deel van) de congestie op het landelijke net, met TenneT's strategieën en het wegnemen van de EMC-belemmering, zorgt ook voor het bewerkstelligen van een hoge schaalbaarheid van het zwaarder belasten van de regionale elektriciteitsnetten.

Regionale netbeheerders

Als de congestie van het bovenliggende (E)HS-net niet meegenomen wordt, kan potentieel tot 15% extra capaciteit vrijgemaakt worden in het HS-net op RNB-niveau (HS/MS-transformatoren). Deze hogere percentages worden bereikt met een combinatie van:

- **Statisch en cyclisch hoger belasten.** Afhankelijk van lokale omstandigheden en technische eigenschappen van transformatoren, kunnen deze 10% tot 50% hoger belast worden dan nominaal. Gemiddeld levert dit een potentieel van 30% op, welke in 80% van de locaties toegepast kan worden. Dit levert een capaciteit van 24% op. Omdat de drie grote RNB's al jaren zwaarder belasten van HS/MS-transformatoren toepassen, wordt een deel van de potentie al benut, naar schatting 13%. Het resterend potentieel is daarmee 11%.
- **Aanvullende geforceerde koeling.** Dit levert een potentieel van 10% tot 20% op. Deze kan aanvullend op statisch en cyclisch toegepast worden op 40% van de locaties en is nog niet gerealiseerd. Het resterende potentieel is daarmee ongeveer 6%.

Om de resterende 15% capaciteitsverhoging te behalen, is het nodig en haalbaar geacht om:

- de grenzen van alle RNB's op te rekken (van 10% en 20% naar 30%) met behulp van gedetailleerde thermische berekeningen;
- een brede (in plaats van een voorzichtige en selectieve) aanpak te hanteren en onderling af te stemmen om vergelijkbare uitgangspunten en beleid te hanteren waar mogelijk, ondaks lokale verschillen; het toepassen van geforceerde koeling waar haalbaar uit te breiden;
- ketenbeperkingen op te lossen door kritieke schakels te vervangen, waar mogelijk (o.a. waar levering en vervanging van componenten geen lange doorlooptijden kennen en/of waar personeel dat nodig is voor netuitbreidingen beschikbaar is);
- de geluidseisen te herzien op kritische locaties waar deze een belemmering zijn. Dit heeft een lage prioriteit, want dit vormt een probleem in maar 5% van de gevallen, wat maximaal 1% potentieel onbenut laat, en kan ook in een aantal situaties (maar lang niet altijd) opgelost worden door het nemen van maatregelen door de RNB's.

Cruciaal is dat congestie op het bovenliggende net opgelost wordt. Doordat er op dit moment congestie is op 80% van de locaties, is de schaalbaarheid van het zwaarder belasten op RNB-niveau maar 16% (20% van 80%) en daarmee de nader te benutten potentie maar maximaal 3% (20% van 15%).

Is dat opgelost, dan kan een groot deel van het potentieel binnen een jaar benut worden. Dit vergt alsnog versnelling en hoger prioriteren van deze oplossing door de RNB's, zodat ze niet het knelpunt worden als het aanpassen van de EMC-richtlijnen in de versnelling komt. Beleid en implementatieplannen dienen dan klaar te zijn voor het uitrollen van deze oplossing.

TABEL 3-3

Beoordeling van KPI's voor zwaarder belasten

KPI (score max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit 5 *(≥ 25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)*	Zwaarder belasten kan aanzienlijk extra capaciteit vrijmaken, doorgaans tussen de 10% en 50%, afhankelijk van het type component, het netvlak en de methoden van zwaarder belasten. Dit is exclusief het effect van de hele keten, die impact heeft op de schaalbaarheid en daarmee op de realiseerbare capaciteitsverhoging (zie volgende KPI). Op LNB-niveau kunnen idealiter per component de volgende percentages boven de beschikbare capaciteit behaald worden: • 10 tot 15% statisch bij bovengrondse *lijnen* door aanpassingen in windsnelheidsaannames, 15% cyclisch (alleen in de winter) en tot 15% extra (maximaal 30% boven nominaal) bij implementatie van het Year Rating Curve model. • 10% bij een beperkt aantal *kabels*, in de winter. • 10 tot 30% statisch bij toepassing van extra koeling[8] op *transformatoren* en 5 tot 20% cyclisch bij toepassing van het DTR-model. Dit levert theoretisch 50% hogere belasting bij de transformatoren zonder geforceerde koeling en waarbij mogelijk is om extra ventilatoren te plaatsen. Voor de RNB's gaat het om de mate waarin *transformatoren* zwaarder belast kunnen worden. De maximale extra capaciteit op dit niveau bedraagt 10 tot 50%. Waarbij er overeenkomsten en verschillen zijn tussen de 3 RNB's, zoals in paragraaf 3.3.1.2 toegelicht: statisch tot 20% en cyclisch/seizoensafhankelijk tot 30% van de nominale waarde. Een additionele 20% is mogelijk op locaties waar nog geen ONAF-transformatoren staan en waar extra ventilatoren geplaatst kunnen worden.
Schaalbaarheid LNB: 4 *(Geschikt voor 50-80% van de situaties)*	De schaalbaarheid is hoog op RNB- en LNB-niveau. Echter zorgt de congestie op LNB-niveau voor lage schaalbaarheid bij de RNB's. DNV verwacht dat zwaarder belasten in de meeste gevallen (geschat 80%) toegepast kan worden. Echter, naarmate dit verder wordt doorgevoerd (meer capaciteit wordt vrijgespeeld), neemt de schaalbaarheid af. Dit komt doordat deze oplossing niet overal technisch toepasbaar is en sterk afhankelijk is van lokale technische en netgerelateerde omstandigheden. Bij het zwaarder belasten moeten ook kortsluitvastheid, spanningskwaliteit en de dynamische stabiliteit van het net binnen veilige grenzen blijven, die ook beïnvloed kunnen worden door het zwaarder belasten van componenten. Dit kan lokaal een beperking vormen.

[8] IEC 60076(verhouding met/zonder ventilatoren indicatief van 100/120 tot 100/130)
IEEE c57.12.10, 2017 (verhouding met/zonder ventilatoren van 100/115 tot 100/167%)
DEP - Ecoboost vermogenstransformator (transformatordag September 2025)
Understanding transformer cooling methods: ONAN, ONAF, KNAN, and KNAF explained * Giga Energy

KPI (score max. 5)	BEOORDELING
RNB: **4** **(excl. congestie LNB)** *(Geschikt voor 50-80% van de situaties)* **2 (incl. congestie LNB)** *(Geschikt voor 5-20% van de situaties)*	Op LNB-niveau zijn beperkingen over de keten sterk bepalend voor de schaalbaarheid van de oplossing en daarmee het behalen van bovengenoemde percentages. Met het MaxLimit-programma is voor ongeveer 10% van de netschakels een verhoogde capaciteitslimiet bepaald en wordt deze nog voor de resterende netschakels bepaald. Naar aanleiding van deze eerste resultaten wordt verwacht dat er een statische capaciteit van nog 10 tot 20% op alle netschakels behaald wordt. Bij beperkingen door specifieke componenten voorziet TenneT het vervangen van de zwakste schakels om lokaal aanvullende capaciteit te creëren. Al met al geldt een geaggregeerde schaalbaarheid over het hele (E)HS-net van 80%. Per component is de toepasbaarheid van de maatregelen om zwaarder te belasten over het hele net als volgt: • Voor lijnen wordt cyclisch zwaarder belasten in de winter op alle lijnen toegepast en kan in theorie 50% statisch hoger belast o.b.v. hogere windsnelheden. In de komende jaren verwacht DNV een mogelijk hogere schaalbaar heid (aanvullende 15-25%) door verdere aanpassingen in windsnelheidsaannames in beleid en naarmate het lopend onderzoek over de Year Rating Curve (YRC) vordert. Zodra de YRC-studie afgerond is, schat DNV de schaalbaarheid tot maximaal 80%. Een hogere toepasbaarheid is niet mogelijk vanwege technische eisen aan de veiligheid van het systeem. • Voor transformatoren: statisch hoger belasten door middel van geforceerde koeling is al op 50% van de transformatoren toegepast. De potentie voor toepassing op meer locaties wordt beïnvloed door constructieve beperkingen bij specifieke transformatoren, de haalbaarheid van het plaatsen van ventilatoren en de beschik-baarheid van personeel om de aanpassingen aan de transformatoren te doen. In de praktijk zal in een deel van de gevallen lokaal een keuze gemaakt moeten worden tussen deze oplossing en het cyclisch belasten met gebruik van het DTR-model. Ook beperken de situaties waarbij andere stationscomponenten (zoals schakelaars of transformatorkabels) de limiterende factor zijn de toepasbaarheid van deze oplossing. DNV verwacht dat het zwaarder belasten op maximaal 80% van de transformatoren toepasbaar is. Op RNB-niveau spelen vergelijkbare aspecten een rol in het breed toepassen van hogere belastingsgrenzen op transformatoren. De daadwerkelijke schaalbaarheid bij de RNB's is echter lager vanwege de afhankelijkheid van congestie op het HS-net. Naar schatting is er congestie in 80% van de netschakels in het bovenliggende net, wat de schaalbaarheid aanzienlijk reduceert (naar 20%). Deze gaat omhoog als TenneT de technische oplossingen met succes kan toepassen. Afgezien van deze beperking wordt verwacht dat: • Statische belasting van 110 tot 120% is toe te passen op 80 tot 90% van de transformatoren. Dit wordt al tientallen jaren door een van de RNB's succesvol toegepast. Hogere schaalbaarheidspercentages zijn niet mogelijk vanwege beperkingen t.a.v. conditie en andere limiterende stationscomponenten. • Hoger (cyclisch) belasten kan tot 130% gerekt worden door het gebruik van bestaande metingen, het toevoegen van monitoring en het doorontwikkelen en implementeren van het DTR-model. • Uitganspunt voor een hoge schaalbaarheid op RNB-niveau (afgezien van de bovenliggende congestie) is dat alle RNB's in staat zijn om de hogere percentages toe te passen, c.q. op te schalen (bijvoorbeeld van 16% nu, naar 80 tot 90%). • Net als bij de LNB, hangt de schaalbaarheid van het aanbrengen van extra ventilatoren af van lokale beperkingen ten aanzien van interne bouw van de transformatoren, haalbaarheid van het plaatsen van ventilatoren en de beschikbaarheid van personeel. ONAF-transformatoren zijn al in 40 tot 70% toegepast.
Kosteneffectiviteit **4** *(40-100 k€/MW jaarlijks, netto baten)*	De kosteneffectiviteit is hoog doordat de implementatie relatief goedkoop is en de baten groot zijn door betere benutting van bestaande assets. • Er zijn nauwelijks grote investeringen nodig, de opbrengst is snel zichtbaar en klanten kunnen versneld aangesloten worden. • Nadeel is dat structureel hogere belastingen naar verwachting leiden tot extra onderhoud of vervroegde vervanging vanwege versnelde veroudering, waardoor kosten later alsnog kunnen stijgen. Hier is nog onvoldoende praktijkervaring mee, waardoor het aantal, de frequentie en de impact op kosten niet gekwantificeerd kunnen worden.

KPI (score max. 5)	BEOORDELING
Compliant **LNB: 2** *(Grote wijzigingen nodig, enigszins politiek)* **RNB: 3** *(Beperkte wijzigingen nodig, enigszins politiek of groot/nauwelijks)*	Zwaarder belasten kent meerdere relevante regulatorische beperkingen die, samen met de organisatorische, ervoor zorgen dat de oplossing nog niet breed wordt toegepast op de locaties waar mogelijk. • In (E)HS-netten is regelgeving omtrent EMC-richtlijnen met parallelle infrastructuur bepalend. Hierdoor is afstemming noodzakelijk met o.a. Gasunie en ProRail en waarvoor complexe en langdurige EMC-studies nodig zijn om hoger belasten te kunnen implementeren in de praktijk. • Toepassing bij de RNB's kent daarentegen minder regulatorische beperkingen. Ze ervaren beperkte belemmeringen van reguleringen zoals de geluidsnormen (maar in 5% van de gevallen) en beïnvloeding op het gebied van EMC.
TRL **5** *(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)*	De technologie is volwassen en heeft een hoge TRL; deze is direct toepasbaar in de praktijk.
Implementatietijd **3** *(12-24 maanden)*	De implementatietijd is relatief kort, indien de benodigde informatie beschikbaar is. Op LNB-niveau is de verwachting dat in 2027 zwaarder belasten merendeels kan worden toegepast op de meeste netschakels. Deze duur wordt voor een groot deel bepaald door de belemmeringen vanwege de huidige EMC-richtlijnen. Implementatie van statisch belasten van transformatoren bij de RNB's, met veilige en conservatieve percentages (maximaal extra 20%) waar fysiek geen aanvullende maatregelen voor nodig zijn, moet binnen een jaar toegepast kunnen worden, op basis van de ervaring van een deel van de RNB's hiermee en de jaren onderzoek die daartoe hebben geleid. Voor hogere percentages (> 30%) is meer tijd nodig, maar dit kan worden versneld door gefaseerde implementatie waarbij bijvoorbeeld congestiegebieden worden geprioriteerd. Overal genomen geldt: • Deze oplossing kan snel worden ingevoerd en vereist vaak weinig fysieke aanpassingen, vooral in vergelijking met netuitbreidingen die jaren duren. • Nadelen ten aanzien van implementatie zijn dat vooraf technische checks nodig zijn en wanneer ketencomponenten beperkend zijn, (eenvoudige) vervanging extra tijd kan vragen.
Organisatorische impact **2** *(Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)*	De organisatorische impact is hoog, omdat er brede interne en externe afstemming nodig is. Er is extra monitoring nodig, en afstemming tussen veel teams kost tijd. Zowel analyses als implementatie vereisen gespecialiseerde capaciteit, die beperkt beschikbaar is.
Operationele complexiteit **3** *(Toename in complexiteit is beperkt en beheersbaar)*	De operationele complexiteit neemt toe omdat real time monitoring en sturing noodzakelijk worden. Real time operationele risico's nemen toe, mede door weersomstandigheden en belastingprofielen. Echter, met goede IT- en OT-systemen kan dit beheersbaar worden uitgevoerd.
Betrouwbaarheid **4** *(Geen significante impact)*	Wanneer componenten structureel hoger worden belast dan hun nominale waarden, kan de betrouwbaarheid afnemen. De kans op storingen kan toenemen doordat de componenten dichter bij hun thermische grenzen worden gebruik. Binnen gecontroleerde toepassing blijft de betrouwbaarheid echter goed beheersbaar, vooral met data-gedreven monitoring. Het huidige beleid van de netbeheerders richt zich op toepassingen waarbij de levensduur niet noemenswaardig aangetast wordt, dit gaat pas spelen als de limieten verder opgerekt worden.
Veiligheid **4** *(Geen significante impact)*	De oplossing is veilig wanneer deze binnen de thermische en mechanische grenzen van alle component in de netschakel wordt toegepast en zorgvuldig wordt bewaakt.

Opheffen van belemmeringen

Voor het zwaarder belasten van componenten is er op dit moment nog een aantal belemmeringen die weggenomen moeten worden voor een betere benutting van de capaciteit van het huidige net. Deze belemmeringen zijn:

TECHNISCH

- **Ketenbeperkingen:** zoals bovengenoemd kunnen componenten zoals kabels, afgaande transformator-velden, schakelaars en andere ketenschakels limiterend zijn om het totale potentieel van zwaarder belasten te benutten. Wanneer het versterken of vervangen van deze componenten op grote schaal nodig is, vergt dit aanzienlijke investeringen en doet beslag op personeel dat ook nodig is voor reguliere netuitbreidingen. Daarom is dit niet effectief in alle situaties. Door gericht ketenonderzoek uit te voeren om limiterende componenten te identificeren, kunnen uitsluitend de kritieke schakels die daadwerkelijk capaciteit ontsluiten vervangen of verzwaard worden. Dit kan gecombineerd worden met gefaseerde uitvoering om personele druk te beperken. Het gaat hier niet om het vervangen van componenten zoals een transformator of hele schakelinstallaties, maar om "kleinere" doch kritieke componenten om het net zwaarder te kunnen belasten Vervangen van een transformator om een lijn hoger te kunnen belasten is niet haalbaar vanwege langere levertijden, gemiddeld tot wel 7 jaar.

- **Betrouwbaarheid en levensduur:** er is op dit moment onvoldoende inzicht in de resterende levensduur van componenten en de impact van zwaarder belasten daarop, net als beperkte monitoring. Verbeterde levensduurmodellering en conditiediagnostiek zijn nodig om deze inzichten te vergroten, om de betrouwbaarheids- en financiële risico's van (aanzienlijke) hogere belastingen op langere termijn in te kunnen schatten.

ORGANISATORISCH

Coördinatie en afstemming: intern en extern (bijvoorbeeld onderling tussen netbeheerders of met derde partijen) is intensieve afstemming nodig om zwaarder belasting veilig in te voeren. Waarbij het doel is om hogere grenzen breed door alle netbeheerders (voornamelijk bij de RNB's) toe te passen. Het op één lijn brengen van teams en stakeholders blijkt in de praktijk complex. Richt duidelijke standaardprocessen, uniforme beoordelingskaders en gezamenlijke besluitvorming in tussen interne teams (of verbeter de bestaande) en, waar nodig, andere netbeheerders of externe partijen. Dit verkort doorlooptijden en voorkomt inconsistenties.

REGELGEVING

- Huidige wettelijke geluidslimieten waar de transformatoren aan moeten voldoen, kunnen de maximaal toelaatbare belasting beperken. Netbeheerders passen al geluidsreducerende maatregelen, zoals akoestische omkastingen toe, zodat transformatoren binnen geluidsnormen kunnen blijven terwijl hogere belasting tijdelijk mogelijk wordt gemaakt.

- De belangrijkste barrière in hoogspanning voor het toepassen van zwaarder belasten, betreft daarmee de beperking vanuit de huidige EMC-vergunningen. Relevant hierbij om te vermelden is dat de meeste hoogspanningsverbindingen ouder zijn dan de huidige EMC-richtlijnen. De bestaande verbindingen zijn daarmee niet onderworpen aan EMC-studies, aangezien bij invoering van nieuwe EMC-richtlijnen geen verplichting bestaat om bestaande verbindingen hieraan te toetsen. De huidige verbindingen zijn de facto conform verklaard aan de vigerende EMC richtlijnen op basis van de ontwerpcapaciteit van de netschakel. Als met het toepassen van zwaarder belasten de capaciteit hoger uitkomt dan de ontwerpcapaciteit van de netschakel, dient TenneT een EMC-studie uit te voeren. Dit is een traject dat meerdere jaren kan duren. Hierbij dient een EMC onderzoek uitgevoerd te worden, om vast te stellen of de hogere belasting tot onacceptabele beïnvloeding van parallelle infrastructuur leidt, dit betreft alle infrastructuur en alle objecten binnen de volgens de normen vastgestelde beïnvloedingszones, waaronder het spoor (ProRail), het gastransportnet (Gasunie) en snelwegen (Rijkswaterstaat).

  Het is daarom van het hoogste belang om dit vergunningstraject te versnellen, zodat eerder extra transportcapaciteit vrijgemaakt kan worden en klanten versneld aangesloten kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld bereikt worden door de volgende maatregelen (deze zijn niet uitputtend):

  - Vereenvoudigen van vergunningstraject en beperken van bezwaarmogelijkheden
  - Bewijslast verleggen van TenneT (LNB) naar betrokken stakeholders. In Duitsland wordt een model gehanteerd waarbij de LNB alleen een meldplicht heeft en zijn stakeholders verantwoordelijk zijn voor studie en eventueel het treffen van maatregelen. De LNB kan gedurende de studie al wel de capaciteit verruimen en moet wel voor de studie en de maatregelen betalen.
  - De-facto EMC-normering vaststellen op basis van nominale capaciteit van de hoogspanningslijnen, i.p.v. de ontwerpcapaciteit van de netschakel.

- De facto EMC-normering toetsen tegen de gemiddelde jaarlijkse belasting i.p.v. de piekbelasting (dit model wordt in Noorwegen en Zweden gehanteerd)
- Toestaan om transportcapaciteit te verhogen o.b.v. quick scan met positief resultaat
- Binnen het *bestuurlijk akkoord netcongestie* afspraken maken met betrokken stakeholders om EMC-barrières versneld weg te nemen.

Voor de vergunningstrajecten ten aanzien van geluidsnormen, welke typisch 2-5 jaar in beslag nemen, het onderstaande overwegen. Dit heeft een lagere prioriteit, omdat de netbeheerders in maar 5% van de gevallen op beperkingen vanwege de geluidsnormen stuiten.

- Vergunningstraject te vereenvoudigen en bezwaarmogelijkheden te beperken.
- Toe te staan om alleen tijdens noodsituaties de geluidsnorm te overschrijden.

3.3.2 INZET STORINGSRESERVE

3.3.2.1 Beschrijving

De betrouwbaarheidseisen aan de performance van het elektriciteitsnet resulteren in netontwerpen waarbij voldoende reservecapaciteit aanwezig is in de normale toestand van het net (N-0) om storingen op te vangen en om onderhoud te plegen.

De aanwezige storingsreserve in (extra)hoogspannings-netten, ook wel de vluchtstrook genoemd, kan in potentie (gedeeltelijk) worden ingezet om klanten op de wachtrij aan te kunnen sluiten. Belangrijke consequentie is dat het onderhoud gepland moet worden gedurende perioden met lage belasting, zodat het uit bedrijf nemen van één van de componenten niet leidt tot een overbelasting van de andere componenten die nog in bedrijf zijn. Dit kan in de praktijk beperkt realiseerbaar zijn en wordt steeds lastiger naarmate er op meer plekken klanten worden aangesloten op de storingsreserve.

Twee hoofdvarianten van het gebruik van de storingsreserve zoals beschouwd in deze analyse zijn:

1 - Curatieve N-1

Klanten worden aangesloten op basis van afschakelbare contracten. De aangeboden transportcapaciteit is aanvullend op de aanwezige transportcapaciteit, dat betekent dat tijdens piekuren deze klanten deels of volledig gebruik maken van de enkelvoudige reservecapaciteit. Afkoppeling vindt plaats bij storingen of onderhoud tijdens piekuren, zodat overbelasting voorkomen wordt. Vanwege de locatie van de klant en technische beperkingen kan deze variant in de praktijk schaalbaarheidsproblemen opleveren. Het vermogen van een klant moet namelijk tijdig afgeschakeld kunnen worden door de klant zelf of de netbeheerder, en de klant moet afschakelbaar zijn zonder dat dit andere klanten treft. Dit concept kan gebruik worden om klanten op de wachtrij aan te kunnen sluiten, maar is met name interessant (en schaalbaar) voor bestaande klanten.
Indien een gedeelte van de energie-intensieve industrie omgezet kan worden naar een curatief N-1 contract, kan veel transportcapaciteit vrijgespeeld worden om extra klanten aan te sluiten.
Een variant kan overwogen worden waarbij niet-kritieke belastingen (bijv. elektrolyers) verplicht op de vluchtstrook geplaatst worden, en afgekoppeld worden bij storingen of onderhoud. Dit is minder schaalbaar vanwege de beperkte hoeveelheid niet-kritieke belasting, en is met name van toepassing op klanten bovenaan de wachtrij. Ook dient de voorkeur gegeven worden aan marktgebaseerde oplossingen vanuit EU-regelgeving. Indien er te weinig interesse is in de markt-gebaseerde variant, kan een verplichting overwogen worden. Deze verplichting moet beperkt worden tot congestiegebieden en -periodes, omdat dit anders mogelijk te sterk ingrijpt op het recht op transportvermogen.

2 - Beperkte vrijgave N-1 en lagere betrouwbaarheid accepteren

In deze variant wordt ook de vluchtstrook deels ingezet, maar wordt het risico op een storing (op het verkeerde moment) niet beheerst door het afsluiten van curatieve N-1 contracten, maar wordt dit risico geaccepteerd. Het inzetten van de vluchtstrook kan gefaciliteerd worden door het versoepelen van de N-1 verplichting (bijv. toestaan dat 1% van de tijd er geen volledige storingsreserve aanwezig is). Dit kan tijdens piekbelastingen de betrouwbaarheid op specifieke locaties verminderen en betrouwbaarheidsrisico's en juridische uitdagingen met zich meebrengen. Door deze verplichting voor een zeer beperkt gedeelte van de tijd weg te nemen, kan een relatief groot potentieel ontsloten worden. Zo schat één RNB dat het versoepelen van de N-1 criteria gedurende 5% van de tijd, 50% meer transportcapaciteit kan opleveren op het eigen netvlak, met minimaal risico op uitval.

Beide hoofdvarianten maken gebruik van de aanwezige reservecapaciteit in het net, daarmee zijn ze technisch vergelijkbaar en maken ze beide aanspraak op het aanwezige potentieel. Tijdens normale bedrijfsvoering is er daarmee geen onderscheid, het verschil wordt duidelijk als er zich een storing voordoet tijdens een piekbelasting. In de curatieve N-1 variant kan dit leiden tot het afregelen of afschakelen van klanten waarmee een dergelijke afspraak gemaakt is. De betrouwbaarheid van het net voor de overige netgebruikers komt daarmee niet in het geding. In de tweede variant kan een storing wel leiden tot een noodsituatie waarbij de netbeheerder gedwongen klanten moet afschakelen, dit leidt dus tot een lagere betrouwbaarheid in het netgedeelte waar deze oplossing wordt toegepast.

Beide hoofdvarianten worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

3.3.2.2 Huidige toepassing

Aangezien er een wettelijke eis is voor het hanteren van een enkelvoudige storingsreserve voor alle netten van 110kV en hoger, wordt het concept waarbij een lagere betrouwbaarheid geaccepteerd wordt, nog niet toegepast.

TenneT heeft een proef gestart voor het Curatieve N-1 concept, en één van de regionale netbeheerders heeft een vergelijkbare constructie aangeboden aan een klant in de wachtrij.

Landelijke netbeheerder

Om meer klanten aan te kunnen sluiten is TenneT actief aan het werk hun capaciteit te verbeteren door het gebruik van nood- of storingsreserves te optimaliseren. Deze storingsreserves maken deel uit van de bredere congestiemanagementstrategie en worden ingezet om de netbetrouwbaarheid te waarborgen. Tegelijkertijd wil TenneT meer flexibiliteit om klantintegratie mogelijk te maken. Het proces begint met de inkoop van flexibiliteitsopties, zoals reserves voor congestie-management, voordat transportlimieten worden vastgesteld. Klantintegratie kan in dit geval worden gebaseerd op beschikbare flexibiliteit en congestieniveaus in plaats van enkel op basis van de vastgestelde transportlimieten. Zodra deze factoren zijn beoordeeld worden de limieten overeenkomstig aangepast.

Het gebruik van storingreserves is met name relevant in curatieve N-1 scenario's, waarbij het net stabiel moet blijven ook al valt een component uit. In dergelijke gevallen moeten klanten of TenneT hun belasting snel kunnen regelen of afkoppelen. De vereiste reactietijd hangt af van de grootte van de belasting, de aard van de storing en het type component dat overbelast wordt. Deze aanpak vereist directe meet- en regelrelaties tussen klanten en het hoogspanningsnet. Ook is de locatie van de aansluiting van belang, met name in een vermaasd net is er niet altijd een eenduidige, 1-op-1 relatie met het congestiepunt. Het omzetten van een bestaande klant naar een "curatief N-1" concept, zal weliswaar capaciteit vrijmaken om andere klanten aan te sluiten, maar mogelijk maar een gedeelte van de huidige capaciteit van deze klant. TenneT voert momenteel pilots uit met een RNB om rekenmethoden voor curatieve N-1 en slimmer gebruik van storingsreserves te ontwikkelen om eventueel klanten in te passen. Deze pilots zijn gericht op het verbeteren van de betrouwbaarheid en reactievermogen van het net tijdens noodsituaties.

Er zijn echter uitdagingen. Het risico op overbelasting van andere componenten bemoeilijkt de implementatie van curatieve N-1-strategieën. Bovendien hebben de huidige programma's prioriteit, zoals tijdsduurgebonden transportrechten (TDTR), CBC's, en het aansluiten van invoeding op de vluchtstrook. Daarom richt TenneT zich eerst op de implementatie van bestaande noodmaatregelen voor productie en de inzet van batterijen, voordat deze strategieën worden uitgebreid naar nieuwe klantcategorieën.

Regionale netbeheerders
Twee van de drie RNB's vinden het aansluiten van afnameklanten op de vluchtstrook technisch verglijkbaar met het op de vluchtstrook aansluiten van invoeding door hernieuwbare opwek. Bij invoeding kunnen klanten automatisch worden afgeschakeld in geval van storingen. Dezelfde methode kan worden gebruikt voor afnameklanten, mits de regelgeving dit toestaat. Eén RNB benadrukt echter dat de economische en maatschappelijke impact van het afschakelen van bepaalde verbruikers aanzienlijk groter is dan bij producenten.

Één RNB heeft het gebruik van de storingsreserve getest voor grootverbruikers (zoals fabrieken en datacenters). Technisch haalbaar, maar alleen praktisch bij hoge vermogens en acceptabel als klanten instemmen met een iets lagere betrouwbaarheid, mogelijk in ruil voor lagere nettarieven. Dit is beheersbaar voor onderhoud, maar storingen kunnen problemen veroorzaken omdat niet vooraf bekend is wanneer en hoe lang de betreffende klant afgeschakeld wordt.

De "vluchtstrook"-aanpak heeft veel potentieel (25-50% meer beschikbare capaciteit) en is in theorie schaalbaar. Onderzoek door één RNB toont aan dat op 30 van de 31 stations in hun beheer de vluchtstrook gedeeltelijk of volledig inzetbaar is. De belangrijkste knelpunten die door de RNB genoemd worden zijn juridisch van aard – de huidige Nederlandse wetgeving staat het niet toe om verbruikers zonder speciale toestemming aan te sluiten op de storingsreserve – en operationele complexiteit, voornamelijk bij de coördinatie tussen de LNB en de RNB. De oplossing is in de praktijk niet overall toepasbaar, omdat toepassing op veel stations het risico zou verhogen tot een niveau dat de RNB niet acceptabel acht en vanwege de mogelijke impact op de bedrijfsvoering in relatie tot de beheersbaarheid van kortsluitstromen. Aanpassingen aan administratieve en ICT-systemen kunnen meer dan een jaar duren.

Alle RNB's erkennen de technische haalbaarheid van het gebruik van de storingsreserve voor verbruikers. RNB's zetten de vluchtstrook nog niet op in vanwege juridische, operationele en betrouwbaarheidsbezwaren. De verschillen tussen RNB's zitten in tot hoeverre elk het concept heeft onderzocht en/of getest, en in hun inschatting van de risico's en de interesse van klanten.

De storingsreserve wordt weliswaar nog niet ingezet om klanten versneld aan te sluiten (in het planningsproces), deze wordt in bepaalde situaties al wel gebruikt in het operationele proces door de RNB's, op plaatsen waar de transportvraag door natuurlijk groei al de aanwezige transportcapaciteit overstijgt.

3.3.2.3 DNV Analyse

Zoals aangegeven maken beide hoofdvarianten gebruik van de aanwezige reservecapaciteit. Het maximale technische potentieel van beide varianten gezamenlijk is daarmee gelijk aan de capaciteit van de vluchtstrook (ca. 40% in het LNB-net en 25% in het RNB-net volgens de berekeningen in paragraaf 3.2). In welke mate welke variant toegepast kan worden, zal per locatie bepaald moeten worden. Enerzijds op basis van de aanwezigheid en bereidheid van klanten om te participeren in de curatieve N-1 variant, anderzijds op basis van een risicoanalyse (en risicobereidheid). Het potentieel dat realistisch bereikt kan worden is echter beduidend lager vanwege beperkingen die hieronder beschreven staan.

Een belangrijke beperking is dat het verrichten van onderhoud (incl. netuitbreiding en nieuwe aansluitingen) volgens opgave van een netbeheerder praktisch onmogelijk wordt als meer dan 50% van de vluchtstrook benut wordt. Op basis hiervan lijkt een bovengrens van 20% (LNB) resp. 13% (RNB) realistisch. Andere beperkingen zijn afhankelijk van de variant, deze varianten worden hieronder apart behandeld.

Curatief N-1

TABEL 3-4

Beoordeling van KPI's voor inzet storingsreserve o.b.v. curatief N-1

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit **4** *(15-25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt*	• In beginsel is de inschatting van de additionele capaciteit, die vrijgemaakt kan worden significant, namelijk 20% (LNB) resp. 13% (RNB), omdat dit overal toepasbaar is (bij voldoende klantparticipatie, zie schaalbaarheid), waarbij onderhoud nog mogelijk is, zonder dat dit de betrouwbaarheid van het net sterk beïnvloedt. • Het gebruik van de enkelvoudige storingsreserve wordt momenteel al toegepast op locaties met invoedings-congestie door opwek met hernieuwbare energie, wat volgens TenneT tot circa 30% additionele capaciteit zal leiden.
Schaalbaarheid **2** *(Geschikt voor 5-20% van de situaties)*	• Schaalbaarheid is primair afhankelijk van de interesse/bereidheid van klanten, deze is sterk afhankelijk aan de eisen en vergoedingen die hieraan verbonden worden. • Een recent TNO-rapport[9] schetst een technisch potentieel van 3,5 – 4,0 GW (ca 20% van de Nederlandse piekvraag). Deze studie beschouwt Industriële vraagrespons in het algemeen, niet specifiek het curatieve N-1 concept. Ook geeft het rapport aan dat "de inzetbaarheid beperkt wordt door operationele randvoorwaarden". Vanwege deze beperking is een initiële inschatting van het potentieel vanuit de klantzijde gezien: 5-15%. • Hierbij is dit concept ook met name interessant voor E-boilers en warmte pompen, evt. in combinatie met warmteopslag. Dit maakt onderdeel uit van de 5-15% inschatting, maar dit concept is zeer geschikt om extra transportcapaciteit voor toekomstige aanvragen vanuit de industrie te faciliteren. • Indien de reservetransformator in 'hot-stand by modus' staat kan het mogelijk zijn dat er geen klanten aangesloten kunnen worden op de vluchtstrook. Dit is afhankelijk van de bedrijfsvoering en de fysieke mogelijkheden om het station hiervoor aan te passen. • Het is technisch gezien niet altijd mogelijk om alleen de betreffende klanten van het net af te sluiten met wie een afspraak is gemaakt. Momenteel is dit alleen mogelijk voor grotere klanten met een eigen, directe verbinding naar het onderstation, dit kan de schaalbaarheid beperken. • Dit concept is met name geschikt voor grootverbruikers die direct op het LNB-net zijn aangesloten, of een directe verbinding naar het HS/MS onderstation hebben bij bovenliggende congestie.
Kosteneffectiviteit **5** *(<40 k€/MW jaarlijks, netto voordelen)*	• Een curatief N-1 contract biedt kansen voor de industrie om netwerkkosten te verlagen, dit is afhankelijk hoe het corresponderende product vormgegeven zal worden. Ook kan dit de business case voor de elektrificatie van de warmtevraag verbeteren. • Effectiviteit kan afnemen in een vermaasd net, afhankelijk van de netwerktopologie en de locatie van de klant t.o.v. het congestiepunt.
Compliant **3** *(Beperkte wijzigingen nodig, enigszins politiek of groot/nauwelijks*	In beginsel kan het gebruik van een CSC, evt. in combinatie met een ontheffing, voldoende zijn om dit concept toe te passen. Aangezien een wijziging van het Energiebesluit benodigd is voor de andere variant ("accepteren lagere betrouwbaarheid"), kan curatief N-1 gebruik maken van deze voorgestelde wijziging.
TRL **5** *(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)*	Hoge Technology Readiness Level, vergelijkbaar met afschakelbare contracten voor balancering van vraag en aanbod in het elektriciteitsnet, indien rekening wordt gehouden met aanvullende maatregelen die mogelijk nodig zijn op het gebied van veiligheid en controle.
Implementatietijd **2** *(24-36 maanden)*	• Er zal behoefte zijn aan robuuste IT-systemen, die het mogelijk maken om klanten en belastingen real-time aan te sturen en coördineren. IT -en OT-systemen en operationele processen zullen naar verwachting mogelijk moeten worden aangepast. • Pilotprogramma's kunnen helpen om het concept te testen en feedback te verzamelen.

[9] Verkenning van vraagrespons in de Nederlandse energieintensieve industrie, TNO Publiek, 27 januari 2026

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Organisatorische impact **3** *(Vereist ofwel de invoering van nieuwe processen of de ontwikkeling van nieuwe competentie)*	• Het kan worden geïmplementeerd met bestaande systemen, al zijn deze systemen niet overal gerealiseerd of bruikbaar (toegepast om invoeding op de vluchtstrook aan te sluiten). • Dit betreft maatwerk, haalbaarheid zal voor iedere locatie apart onderzocht moeten worden.
Operationele complexiteit **2** *(Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/ geïmplementeerd worden)*	• Voegt extra complexiteit toe aan netbeheer, zowel t.a.v. planning als operations, protectie en control center. • De storingsreserve wordt ook ingezet voor netuitbreidingen en onderhoud. De uitvoering en planning daarvan kan complexer worden als de storingsreserve maar deels beschikbaar is en dit kan betekenen dat er klanten langdurig moeten worden afgesloten, met name in het distributienet.
Betrouwbaarheid **4** *(Geen significante impact)*	• De impact op de betrouwbaarheid van het net voor bestaande/ nieuwe klanten zonder curatieve N-1 afspraken is zeer beperkt, mits correct geïmplementeerd. • Netbeheerders zijn voorzichtig met te snelle implementatie, omdat de maatschappelijke en politieke gevolgen van een grote stroomuitval ernstig zullen zijn. Als het mechanisme faalt is er weinig tijd om alternatieve maatregelen te nemen om stroomuitval te voorkomen. • Klanten die hieraan deelnemen worden niet onnodig afgeschakeld – de huidige markproducten zoals TDTR en CBC worden preventief ingezet, om N-1 vooraf te borgen, d.w.z. elke keer als de aanwezige transportcapaciteit overschreden dreigt te worden. Curatief N-1 wordt alleen toegepast bij storingen, eens in de 5-10 jaar, en bij gepland onderhoud (met name in het RNB-net). • Klanten die via de storingsreserve zijn aangesloten, kunnen worden afgeschakeld tijdens storingen. Het moment en de duur hiervan is vooraf onbekend en het kan een uitdaging zijn voor de klant om hier op ieder moment adequaat op te kunnen reageren. Met name in het RNB net kunnen hersteltijden lang zijn, hetgeen een grote impact op de klant kan hebben.
Veiligheid **4** *(Geen significante impact)*	Geen impact.

Het realistisch potentieel van de curatieve N-1 oplossing is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van participatie van grootverbruikers, de bereidheid hiertoe moet nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het potentieel bedraagt 5-15%, waarbij dit het meest interessant is voor energie-intensieve industrie en datacenters, d.w.z. grootverbruikers met aansluitingen direct op het LNB-net, of met een eigen verbinding naar een HS/MS onderstation. Verdere ontwikkeling en implementatie van dit concept is benodigd, waarbij de nadruk moet liggen op het voldoende aantrekkelijk maken voor eindklanten, en het oplossen van technische belemmeringen. Om tijd te winnen dient dit parallel opgepakt te worden.

Opheffen van belemmeringen

- Het is technisch gezien niet altijd mogelijk om alleen de betreffende klanten van het net af te sluiten met wie een afspraak is gemaakt. Dit gaat er echter van uit dat de netbeheerder met een schakeling in het eigen net deze klant kan afsluiten. Als alternatief kan de klant zichzelf afschakelen of afregelen, op verzoek van de netbeheerder.
- Het adequaat afschakelen van klanten in noodsituaties kan risicovol zijn als dit niet snel genoeg gebeurt. Daarbij is niet alle belasting hiervoor geschikt. Dit kan gemitigeerd worden door de klant, bijv. middels het plaatsen van een batterij die een gecontroleerde bedrijfsstop kan faciliteren.
- Door het onderhoud te plannen buiten piekperiodes (bijv. in de zomer als de piekvraag in de winter optreedt), kan voorkomen worden dat deze klanten langdurig afgesloten moeten worden tijdens onderhoud. Dit wordt steeds lastiger te organiseren naarmate een groter gedeelte van de storingsreserve ingezet wordt.
- Indien klanten na een storing of tijdens onderhoud voor langere tijd afgeschakeld moeten worden, kunnen noodvoorzieningen gebruikt worden om de impact op de klant te beperken.

Vanuit de netbeheerders worden vooral de technische belemmeringen benadrukt. Het is daarom opvallend om vast te stellen dat in België, de LNB reeds curatieve N-1 contracten aanbiedt aan haar klanten in congestiegebieden. Dit wordt momenteel alleen aan klanten in de wachtrij aangeboden, maar de LNB bestudeerd ook de mogelijkheid om bestaande klanten om te zetten naar een dergelijke transportovereenkomst, teneinde klanten in de wachtrij te kunnen voorzien van (regulier) transportvermogen. Dit geeft aan dat eventuele technische barrières overbrugbaar zijn.

Ontwikkelen van curatieve N-1 concept

Het curatieve N-1 concept beperkt zich niet tot klanten in de wachtrij. Om schaalbaarheid te bereiken is het juist van belang om bestaande klanten (m.n. energie intensieve industrie en datacenters) ertoe te bewegen om op de vluchtstrook geplaatst te worden. De netbeheerders hebben tot nu toe veel moeite om flexibiliteitscontracten (CBC's) af te sluiten met de industrie. De vraag is echter niet waarom de industrie geen interesse heeft om te flexibiliseren, de vraag zou moeten zijn wat er nodig is om het voor de industrie interessant te maken om te flexibiliseren.

Het grote voordeel van het curatieve N-1 concept, bijv. t.o.v. een TDTR-transportovereenkomst, is dat afschakeling alleen nodig is in geval van een onvoorziene storing (alleen op RNB-niveau zou afschakeling ook nodig kunnen zijn tijdens gepland onderhoud en netuitbreiding. Afhankelijk van de situatie kan dit vermeden worden door slim te plannen). De kans hierop is klein (eens in de 5-10 jaar). Het nadeel is dat de storing onvoorzien is en afschakeling snel plaats moet vinden.

Om de ontwikkeling van dit concept te versnellen zijn de volgende parallelle activiteiten benodigd:

- **Marktconsultatie:** Vaststellen met grootverbruikers onder welke condities het curatieve N-1 concept interessant is. Denk hierbij aan het traject voor TDTR, waarbij met marktpartijen een product is ontwikkeld dat voldoende interessant blijkt te zijn (TDTR betreft een korting op nettarieven, waarbij de beschikbare 9,1 GW inmiddels overtekend is). Voor de industrie kan een curatief N-1 concept ook een verlichting bieden op de almaar stijgende nettarieven. Maar niet alleen de financiële compensatie is van belang, ook de producteisen. Hierbij zullen de risico's evenwichtig tussen netbeheerder en grootverbruiker verdeeld moeten worden – denk bijv. aan een maximaal aantal toegestane onderbrekingen per jaar of contractperiode. Dit kan onderdeel zijn van doorbraak nr. 6 binnen het *Aansluitoffensief*[10]: Individuele top-50 flexafspraken.
- **Onderzoek naar verplichting:** Mocht de marktconsultatie (gecombineerd met de technische en regulatorische beschouwing) niet tot voldoende potentieel leiden, kan onderzocht worden of een verplichting van dit concept haalbaar is. Hierbij kan niet-kritische belasting verplicht worden om onder curatieve N-1 condities aangesloten of bedreven te worden. Onder niet-kritische belasting kan gedacht worden aan elektrolysers, batterijen (met firm aansluitovereenkomsten), hybride boilers en datacenters (met back-up faciliteiten). Nadruk ligt hierbij op nieuw aan te sluiten klanten, omdat het ontnemen van bestaande rechten op "firm" transportcapaciteit niet haalbaar lijkt. Het spreekt voor zich dat marktgebaseerde concepten de voorkeur verdienen.
- **Uitvoeren van pilot(s)** om technische randvoorwaarden en implementatievraagstukken te adresseren.
- **Technische optimalisaties:** netbeheerders geven aan dat de afschakeling plaats dient te vinden via netcomponenten, hetgeen eisen stelt aan de locatie van de grootverbruiker in het net. Een mogelijkheid tot afschakelen "achter de meter", bijvoorbeeld via de Real-Time Interface, vergroot de mogelijkheden om grootverbruikers te laten participeren.
- **Verlengde vluchtstrook:** Mogelijkheden onderzoeken om grootverbruikers op het distributienet aan te sluiten op de vluchtstrook van TenneT. Dit is vooral relevant op locaties waar niet voldoende curatief N-1 vermogen beschikbaar komt rechtstreeks op het transportnet (zie ook paragraaf 3.3.3).
- **Regulatorische aanpassingen:** Er zijn mogelijk aanpassingen in de regelgeving nodig (vrijstelling N-1 verplichting via Energiebesluit), zoals dit ook voor invoeding heeft plaatsgevonden. Er moet onderzocht worden of het gebruik van een CSC, evt. in combinatie met een ontheffing, als alternatief kan gelden. Hiervoor is geen aanpassing benodigd.

[10] Zie: Aansluitoffensief: Acht doorbraken voor beter benutten van het net

Accepteren lagere betrouwbaarheid

TABEL 3-5

Beoordeling van KPI's voor inzet storingsreserve i.c.m. accepteren lagere betrouwbaarheid

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit **4** *(15-25% ten opzichte van de aanwezige capaciteit*	• In beginsel is de inschatting van de additionele capaciteit, die vrijgemaakt kan worden significant, namelijk 20% (LNB) resp. 13% (RNB), omdat dit overal toepasbaar is (bij voldoende klantparticipatie, zie schaalbaarheid), waarbij onderhoud nog mogelijk is. • Het gebruik van de enkelvoudige storingsreserve wordt momenteel al toegepast op locaties met invoedings-congestie door opwek met hernieuwbare energie, wat volgens TenneT tot circa 30% additionele capaciteit zal leiden. • Het potentieel moet beschouwd worden in relatie tot de lagere betrouwbaarheid die acceptabel is. Dit is geen eenvoudige knop om aan te draaien, maar moet per congestiegebied o.b.v. een gedetailleerde risico-analyse bepaald worden. • Met name in gebieden met een steile belastingduurkromme kan het zeer beperkt loslaten van de enkelvoudige storingsreserve direct veel capaciteit opleveren om meer afnameklanten van de wachtlijst aan te kunnen sluiten. In gebieden met een vlak belastingprofiel zal de potentie lager zijn. • Op hogere netvlakken zal de impact van een storing zeer groot zijn, de potentie van deze oplossing is daarmee groter op lagere netvlakken. • Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van de risicobereidheid, d.w.z. welke lagere betrouwbaarheid van het net acceptabel is. Daarbij zal het potentieel sterk verschillen per congestiegebied.
Schaalbaarheid **4** *(Geschikt voor 50-80% van de situaties)*	• Zeer schaalbaar, niet afhankelijk van klantparticipatie. Kan wel stuiten op technische beperkingen, zoals kortsluitvermogen. • Indien de reservetransformator in 'hot-stand by modus' staat kan het mogelijk zijn dat er geen klanten aangesloten kunnen worden op de vluchtstrook. Dit is afhankelijk van de bedrijfsvoering en de fysieke mogelijkheden om het station hiervoor aan te passen.
Kosteneffectiviteit **4** *(40-100% k€/MW jaarlijks, netto baten)*	Lage kosten, bestaat voornamelijk uit kosten die gemaakt moeten worden om de impact van storingen te verkleinen en klantvergoedingen voor extra storingsminuten.
Compliant **2** *(Grote wijzigingen nodig, enigszins politiek)*	Aanpassing van Energiebesluit benodigd.
TRL **5** *(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)*	Hoog Technology Readiness Level, vergelijkbaar met huidige noodplannen, indien rekening wordt gehouden met aanvullende maatregelen die mogelijk nodig zijn op het gebied van veiligheid en controle.
Implementatietijd **3** *(12-24 maanden)*	Organisatorisch aanpassingen nodig die tijd vergen (opschalen storingsdienst.
Organisatorische impact **2** *(Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)*	• Storingen dienen zeer snel opgelost te worden, aangezien dit anders grote impact heeft op aangeslotenen. • Er is een intensievere afstemming tussen LNB en RNB benodigd.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Operationele complexiteit **2** *(Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/ geïmplementeerd worden)*	• Voegt extra complexiteit toe aan netbeheer, zowel t.a.v. planning als operations, protectie en control center. • De storingsreserve wordt ook ingezet voor netuitbreidingen en onderhoud. De uitvoering en planning daarvan kan complexer worden als de storingsreserve maar deels beschikbaar is.
Betrouwbaarheid **2** *(Substantiële impact, mitigatie is denkbaar maar kostbaar of complex)*	Betrouwbaarheid kan lager worden in congestiegebieden waar dit wordt toegepast, tijdens de congestieperiode. In tegenstelling tot Curatief N-1 kan dit in principe alle aangeslotenen treffen.
Veiligheid **4** *(Geen significante impact)*	Geen impact

Het realistisch potentieel van het accepteren van een lagere betrouwbaarheid is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van de mate van risicoacceptatie, en er grote verschillen bestaan tussen congestiegebieden. Dit potentieel moet nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het potentieel bedraagt 10% (gebaseerd op een capaciteit van 13% en schaalbaarheid van 50-80% voor de RNB), waarbij dit het meest interessant is op lagere netvlakken, aangezien de impact van een storing daar kleiner is. Omdat een brede toepassing hiervan een grote impact op de betrouwbaarheid zal hebben, is een zorgvuldige beleidsafweging tussen klantinpassing en lagere betrouwbaarheid benodigd.

Opheffen van belemmeringen

- Per congestiegebied dient een risico afweging tussen het aansluiten van extra klanten, het accepteren van een lagere betrouwbaarheid en het maken van kosten (waarmee bijvoorbeeld de kans op, of het effect van uitval gemitigeerd kan worden). Deze afweging is sterk afhankelijk van de lokale situatie, maar kan wel op een generiek methodiek gebaseerd worden.
- De storingsdienst dient uitgebreid te worden. Er dient een grotere voorraad aan reservecomponenten en noodvoorzieningen opgebouwd te worden.

Gezien het grote (technische) potentieel van deze oplossing, is het raadzaam meer prioriteit aan de uitwerking en implementatie van dit concept te geven. Dit valt uiteen in een drietal elementen.

1 - WEGNEMEN VAN REGULATORISCHE BARRIÈRES

De huidige verplichting t.a.v. de enkelvoudige storingsreserve, zoals opgenomen in de Energiewet (inclusief de uitzonderingen volgens het Energiebesluit), is momenteel de belangrijkste barrière. Per 2020 is voor invoeding een wijziging doorgevoerd in de toenmalige AMvB, waarbij in de planningsfase (mits technisch mogelijk) invoeding door duurzame opwek aangesloten dient te worden op de vluchtstrook. De enkelvoudige storingsreserve is daarmee voor invoeding niet meer verplicht, maar in principe zelfs niet meer toegestaan. Implementatie hiervan is echter lastig, de benodigde protection schemes en/of beveiliging vanuit EMS/SCADA kunnen een oplossing vormen maar moeten worden getest en de bijbehorende IT/OT en telecom moet worden aangepast.

Voor afnamecongestie lijkt dit geen verstandige keuze. Het is immers a priori niet duidelijk hoeveel regelbaar vermogen als “curatief N-1” gecontracteerd kan worden. Daar waar onvoldoende curatief N-1 vermogen beschikbaar is, kan een storing tot het verplicht afschakelen van aangeslotenen leiden, hetgeen tot een onacceptabele verslechtering van de betrouwbaarheid van het net kan leiden, daar er a priori ook geen zicht is op de eventuele herstelduur van de storing.

Als eerste stap is het daarom raadzaam om de verplichting t.a.v. enkelvoudige storingsreserve weg te nemen, dan wel af te zwakken, maar de netbeheerders niet te verbieden deze te blijven hanteren.
Een afzwakking van deze verplichting kan de vorm hebben van een tijdsduurgebonden verplichting, waarbij de netbeheerder bijv. minimaal 99% van de tijd de enkelvoudige storingsreserve moet hanteren in de planningsfase. Het ophogen van de 200MW grens kan ook overwogen worden, maar een tijdsduurgebonden verplichting biedt de netbeheerder meer mogelijkheden om per gebied de juiste risicoafweging te maken.

Binnen de nieuwe Energiewet zijn haakjes ingericht om via een AMvB – het Energiebesluit – vrijstellingen en ontheffingen te verlenen voor de N-1 taak.
Beide hebben voor- en nadelen die gezamenlijk verder uitgezocht moeten worden.

- Vrijstellingen zijn geldig voor het hele net en zijn dus generiek van aard. Deze kunnen de vorm hebben zoals hierboven omschreven (gebaseerd op tijd, vermogen o.i.d.), ook kunnen de ondergrenzen (uitgedrukt in transportcapaciteit) voor de verplichting opgetrokken worden.
- Ontheffingen zijn daarentegen maatwerk. In het verleden zijn deze al uitgegeven voor specifieke onderdelen. Deze route kan opengesteld worden, waarbij de netbeheerders, goed onderbouwd ontheffingen aan kunnen vragen voor bepaalde situaties.

Zoals aangeven lijkt voor de curatieve N-1 oplossing een aanpassing van het Energiebesluit niet een vereiste, deze kan ook als een CSC worden opgezet.
De voorgestelde Energiebesluit wijziging biedt de mogelijkheid eerst extra klanten aan te sluiten, en pas later curatieve N-1 contracten af te sluiten.

2 - HERIJKEN AFWEGING TUSSEN BETROUWBAARHEID EN KLANTINSPANNING

Het voor beperkte duur loslaten van de N-1 verplichting in de planningsfase voor hoogspanning zal in veel congestiegebieden de netbeheerder direct de mogelijkheid bieden om meer klanten aan te sluiten (waarbij TenneT ook de RNB in staat kan stellen meer klanten aan te sluiten door het verhogen van de transferlimieten op de koppelpunten).

Gezien de 15% (gemiddelde) onzekerheid in de belastingprognoses, zullen er gebieden zijn waar het aansluiten van klanten (binnen zekere grenzen) niet leidt tot het daadwerkelijk inzetten van de vluchtstrook. In andere gebieden waar dit wel leidt tot het inzetten van de vluchtstrook, kan o.b.v. een risicoanalyse besloten worden om dit risico te mitigeren, teneinde de betrouwbaarheid intact te laten, bijv. middels

- Afsluiten van curatieve N-1 contracten
- Contracteren van regelvermogen (CBCs, CapaciteitSturende Contracten (CSCs))
- Initiëren van flex tenders, zoals recent in de FGU-regio geïnitieerd is door TenneT en Stedin.

Alleen in gebieden waar deze risicoafweging laat zien dat de kans op een storing laag is, de impact van een storing laag is en/of de kosten voor mitigerende maatregelen hoog zijn, kan besloten worden om, in geval van storing tijdens het gebruik van de vluchtstrook, klanten verplicht af te sluiten. Hierbij kan bijv. een RNB ervoor kiezen een storingskans te accepteren op een niveau dat gelijk is aan de kans op een storing tijdens onderhoud (wanneer er immers ook niet altijd een storingsreserve beschikbaar is).

Het is hierbij van belang (ook voor curatief N-1) dat een storing (zeer) snel verholpen kan worden, omdat anders bepaalde klanten meerdere dagen of weken getroffen kunnen worden. Dit vergt organisatorische aanpassingen bij de netbeheerders, waarbij de inzet van schaars personeel noodzakelijk is.

De cruciale vraag is of netbeheerders gebruik gaan maken van de mogelijkheid om klanten op de vluchtstrook aan te sluiten, m.n. als dit ten koste kan gaan van de betrouwbaarheid. Ondanks de grote maatschappelijke druk op het verminderen van congestie, zijn er ook redenen om niet deze kant op te bewegen.

- Zoals hierboven geschetst heeft deze oplossing een grote impact op de organisatie van de netbeheerders, welke al zwaar onder druk staat.
- Tot op heden heeft de ACM zeer sterk op kostenefficiëntie (via X-factor) en betrouwbaarheid (via Q-factor) gestuurd. Dit heeft enerzijds geleid tot een zeer betrouwbaar net, anderzijds tot een cultuur die een herijking van de balans tussen klantinpassing en betrouwbaarheid zeer lastig maakt. Bij de netbeheerders leeft de indruk dat een lagere betrouwbaarheid noch voor de toezichthouder, noch voor de aangeslotenen, acceptabel is.

Deze keuze is voor TenneT nog lastiger: waarom zou TenneT een lagere betrouwbaarheid van het hoogspanningsnet accepteren om de RNB's in staat te stellen meer klanten in te passen op het distributienet? Volgens het concept methodebesluit komt de maatstafregulering, waaronder de kwaliteitsfactor (Q-factor), te vervallen. Hiermee wordt een mogelijke barrière voor deze oplossing weggenomen. Tegelijk zal de financiële prikkel voor versnelde klantinpassing (resulterend in een hogere benuttingsgraad van het net en daarmee hogere inkomsten voor de netbeheerder) komen te vervallen.

Kortom, er is meer nodig dan alleen het toestaan ervan, om de inzet van de vluchtstrook een vlucht te laten nemen. Omdat ieder congestiegebied anders is, met andere risico's en mogelijkheden, dient de uiteindelijke afweging of en welk gedeelte van de vluchtstrook ingezet kan worden, bij de netbeheerder te (blijven) liggen. Netbeheerders hebben echter wel duiding nodig vanuit de politiek en toezichthouder. Dit is tweeledig:

- Er dient een kader ontwikkeld te worden, hoe klantinpassing tegen betrouwbaarheid gewogen dient te worden. Een eerste indicatie hierbij kan zijn welke hoeveelheid additionele storingsminuten geaccepteerd worden per MW additioneel transportvermogen.
- De organisatorische impact dient hierbij beschouwd te worden. Vol inzetten op deze oplossing kan gevolgen hebben, inzet van schaarse experts op dit onderwerp kan hun betrokkenheid bij andere activiteiten verlagen, bijvoorbeeld bij de uitbouw van het net.

Gezien de complexiteit van zowel dit vraagstuk als de oplossing, volstaat niet een "eenvoudige" regulatorische aanpassing. Een verplichting (om klanten in te passen) of een verbod (om de storingsreserve te handhaven) biedt onvoldoende ruimte om met locatie-specifieke omstandigheden rekening te houden. Een financiële prikkel is niet toereikend omdat aanpassing van het concept methodebesluit (voor de reguleringsperiode 2027-2031) niet haalbaar lijkt, en er pas vanaf 2032 enig mogelijk effect gesorteerd kan worden. Aanpassing van de netcode is wellicht nodig voor specifieke elementen (bijv. financiële grens verhogen als de curatieve N-1 via een CBC ingericht gaat worden, hetgeen overigens niet zeker is), maar is ontoereikend om het hele vraagstuk af te dekken. Er is daarom een open dialoog benodigd tussen EZK, de ACM en de netbeheerders om de maatschappelijk optimale balans te vinden, zowel tussen klantinpassing en betrouwbaarheid, als tussen de verschillende taken en activiteiten van de netbeheerders. Het onlangs gepubliceerde *Aansluitoffensief* biedt hiervoor het juiste platform: de eerste doorbraak ("Risicobereidheid") is specifiek gericht op het wegnemen van deze belemmering, dit rapport kan

3 -VOORBEREIDING OP IMPLEMENTATIE BIJ NETBEHEERDERS

De technische implementatie van deze oplossing ligt naar verwachting op het kritieke pad. Het zou daarom verstandig zijn om dit verder voor te bereiden, parallel aan bovenstaande "open dialoog". Dit betreft onder meer:

- Opzetten van risico-methodiek: O.b.v. een risico analyse dient bepaald te worden of, en zo ja, welk gedeelte van de vluchtstrook ingezet kan worden om versneld klanten aan te sluiten, en welke mitigerende maatregelen hierbij getroffen dienen te worden. Dit betreft een afweging tussen kosten, baten (versneld aansluiten klanten), betrouwbaarheid en organisatorische impact.
- Onderzoeken effect van inzet vluchtstrook op belastingprognoses in rondom gelegen netten. Hierin is samenwerking tussen LNB en RNB's essentieel.
- Aanpassing onderhoudsstrategie en plannings-werkzaamheden t.b.v. netverzwaring en klantinpassing
- Aanpassen/opschalen storingsdienst
- Aanpassen noodplannen: Afschakelschema's kunnen bijv. deels gebaseerd worden op maatschappelijke prioriteit.
- Inrichten curatief N-1 product in processen en systemen.

Realistisch potentieel

Zoals aan het begin van deze paragraaf aangegeven, bedraagt een realistische bovengrens van het potentieel van beide varianten 20% (LNB) resp. 13% (RNB). Voor de twee varianten afzonderlijk geldt op basis van onze analyse:

- Het realistisch potentieel voor curatief N-1 bedraagt 5-15%
- Het realistisch potenieel voor het accepteren van een lagere betrouwbaarheid bedraagt 10%.

De varianten zijn niet complementair, de potenties kunnen niet bij elkaar opgeteld worden. Per gebied zal een keuze gemaakt moeten worden of de risico's ten aanzien van de inzet van de storingsreserve, gemitigeerd kunnen/moeten worden middels curatieve N-1 contracten, of dat de risico's geaccepteerd worden. Omdat beide varianten ca. 10% potentie hebben, kunnen we stellen dat het totale potentieel van de inzet storingsreserve daarmee ook 10% bedraagt. Hierbij geldt dat dit een initiële inschatting van het realistisch potentieel betreft. Voor een exacte bepaling zijn uitgebreide risicoinschattingen, klantgesprekken en netberekeningen nodig.

3.3.3 LNB-RNB COÖRDINATIE

3.3.3.1 Beschrijving

Het Nederlandse elektriciteitsnet is als één systeem verbonden, maar wordt beheerd door verschillende systeembeheerders. Het koppelnet en transportnet wordt beheerd door één landelijke netbeheerder (LNB) en het distributienet wordt beheerd door meerdere regionale netbeheerders (RNB) zoals beschreven in sectie 2.1. Onderstations vormen het koppelpunt tussen het transportnet beheerd door de LNB en het distributienet beheerd door de RNB's. Echter, een aanzienlijk deel van de klantaanvragen op het distributienet staat momenteel in de wachtrij met een transportbeperking, vanwege transportschaarste op een koppelpunt (of hogere netdelen). Een verder versterkte coördinatie tussen LNB en RNB's kan het mogelijk maken om (een groter deel van) de klanten met dit type transportbeperking aan te sluiten op het distributienet. Dit valt uiteen in drie aspecten:

1 - Verlengde vluchtstrook o.b.v. curatief N-1

Mocht er onvoldoende bereidheid/capaciteit zijn om de wachtrijen op het distributienet weg te werken, dan kunnen ook bepaalde industriële klanten, gekoppeld aan het distributienet, op de enkelvoudige storingsreserve van TenneT aangesloten worden. Hierbij kan deze klant tegelijk op de enkelvoudige storingsreserve van de RNB aangesloten worden, maar dit is niet noodzakelijk (dit is niet nodig als er alleen sprake is van bovenliggende congestie).
Dit concept wordt ook wel "verlengde vluchtstrook" genoemd. Vooralsnog is het noodzakelijk dat de klant een rechtstreekse verbinding heeft op het HS/MS onderstation, om te voorkomen dat ook andere klanten afgeschakeld worden, in geval van een storing (of onderhoud). Complicatie is dat een dergelijke klant, in tegenstelling tot klanten op het transportnet, mogelijk ook bij onderhoud afgesloten dienen te worden, hetgeen de klantpropositie minder aantrekkelijk maakt, zeker voor bestaande klanten.

2 - Gezamenlijke congestieonderzoeken

In het klassieke energiesysteem, gekenmerkt door aanstuurbare, centrale productie-eenheden en voorspelbare, prijsinelastische vraag, was de noodzaak voor samenwerking en informatieuitwisseling beperkt. Het huidige energiesysteem vereist een veel intensievere samenwerking, in zowel lange termijn planningsactiviteiten, klantinpassing, korte termijn planningsactiviteiten en *system operations*. Dit geldt des te meer indien het net dichter tegen zijn fysieke grenzen benut wordt, zoals middels cyclisch of dynamisch belasten en inzet enkelvoudige storingsreserve.

De RNB's moeten bij de klantinpassing rekening houden met de inpasbaarheid op het transportnet waarbij gekeken wordt naar de transferlimieten op de onderstations, de koppelpunten tussen het LNB- en RNB-net. Dit proces bestaat momenteel uit de volgende stappen:

1. Bij klantinpassing/congestie onderzoek stellen de RNB's de (aangepaste) prognoses voor het distributienet op,
2. Op basis van deze prognoses voert TenneT berekeningen voor het transportnet uit. Indien er transportbeperkingen op het LNB net worden vastgesteld, worden er (statische) transferlimieten voor de koppelpunten aan de RNB opgelegd.
3. De RNB's dienen vervolgens rekening te houden met deze transferlimieten bij klantinpassing.
   De transferlimieten zijn geen fysieke limieten, d.w.z. deze liggen meestal onder de nominale capaciteit van het onderstation.

Deze stappen worden tot nu toe in isolatie uitgevoerd, de LNB heeft weinig zicht hoe de RNB tot de prognose is gekomen, de RNB heeft geen inzicht in de netberekeningen die door de LNB worden uitgevoerd, noch op de karakteristieken van de congestieproblematiek op het (plaatselijke) transportnet.

Een nauwere samenwerking biedt op zijn minst twee mogelijkheden:

- Verkleinen van veiligheidsmarges die realistisch zijn op RNB-niveau, maar op geaggregeerd niveau bijgesteld kunnen worden. Een concreet voorbeeld is dat RNBs (voor 2026) ruimte reserveerden voor het aansluiten van nieuwe woonwijken. De realisatie hiervan kent vaak vertraging, maar voor een enkele woonwijk (op distributieniveau) kan de RNB niet zomaar veronderstellen dat deze vertraging optreedt. Op LNB-niveau, waar sprake is van meerdere woonwijken, kan wel statistiek bedreven worden en rekening gehouden worden met een gemiddelde vertraging, hiertoe is wel inzicht in de RNB prognoses benodigd.
- Indien de RNB beter zicht heeft op de karakteristieken van de congestie op LNB-niveau, kunnen proposities aan klanten aangeboden worden die passen binnen de congestieproblematiek, en aantrekkelijk zijn voor de klant. Zo kan in plaats van een standaard blokstroom product tussen 0:00h en 06:00h 's nachts, een product voor ruimere tijdsvensters aangeboden worden.

3 - Dynamische uitwissellimieten

Verbeterde operationele samenwerking, zoals het overstappen van statische naar week- of dagplanning, zou kunnen helpen om het net efficiënter te gebruiken en klanten sneller aan te sluiten. Het huidige systeem is echter grotendeels statisch, en het dynamischer maken ervan zou een aanzienlijke verbetering zijn.

3.3.3.2 Huidige toepassing

Verlengde vluchtstrook o.b.v. curatief N-1
Een dergelijk gebruik van reservevermogen, vereist duidelijke communicatie en operationele afstemming tussen hoogspannings- en middenspanningsnetten. Een voorbeeld hiervan is een pilotproject met een RNB, waarbij TenneT rekenmethodes ontwikkelt voor curatieve N-1-scenario's. Deze methodes zijn afhankelijk van het vermogen van klanten om hun belasting snel te regelen of af te schakelen bij storingen, wat op zijn beurt afhangt van directe aansturingsrelaties tussen RNB's en TenneT.

Door samen te werken aan slim gebruik van het reservevermogen en noodmaatregelen willen TenneT en de RNB's een responsiever en flexibeler net creëren dat beter kan inspelen op de groeiende eisen van de energietransitie. Dit betreft echter een pilotproject, waarbij er geen duidelijke plannen zijn ten aanzien van verdere opschaling.

Gezamenlijke congestieonderzoeken
Voor specifieke regio's zoals Flevoland-Gelderland-Utrecht (FGU), wordt nauw samengewerkt om de congestieproblematiek aan te pakken. De samenwerking is hierbij vooral gericht op het in stand houden van de betrouwbaarheid van het net, in mindere mate op het versneld aansluiten van klanten. Het uitgevoerde onderzoek in 2025 voor FGU toonde aan dat een nauwere samenwerking vruchten afwerpt, ook voor het versneld aansluiten van klanten. Zo kwam uit dit onderzoek naar voren dat vanaf 2030 in het FGU-gebied weer enige ruimte op het hoogspanningsnet om bedrijven en instellingen van de wachtlijst aan te sluiten. Deze positieve effecten waren het resultaat van de samenwerking tussen het ministerie van Klimaat en Groene Groei, TenneT, Stedin en Liander.[11] Nader onderzoek in 2026 voor FGU[12] bracht weliswaar naar voren dat het elektriciteitsnet in FGU inmiddels zijn grenzen heeft bereikt, dit doet echter weinig af aan de noodzaak voor een intensievere samenwerking.

Dynamische uitwisselingslimieten
Momenteel wordt in een gezamenlijk werkgroep van LNB en RNB's de mogelijkheden van dynamische uitwissellimieten onderzocht om capaciteit seizoensgebonden aan te passen. Er ligt een nadruk op het verbeteren en uitwisseling van data, de toepassing van machine learning en scenarioanalyses om de planning nauwkeuriger en responsiever te maken.

3.3.3.3 DNV analyse

Verlengde vluchtstrook o.b.v. curatief N-1
De analyse van deze oplossing is grotendeel gelijk aan de analyse van de oplossing "inzet enkelvoudige storingsreserve o.b.v. curatieve N-1", zie sectie 3.3.2. In onderstaande tabel worden alleen de elementen benoemd die specifiek gelden voor de variant "verlengde vluchtstrook".

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Schaalbaarheid **2** *(Geschikt voor 5-20% van de situaties)*	• In absolute zin is er meer potentieel bij grote klanten, die direct zijn aangesloten op het transportnet. Deze klanten hoeven niet, zoals op RNB-niveau, afgeschakeld te worden bij gepland onderhoud. • Bij onvoldoende potentieel op LNB-niveau kunnen grotere klanten op het distributienet een interessant potentieel vrijspelen. Dit is, in tegen stelling tot het aansluiten enkel op de RNB-storingsreserve, juist schaalbaar in situaties met bovenliggende congestie. Momenteel is de "verlengde vluchtstrook" niet haalbaar voor de meeste klanten, omdat veel klanten niet op afstand kunnen worden afgeschakeld. Daarmee is dit momenteel beperkt tot aansluitingen die beschikken over aparte middenspanningskabels naar het betreffende onderstation met eigen schakelaar in het onderstation (eigen veld).
Implementatietijd **2** *(24-36 maanden)*	De implementatietijd kan afhankelijk zijn van de complexiteit om verschillende systemen van de LNB en RNB's te integreren.
Organisatorische impact **2** *(Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)*	• Afhankelijk van de specifieke implementatie kan dit impact hebben op de operationele werkzaamheden van zowel de LNB als de RNB's. • Organisaties kunnen verschillende prioriteiten hebben, gebruik makend van verschillende datasystemen en methoden, wat de samenwerking compliceert.

TABEL 3-6

Beoordeling van KPI's voor LNB-RNB coördinatie t.a.v. verlengde vluchtstrook

[11] Enige ruimte op stroomnet in Flevopolder en Gelderland vanaf 2030 | Liander
[12] Krachtige interventies in Flevopolder, Gelderland en Utrecht nodig om aansluitstop voor kleinverbruik te voorkomen

Opheffen van belemmeringen

De noodzaak om klanten af te schakelen middels schakelaars in het onderstation kan vermeden worden door klanten zichzelf af te laten schakelen na een verzoek hiertoe, bijv. via de real-time interface.

Gezamenlijke congestieonderzoeken

TABEL 3-7

Beoordeling van KPI's voor LNB-RNB coördinatie t.a.v. gezamenlijke congestieonderzoeken

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit **-**	• Het belangrijkste voordeel van betere LNB-RNB-coördinatie is dat het helpt om het bestaande net optimaal te benutten, klantaansluitingen te versnellen en congestie te verminderen. • Het is niet geheel duidelijk tot welk potentieel een betere coördinatie leidt om deze reden is geen waarde toegekend aan deze KPI. Volgens de RNB's worden de meeste verbeteringen verwacht uit betere planning en samenwerking, eerder dan uit nieuwe technische producten.
Schaalbaarheid **5** *(Geschikt voor bijna alle situaties)*	Nauwere samenwerking kan op alle locaties ruimte creëren, waarbij via flexibele contracten op maat gemaakte oplossingen aan klanten geboden kunnen worden.
Kosteneffectiviteit **4** *(40-100% k€/MW jaarlijks, netto baten)*	Hiervoor is inspanning benodigd, geen investeringen. De kosteneffectiviteit is daarmee hoog.
Compliant **5** *(Geen wijzigingen nodig)*	Volledig in lijn met regulering. LNB en RNB's worden geacht samen te werken.
TRL **5** *(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)*	Geen specifieke technologie benodigd.
Implementatietijd **3** *(12-24 maanden)*	Eerste onderzoeken zijn al uitgevoerd, de benodigde tijd voor opschalen is vooral afhankelijk van de beschikbaarheid van de juiste experts.
Organisatorische impact **2** *(Vereist aanzien-lijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)*	Organisaties kunnen verschillende prioriteiten hebben, wat de samenwerking compliceert.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Operationele complexiteit **3** *(Toename in complexiteit is beperkt en beheersbaar)*	Organisaties maken gebruik van verschillende datasystemen en methoden, wat de samenwerking compliceert.
Betrouwbaarheid **4** *(Geen significante impact)*	Geen impact
Veiligheid **4** *(Geen significante impact)*	Geen impact

Opheffen van belemmeringen

De belangrijkste belemmeringen zijn organisatorisch, de beschikbaarheid van de juiste experts en afwijkende belangen en prioriteiten. Het opschalen van de samenwerking kan ten koste gaan van andere activiteiten binnen de netbeheerder, zoals het voorbereiden van netverzwaringen.

Samenwerking tussen de RNB's

LNB-RNB coördinatie is gebaat bij een uniformering van de processen binnen de RNB's, zodat bijv. de informatie-uitwisseling tussen TenneT en de RNB's op een uniforme wijze geschiedt. Daarom besteden we hier ook aandacht aan de samenwerking tussen de RNB's.

Binnen de maatstafregulering is een stimulering tot onderlinge concurrentie opgenomen. Dit zou als een belemmering tot nauwere samenwerking ervaren kunnen worden. Er zijn veel redenen de samenwerking te intensiveren, naast bovenstaand argument. Voor de technische oplossingen is nog veel onderzoek vereist, ook zullen meer en meer ervaringen opgedaan worden bij het toepassen hiervan, die met elkaar gedeeld kunnen worden.

De RNB's zijn deze samenwerking al vorm aan het geven, zo heeft één van de RNB's het ontwikkelde model voor zwaarder belasten gedeeld met de andere netbeheerders. Aangezien het concept methodebesluit van de ACM niet gebaseerd is op maatstafregulering, verwachten we dat de samenwerking tussen RNB's verder zal toenemen, en zien we geen reden hier aanvullende aanbevelingen voor op te nemen.



3.4 Algemene bevindingen

Conform artikel 9.6b van de netcode hebben netbeheerders een verplichting om bij dreigende transportschaarste, de mogelijkheid te onderzoeken om door middel van technische maatregelen anders dan netverzwaring de aanwezige transportcapaciteit te vergroten. Dit gebeurt voordat het congestieonderzoek plaats vindt, dit betekent dat de impact van de technische oplossingen, voor zover beschikbaar, al verwerkt is in de aanwezige transportcapaciteit, zoals vermeld in de congestieonderzoeken.

Incidenteel worden in huidige congestieonderzoeken de (on)mogelijkheden van bepaalde technische oplossingen al vermeld. Zo beschrijft TenneT in een aantal onderzoeken de mogelijkheid om dwarstransformatoren in te zetten om meer transportcapaciteit te creëren.

De oplossingen zwaarder belasten en vluchtstrook worden tot nu toe niet of nauwelijks vermeld, voornamelijk omdat deze tot op heden nog nauwelijks toegepast worden.

Dit rapport geeft meer duidelijkheid over de inspanningen die de netbeheerders reeds hebben ondernomen t.a.v. het onderzoeken, voorbereiden en inzetten van deze technische oplossingen, alsmede de toekomstige mogelijkheden hiervan. Tot nu toe was hier weinig zicht op vanuit de politiek, toezichthouder en maatschappij. Aangezien dit rapport een momentopname is, is het raadzaam om op structurele wijze meer inzicht te bieden in de mogelijkheden en beperkingen van deze technische oplossingen.

Het doel hiervan is tweeledig:

1. Transparantie bieden welke oplossingen al zijn toegepast en de successen die hiermee behaald zijn.
2. Beperkingen en belemmeringen benoemen die de netbeheerders beletten om het beschikbare potentieel van deze oplossingen op specifieke locaties toe te passen. Dit stelt EZK en de ACM in staat aanvullend beleid te ontwikkelen om deze belemmeringen weg te nemen (waar wenselijk), denk hierbij aan de volgende belemmeringen.

    a. Lange doorlooptijd vanwege benodigde meerjarige vergunningstrajecten.
    b. Te hoge kosten (t.o.v. bereikbare potentieel) bij vervangen van componenten.
    c. Te hoge impact op eigen organisatie (bijv. overbelasten van storingsdienst).

Deze informatie kan zowel in de vooraankondiging als in het congestieonderzoeksrapport opgenomen worden. Om de administratieve last te beperken, stellen we voor dit niet als een verplichting op te nemen in de netcode (artikel 9.8). We veronderstellen dat de netbeheerders zelf ook gebaat zijn bij deze transparantie en de relevante informatie op zullen nemen in de vooraankondiging en/of het congestierapport.

Hierbij geven de netbeheerders aan dat het opnemen van deze informatie veel werk kost, en het lastig is om alle afwegingen die ten grondslag liggen om netcomponenten al dan niet zwaarder te belasten, in schrift te noteren zonder de nuances te verliezen.

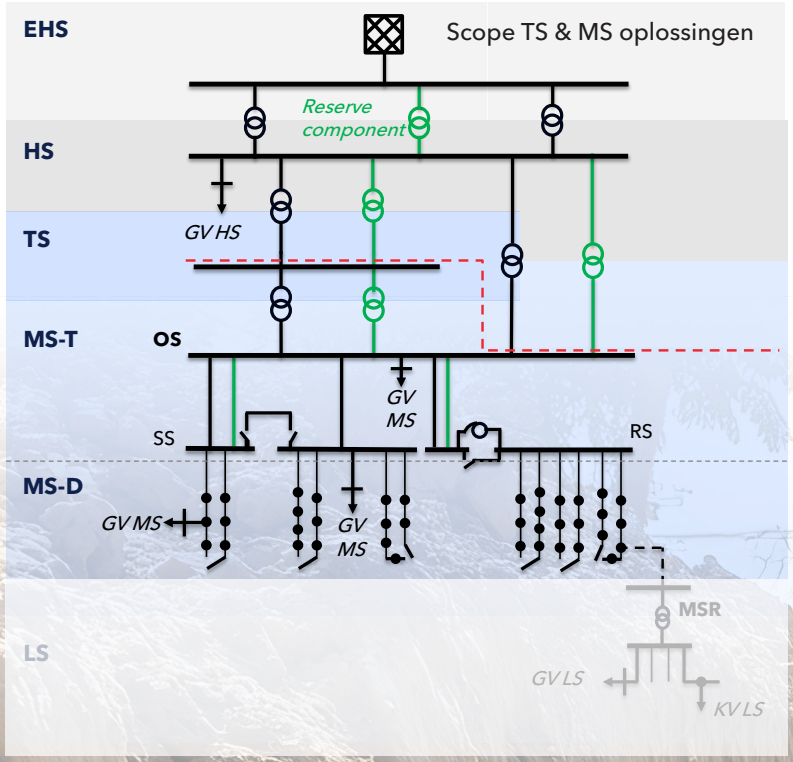


4 ANALYSE TUSSEN- EN MIDDENSPANNINGSNET

4.1 Huidige benutting van het net 67

4.2 Analyse van technische oplossingen 70

4. ANALYSE TUSSEN- EN MIDDEN-SPANNINGSNET



FIGUUR 4-1

Scope TS & MS oplossingen

In dit hoofdstuk worden de technische oplossingen voor het tussen- en middenspanningsnet geanalyseerd. In Figuur 4-1 is weergegeven welke afbakening in dit rapport gehanteerd wordt voor het TS- en MS-net.

De technische oplossingen die in dit hoofdstuk worden beschouwd (zie paragraaf 4.2) hebben betrekking op de wijze waarop het TS- en MS-net bedreven wordt, ofwel de (korte termijn/real-time) bedrijfsvoering. Bedrijfsvoering zit aan de knoppen en zorgt voor een goede leveringszekerheid en betrouwbaarheid.

4.1 Huidige benutting van het net

Zoals in het hoogspanningsnet, is de (verwachte) jaarlijkse piekbelasting in een bepaald gebied of op een station bepalend bij de klantinpassing, zoals beschreven in paragraaf 3.1.1.

Om het potentieel van elke technische oplossing voor klantinpassing in het tussenspanningsnet (TS-net) en middenspanningsnet (MS-net) in perspectief te plaatsen, is het relevant om te begrijpen wat de huidige benutting van het elektriciteitsnet is op basis van de elementen zoals gedefinieerd in sectie 3.2 (zie voor definities aldaar).

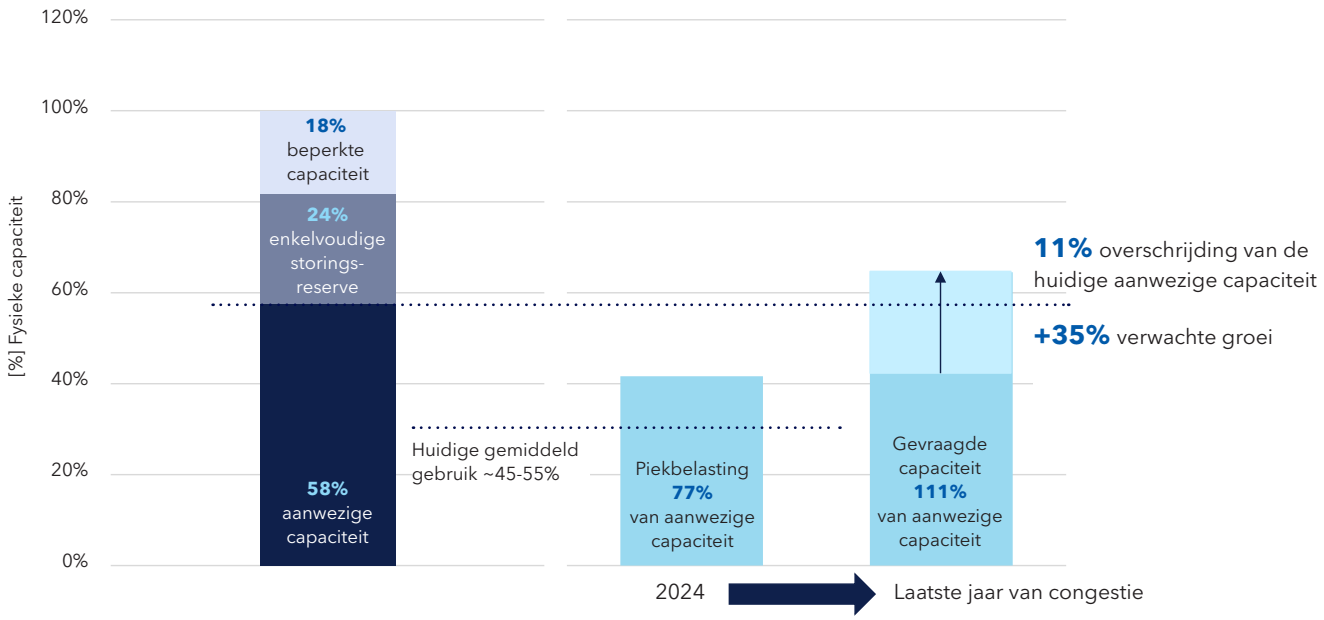
Voor het bepalen van de huidige benutting van het MS-net, heeft DNV gegevens verzameld over het capaciteitsgebruik van ongeveer 30 netcomponenten die door congestie in het TS-net en MS-net getroffen worden. Dit betreft een steekproef die geselecteerd en aangeleverd is door de netbeheerders. DNV heeft hierbij niet vast kunnen stellen in welke mate de steekproef representatief is.

Zoals toegelicht in sectie 4.3.1 kunnen niet alle componenten zwaarder belasten worden, omdat dit kan leiden tot onomkeerbare schade en onveilige situaties doordat componenten niet meer betrouwbaar en nauwkeurig reageren. Om de fysieke transportcapaciteit in het TS-net en MS-net te bepalen moet daarom de capaciteit van alle individuele componenten op de onderstations en verbindingen in beschouwing worden genomen (de keten) net zoals in het HS-net.

Zwaarder belasten kan alleen toegepast worden in situaties waarin de limiterende component zwaarder belast kan worden. In andere gevallen kan de capaciteit van de keten alleen vergroot worden door de betreffende kritieke component te vervangen voor één met een grotere capaciteit. In het TS-net en MS-net zijn transformatoren en kabels de componenten die voornamelijk zwaarder belast kunnen worden zonder onomkeerbare schade op te lopen. De rest van de analyse met betrekking tot zwaarder belasten richt zich daarom op dit type componenten.

In Figuur 4-2 wordt de huidige benutting van transformatoren in het TS-net en MS-net weergegeven (TS/MS- en MS/MS-transformatoren (beide voor transformatie van een hogere naar een lagere MS-spanning, en alleen voor spanningsregeling (regeltransformatoren) op dezelfde spanning). Dit overzicht is beperkt tot de transformatoren en MS-kabels met transportschaarste. Dit betekent dat voor het gehele TS-net en MS-net de gemiddelde relatieve piekbelasting en benutting lager liggen dan in de figuren is weergegeven. De kolommen in de figuren laten het volgende zien:

- De linker kolom geeft de fysieke transportcapaciteit van de opgestelde transformatoren weer. De klantinpassing wordt gebaseerd op de aanwezige transportcapaciteit, omdat de storingsreserve gereserveerd moet blijven. De “beperkte capaciteit” is ook niet beschikbaar voor klantinpassing. Volgens de informatie verzameld van de netbeheerders, wordt deze capaciteit door verschillende beperkingen onbeschikbaar gemaakt, zoals zwakkere componenten



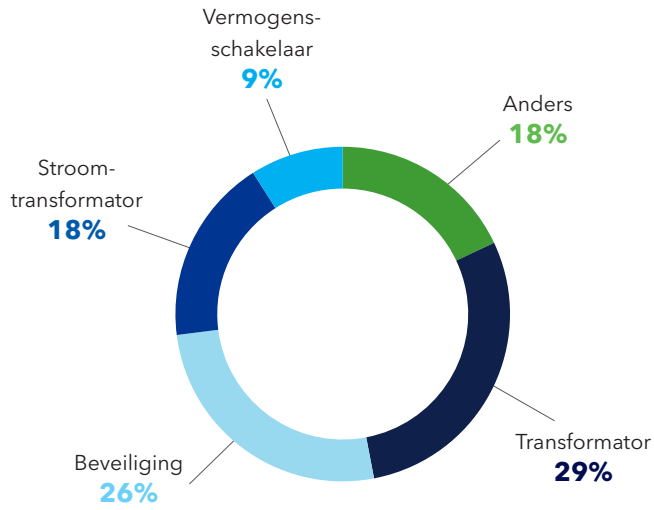
FIGUUR 4-2

Benutting van de capaciteit van transformatoren met transportschaarste in het TS-net en MS-net

in dezelfde keten of vergunningslimieten. Deze kolom is minder tijdsafhankelijk, de waardes blijven gelijk tijdens de congestieperiode, pas na de netverzwaring aan het eind van de congestieperiode leidt tot een verhoging hiervan.

- De middelste en de rechter kolom geven de gevraagde transportcapaciteit van de aangeslotenen (inclusief LS-netten) weer. Deze laten de verwachte vraaggroei zien, tot het laatste jaar van congestie. Voor 2024 was de benutting van transportcapaciteit gelijk aan de hoogste waarden gemeten op de transformatoren of kabels. Voor het laatste jaar van congestie wordt de prognosemethodiek gehanteerd zoals beschreven in paragraaf 3.1.2 en 5.1.3. Dit overzicht is beperkt tot de vraag van aangeslotenen, de transportbehoefte van de klanten in de wachtrij is hier niet in opgenomen.
- De RNB's reserveren gemiddeld 24% (variërend tussen 22% en 41%) van de fysieke capaciteit van alle transformatoren in het TS-net en MS-net als storingsreserve, terwijl 58% (variërend tussen 57% en 61%) gebruikt kan worden om klanten aan te sluiten (dan wel voor uitbreidingen van bestaande klanten). De resterende 18% bevat de capaciteit die niet gebruikt kan worden vanwege de beperking door een andere netcomponent.

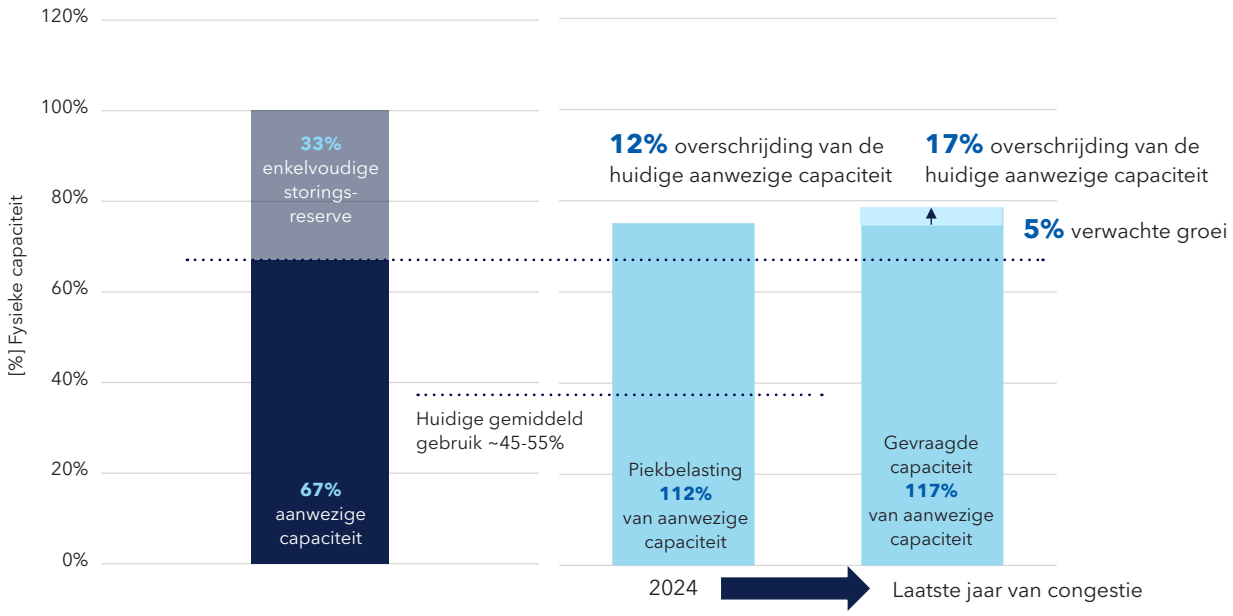




FIGUUR 4-3

Limiterende componenten voor stations in TS- en MS-netten

Figuur 4-3 toont de verdeling van componenten die momenteel een beperkend effect hebben op de capaciteit van stations in het TS- en MS-net. In de meeste situaties blijkt de combinatie beveiliging-vermogensschakelaar (samen 35%) het limiterende deel van de keten te zijn (opmerking: omdat de RNB die de beveiliging als beperkend heeft opgegeven, maar niet heeft gespecificeerd welke deel van de beveiliging dit betreft, wordt aangenomen dat het deze combinatie betreft) De beveiliging kan niet altijd worden aangepast zonder de veiligheid van de installatie in gevaar te brengen, in het geval van vermogensschakelaars zou het betekenen dat de gehele component vervangen moet worden met een zwaarder exemplaar, maar deze hebben niet altijd dezelfde bouwvorm voor een 1 op 1 vervanging waardoor de aanpassingen buitensporig worden.
De volgende beperkende component is de transformator (29%). Het vervangen van de transformator zelf is een langdurig en duur proces en de RNB's besluiten meestal om dit tijdens een netverzwaring te doen. In 14% van de gevallen zijn de beperkende componenten "anders" zoals kabels en rails.



FIGUUR 4-4

Benutting van de capaciteit van kabels met transportschaarste in het TS-net en MS-net

In Figuur 4-4 wordt de huidige benutting van kabels in het TS-net en MS-net weergegeven. Dit overzicht is beperkt tot de kabels met transportschaarste. Dit betekent dat voor het gehele TS-net en MS-net de gemiddelde relatieve piekbelasting en benutting lager ligt dan in de figuren weergegeven is.

- Figuur 4-4 is gebaseerd op data aangeleverd door één RNB en daardoor mogelijk niet representatief voor alle RNBs. De enkelvoudige storingsreserve is ongeveer 33% van de fysieke transportcapaciteit, waardoor de resterende 67% beschikbaar is voor klantinpassing en -aanpassing. Kabels en transformatoren hebben een vergelijkbare relatieve omvang van de reservecapaciteit. Het beperkte verschil komt door het onderscheid in hoe de kabels en de transformatoren gedimensioneerd worden, hun nominale waarden, en de netconfiguratie.
- De huidige gemiddelde piekbelasting bedraagt 44% voor transformatoren en 75% voor kabels ten opzichte van de fysieke transportcapaciteit (77% en 112% ten opzichte van de aanwezige capaciteit, respectievelijk), waarbij de gemiddelde benutting ca. 45-55% bedraagt. Ten opzichte van de fysieke capaciteit is de gemiddelde benutting slechts 26-31% voor MS/MS-transformatoren en 30-36% voor MS-kabels.
- De piekbelasting zal naar verwachting met ~35% van de aanwezige capaciteit stijgen voor transformatoren tot het laatste jaar voor de netverzwaring. De MS-kabels werden in 2024 al overbelast (tot 112% van de aanwezige capaciteit) en een verdere ~5% groei van de aanwezige capaciteit is verwacht.

Dit betekent dat, zonder aanvullende maatregelen, in de laatste jaren van congestie, de MS-stations en MS-kabels op meerdere momenten van het jaar niet N-1 veilig bedreven kunnen worden. In de praktijk betekent dit dat bij deze prognoses de RNB's op zoek moeten naar regelbaar vermogen om de 11% overschrijding van de aanwezige capaciteit bij transformatoren en 17% overschrijding van de aanwezige capaciteit bij kabels tegen te gaan teneinde hetzelfde niveau van betrouwbaarheid in het MS-net te behouden, ofwel toe moeten staan om deze zwaarder te belasten, ofwel een lagere betrouwbaarheid tijdelijk te accepteren.

Vanwege de verwachte groei van het verbruik vóór de geplande netverzwaring, blijkt uit deze analyse dat er gemiddeld genomen geen capaciteit beschikbaar is om meer klanten aan te sluiten. Hierbij gelden de volgende kanttekeningen:

1. Deze studie heeft niet in detail gekeken naar de prognosemethodieken van de netbeheerders, hiervoor heeft EZK een ander traject gestart. Deze conclusie is gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch/ betrouwbaar zijn.
2. Deze beschrijving heeft betrekking op de situatie in 2024. Het nieuwe prioriteringskader per 2025 heeft invloed op de benodigde reservering voor natuurlijke groei; deze wordt beperkt tot de groei van het netgebruik binnen bestaande KV-aansluitingen en binnen het gecontracteerde transportvermogen van grootverbruikers, Deze wijziging kan leiden tot een verlaging van de geprognotiseerde, benodigde capaciteit in het laatste jaar van congestie.
3. De mate van representativiteit van de aangeleverde data voor het gehele TS-net en MS-net kon niet vastgesteld worden.

4.2 Analyse van technische oplossingen

Tabel 4-1 geeft de lijst van geanalyseerde technische oplossingen weer voor het TS-net en MS-net, zoals deze gedefinieerd zijn in Figuur 3-2. Van deze oplossingen blijken het *zwaarder belasten van netcomponenten* en de *inzet van de storingsreserve* de meeste potentie te hebben. Daarom worden in de volgende paragrafen de huidige toepassing, voor- en nadelen en de belemmering voor verdere implementatie toegelicht. Uit het onderzoek is ook gebleken dat de andere drie oplossingen reeds in hoge mate toegepast worden door de RNB's of dat hun potentie verwaarloosbaar is. Om deze redenen worden daar alleen de principes van toegelicht, en worden geen concrete beleidsaanbevelingen gegeven.

Bij het analyseren van de potentie en schaalbaarheid van alle beschreven oplossingen in deze sectie is aangenomen dat het aansluiten van nieuwe klanten niet belemmerd wordt door congestie in hogere netvlakken. In praktijk zal de potentie en schaalbaarheid dus lager uitvallen.

4.2.1 ZWAARDER BELASTEN

4.2.1.1 Beschrijving

Het zwaarder belasten van TS- en MS-netten heeft met name betrekking op de transformatoren op TS/MS onderstations, MS/MS-(regel)transformatoren en de kabels in deze netten.

Voor aanwezige lijnen in het TS-net is de analyse zoals besproken voor de lijnen op het HS-net van toepassing. De drie beschreven methoden voor zwaarder belasten, namelijk statisch, cyclisch en dynamisch, zijn op dezelfde manier gedefinieerd als beschreven in sectie 3.3.1.

Het zwaarder belasten van TS/MS onderstations en MS-(regel)stations is vergelijkbaar met het zwaarder belasten van de HS/MS onderstations besproken in sectie 3.3.1.

Voor het zwaarder belasten van kabels in het middenspanningsnet is het van belang om onderscheid te maken tussen twee type kabels, die hoofdzakelijk aanwezig zijn in Nederland:

- ***Kunststofkabels***, ofwel Cross-Linked Poly-Ethylene (XLPE)-kabels: deze kabels bestaan uit koperen of aluminium geleiders met een kunststofisolatie. Deze kabels worden nu standaard toegepast en de maximaal toegestane temperatuur van de geleider is 90°C.
- ***Papier-Loodkabels***, ofwel Gepantserd Papier-Lood Kabels (GPLK): deze kabels bestaan ook uit koperen of aluminium geleiders, maar zijn geïsoleerd met papier en olie. De maximaal toegestane temperatuur van de geleiders is 50°C, omdat het isolatiemateriaal anders vloeibaar wordt en sneller veroudert. Deze kabels kennen daarom lagere belastbaarheden. Ook hebben deze mechanische nadelen, die niet relevant zijn voor dit onderzoek.

SECTIE	OPLOSSING	BESCHRIJVING
Kansrijke oplossingen TS en MS		
4.2.1	Zwaarder belasten van netcomponenten	Voor een specifiek aantal componenten mag de werkelijke stroom door een component onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximale ontwerptemperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
4.2.2	Inzet storingsreserve	De inzet van de enkelvoudige storingsreserve t.b.v. het aansluiten van meer klanten. Hierbij zijn veel mitigerende maatregelen nodig om de impact van een storing op te vangen, bijv. afschakelbare contracten met (industriële eindgebruikers).
Onvoldoende potentie of al volledig benut door netbeheerders (Appendix A)		
Netwerk herconfiguratie		Het herconfigureren van MS-D-netten door middel van de aanwezige netopeningen ten behoeve van een verbeterde verdeling van vermogensstromen door het MS-D-net zodat nieuwe klanten ingepast kunnen worden.
Spanningsregeling - Compoundering		Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitproblemen in het MS-net, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan.
Monitoring		Het verbeteren van het netinzicht in het MS-net, zodat inzicht in de daadwerkelijk belasting van het net wordt verbeterd.

TABEL 4-1

Overzicht van technische oplossingen, die zijn onderzocht voor TS-netten en MS-netten

Een klein deel (minder dan ~3%) van de kabels bestaat uit oliedruk kabels[13], maar vanwege beperkte schaalbaarheid is dit type kabel niet meegenomen in het onderzoek.

De productie van papier-loodkabels is in 2005 gestopt en wordt tegenwoordig niet meer aangelegd. Het aandeel van kunststofkabels neemt daardoor toe, maar desondanks is op dit moment de verhouding van aanwezige kunststof-/papier-loodkabels circa 60%/40%.

Wanneer kabels belast worden, geven deze warmte af aan de grond. Zoals eerder aangegeven, is het grootste probleem bij hogere belasting de extra warmteontwikkeling. Eén "hotspot" in een kilometerslange kabel is al voldoende om tot een storing van het gehele tracé te leiden. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het vaststellen van de capaciteit van kabels. Als kabels langdurig te warm worden, kan de grond uitdrogen. Droge grond geleidt warmte slechter, waardoor kabels nóg warmer worden. Dit is een negatieve spiraal die uiteindelijk tot kabelschade kan leiden. Bij kunststofkabels is uitdroging van de grond door zwaarder belasten een groter risico dan bij papier-loodkabels, omdat kunststofkabels tot hogere temperaturen verwarmd kunnen worden. Het toestaan van versnelde veroudering van kabels als gevolg van zwaarder belasten wordt in beperkte mate geaccepteerd. De exacte impact op levensduur en storingskans is echter nog niet volledig gekwantificeerd en onderzocht, waardoor risico's daaraan gerelateerd niet uitgesloten kunnen worden.

4.2.1.2 Huidige toepassing

Transformatoren
Het statisch en cyclisch zwaarder belasten van TS/MS en MS/MS transformatoren wordt reeds toegepast door twee RNB's; de derde RNB heeft geen TS-net en ziet nog geen meerwaarde om het toe te passen op de MS/MS transformatoren, gezien de zeer beperkte aantallen (2 stuks). De limieten die deze twee RNB's hanteren zijn weergegeven in Tabel 4-2. Eén van deze RNB's past al langere tijd statisch zwaarder belasten tot 110% toe, en cyclisch zwaarder belasten tot 130% toe; één andere RNB staat cyclisch zwaarder belasten tot 120% toe door gebrek aan detailinzicht in de belastinggraad. De daadwerkelijk gehanteerde limiet voor het cyclisch zwaarder belasten van een onderstation hangt af van het belastingprofiel, lokale omgevingscondities en andere componenten in de keten.

De derde RNB geeft aan nog geen vorm van zwaarder belasten toe te passen, omdat het geen TS-net beheert. Hierdoor is het alleen toepasbaar op enkele MS-(regel) stations in het MS-net van de betreffende RNB, waardoor de schaalbaarheid en de potentie (<4,8 MVA per regelstation) voor deze RNB beperkt zijn.

RNB 1	RNB 2
Statisch	
110%	Informatie niet beschikbaar
Cyclisch	
110% - 130%	110% - 120%

TABEL 4-2

De gehanteerde limieten door RNB's voor het zwaarder belasten van TS/MS onderstations en MS-regelstations

Dynamisch zwaarder belasten van transformatoren wordt nog door geen van de RNB's toegepast, hetgeen ook niet relevant is voor klantinpassing.

De potentie van het zwaarder belasten van transformatoren is afhankelijk van de capaciteit van andere componenten in de keten die mogelijk de zwakste schakel kunnen zijn. In dit geval zal deze schakel eerst moeten worden vervangen. Dit voordat de transformator zwaarder kan worden belast.

Kabels
Op dit moment passen alle RNB's (een combinatie van) statisch en cyclisch zwaarder belasten van kabels toe. Een overzicht van de toegepaste limieten door RNB's voor het zwaarder belasten van kunststofkabels in MS-netten is schematisch weergegeven in Tabel 4-3. Zoals weergegeven bestaan er verschillen tussen de waarden die RNB's hanteren. Een RNB past verschillende limieten toe voor MS-T- en MS-D kabels. Voor MS-T kabels hanteert de RNB een statische zomer- en winterlimiet. Rekening houdend met deze statische limieten en het belastingprofiel zijn er volgens specifieke cyclische limieten gedefinieerd voor de zomer en de winter. De tweede RNB past dezelfde statische limieten toe voor zowel MS-T- als MS-D kabels in het geval dat cyclisch belasten niet mogelijk is, omdat er geen generiek profiel bekend is. De derde RNB hanteert cyclische limieten, die in alle gevallen worden toegepast. Dynamisch zwaarder belasten wordt momenteel door één RNB getest in een pilotfase, maar verder wordt dit door geen RNB structureel toegepast. Deze manier van zwaarder belasten levert ook geen capaciteiten voor klantinpassing. Indien de RNB meer inzicht heeft in accurate belastingprofielen en omgevingscondities van de verschillende kabels in het MS-net, bijvoorbeeld na de installatie van monitoring, kunnen in delen van het net waar dat nog niet het geval is ruimere limieten worden toegepast. Verdere digitalisering van het net voor betere benutting, inclusief het zwaarder belasten, is onderdeel van alle RNB's strategieën.

[13] Een oliedrukkabel is een GPLK type kabel waarbij de isolatie rondom de geleiders bestaat uit geïmpregneerd papier dat onder druk staat met olie, maar worden tegenwoordig steeds minder gebruikt vanwege de omslachtige aanleg en het onderhoud in vergelijking met moderne kabeltypes zoals XLPE-kabels.

RNB 1	RNB 2	RNB 3
Statisch		
Winter MS-T & MS-D • N-0: 105 - 108% • N-1: 115 - 120% **Zomer** MS-T & MS-D • N-0: 100% • N-1: 105 - 120%	**Winter** MS-T • N-0: 100% • N-1: 107% **Zomer** MS-T • N-0: 93% • N-1: 93%	N.v.t.
	Winter en zomer MS-D • N-0: 65% • N-1: 130%	
Cyclisch		
Winter en zomer MS-T: • Locatie-specifiek MS-D: • N-0: 130% en 128% • N-1: 143% en 135%	**Winter en zomer** MS-T: • N-0: 100% • N-1: 145% MS-D: • N-0: 100% • N-1: 130%	**Winter en zomer** MS-T & MS-D: • N-0: 108% • N-1: 120%

TABEL 4-3

Limieten gehanteerd voor het zwaarder belasten van kunststofkabels in MS-netten

De waarden in Tabel 4-3 geven de range van limietwaarden die gehanteerd worden in de betreffende periode aan, met inachtneming van de lokale condities.

Een limietwaarde lager dan de nominale waarde wordt door RNB 3 in de zomerperiode gehanteerd in beide N-0- en N-1-situaties voor kunststofkabels in het MS-T-net. Dit komt omdat klantinpassing voor afname beperkt wordt door de winterpiek en zomerbelasting (en de mogelijkheid zwaarder te belasten in de zomer); dit is echter niet relevant voor deze studie.

Voor papier-loodkabels gelden in het algemeen dezelfde limieten, behalve voor het cyclisch belasten door twee RNB's. Deze hanteren in dat geval lagere limieten voor papier-loodkabels dan voor kunststofkabels. Deze afwijkende limieten zijn weergegeven in Tabel 4-4.

4.2.1.3 DNV Analyse

Net als bij het zwaarder belasten in het HS-net wordt in deze sectie een analyse gemaakt van de potentie van deze oplossing om capaciteit in het TS- en MS-net op korte termijn vrij te maken voor klantinpassing, op basis van de input van de netbeheerders, expert opinion en internationale best practices op dit gebied.

Hierbij hebben internationale benchmarks ook aangetoond dat andere RNB's (DSO's/DNO's) in Europa vergelijkbare methoden toepassen om hun netten zwaarder te belasten en dat ze vergelijkbare belastingpercentages hanteren voornamelijk voor transformatoren. Andere landen zijn minder bekabeld dan Nederland, waardoor op dat gebied minder bekend is over de grens. Nagenoeg dezelfde uitdagingen als voor het HS-net zijn van toepassing (beperkingen in de keten door zwakke schakels, afhankelijkheid van lokale (weers)omstandigheden en individuele technische beperkingen van componenten, operationele complexiteit en tijdrovende processen voor implementatie).

RNB 1	RNB3
Cyclisch	
MS-T: • locatie-specifiek MS-D: • N-0: 105% - 113% • N-1: 115% - 120%	N-0: 107%

TABEL 4-4

Limieten voor het zwaarder belasten van papier-loodkabels in MS-netten, die afwijken ten opzichte van het zwaarder belasten van kunststofkabels

De potentie van deze oplossing voor het (tijdelijk) creëren van extra capaciteit ten behoeve van klantinpassing in het TS- en MS-net is beoordeeld aan de hand van de KPI's die beschreven zijn in sectie 1.3. De details van de beoordeling worden in Tabel 4-5 gepresenteerd. In deze tabel wordt elke KPI afzonderlijk geanalyseerd, conform de definities en scores in *Appendix B: Beoordelingsmethodiek technische oplossingen*. Er wordt gebruikgemaakt van de input geleverd door de netbeheerders, met daarbij het DNV-perspectief.

Net als bij de HS-netten op RNB-niveau, om het potentieel van het zwaarder belasten in deze netvlakken effectief te benutten, dient de congestie in het bovenliggende net (grotendeels) opgelost te zijn. Indien dat niet het geval is, dan is de potentie van deze oplossing voor klantinpassing maar maximaal 3%.

Afgezien van de congestie op HS-niveau, kan potentieel 15 tot 20% capaciteit vrijgemaakt worden in het TS en MS-net. Deze capaciteit houdt rekening met ee schaalbaarheid van 20 en 70% (voor transformatoren en kabels, respectievelijk).

Voor **TS/MS- en MS/MS-transformatoren** is de beoordeling van de KPI's bij hogere belasting, zoals beschreven in sectie 3.3, eveneens van toepassing. Afhankelijk van lokale omstandigheden en technische kenmerken kunnen deze transformatoren 10 tot 50% boven hun nominale vermogen worden belast.
Dit wordt bereikt door een combinatie van statische en cyclische overbelasting, aangevuld met geforceerde koeling op geselecteerde locaties. Het aantal transformatoren op dit niveau is echter beperkt—TS/MS zelfs zeer beperkt—en niet alle RNB's beschikken over regeltransformatoren. Daarnaast vormen de leeftijd van een deel van de populatie en zwakkere componenten zoals stroomtransformatoren en schakelaars, die lastig te vervangen zijn, belangrijke beperkingen. Hierdoor is de schaalbaarheid midden tot laag en bedraagt het totale potentieel voor extra klantinpassing maximaal ongeveer 10%.

Voor **kabels** is het potentieel groter: deze kunnen tot ca. 45% boven hun nominale vermogen belast worden, met een verwachte schaalbaarheid van maximaal 70%. Hiermee kan, op netniveau, 15 tot 20% extra capaciteit beschikbaar komen voor nieuwe klanten. Alle RNB's hanteren reeds verhoogde grenzen voor kabelbelasting (lokaal 10 tot 45% boven nominaal). Het resterende potentieel ligt daarom vooral in het daadwerkelijk toepassen van deze grenswaarden, het harmoniseren naar de hoogste toelaatbare grens over alle RNB's, en verdere verhoging op basis van intensievere monitoring van thermische eigenschappen en conditie van kabels, ondersteund door verbeterde thermische modellen. Hierbij dienen congestiegebieden prioriteit te krijgen. De implementatie is echter complex door lokale technische uitdagingen, zoals uitdroging van grond door hogere kabeltemperaturen, de organisatorische en operationele impact (bijv. op het oplossen van storingen), en de behoefte aan betere informatie over lokale omgevingscondities en kabelkarakteristieken.

Om het totale potentieel van zwaarder belasten in het TS en MS net te realiseren, zijn nodig: een brede in plaats van selectieve aanpak; intensievere onderlinge afstemming tussen RNB's om waar mogelijk uniforme uitgangspunten en beleid te hanteren; verbetering van thermische modellen voor gedetailleerdere berekeningen; verdere belastingmonitoring in het MS net; oplossen van ketenbeperkingen door vervanging van kritieke schakels; en het herzien van geluidseisen en -dempende maatregelen op locaties waar deze een beperking vormen (lage prioriteit vanwege de beperkte impact van <1% op het totale potentieel).

Met de huidige beleidsgrenzen achten RNB's versnelde veroudering geen zwaarwegend risico, omdat hogere belastingen alleen tijdens N-1 situaties en piekbelasting optreden. De impact blijft afhankelijk van de lokale omstandigheden en de duur van de N-1 situatie.
Indien grenzen verder worden verhoogd, is aanvullend inzicht nodig in de effecten op veroudering, ondersteund door verbeterde modellen en monitoring.

De snelheid waarop dit volledig gerealiseerd kan worden hangt enorm af van interne besluitvormingsprocessen (o.a. door afstemming met meerdere interne stakeholders) en uitbreiding van monitoring en implementatie van rekenmodellen. Naar verwachting kan een deel van de potentie (zo'n 10%) binnen een jaar benut worden en de resterende na twee (en lokaal drie) jaar.

Verder is het cruciaal dat congestie op het bovenliggende net opgelost wordt, om het potentieel op dit niveau volledig te kunnen benutten. Net als bij het HS-net op RNB-niveau, is aan te raden dat de RNB's hierop voorbereid zijn, c.q. deze oplossing prioriteren en de nodige stappen zetten om het opschalen hiervan te versnellen.

TABEL 4-5

Beoordeling van KPI's voor zwaarder belasten van kabels en transformatoren in het TS- en het MS-net

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit **Transformatoren en kabels 5** *(≥ 25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)*	**Transformatoren** Zwaarder belasten kan doorgaans tussen de 10% en 50% extra capaciteit lokaal vrijmaken, door: • 10-20% cyclisch overbelasten bij transformatoren met voldoende informatie uit de lopende studie; • Additioneel tot 30% met toepassing van extra koeling. Door beperkingen in de keten vanwege limieten van andere zwakkere componenten die niet altijd vervangen kunnen worden, kan niet altijd de additionele capaciteit van de transformatoren volledig benut worden. **Kabels** Potentiële additionele capaciteit van 10 tot 45% per congestielocatie. Ook is het verruimen van deze grenzen op dit moment lastig, op basis van generieke eigenschappen en omstandigheden waar nu vanuit gegaan wordt en de onzekerheid die daarop verschillende locaties mee gepaard kan gaan. Omdat op het MS-T-net zich relatief veel aangeslotenen bevinden, heeft het onderzoeken en meten van omgevingscondities significant impact op de transportcapaciteit die daarmee gecreëerd wordt op het achterliggende MS-net.
Schaalbaarheid **Exclusief congestie HS** **Transformatoren 3** *(Geschikt voor 20-50% van de situaties)* **Kabels 4** *(Geschikt voor 50-80% van de situaties)* **Inclusief congestie HS** **Transformatoren en kabels 2** *(Geschikt voor 5-20% van de situaties)*	Net als in het HS-net van de RNB's, speelt congestie in de bovenliggende netten een rol bij het breed en effectief toepassen van deze oplossing in het TS- en MS-net voor zowel transformatoren als kabels. Hierdoor is de maximale schaalbaarheid beperkt tot 10%. Afgezien van deze beperking wordt het volgende verwacht: **Transformatoren** Deze maatregel is voor transformatoren toepasbaar op 20 tot 30% van de locaties. Het aantal TS/MS onderstations en MS-(regel)stations varieert tussen regio's en niet op alle congestielocaties (zoals schakelstations) staan deze transformatoren opgesteld. De schaalbaarheid is daarom naar verwachting midden tot laag ingeschat. **Kabels** Alle RNB's geven aan dat hun beleid t.a.v. zwaarder belasten van XLPE en GPLK kabels toepasbaar is op hun hele MS-T en MS-D-net. Vanwege lokale situaties, is dit in sommige gevallen niet haalbaar, wat de schaalbaarheid naar schatting brengt naar 40 tot 70%, afhankelijk van de mate waarin deze oplossing al toegepast is door elk RNB. • Schaalbaarheid van het zwaarder belasten van kabels is in principe hoog, omdat kabeltypes in het net grotendeels gestandaardiseerd zijn en de oplossing daarmee generiek toegepast kan worden. De schaalbaarheid kan echter verschillen per RNB en is afhankelijk van de nettopologie. • Ook is de schaalbaarheid op dit moment hoog omdat de limieten gebaseerd zijn op generieke omstandigheden. Echter, neemt de schaalbaarheid naar verwachting af zodra er gebruik gemaakt wordt van meer locatie-specifieke eigenschappen. Toepassen van lokaal-specifieke richtlijnen stuit op organisatorische en operationele beperkingen vanwege de complexiteit (zie desbetreffende KPI's).
Kosteneffectiviteit **Transformatoren en kabels 3/4**	Geen informatie beschikbaar van de RNB's. Schatting van DNV is dat vergelijkbaar met de maatschappelijke kosten van het niet kunnen aansluiten van nieuwe klanten en investeringskosten om het net uit te breiden, de kosten van de meeste maatregelen om transformatoren en kabels hoger te belasten, beperkt zijn. Een deel van de oplossingen (zoals bredere digitalisering om inzichten in het net te krijgen) is al onderdeel van de strategische pijlers van alle RNB's, net als het beter benutten van het net. De kosten van het vervangen van de zwakste schakels verschillen per type component en worden afgewogen tegen de baten en de inzet die nodig zijn van schaarse resources.
Compliant **Transformatoren 4** *(Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek)* **Kabels 5** *(Geen wijzigingen nodig)*	**Transformatoren** Op het gebied van regelgeving zijn er minder beperkingen met betrekking tot bijvoorbeeld EMC-normen en N-1 criteria. Het zwaarder belasten van transformatoren kan echter nog wel stuiten op geluidsnormen in ca. 5% van de gevallen. **Kabels** Er zijn geen beleidswijzigingen nodig om de additionele capaciteit te realiseren door kabels zwaarder te belasten.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
TRL **Transformatoren 5** *(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)* **Kabels 4** *((TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen minder dan 5 jaar)*	**Transformatoren** De technologie is volwassen en met een hoge TRL, is deze direct toepasbaar in de praktijk. **Kabels** Alle RNB's hebben beleid om kabels in het MS-T en MS-D-net zwaarder te belasten en het beleid wordt sinds kort gebruikt voor netinpassing.
Implementatietijd **Transformatoren en kabels 3** *(12-24 maanden)*	**Transformatoren** De implementatietijd is relatief kort, indien benodigde informatie beschikbaar is. De oplossing kan snel worden ingevoerd en vereist vaak weinig fysieke aanpassingen, vooral in vergelijking met netuitbreidingen die jaren duren. Nadelen ten aanzien van implementatie zijn dat vooraf technische checks nodig zijn en wanneer ketencomponenten beperkend zijn, vervanging extra tijd kan vragen. **Kabels** Implementatietijd voor het benutten van de additionele capaciteit die zwaarder belasten kan opleveren ten opzichte van de huidige toepassing, verschilt per netbeheerder en per assettype, en kan op basis van de beschikbare informatie niet generiek worden vastgesteld. Het ontbreken van locatie-specifieke data (zoals kabelcondities, grondparameters en detailmetingen) vormt een belangrijke beperking voor het kunnen hanteren van fijnmaziger limieten. Hiervoor zijn lokaal extra investeringen in monitoring, sensoren en datasystemen noodzakelijk. Voor het versnellen van de implementatie op meer locaties en/of het verhogen van de limieten door een deel van de RNB's, is aan te raden om een brede aanpak te kiezen door onderling afstemming om vergelijkbare uitgangspunten en beleid te hanteren waar mogelijk.
Organisatorische impact **Transformatoren en kabels 2** *(Vereist aanzienlijk operationele wijzigingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)*	**Transformatoren** De organisatorische impact is hoog, omdat er brede interne en externe afstemming nodig is om dit te implementeren op de resterende (regel)transformatoren en het verhogen van de limieten waar nodig. Er is extra monitoring nodig, en afstemming tussen veel teams kost tijd. Zowel analyses als implementatie vereisen gespecialiseerde capaciteit, die beperkt beschikbaar is. **Kabels** Verder implementeren van het huidige beleid in de praktijk vereist naar verwachting weinig veranderingen. Echter, voor het verhogen van de limieten in een deel van het MS-net is verbeterde informatie van lokale omgevingscondities en mogelijk van de kabels nodig. Zonder deze informatie is de verwachting dat verdere verruiming van de limieten een negatieve impact kan hebben door een verwachte toename van mogelijke storingen. Dit kan de werkdruk voor de RNB's vergroten om aan alle hersteltijden te kunnen voldoen.
Operationele complexiteit **Transformatoren en Kabels 2** *(Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/geïmplementeerd worden)*	**Transformatoren** De operationele complexiteit bij het verhogen van de limieten neemt toe omdat real time monitoring en sturing noodzakelijk worden. Real time operationele risico's nemen toe, mede door weersomstandigheden en belastingprofielen. Echter, met goede IT en OT systemen kan dit beheersbaar worden uitgevoerd. Ook is het aantal locaties waar dit nodig is beperkt vanwege het beperkte aantal transformatoren. **Kabels** Toepassing van hogere limieten in de praktijk zorgt voor een complexere bedrijfsvoering en vermoeilijkt het acuut maken van besluiten in het veld. Breder toepassen van de huidige limieten kampt niet met deze beperkingen.
Betrouwbaarheid **Transformatoren en Kabels 4** *(Geen significante impact)*	**Transformatoren** Wanneer componenten structureel hoger worden belast dan hun nominale waarden kan de betrouwbaarheid afnemen. De kans op storingen kan toenemen doordat de componenten dichter bij hun thermische grenzen worden gebruikt. Binnen gecontroleerde toepassing blijft de betrouwbaarheid echter goed beheersbaar, vooral met datagedreven monitoring. Het huidige beleid van de netbeheerders richt zich op toepassingen waarbij de levensduur niet noemenswaardig aangetast wordt. Dit gaat pas spelen als de limieten verder opgerekt worden. Ook wordt dit alleen tijdens N-1 situaties toegepast en niet continu.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
	Kabels Indien beter inzicht verkregen kan worden, is de impact op storingsrisico's beperkt (zie Organisatorische impact). Ook hier geldt dat het alleen in N-1 situaties toegepast wordt.
Veiligheid **Transformatoren en kabels 4** *(Geen significante impact)*	De oplossing is veilig wanneer deze binnen de thermische en mechanische grenzen van alle componenten in de netschakel wordt toegepast en zorgvuldig wordt bewaakt.

Opheffen van belemmeringen

Aanvullend op de beschreven belemmeringen voor het HS-net, die opgelost moeten worden om het potentieel in het TS- en MS-net te benutten, zijn er technische belemmeringen voor het TS-net en MS-net, die opgeheven moeten worden:

- De belasting van kabels dieper in het net dient op meer locaties, voornamelijk congestielocaties, gemeten te worden. Op dit moment is deze belasting niet overal waar nodig bekend, waardoor limieten voor zwaarder belasten vaak worden vastgesteld op basis van generieke belastingprofielen. Op dit gebied zijn er echter verschillen tussen de netbeheerders waarbij:
  - Een van de RNB's de belasting (stroom en spanning) van nagenoeg alle kabels in het MS-T-net en de eerste secties van de nagenoeg alle kabels in het MS-D-netten (op de onderstations) meet. Ook meet deze RNB de belasting van kabels dieper in het net d.m.v. distributieautomatisering (DA) in ongeveer 10% van MS-ruimten (op kritische knoppunten in het MS-D-net)
  - De tweede RNB geeft aan dat het plaatsen van meetapparatuur lopend in MS-T (41% van de stations zijn op afstand schakelbaar en bemeten) en volledig in MS-D is (stroom- en spanningswaarde op MS en soms ook op LS-niveau worden al gemeten);
  - De derde RNB heeft aangegeven momenteel bezig te zijn om meetapparatuur in nieuwe MS-netten uit te rollen, terwijl ze onderzoeken hoe dat ook in bestaande stations uitgevoerd kan worden.
- Naast betere bemeting, betere modellen en documentatie om locatie specifieke hogere kabelbelastingen mogelijk te maken. De omgevingscondities (grondsoort, vocht, diepte) en kabelspecifieke factoren beïnvloeden de maximaal toelaatbare kabelbelasting en kunnen per locatie sterk variëren. Omdat deze parameters in veel gevallen niet worden bemeten of gedetailleerd zijn vastgelegd, hanteren de netbeheerders conservatieve limieten die generiek toepasbaar zijn.
- Indien in de toekomst flex-contracten breder toegepast worden, kunnen door het vullen van de dalen kabels mogelijk geen tijd meer hebben om af te koelen, dat de potentie voor het toepassen van cyclisch zwaarder belasten kan verminderen. Dit gaat echter pas spelen bij een grote hoeveelheid flex-contracten, waar vooralsnog geen sprake van is.
- Omdat op het MS-T-net zich relatief veel aangeslotenen bevinden kan het onderzoeken en meten van omgevingscondities veel extra transportcapaciteit creëren op het achterliggende MS-net.

4.2.2 INZET STORINGSRESERVE

4.2.2.1 Beschrijving

In sectie 3.2 is toegelicht dat de aanwezige storingsreserve in het net ervoor zorgt dat de stroomvoorziening gecontinueerd kan worden in het geval van storing of onderhoud. Zoals in paragraaf 2.2 uitgelegd, kennen TS en MS netten geen wettelijke verplichting voor het aanhouden van storingsreserve, maar voorzien regionale netbeheerders hier in de praktijk wel in. Dit wordt gedaan om aan prestatie indicatoren zoals Jaarlijkse Uitvalduur en Jaarlijkse Uitvalfrequentie, evenals de inspanningsverplichting om storingen binnen gestelde richttijden op te lossen te voldoen, omdat de impact van een storing in het TS-net en het MS-T-net relatief groot is (relatief veel klanten kunnen getroffen worden door een enkele storing). Met de aanwezigheid van reservecomponenten in combinatie met vermaasde netontwerpen, wordt ervoor gezorgd dat een storing- of onderhoudssituatie niet tot een onderbreking van de levering zal leiden, zoals ook het geval is in het HS-net. Een storing in het MS-D-net zal daarentegen wel tot een tijdelijke onderbreking van de stroomvoorziening leiden (enkelvoudige storingsreserve met energieonderbreking). MS-D-netten hebben voornamelijk een ringvormig netontwerp dat radiaal wordt bedreven zoals is toegelicht en weergegeven in Figuur 2-3. Dit betekent dat bij storingen de levering relatief snel (typisch variërend van ca. 15 tot 90 minuten) wordt hersteld voor getroffen klanten in het gebied, door het net op locatie te herconfigureren, gebruikmakend van de aanwezige netopeningen. Om te bepalen of er voldoende storingsreserve aanwezig blijft bij het inpassen van nieuwe klanten wordt typisch de 'worst-case' storing -of onderhoudssituatie als uitganspunt genomen. Daarnaast wordt de storingsreserve ook ingezet voor de realisatie van netuitbreidingen en voor onderhoud.

Dit onderzoek beschouwt dezelfde methoden voor de inzet van de storingsreserve als voor HS-netten, beschreven in sectie 3.3.2. Deze methoden zijn:

METHODE 1 - Curatieve N-1

RNB's kunnende betrouwbaarheid van het net waarborgen door toepassing van curatieve N-1 contracten. De betreffende klanten hebben dan alleen een gecontracteerd transportvermogen tijdens normaal bedrijf, wat betekent dat ze afgeschakeld kunnen worden zodra zich een storings- of onderhoudssituatie voordoet. De kans op een storing is klein, maar levert onzekerheid op voor de klant doordat het moment vooraf onbekend is. Verder kan het noodzakelijk zijn om tijdens onderhoudswerkzaamheden en netuitbreidingen langdurig (maanden) een beroep te doen op de reservecapaciteit van het net.

METHODE 2 - Beperkte vrijgave N-1

RNB's sluiten afnameklanten aan op (een deel van) de storingsreserve, accepteren de daarbij behorende betrouwbaarheidsrisico's en passen aanvullende maatregelen (bijv. opschalen storingsdienst, grotere voorraad reserveonderdelen) toe om de risico's.

4.2.2.2 Huidige toepassing

Curatieve N-1
Zoals toegelicht in sectie 3.3.2 wordt momenteel de storingsreserve al ingezet voor het aansluiten van nieuwe opwekklanten.

Op dit moment worden afnameklanten in principe niet op de reservecapaciteit van het TS-net en MS-T-net aangesloten. Er zijn echter uitzonderingssituaties waarbij twee RNB's aangeven klanten wel aan te sluiten op deze storingsreserve. Eén van deze RNB's geeft daarbij aan in deze gevallen tijdsblokken voor afname te hebben afgesproken om de belasting op de storingsreserve te minimaliseren. De andere RNB geeft aan dat ze op vrijwillige basis enkele datacenters en batterijen tijdelijk op de storingsreserve aansluiten, totdat het net op de betreffende locatie uitgebreid is. Dit kan extra ruimte vrijmaken om klanten op de wachtlijst aan te sluiten.

Voor het MS-D-net past één RNB momenteel een gedoogconstructie toe gedurende de afgekondigde congestieperiode, waarbij nieuwe klanten met een eigen aansluiting op een MSR kunnen worden afgesloten tijdens een storingssituatie. De toepassing is echter beperkt, omdat deze klanten ook vaak een spanningsknelpunt of capaciteitsknelpunt tijdens normaal bedrijf hebben of een knelpunt op een hoger spanningsniveau. Eén van de RNB's geeft aan dat deze oplossing niet relevant is, omdat deze RNB op dit moment geen congestie in MS-D-netten heeft. De derde RNB geeft aan dat momenteel een intern onderzoek loopt naar de mogelijke potentie en consequenties van het aansluiten van klanten op de storingsreserve in MS-D-netten. Aanleiding voor dit onderzoek was de publicatie van het rapport "Schakelen naar de toekomst - IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur", waarin het "verlagen van de redundantie door de inzet van storingsreserves" als één van de opties genoemd wordt om de investeringsopgave te verminderen. De verwachting was dat het onderzoek eind 2025 werd afgerond.

Beperkte vrijgave N-1
Er is geen RNB die momenteel een lagere betrouwbaarheid van het net ziet als een oplossing om meer klanten aan te kunnen sluiten, deels omdat er momenteel geen congestie is, of dit geen oplossing is bij bovenliggend congestie, deels omdat er nog geen beleid voor ontwikkeld is. Echter geven de RNB's aan dat in de praktijk het nu al kan voorkomen dat een deel van de capaciteit van de aansluitingen, tijdens piekbelasting, is aangesloten op de reservecapaciteit van het MS-net door de natuurlijke groei van klanten, zonder dat de RNB hier een bewuste keuze voor heeft gemaakt. Omdat deze klanten geen curatieve N-1 contracten hebben afgesproken met de RNB's, hebben de RNB's geen manier om de storingsreserve te garanderen.

Als de capaciteit van de storingsreserve wordt beperkt, moet een lagere betrouwbaarheid van het net worden geaccepteerd. In dit geval kunnen meer klanten getroffen worden in vergelijking met de curatieve N-1 oplossing, waarbij alleen de betreffende klanten geraakt worden, die zijn aangesloten op de storingsreserve. Als gevolg hiervan kunnen de storingsminuten dus toenemen voor alle klanten in het congestiegebied. Om deze risico's te mitigeren verwacht één RNB in de loop van 2026 de implementatie van aanvullende maatregelen om de betrouwbaarheid van het net te waarborgen, die onder andere betrekking hebben op het opschalen van de inzet van noodaggregaten.

4.2.2.3 DNV Analyse

Evenals voor HS maken beide hoofdvarianten gebruik van de aanwezige reservecapaciteit. Twee RNB's schatten in dat het inzetten van de storingsreserve de potentie heeft om maximaal 10% tot 30% extra klanten aan te sluiten in hun MS-T-netten en maximaal 10%-35% in de MS-D-netten. Dit komt overeen met de omvang van de storingsreserve.

Dit is niet echter niet overal haalbaar, en het realistisch potentieel komt lager uit. Dit wordt nader toegelicht in de uitwerking van de hoofdvarianten.

Curatieve N-1

De KPI's gedefinieerd en beschreven in sectie 1.3 zijn beoordeeld bij de inzet van de storingsreserve op basis van curatief N-1. De KPI's zoals die zijn beoordeeld voor de inzet van deze oplossing op HS/MS onderstations van de RNB's, zoals toegelicht in sectie 3.3.2 en Tabel 3 4, zijn grotendeels ook van toepassing op het tussen- en middenspanningsnet. Daarom zijn ook voor deze oplossing alleen de verschillen toegelicht.

TABEL 4-6

Beoordeling van KPI's voor inzet storingsreserve o.b.v. curatief N-1

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING KPI
Capaciteit **4** *(15-25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)*	Twee RNB's schatten in dat het inzetten van de storingsreserve de potentie heeft om maximaal 10% tot 30% extra klanten aan te sluiten in hun MS-T-netten en maximaal 10%-35% in de MS-D-netten. Dit is niet overal haalbaar (zie schaalbaarheid).
Schaalbaarheid **2** *(Geschikt voor 5-20% van de situaties)*	De totale schaalbaarheid ligt naar verwachting op 5%-20%. Redenen voor de beperkte schaalbaarheid zijn: • De belangrijkste beperking is de mate van klantparticipatie, in relatie tot storingsherstel en benodigd onderhoud. Dit kan enerzijds leiden tot een klantpropositie die niet voldoende aantrekkelijk is vanwege de kans op langdurige uitval, anderzijds de mogelijkheden voor onderhoud te sterk beperken. • Als gevolg van de toegenomen vraag van nieuwe klanten kan de spanningskwaliteit in MS-D-netten negatief orden beïnvloed. • Er kan fysiek een knelpunt zijn voor de hoeveelheid aansluitingen in het net. Indien de storingsreserve ook wordt benut, kunnen er op stations en MSR's fysiek niet genoeg aansluitpunten zijn voor extra klanten, omdat dit gedimensioneerd is op de aanwezigheid van storingsreserve. • Klanten in MS-D-netten kunnen vooralsnog niet op afstand, maar alleen op locatie worden afgesloten door de RNB. Dit bemoeilijkt het om adequaat te kunnen reageren en de betreffende klant(en) af te schakelen in noodsituaties. • Een aansluiting van een betreffende klant met curatieve N-1 afspraken kan lastig te onderscheiden zijn van de andere klanten zonder curatieve N-1 afspraken als de aansluiting gedeeld wordt op dezelfde MS-kabel, waardoor de betreffende klant met curatieve afspraken niet als enige afgeschakeld kan worden.
Compliant **4** *(Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek)*	Er geldt geen wettelijke verplichting voor een enkelvoudige storingsreserve. Daarbij zijn curatieve N-1 contracten een andere manier om invulling te geven aan de benodigde storingsreserve.
Betrouwbaarheid **4** *(Geen significante impact)*	• Mits op de juiste wijze geïmplementeerd, kan middels curatieve N-1 contracten de huidige betrouwbaarheid van het net voor alle andere aangeslotenen behouden blijven. • De onvoorspelbaarheid van storingen en daarmee de zekerheid van levering kan de interesse van klanten in curatieve N-1 afspraken beperken. Tevens kan het optreden van een storing, maar ook gepland onderhoud en netuitbreidingen, tot lange afsluitingen voor deze klanten leiden. Hierdoor zijn curatieve N-1 contracten waarschijnlijk minder aantrekkelijk voor klanten in MS-ringen.

Het realistisch potentieel van de curatieve N-1 oplossing is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van participatie van grootverbruikers, dit moet nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het potentieel bedraagt 1-5%, aangezien curatieve N-1 contracten waarschijnlijk minder aantrekkelijk zijn voor klanten in MS-ringen. Verdere ontwikkeling en implementatie van dit concept is benodigd, waarbij maatwerk per congestiegebied gewenst is.

Opheffen van belemmeringen

- Een belangrijke beperking voor klanten om tot curatieve N-1 afspraken te komen is de kans op langdurige afsluitingen vanwege onderhoud of na een storing. Deze beperking kan weggenomen worden door het voorbereiden van noodmaatregelen, bijv. de inzet van noodaggregaten om de maximale duur van de afsluiting te beperken.
- De beperking dat klanten niet op afstand afgesloten kunnen worden, en niet als enige afgeschakeld kunnen worden, kan weggenomen worden door technische oplossingen voor te bereiden waarmee een individuele klant afgesloten kan worden (of zichzelf kan afsluiten). Dit zou via de "Real-Time Interface", kunnen, waarvan de netbeheerders aangeven dat deze, volgens het huidige ontwerp, ontoereikend is t.a.v. de hoge eisen die aan responstijden worden gesteld om curatief N-1 te kunnen faciliteren. Het ontwerp van de RTI zal hiervoor aangepast moeten worden.

Accepteren lagere betrouwbaarheid

De KPI's gedefinieerd en beschreven in sectie 1.3 zijn beoordeeld bij de inzet van de storingsreserve in het TS- en MS-net, in combinatie met het accepteren van een lagere betrouwbaarheid. De KPI's zoals die zijn beoordeeld voor de inzet van deze oplossing op HS/MS onderstations van de RNB's, zoals toegelicht in sectie 3.3.2, zijn grotendeels ook van toepassing op het tussen- en middenspanningsnet. Daarom zijn voor deze oplossing alleen de verschillen verder toegelicht.

TABEL 4-7

Beoordeling van KPI's voor inzet storingsreserve i.c.m. accepteren lagere betrouwbaarheid

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit **4** *(15-25% ten opzichte van de aanwezige capaciteit)*	• Twee RNB's schatten in dat het inzetten van de storingsreserve de potentie heeft om maximaal 10% tot 30% extra klanten aan te sluiten in hun MS-T-netten en maximaal 10%-35% in de MS-D-netten. • Het potentieel moet beschouwd worden in relatie tot de lagere betrouwbaarheid die acceptabel is. Dit is geen eenvoudige knop om aan te draaien, maar moet per congestiegebied o.b.v. een gedetailleerde risico-analyse bepaald worden. • Met name in gebieden met een steile belastingduurkromme kan het zeer beperkt loslaten van de enkelvoudige storingsreserve direct veel capaciteit opleveren om meer afnameklanten van de wachtlijst aan te kunnen sluiten. In gebieden met een vlak belastingprofiel zal de potentie lager zijn. • De impact van een storing is vaak sterk afhankelijk van de locatie waar deze storing (bijv. kabelbreuk) plaatsvindt. Ook t.a.v. de locatie kan een ander risicoprofiel gekozen worden, door niet altijd de worst-case als uitgangspunt te nemen.
Schaalbaarheid **4** *(Geschikt voor 50-80% van de situaties)*	Volgens opgave van twee RNB's kan deze oplossing op maximaal 40% tot 90% van het MS-T-net en het gehele MS-D-net toegepast worden om meer klanten aan te sluiten.
Kosteneffectiviteit **4** *(40-100% k€/MW jaarlijks, netto baten)*	Lage kosten, bestaat voornamelijk uit kosten die gemaakt moeten worden om de impact van storingen te verkleinen en klantvergoedingen voor extra storingsminuten.
Compliant **4** *(Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek)*	• Vergeleken met het HS-net zijn er minder belemmeringen, omdat er momenteel geen expliciete verplichtingen in wet- en regelgeving zijn voor de aanwezigheid van een storingsreserve in deze netten. • Wel ervaren de netbeheerders de zorgplichtgrondslag in de Energiewet, waarbij netbeheerders het systeem zó moeten beheren dat betrouwbaarheid en continuïteit gewaarborgd zijn, als een belemmering om deze oplossing in te zetten, aangezien deze de huidige betrouwbaarheid van het net aan kan tasten.
TRL **5** *(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)*	Toepassing van bestaande en bewezen technologieën.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Implementatietijd **3** *(12-24 maanden)*	Organisatorisch aanpassingen nodig die tijd vergen (opschalen storingsdienst.
Organisatorische impact **1** *(Vereist aanzienlijke organisatorische veranderingen, ontwikkeling van nieuwe competenties en IT/OT-aanpassingen)*	• De operationele en organisatorische impact is hoog, omdat het aantal storingen dat mogelijk verholpen moet worden op verschillende locaties toeneemt. Om al deze storingen tijdig te kunnen oplossen zal naar verwachting de druk op storing -en onderhoudsteams aanzienlijk kunnen toenemen met mogelijk negatieve consequenties voor het tempo van de netuitbreidingen, aangezien de storings- en onderhoudsteams ook op netuitbreidingen worden ingezet. Daarom dient deze oplossing vanuit dit perspectief zorgvuldig overwogen te worden en vereist naar verwachting opschaling van de storingsdiensten. • Toekomstige netuitbreidingen ten behoeve van de energietransitie kunnen vertraagd worden doordat deze oplossing het planningsproces complexer kan maken voor de RNB's. Het kan leiden tot minder beschikbare tijdvensters om de verzwaring uit te voeren zonder beperkingen te veroorzaken.
Operationele complexiteit **1** *(Toename in complexiteit is substantieel, met (te) hoge risico's voor RT operaties)*	• De risico-inschatting is moeilijker te maken, gezien het lagere netinzicht. • Door het gebrek aan storingsreserve kan de stroomvoorziening niet in elke situatie voor elke klant worden hersteld voordat de oorzaak van de storing verholpen is. Dit kan dagen, tot zelfs weken, vergen. Daardoor wordt het voor de bedrijfsvoering van de RNB's lastiger om te prioriteren voor welke klanten als eerste (gedeeltelijk) de stroomvoorziening hersteld wordt.
Betrouwbaarheid **3** *(Marginale impact, of er bestaan duidelijke mitigatie-mogelijkheden)*	In vergelijking met het HS-net wordt er een iets lagere impact verwacht, omdat het aantal getroffen klanten bij een storing kleiner is. Hoe groot de impact precies is, hangt af van het spanningsniveau waarop de storingen plaatsvindt. Storingen op het TS-net hebben de relatief grootste impact, terwijl storingen op MS-D-netten de minst impact hebben. De impact op betrouwbaarheid komt door het volgende: • Het tekort aan storingsreserve kan consequenties hebben voor het aantal storingsminuten van de RNB's. Er zullen namelijk meer klanten zijn aangesloten op het net en er zullen dus meer klanten getroffen worden. Daarnaast door de verhoogde werkdruk van de storingsdienst en onderhoudsteams, kan het langer duren voordat storingen verholpen zijn. • Het tekort kan consequenties hebben voor alle aangeslotenen, en niet alleen voor de klanten aangesloten op de storingsreserve. Elke klant kan getroffen worden door stroomuitval indien de storing plaatsvindt gedurende een periode dat de netcapaciteit ontoereikend is. De stroomvoorziening kan vervolgens slechts voor een beperktere groep getroffen klanten dan nu het geval is hersteld worden afhankelijk van de capaciteit die op dat moment nog gedeeltelijk beschikbaar is op de storingsreserve. • Ook is het de vraag of de herstelperiodes die op dit moment gehanteerd worden door de RNB's (bijvoorbeeld < 24 uur in MS-T en <72 uur in MS-D-netten bij een van de RNB's) haalbaar blijven als het aantal storingen toeneemt door toepassing van deze oplossing.
Veiligheid **4** *(Geen significante impact)*	Geen impact

Het realistisch potentieel van het accepteren van een lagere betrouwbaarheid is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van de mate van risicoacceptatie, en er grote verschillen bestaan tussen congestiegebieden.
Dit moet dus nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het realistische potentieel bedraagt 10% (in lijn met de inschatting voor HS-RNB). Omdat een brede toepassing hiervan een grote impact op de betrouwbaarheid zal hebben, is een zorgvuldige afweging tussen klantinpassing en lagere betrouwbaarheid benodigd. Daarnaast heeft een brede toepassing hiervan verregaande impact op de organisatie van de RNB, die al sterk onder druk staat.

Opheffen van belemmeringen

- De toenemende druk op storing -en onderhoudsteams kan gemitigeerd worden door een opschaling van de storings- en onderhoudsdiensten
- De lagere zichtbaarheid kan gemitigeerd worden door versneld monitoringapparatuur te installeren in congestiegebieden waar deze oplossing wordt toegepast.



5 ANALYSE LAAG-SPANNINGSNET

5.1 Congestieproblematiek en wachtrijen 82

5.2 Huidige benutting van het net 85

5.3 Analyse technische oplossingen 87

5. ANALYSE LAAGSPANNINGSNET

5.1 Congestieproblematiek en wachtrijen

5.1.1 CONGESTIEPROBLEMATIEK IN LS

De congestieproblematiek manifesteert zich in LS-netten op een andere manier dan in HS -en MS-netten, hieronder worden de belangrijkste verschillen opgesomd.

- Het onderscheid tussen invoeding en afnamecongestie is minder scherp. De gecontracteerde capaciteit binnen de aansluit- en transportovereenkomsten van kleinverbruikers staan zowel afname en invoeding toe, terwijl grootverbruikers afzonderlijke rechten moeten contracteren voor afname en invoeding van elektriciteit.
- Afgezien van nieuwbouwwijken, vindt de meeste groei in LS achter de meter plaats, dus binnen bestaande transportrechten. Deze groei, met name gerelateerd aan EV-laadpunten en warmtepompen, kent ook een hoge gelijktijdigheid. Het plaatsen in de wachtrij van aanvragen voor LS-transportcapaciteit, kan de groei enigszins beperken. Maar omdat de meeste groei achter de meter plaatsvindt, kan in tegenstelling tot HS- en MS-netten de groei in LS-netten niet (of nauwelijks) beteugeld worden door klanten in de wachtrij te plaatsen.
- Ook nieuwe kleinverbruik LS (KV LS) aanvragen voor transportcapaciteit (bijv. kleine bedrijven, nieuwbouw in bestaande wijken, upgrade van 1- naar 3-fase) werden in het algemeen gehonoreerd, ook bij bovenliggende congestie. Vanaf 2026 komt daar verandering in, mede door invoering van het prioriteringskader.
- De grootste problemen worden momenteel veroorzaakt door invoeding van fotovoltaïsche (photovoltaic of PV) energie. Dit leidt tot spanningsproblemen in de kabels, waarbij PV-omvormers af kunnen schakelen, maar ook steeds vaker tot congestieproblemen (vermogen) op de MS/LS transformator. Dat wordt deels getemperd door de afschakelende omvormers.
- Door toename van EV-laden en warmtepompen zal ook de afnamecongestie toenemen.



Doordat MS/LS transformatoren zwaar overbelast kunnen worden (en dit al plaatsvindt, zie paragraaf 5.3.1), kan de capaciteitsgroei vaak nog gefaciliteerd worden. De standaard (en enige) oplossing die momenteel gehanteerd wordt voor de congestieproblematiek is het verzwaren van het LS-net door het plaatsen van een zwaardere of extra MS/LS transformator en/of het vervangen of uitbreiden van LS-kabels. Op bepaalde locaties is vervanging ook nodig vanwege ouderdom. Deze vervangingen en uitbreidingen stuiten met name op beperkingen in uitvoercapaciteit.
De maakbaarheid richting 2030 (d.w.z. de beschikbare uitvoercapaciteit in verhouding tot de benodigde uitvoercapaciteit om alle knelpunten op te kunnen lossen) wordt door de netbeheerders geschat op 68%.

Hierbij is bovenliggende congestie geen reden om een verzwaring van een LS-net niet uit te voeren.

Voor de ontwikkeling van nieuwe woonwijken (d.w.z. nieuwe LS-netten) wordt nog wel ruimte gereserveerd zodat deze nog wel aangelegd kunnen worden, op enkele gevallen na waar sprake is van zware bovenliggende congestie.
Dit gaat naar verwachting veranderen vanaf medio 2026. In de eerste helft van 2026 wordt het nieuwe prioriteringskader geïmplementeerd door de netbeheerders en wordt het eerder aanvragen van capaciteit voor woningen uitgewerkt.

Opvallend hierbij is dat de drie RNB's onderling een beduidend andere inschatting maken van de mate van toekomstige congestie, bijvoorbeeld per 2030. Het is onduidelijk waar dit exact door veroorzaakt wordt. Mogelijke oorzaken zijn verschillen in:

- **Nettopologie:** De mate en vorm waarin congestie zich manifesteert in stedelijke gebieden wijkt sterk af van landelijke gebieden. Verschillende netbeheerders hebben een verschillende verhouding tussen stedelijke en landelijke gebieden;

- **Inschatting maakbaarheid:** De RNB's hanteren verschillende inschattingen van de maakbaarheid van netverzwaringen in LS (resp. 85%, 68%, 50%), dit betreft met name de beschikbare uitvoercapaciteit;

- **Prognosemethodiek:** RNB's hanteren weliswaar dezelfde uitgangspunten (landelijke scenario's), maar gebruiken verschillende distributiemodellen en prognosemethodieken. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 5.1.3.

5.1.2 WACHTRIJPROBLEMATIEK IN LS

Het huidige (2025) beleid van twee RNB's is om geen wachtrij voor kleinverbruik te hanteren (bijv. 1 → 3 fase upgrade, publieke laadpaal). Eén van de drie RNB's is begonnen KV LS aanvragen in de wachtrij te plaatsen (4462 KV LS transportbeperkingen per 1 sept 2025), de aanleiding hiervoor is volgens de netbeheerders vrijwel altijd bovenliggende congestie.

Waar nodig plaatsen alle RNB's grootverbruik (GV LS > 3x80A) aanvragen al wel in de wachtrij. Ook dit wordt vrijwel altijd veroorzaakt door bovenliggende congestie.

Eén van de drie RNB's gaat bij het aansluiten van een nieuwe GV LS klant, direct de MS/LS transformator verzwaren.

5.1.3 PROGNOSEMETHODIEK IN LS

De energietransitie heeft een grote impact op de huidige en toekomstige belasting van het LS-net. Dit is al te zien aan de grote hoeveelheid PV-vermogen, in de toekomst zal ook de verwachte groei in EV-laadpunten (inclusief *vehicle-to-grid)*, warmtepompen en thuisbatterijen een enorme impact hebben. Bij het opstellen van de belastingprognoses is een juiste inschatting van deze technologieën van groot belang. Het gaat hierbij zowel om het aantal (penetratiegraad en distributie) als het gedrag (belastingpatroon) van deze technologieën.

De huidige RNB-prognose van het aantal is gebaseerd op:

- Landelijke energysysteemscenario's voor de groei van deze technologieën, deze scenario's worden (vanuit Netbeheer Nederland) gezamenlijk door de netbeheerders opgesteld, in nauwe samenspraak met belanghebbenden[14];
- Specifieke distributiemodellen binnen netgebieden, deze worden door RNB's zelf opgesteld.

Het gedrag van deze technologieën is gebaseerd op:

- Grotendeels o.b.v. heuristiek, d.w.z. historische metingen van bijvoorbeeld EV-laadpunten;
- Momenteel wordt onderzocht welke aanpassingen hierin nodig zijn, rekening houdend met ontwikkelingen die tot ander gedrag zal leiden, zoals de afschaffing van de salderingsregeling, maar ook de toename in dynamische leveringscontracten;
- Er wordt nog geen rekening gehouden met toekomstige ontwikkelingen die te verwachten zijn, maar nog niet besloten, zoals de aanpassing van netwerk tariefmethodiek voor kleinverbruik of congestie management in LS.

[14] Zie: Toekomstscenario's | Netbeheer Nederland

5.1.4 DNV ANALYSE

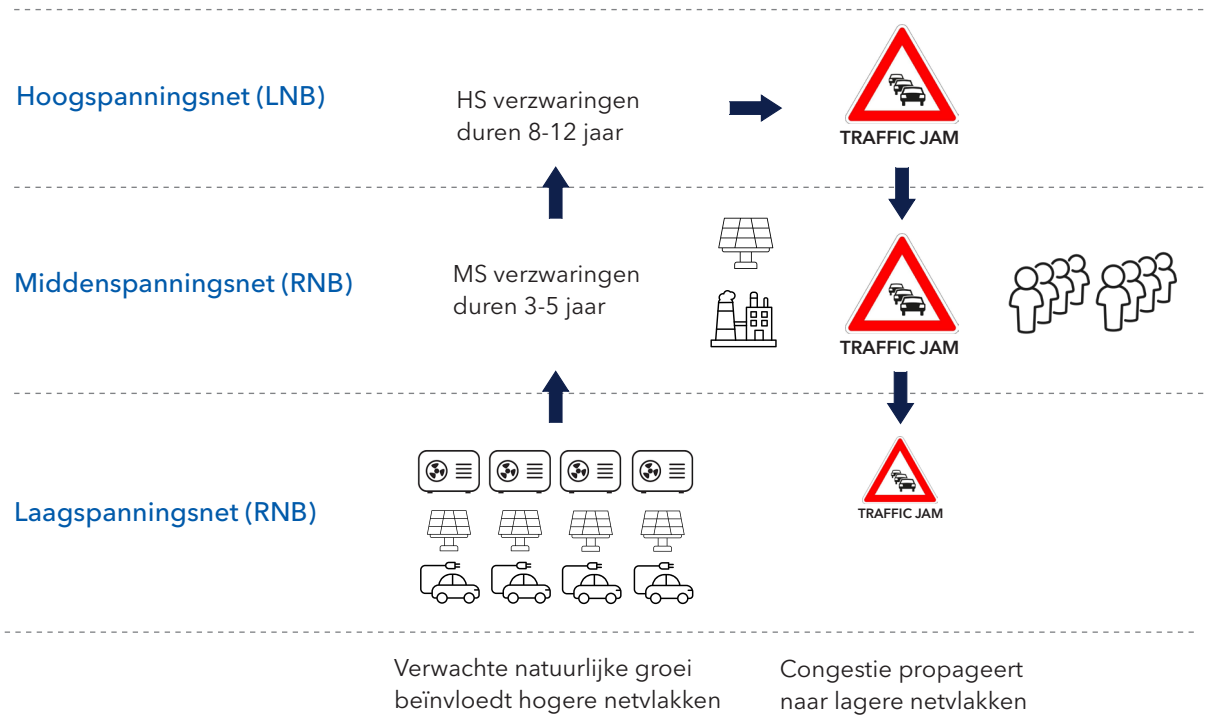
Aangezien de belastinggroei in LS voornamelijk achter de meter (binnen bestaande transportovereenkomsten) plaatsvindt, is het moeilijk deze groei te beperken. De enige oplossing die momenteel aanwezig is om aan de groeiende transportvraag te voldoen, is het verzwaren van het LS-net. Dit stuit echter op beperkte uitvoercapaciteit (68% per 2030).

Het is dus noodzakelijk om deze groei te gaan beteugelen. De verwachte congestie in LS is niet de enige reden hiervoor, de natuurlijke, toekomstige groei in LS heeft namelijk een grote impact op de congestieproblematiek (en wachtrijen) in MS en HS, zoals hieronder geschetst.

Figuur 5-1 laat zien dat de groei in verbruik en opwek in LS, een belangrijke driver voor congestie in MS en HS is. Zoals in paragraaf 3.1 aangegeven moet bij klantinpassing op HS- en MS-niveau ook rekening gehouden worden met de natuurlijke groei in LS. Aangezien netverzwaringen in het HS-net in het algemeen de langste doorlooptijd kennen, zal deze natuurlijke groei op HS-niveau het zwaarst meewegen, waardoor op HS-niveau het eerst transportschaarste optreedt. Deze congestie propageert vervolgens weer naar lagere netvlakken, MS maar ook LS.

Saillant hierbij is dat de technische oplossingen, die binnen deze studie beschouwd worden, bijdragen aan dit fenomeen. Door het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren kan de toenemende vraag (en dus impact op MS) gefaciliteerd worden. En, door de inzet van de enkelvoudige storingsreserve (in de operationele fase) op HS/MS-niveau, kan de toenemende vraag (en dus impact op HS) ook op dit netvlak gefaciliteerd worden.

Het beheersen en realistisch prognosticeren van deze natuurlijke groei is daarmee zeer belangrijk.
Hierbij opgemerkt dat de totale vraag mag groeien, maar dat de piekvraag beheerst moet worden.



FIGUUR 5-1

Impact natuurlijke groei LS op wachtrijproblematiek

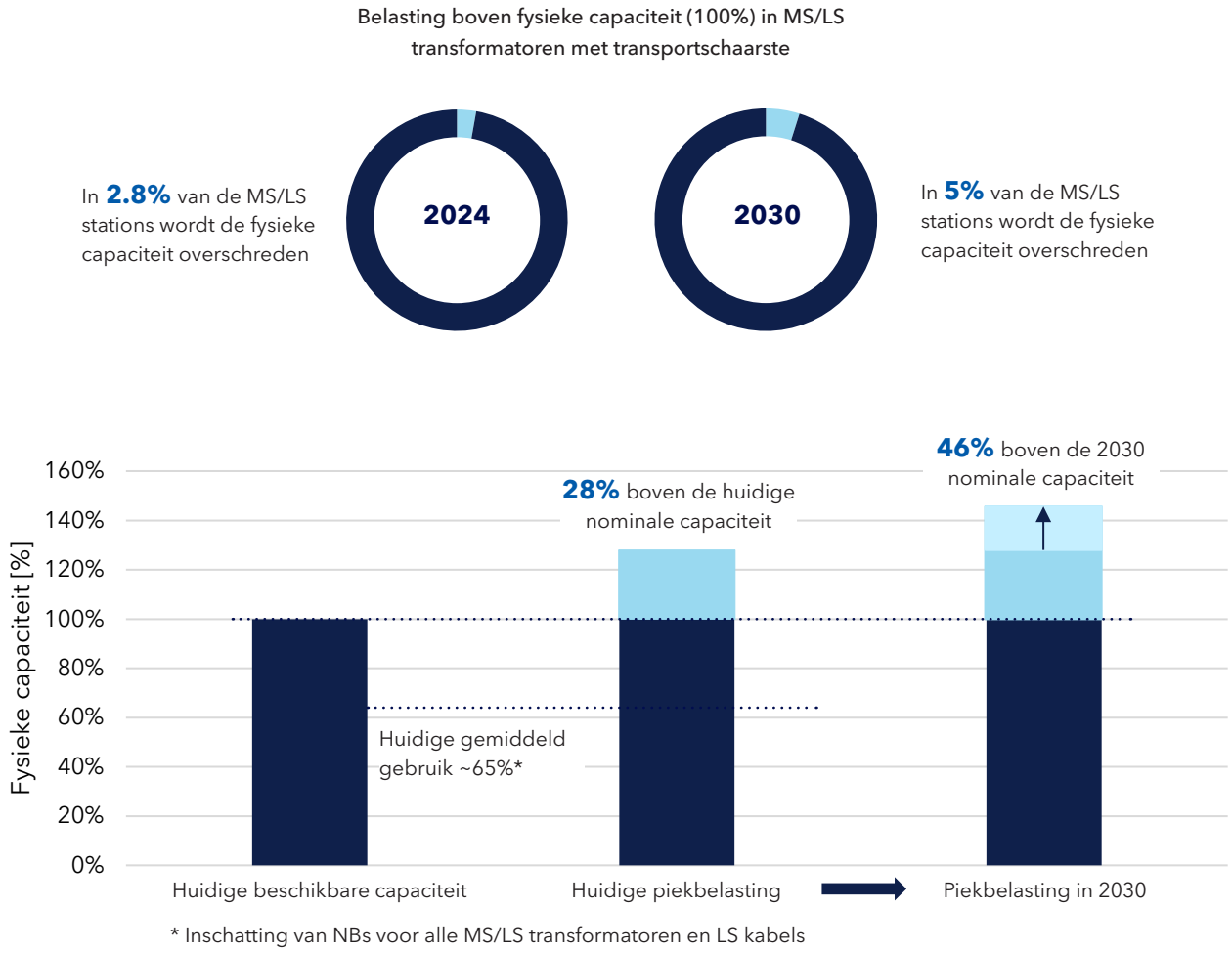
5.2 Huidige benutting van het net

Figuur 5-2 geeft de huidige benutting van het LS-net weer, specifiek voor MS/LS transformatoren, o.b.v. informatie aangeleverd door de drie RNB's. Enerzijds wordt weergegeven in hoeveel locaties de aanwezige capaciteit (o.b.v. nominale capaciteit transformator) overschreden wordt en zal worden. Anderzijds wordt de gemiddelde mate van overschrijding weergegeven voor de stations waar overschrijding plaatsvindt.

Uit de figuur blijkt dat in 2024 reeds 3% van de MS/LS-transformatoren zwaarder belast worden t.o.v. de nominale (of fysieke) capaciteit. Hierbij variëren de gegevens per netbeheerder van 1% tot bijna 5%. Het zwaarder belasten gaat tot maximaal 128% ten opzichte van de fysieke capaciteit (gemiddeld over de drie netbeheerders), waarbij het maximum per netbeheerder varieert van 120% tot 140%.

Richting 2030 zal dit toenemen naar 5% van de MS/LS-transformatoren, waarbij de gegevens per netbeheerder variëren van 1% tot 7.2%, en een maximale belasting van 146% ten opzichte van de fysieke capaciteit (gemiddeld over de drie netbeheerders), waarbij het maximum per netbeheerder varieert van 124% tot 167%. Hierbij is al rekening gehouden met geplande netverzwaringen in LS tot 2030. Hierbij opgemerkt dat overbelasting vaak optreedt bij transformatoren waar veel klanten op aangesloten zijn (stedelijke gebieden). Mocht de overbelasting tot uitval leiden dan worden dus relatief veel klanten getroffen.

Op basis van de door de netbeheerders aangeleverde informatie, blijkt dat van de LS-kabels in 2024 minder dan 1% zwaarder belast worden (d.w.z. boven de nominale capaciteit), waarbij de gemiddelde belasting 110% bedraagt. Richting 2030 blijft dit aandeel onder de 1%, waarbij de gemiddelde belasting nauwelijks toeneemt.
Zie paragraaf 5.3 voor een verdere toelichting hierop.

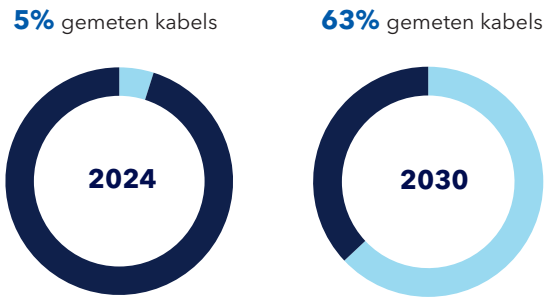


FIGUUR 5-2

Belasting boven nominale capaciteit in MS/LS transformatoren met transportschaarste

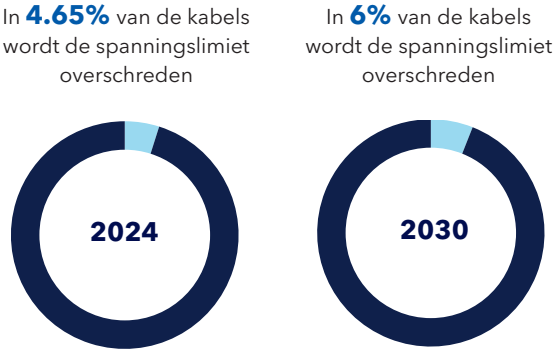
Figuur 5-3 geeft aan in welke mate de LS-kabel gemonitord en bemeten worden. In 2024 is het gemiddeld aantal bemeten LS-kabels minder dan 5%. De situatie verschilt per RNB: 1%, 4.6% en 11%. In 2030 zal dit volgens de RNB's naar verwachting groeien tot gemiddeld 63%. Dit zal de RNB's aanzienlijk meer inzicht geven in de belasting van LS-kabels, hoewel er verschillen tot 50% zijn in de verwachtingen van de drie RNB's. Een van de netbeheerders heeft aangegeven alleen in nieuwe middenspanningsruimtes (MSR's) de LS-kabels van monitoring te voorzien, voor bestaande MSR's zal de belasting van LS-kabels gemonitord worden op basis van slimme meter data (voor 75% van de kabels in 2030). Als deze vorm van monitoring meegenomen wordt, zal het gemiddeld monitoringsniveau van LS-kabels door RNB's in 2030 op 78% uitkomen.

Figuur 5-4 geeft aan in welke mate spanningslimieten worden overschreden in LS-kabels. In 2024 wordt de spanningslimiet bij gemiddeld 5% van de LS-kabels overschreden. Dit percentage zal naar verwachting stijgen tot 6% in 2030. Ook hier is rekening gehouden met netverzwaringen die tot 2030 plaats gaan vinden.



FIGUUR 5-3

Percentage van gemeten LS-kabels, in 2024 en in 2030 (gemiddeld)



FIGUUR 5-4

Percentage van LS-kabels waarbij de spanningslimiet wordt overschreden, in 2024 en 2030



5.3 Analyse technische oplossingen

Tabel 5-1 geeft de lijst van geanalyseerde technische oplossingen weer voor het LS-net, beheerd door de RNB, zoals weergegeven in Figuur 2-1. In de volgende paragrafen wordt elke oplossing verder beschreven, de huidige toepassing toegelicht, de voor- en nadelen van de toepassing geanalyseerd en de belemmering voor verdere implementatie gepresenteerd.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
Kansrijke oplossingen LS		
5.3.1	Zwaarder belasten van MS/LS componenten	De werkelijke stroom door deze componenten mag onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximum ontwerptemperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
5.3.2	Zwaarder belasten van LS-kabels	
Onvoldoende potentie of al volledig benut door netbeheerders (Appendix A)		
	Spanningsregeling - toepassen van compoundering op (HS/MS en MS/MS niveau)	Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan. De spanning kan beheerst worden via regelbare transformatoren. Dit kan zowel op HS/MS en MS/MS niveau plaatsvinden (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn al regelbaar), als op MS/LS niveau (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn echter nog niet regelbaar).
	Spanningsregeling - toepassen van automatische spanningsregeling op MS/LS niveau	Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen in het MS-net, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan.
	Monitoring – Beter inzicht t.b.v. klantinpassing	Deze oplossing bestaat uit twee elementen: (1) Het meten van de belasting van een LS-netwerkcomponent met hoge resolutie (kwartier of uurwaardes). Deze zijn op afstand uitleesbaar. (2) Het inschatten van de belasting van een netwerkcomponent op basis van metingen lager in het net, met name via slimme meter data.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
1	Zwaarder belasten van MS/LS transformatoren	De werkelijke stroom door deze componenten mag onder bepaalde (temperatuur) omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximum ontwerptemperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
2	Zwaarder belasten van LS-kabels	

TABEL 5-1

Lijst van technische oplossingen

De analyse van de volgende drie aanvullende oplossingen is opgenomen in Appendix A.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
3	Spanningsregeling - toepassen van compoundering op HS/MS en MS/MS niveau	Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan. De spanning kan beheerst worden via regelbare transformatoren. Dit kan zowel op HS/MS en MS/MS niveau plaatsvinden (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn al regelbaar), als op MS/LS niveau (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn echter nog niet regelbaar).
4	Spanningsregeling - toepassen van automatische spanningsregeling op MS/LS niveau	
5	Monitoring – Beter inzicht t.b.v. klantinpassing	Deze oplossing bestaat uit twee elementen: (1) Het meten van de belasting van een LS-netwerkcomponent met hoge resolutie (kwartier of uurwaardes). Deze zijn op afstand uitleesbaar. (2) Het inschatten van de belasting van een netwerkcomponent op basis van metingen lager in het net, met name via slimme meter data.

TABEL 5-2

Lijst van overige technische oplossingen

Aangezien er geen enkelvoudige storingsreserve aanwezig is in LS (zie paragraaf 2.2) is de inzet van de enkelvoudige storingsreserve t.b.v. het aansluiten van meer klanten op LS-net geen geschikte oplossing.

Herconfiguratie van het elektriciteitsnet is evenmin haalbaar omdat het LS-net grotendeels radiaal uitgelegd is. In een aantal grote steden zijn LS-netten nog vermaasd, maar deze worden (waar mogelijk) "ontmaasd" om de bedrijfsvoering te vereenvoudigen. Dit maakt het bijvoorbeeld gemakkelijker om fouten in het LS-net te kunnen lokaliseren. Daarnaast zijn deze niet herconfigureerbaar omdat er geen netopeningen aanwezig zijn.

5.3.1 ZWAARDER BELASTEN MS/LS TRANSFORMATOREN

5.3.1.1 Beschrijving

Het zwaarder belasten van MS/LS trafo's is vanuit technisch perspectief niet wezenlijk anders dan het zwaarder belasten van transformatoren op andere spanningsniveaus. Voor een beschrijving van deze oplossing wordt daarom verwezen naar de corresponderende paragrafen voor hoog- en middenspanning. Er zijn echter drie verschillen:

- MS/LS transformatoren zijn over het algemeen niet op afstand stuurbaar/ regelbaar en worden maar op een beperkte schaal (~ 30%) op afstand continu bemeten. Alleen een van de drie netbeheerders heeft aangegeven dat meer dan 80% van zijn transformatoren uitgerust zijn met apparatuur voor bemeten op afstand. Een andere doet dit in intelligente ruimten op ongeveer 10% van de transformatororen.
- De totale belasting, en ook het aantal klanten, achter de MS/LS transformator is beduidend lager dan bij hoog- en middenspanning. Dit betreft voornamelijk KV LS klanten.
- Er is geen storingsreserve aanwezig, een middenspanningsruimte (MSR) is niet redundant uitgevoerd.

5.3.1.2 Huidige toepassing

Het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren wordt momenteel al toegepast door de RNB's. Dit is enerzijds onderdeel van het beleid, anderzijds (in feite) onvermijdelijk. Als de totale belasting de nominale capaciteit overschrijdt, heeft de RNB geen mogelijkheden om dit te voorkomen door op afstand (een deel van) de belasting af te schakelen of anderszins. De enige huidige mogelijkheid om overbelasting te voorkomen is door tijdig het LS-net te verzwaren en/of een extra of zwaardere transformator te plaatsen. Hierbij geldt ten aanzien van het zwaarder belasten van de MS/LS transformator:

- MS/LS transformatoren worden vanuit beleid standaard al belast tot minimaal 120% van de nominale waarde. Dit beleid heeft vooral betrekking op het planningsproces (netverzwaring en klantinpassing), niet zozeer op het operationele proces.

- MS/LS transformatoren worden niet op afstand bewaakt beveiligd, maar via MS-zekeringen. Bij kortsluiting of zeer hoge/langdurige overbelasting zal de MS-zekering smelten en daardoor de stroom onderbreken. MS-zekeringen zijn trage zekeringen voor overbelastingen en grijpen pas in bij langdurige stromen groter dan de nominale capaciteit. Bij welke waarde ze ingrijpen, is afhankelijk van het gebruikte type MS-zekering.

De volgende aspecten limiteren de mogelijkheden van overbelasten:

- In de Nederlandse LS-netten krijg je bij zware belasting meestal eerst spanningsproblemen (in de kabels)en daarna pas stroomproblemen (voornamelijk in de transformator). Nog zwaarder belasten zal dus vooral tot (meer) spanningsproblemen leiden. Bij overschrijding van de bovengrens van de spanning schakelen PV-omvormers zichzelf uit, wat leidt tot een vermindering van de stroom waardoor overbelasting kan worden voorkomen.
  Bij overschrijding van de ondergrens van de spanning ontbreekt dit mechanisme, omdat een te lage spanning meestal geen problemen oplevert voor aangesloten apparaten. Het risico op uitval bij overbelasting door een te hoge vraag (afname) is daardoor hoger dan bij een te hoge invoeding.
  Hierbij zal de transformator eerder de zwakste schakel zijn dan de kabel. Het feit dat MS/LS transformatoren eerder uitvallen dan LS-kabels, komt met name door de dimensionering van de MS/LS transformatoren. De som van de capaciteit van alle LS-kabels die zijn aangesloten op één MS/LS transformator is typisch aanmerkelijk groter dan de capaciteit van de betreffende MS/LS transformator.
- De afgelopen jaren is er veel aandacht besteed aan de LS-aanraakveiligheid. Ook dit geeft eisen aan de dimensionering van het LS-net die effect hebben op maximaal toegestane (over)belastingen.

Tabel 5-3 geeft het huidige beleid weer t.a.v. het zwaarder belasten.

Tabel 5-3 geeft ten eerste aan wat een netbeheerder aan belastbaarheid accepteert en hoe. RNB1 gebruikt een kleuralarm waarbij de daadwerkelijke belasting van een transformator snel en simpel gevisualiseerd kan worden. Bij het naderen van de nominale capaciteit van de transformator wordt een geel kleuralarm afgegeven, die oranje wordt als de belasting nog verder toeneemt en zelfs rood wordt als de veilige normen zijn overschreven. Voor RNB2 en RNB3 is de belastbaarheid een vaste waarde, weliswaar voor RNB2 gespecificeerd per stationtype (een compactstation is een MS-ruimte met een transformator en aanverwante schakel-

	RNB 1	RNB 2	RNB 3
Belastbaarheid	Geel ≥ 90% voor meer dan 2 uur OF ≥ 100% Oranje ≥ 100% voor meer dan 2 uur OF ≥ 120% Rood ≥ 120% voor meer dan 2 uur OF ≥ 140%	Compact station: 110% Betreedbaar station: 10%	Generiek: 120%
Voorwaarden	Boven de 100% belasting *Distributie Automatisering Light* (DALI) installeren	LS-metingen installeren Bouwkundige ruimte moet bekend zijn Cyclisch belastingprofiel	Boven de 110% belastingstudie uitvoeren Boven de 120% reden tot afkeuring
Risico's & mitigatie	**Risico's:** 1. Invalide data 2. Te hoge belasting **Mitigatie:** 1. Periodieke lokale meting uitvoeren en datakwaliteit op orde brengen 2. Werken met kleuralarmen om tijd te hebben voor vervangings-plannen	**Risico's:** Te hoge belasting **Mitigatie:** 1. Boven 100% voorzien van LS-metingen 2. Boven 110% of 120% verzwaring of verschakeling inplannen en uitvoeren	**Risico's:** Te hoge belasting **Mitigatie:** 1. Belastingstudie 2. Afkeurlimiet om op tijd te vervangen

TABEL 5-3

Beleid t.a.v. zwaarder belasten RNB's MS/LS transformatoren

en beveiligingsmateriaal die te klein is om te betreden en een betreedbaar station is een grotere wel te betreden variant van een compactstation).

Om dit beleid uit te kunnen voeren gelden er wel wat voorwaarden, zoals dat

- er voor RNB1 een meet- en automatiseringssysteem aanwezig is in het station dat zwaarder belast mag worden,
- er voor RNB2 er een meetsysteem aanwezig moet zijn, de ruimte bekend en er sprake moet zijn van een cyclisch belastingsprofiel, en
- voor RNB3 dat er belastingstudies zijn uitgevoerd alvorens zwaarder te mogen belasten en er nooit boven 120% belast mag worden (dit is dan "afkeur").

De RNBs zien een te hoge belasting ook als risico, en mitigeren dit met studies dan wel met tijdig ingrijpen op basis van de actuele meetgegevens die beschikbaar zijn vanwege de aanwezige meet- en automatiseringssystemen.

5.3.1.3 DNV Analyse

Het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren wordt al toegepast door de RNB's. Hiermee kan de (grotendeels) natuurlijke groei tot zekere hoogte geabsorbeerd worden. Deze oplossing biedt hiermee geen aanvullend potentieel om de congestie te verzachten.

Tabel 5-3 kan de vraag oproepen waarom transformatoren niet zwaarder belast kunnen worden, teneinde de congestieproblematiek te verzachten. Deze vraag lijkt terecht, in analogie met het zwaarder belasten van transformatoren in HS en MS, waar dit inderdaad een oplossing is om meer klanten, versneld aan te kunnen sluiten. Voor LS gaat deze analogie echter niet op, zoals uitgelegd in paragraaf 5.1, en hieronder samengevat:

- In hogere netvlakken is de maximale belastbaarheid geoperationaliseerd, dat wil zeggen dat een hogere belastbaarheid niet wordt toegelaten. Enerzijds worden preventieve maatregelen getroffen om een overschrijding te voorkomen, anderzijds worden bij een overschrijding maatregelen getroffen om schade aan de transformator te voorkomen, zoals het afschakelen van belasting;
- Een belangrijke maatregel op hogere netvlakken is dat een toename van de belasting boven de maximale belastbaarheid wordt vermeden door aanvragen op de wachtlijst te plaatsen;
- In LS vindt de belastinggroei voornamelijk plaats achter de meter, waardoor de transformator boven de nominale waarde belast kan gaan worden, als deze niet tijdig vervangen (verzwaard) wordt;
- Als deze overbelasting plaatsvindt, zijn er geen maatregelen beschikbaar in de operationele fase om dit tegen te gaan. De belasting kan dus ook de waardes in de tabel overschrijden;
- Het beleid t.a.v. de maximale belastbaarheid is dus vooral relevant voor het uitvoeren van netverzwaringen (deze vinden pas plaats als de maximale belastbaarheid overschreden dreigt te worden). Vanwege het maakbaarheidsgat zullen er, naar verwachting, meer en meer transformatoren zijn die boven de waardes in de tabel belast gaan worden;
- De enige relevantie van de maximale belastbaarheid in relatie tot congestie, is gerelateerd aan nieuwe KV aansluitingen en verzwaringen van bestaande KV aansluitingen. Deze kunnen vanaf medio 2026 op de wachtlijst geplaatst worden. Het verhogen van de maximale belastbaarheid kan in theorie een oplossing zijn om dergelijke aanvragen wel uit te kunnen voeren, maar zal in de praktijk vooral op bovenliggende congestie stuiten. Daarnaast kan een verzwaring van het LS-net uitkomst bieden.

Er kan gesteld worden dat het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren vanuit het beleid van de netbeheerders al wordt toegestaan. De huidige toepassing is vooralsnog zeer beperkt omdat de vraag naar transportcapaciteit momenteel de aanwezige transportcapaciteit slechts in 2,8% van de locaties overschrijdt. De verwachting is dat deze oplossing in de toekomst meer toegepast gaat worden (5% van de gevallen in 2030, zie Figuur 5-2), mede omdat niet alle benodigde netverzwaringen in LS uitgevoerd kunnen worden vanwege het maakbaarheidsgat.

5.3.2 ZWAARDER BELASTEN LS-KABELS

5.3.2.1 Beschrijving

Het zwaarder belasten van LS-kabels is, vanuit technisch perspectief, niet wezenlijk anders dan het zwaarder belasten van kabels op andere spanningsniveaus. Voor een beschrijving van deze oplossing wordt daarom verwezen naar de corresponderende paragrafen voor hoog- en middenspanning. Hierbij zijn dezelfde verschillen aanwezig als voor MS/LS transformatoren (zie paragraaf 5.3.1).

5.3.2.2 Huidige toepassing

Zoals in paragraaf 5.2 aangegeven is de overbelasting van LS-kabels momenteel zeer beperkt, dit komt voor bij 0,1 tot 0,42% van de LS-kabelgroepen, hierbij zijn overbelastingen tot minimaal 110% acceptabel. Ook richting 2030 blijft de overbelasting van kabels, volgens de RNBs, onder 1% van alle kabelgroepen (rekening houdend met geplande verzwaringen).

De huidige problemen zijn vooral spanning-gerelateerd, voornamelijk veroorzaakt door PV-invoeding. Momenteel wordt bij ca. 5% van de kabels de spanningslimiet overschreden op ten minste één overdrachtspunt. Dit leidt met name tot het afschakelen van PV-omvormers. In 2030 zal de spanningslimiet naar verwachting op 1%, 6% en 10% van de kabelgroepen van de drie RNB's worden overschreden op ten minste één overdrachtspunt.

Het nog zwaarder belasten van kabels:

- Leidt bij opwek vooral tot spanningsproblemen, minder tot capaciteitsproblemen
- Hieraan gerelateerde capaciteitsbeperkingen worden eerder bereikt op transformatorniveau

Vergelijkbaar met MS/LS transformatoren, wordt het zwaarder belasten van LS-kabels momenteel al toegepast door de RNB's, met de nuance dat dit alleen maar gebruikt hoeft te worden als de transportvraag de aanwezige capaciteit overschrijdt. Hetgeen maar op een zeer beperkt aantal locaties het geval is. Dit is enerzijds onderdeel van het beleid, anderzijds (in feite) onvermijdelijk. Hierbij geldt specifiek ten aanzien van het zwaarder belasten van de LS-kabels:

- De afgaande LS richtingen op de laagspannings-verdeelinrichting, ook bekend als het LS-rek, worden beveiligd met zekeringen. De voedende richtingen op het LS-rek worden soms beveiligd met zekeringen. Alle zekeringen zijn ingericht op het snel uitschakelen bij een kortsluiting en tolerant voor hogere belasting dan de nominale capaciteit. Dit biedt mogelijkheden om de LS-kabels zwaarder te belasten.

- De LS-zekeringen moeten passen bij de diameter van de afgaande LS-kabel. Dat kan bijvoorbeeld een 250A zekering zijn bij een 4x150AL kabel.

- De mate van overbelasting van het LS-rek is afhankelijk van het type LS-rek, het aantal en de belasting van de afgaande LS-kabels. Zwaarder belasten kan leiden tot warmteontwikkeling in het rek die ook kan leiden tot rekbranden. Het heeft ook effect op de spanningskwaliteit bij klanten en op aanraakspanningen. Beide aspecten limiteren de mogelijkheden van overbelasten.

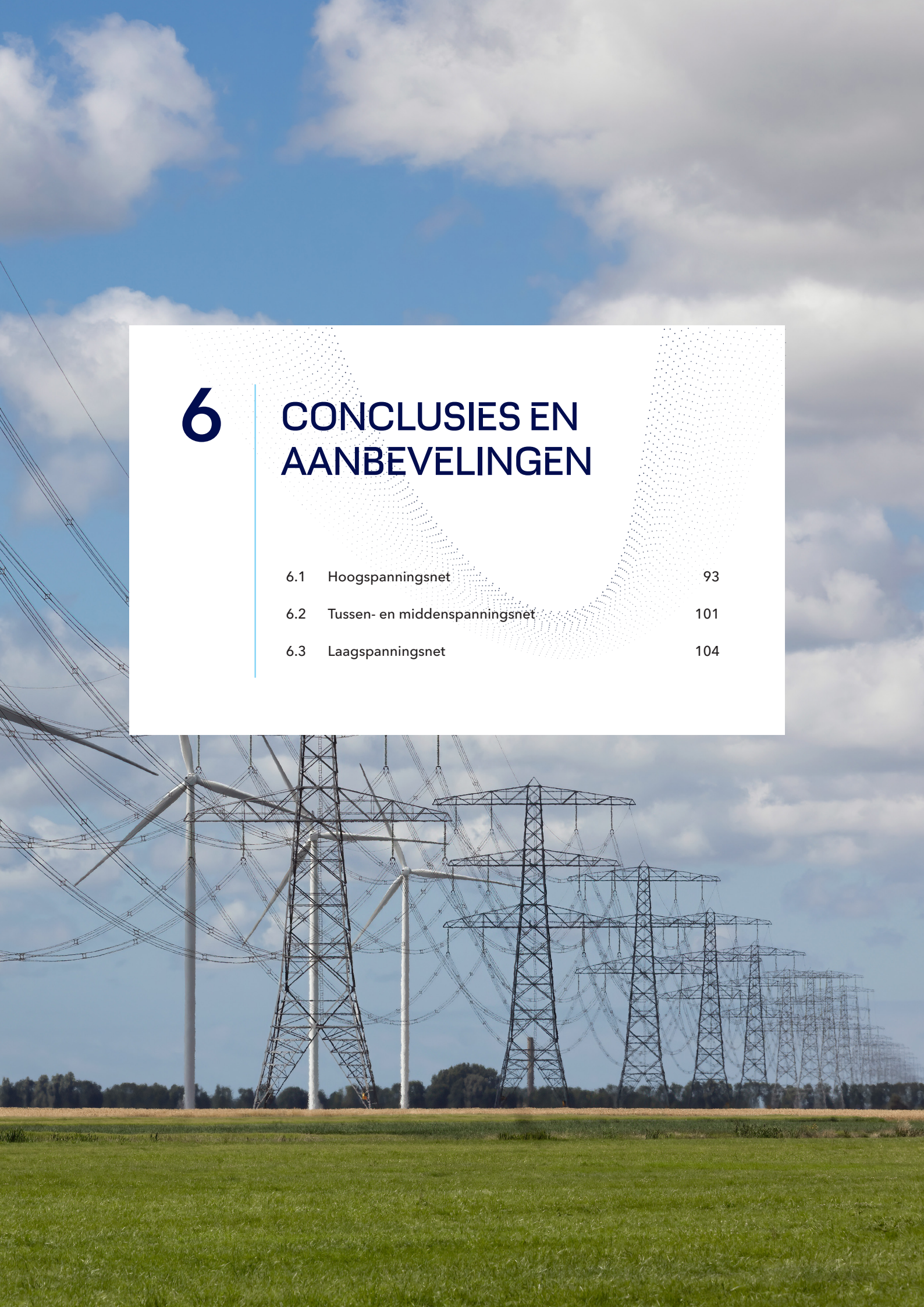
- De enige mogelijkheid die resteert is het vervangen van zekeringen met andere karakteristieken. Dit is maar zeer beperkt mogelijk, en wordt al toegepast daar waar relevant en haalbaar, c.q. waar het niet leidt tot (verhoogde) risico's met betrekking tot (aanraak)veiligheid.

5.3.2.3 DNV Analyse

Evenals voor MS/LS tranformatoren kan geconcludeerd worden dat het zwaarder belasten van LS-kabels vanuit het beleid van de netbeheerders al wordt toegestaan. De huidige toepassing is vooralsnog zeer beperkt omdat de vraag naar transportcapaciteit momenteel de aanwezige transportcapaciteit niet overschrijdt, behalve bij de huidige spanningsproblematiek gerelateerd aan PV-invoeding. De verwachting is dat deze oplossing in de toekomst meer toegepast gaat worden (tot 6% in 2030, zie Figuur 5-4), mede omdat niet alle benodigde netverzwaringen in LS uitgevoerd kunnen worden vanwege het maakbaarheidsgat.

Met het zwaarder belasten van LS-kabels kan en zal de (grotendeels) natuurlijke groei tot zekere hoogte geabsorbeerd worden. Nieuwe aanvragen worden voornamelijk beperkt door bovenliggende congestie. Deze oplossing biedt hiermee geen *aanvullend* potentieel om de congestie te verzachten.





6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Hoogspanningsnet 93

6.2 Tussen- en middenspanningsnet 101

6.3 Laagspanningsnet 104

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Hoogspanningsnet

6.1.1 HUIDIGE BENUTTING VAN HET NET

Uit de analyse van de wijze waarop de netbeheerders de grenzen van het elektriciteitsnet bepalen, en op grond van een data-analyse van congestiegebieden, kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat voor de geanalyseerde congestiegebieden er geen ruimte is om meer klanten in te passen en dat er zelfs veelal aanvullende maatregelen nodig zijn om de betrouwbaarheid van het net te kunnen garanderen Voor het LNB-net is sprake van een gemiddelde overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit aan het eind van de congestieperiode met 20%, voor de HS/MS onderstations in het RNB-net met 8%. Hierbij bedraagt de gemiddelde huidige benuttingsgraad van het HS-net in congestiegebieden 45-55%.

Wel zijn er grote inherente onzekerheden die de juiste mate van klantinpassing compliceren, zowel in de natuurlijke belastinggroei (groei binnen bestaande transportovereenkomsten), als in de ingebruiknamedatum van netinvesteringen. In dit rapport wordt verklaard hoe de hoge mate van congestie en de momenteel ogenschijnlijk lage benuttingsgraad met elkaar overeenkomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een beoordeling van de kwaliteit van de prognosemethodieken van de netbeheerders buiten de scope van deze studie valt. Hiervoor heeft EZK het aansluitoffensief traject gestart. Onze bevindingen zijn gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch en betrouwbaar zijn. Ook is niet in detail gekeken op welke wijze de LNB rekening houdt met regelbaar vermogen bij het bepalen van de toekomstige, benodigde transportcapaciteit. Ten slotte kunnen recente wijzigingen in het prioriteringskader van invloed zijn op onze conclusies.



De constatering dat aan het einde van de congestieperiode aanvullende maatregelen nodig zijn, betekent ook dat het potentieel van technische oplossingen deels aangewend zal moeten worden om de natuurlijke groei te absorberen, en dus niet volledig gebruikt kan worden om versneld meer klanten aan te sluiten. Dit maakt de toepassing van deze oplossingen niet minder relevant, maar betekent wel dat het geïdentificeerde potentieel voor beide doeleinden benodigd is. De verhouding zal verschillen per congestiegebied.

6.1.2 ZWAARDER BELASTEN HS

Het zwaarder belasten van het hoogspanningsnet biedt een significant potentieel voor klantinpassing. Een deel van dit potentieel wordt al door de LNB en de RNB's benut om de verwachte belastinggroei tot aan de netuitbreiding te faciliteren. Het resterende potentieel is nog onbenut door diverse technische, organisatorische en wettelijke belemmeringen. Per netvlak en verantwoordelijke netbeheerder(s) is het geschatte potentieel als volgt:

Landelijke netbeheerder – (Extra) Hoogspanningsnet
Naar verwachting zit in het landelijke EHS- en HS-net de potentie om 30% extra capaciteit vrij te maken voor klantinpassing. Dit kan worden gerealiseerd door componenten (voornamelijk lijnen en transformator) lokaal zwaarder te belasten met 10 tot 50% boven hun huidige beschikbare capaciteit. Een deel van dit potentieel (10-15%) is reeds gerealiseerd.

Regionale netbeheerders
In de RNB netten bedraagt de potentie in totaal ongeveer 30%. Een deel van dit potentieel (15%) is reeds gerealiseerd. Het resterende potentieel van het zwaarder belasten voor klantinpassing in de netten van de RNB's is sterk afhankelijk van de congestie op het bovenliggende net. Doordat er congestie is op 80% van het (E)HS-net, is het resterende potentieel van deze oplossing 3%. Zodra bovenliggende congestie wordt opgelost, wordt deze oplossing ook op RNB-niveau zeer relevant. Die is (exclusief bovenliggende congestie) als volgt.

In het HS-net bedraagt het resterende potentieel 15% op RNB niveau (dit betreft HS/MS-transformatoren). Hierbij is er rekening gehouden dat deze oplossing in 80% van de gevallen toegepast kan worden, vergelijkbaar met het LNB HS-net. Dit wordt bereikt doordat, afhankelijk van lokale omstandigheden en technische eigenschappen van transformatoren, deze 10 tot 50% hoger te belasten zijn dan normaal.

Het potentieel van zwaarder belasten wordt al deels door de netbeheerders benut. Hiervoor passen ze een aantal strategieën toe en zijn ze andere aan het (door)ontwikkelen.

De netbeheerders hebben de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar het zwaarder belasten van netcomponenten, hebben hier deels al beleid voor ontwikkeld, en hebben hier al eerste resultaten mee geboekt (extra klanten aan kunnen sluiten). De netbeheerders zorgen met het actualiseren van de Nederlandse Praktijkrichtlijn *voor de belastbaarheid van kabelsystemen en transformatoren* voor meer transparantie in de uitgangspunten ten aanzien van belastbaarheden van hun net.

Internationale benchmarks tonen aan dat toonaangevende netbeheerders in Europa vergelijkbare methoden toepassen om componenten in hun hoogspannings- en middenspanningscomponenten boven de nominale limieten te belasten om ruimte te creëren die (tijdelijk) benut kan worden tijdens N-1-situaties. Deze strategieën leveren deze netbeheerders percentages van zwaarder belasten op die vergelijkbaar zijn met die van de Nederlandse netbeheerders. De programma's en initiatieven van de LNB en de RNB's tot nu toe, en het al benutte potentieel, zijn als volgt:

Landelijke netbeheerder – (Extra) Hoogspanningsnet
- MaxLimit-programma, om de werkelijke belastbaarheid van alle netschakels te bepalen. Tot nu toe is er voor 10% van de schakels een 10 tot 20% capaciteitswinst gerealiseerd.
- In dit programma wordt onder meer gerekend met een verhoogde minimale windsnelheid, die gebaseerd is op waargenomen windsnelheden in Nederland, als uitgangspunt om de capaciteit van componenten te bepalen. Dit potentieel is op 50% van de lijnen vastgesteld, wat lokaal voor tot 15% capaciteitsverhoging van de hele netschakel kan zorgen, door het verkoelende effect van de wind.

Hiermee zijn de componenten nog niet boven hun nominale capaciteit belast. Daar is nog ruimte voor. TenneT heeft de volgende initiatieven gestart.

- Year Rating Curve-model (YRC), waarmee componenten lokaal tot nog eens 30% boven de MaxLimit-waarden belast kunnen worden.
- Ontwikkelen van het Dynamic Transformer Rating-model (DTR) om transformatoren cyclisch tot 20% zwaarder te kunnen belasten.
- Bovendien is ongeveer 50% van de transformatoren van TenneT voorzien van geforceerde koeling. Deze hebben standaard een hogere belastbaarheid dan transformatoren met natuurlijke koeling, hun nominale (100%) waarde is hierop gebaseerd. Door transformatoren met natuurlijke koeling van ventilatoren te voorzien, kunnen deze ook zwaarder belast worden.

Regionale netbeheerders
- Transformatoren in de HS-netten van de RNB's worden al jaren boven hun nominale capaciteit belast. Op dit moment wordt zowel statische als cyclische belasting toegepast, wat lokaal 10 tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit oplevert, verschillend per RNB.
- Eén netbeheerder staat belasting tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit toe, indien mogelijk.
- Dynamische modellen worden (door)ontwikkeld om de impact van het (lokaal) toepassen van hogere belastingwaarden en de haalbaarheid daarvan te kunnen inschatten.

Net als bij TenneT, maakt ongeveer 50% van de RNB-transformatoren (40 tot 70%, afhankelijk van de RNB) gebruik van geforceerde koeling en kan de capaciteit van de rest van de transformatoren potentieel verhoogd worden door het toepassen van ventilatoren.

Zowel de LNB als de RNB's onderzoeken ook de mogelijkheden om dynamisch te kunnen belasten (met gebruik van dezelfde YRC- en DTR-modellen als voor cyclisch belasten). Dit levert echter geen aanvullend potentieel om capaciteit vrij te maken en extra klanten aan te sluiten op het net, en wordt daarom hier verder niet behandeld.

Er ligt nog 15 tot 20% onbenut potentieel dat niet gebruikt wordt doordat er diverse belemmeringen zijn. De belemmering ten aanzien van de huidige EMC-richtlijnen is daarin cruciaal.

Hoewel netbeheerders al langere tijd zwaarder belasten toepassen, is nog altijd 15 tot 20% van het beschikbare potentieel onbenut. Dit extra vermogen kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het verkorten van wachtrijen voor transportcapaciteit en het versnellen van klantinpassing. In de praktijk blijkt echter dat een reeks belemmeringen, zowel technisch, organisatorisch als regelgevend, ervoor zorgt dat dit potentieel nog niet wordt ontsloten. Daarbij speelt ook mee dat netbeheerders tot op heden beperkt transparant waren over de mate waarin zwaarder belasten al is toegepast en welke knelpunten zij daarbij ervaren. De inzichten in dit rapport geven hier een eerste antwoord op, maar dit is een momentopname; structurele monitoring en rapportage worden geadviseerd.

De belangrijkste rem op brede toepassing van zwaarder belasten is de huidige EMC regelgeving. Bij 60–80% van de TenneT cases is eerst een EMC onderzoek nodig, met doorlooptijden van twee tot zes jaar. Hierdoor is het uitvoeren van maatregelen op schaal vrijwel onmogelijk. Ook bij RNB's is de impact groot: in circa 80% van de gevallen stuiten zwaardere belastingmogelijkheden op bovenliggende congestie, waardoor extra capaciteit in HS/MS netten nog nauwelijks kan worden ingezet voor klantinpassing en de potentie dus maar beperkt wordt benut.

Naast deze structurele belemmeringen zijn er aanvullende beperkingen:

- Ketenbeperkingen door kritieke zwakkere componenten (transformatoren, verbindingen) die de hogere belasting van het geheel verhinderen.
- Gebrek aan uniforme uitgangspunten tussen RNB's, waar verschillende belastbaarheidswaarden worden gehanteerd.
- Organisatorische complexiteit, schaarse expertise en trage IT/OT aanpassingen die implementatie vertragen.
- Beperkingen in vergunningen rond geluidsnormen, al spelen deze slechts in circa 5% van de gevallen en is de impact op het totale potentieel beperkt (~1%).
- Beperkte praktijkervaring met cyclisch (of dynamisch) belasten (YRC, DTR), waarvoor modellen nog verder ontwikkeld en gevalideerd moeten worden.

Zolang deze belemmeringen bestaan, blijft het daadwerkelijke schaalbare potentieel zeer beperkt. Door de congestie op het bovenliggende net kan effectief slechts ~3% van het potentiële extra vermogen voor klantinpassing worden gebruikt.

Het tijdig aanpassen van EMC kaders én het versnellen van de aanpak van de netbeheerders is bepalend om het beschikbare potentieel sneller te ontsluiten.

Om het resterende potentieel daadwerkelijk te benutten, moeten zowel de LNB als de RNB's hun huidige programma's versnellen en verbreden, terwijl zij tegelijkertijd afhankelijk blijven van aanpassingen in randvoorwaarden die zij niet volledig zelf kunnen beïnvloeden. Wat dit betekent voor elke partij:

Landelijke netbeheerder
Voor de LNB betekent dit dat lopende programma's zoals MaxLimit, hogere windsnelheden, Yearly Rating Curves en Dynamic Transformer Rating niet alleen moeten worden voortgezet, maar ook in tempo en schaal vergroot, en dat geforceerde koeling breder toegepast moet worden. Waar ketenbeperkingen worden veroorzaakt door zwakke componenten in verbindingen of transformatoren, zullen deze gericht vervangen moeten worden om hogere belasting van het gehele systeem mogelijk te maken. Dit is een potentieel dat nu nog niet volledig is meegenomen in MaxLimit. Verder kan de risico gebaseerde EMC aanpak op specifieke locaties worden benut om sneller ruimte te creëren, al blijft brede toepassing afhankelijk van aanpassingen die buiten de directe controle van de LNB liggen.

Regionale netbeheerders
Ook voor de RNB's geldt dat zij hun aanpak moeten verbreden. Zij moeten ervoor zorgen dat zij operationeel klaarstaan om zwaarder belasten op grote schaal toe te passen zodra de bovenliggende congestie wordt opgeheven.

Een belangrijk onderdeel daarvan is dat zij de huidige verschillen in belastbaarheidswaarden verkleinen, door harmonisatie naar hogere waarden. Dit vraagt om een minder terughoudende en selectieve benadering, maar dat er breed wordt ingezet op het verruimen van belastinggrenzen waar dit technisch verantwoord is. Daarbij horen ook het verbeteren van thermische modellen, uitbreiding van monitoring en het aanvullen van componentinformatie, zodat hogere belastingen verantwoord en reproduceerbaar kunnen worden toegepast. Net als bij de LNB moeten ook bij de RNB's geforceerde koeling verder uitgerold worden en de ketenbeperkingen worden weggenomen door kritieke componenten te vervangen, omdat deze anders de totale potentie beperken. Geluidseisen en geluiddempende maatregelen kunnen worden herzien op locaties waar zij daadwerkelijk een blokkade vormen voor klantinpassing, al is de totale impact daarvan zeer beperkt.

Wet- en regelgeving
Zowel LNB als RNB's blijven voor het breed kunnen inzetten van zwaarder belasten afhankelijk van noodzakelijke aanpassingen in de regels en procedures die de toepassing nu vertragen. De huidige EMC kaders zorgen voor langdurige, casuïstische trajecten en beperken het schaalbaar toepassen van maatregelen. Snellere en meer risico-gebaseerde besluitvorming is noodzakelijk om de beoogde versnelling mogelijk te maken.
Ook vergunningprocedures voor technische maatregelen en de evaluatiekaders die verschillende betrokken stakeholders hanteren moeten worden aangepast, zodat netbeheerders niet gehinderd worden door doorlooptijden die niet in verhouding staan tot de urgentie van de congestieproblematiek. Pas wanneer deze randvoorwaarden zijn aangepast, kunnen LNB en RNB's de opgeschaalde technische oplossingen breed toepassen en het volledige potentieel van zwaarder belasten benutten.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
8	Netbeheerders dienen hun programma's ten aanzien van zwaarder belasten te versnellen, eventueel ten koste van andere initiatieven met een lager potentieel. Omdat hiervoor de inzet van schaarse expertise benodigd is, dient dit onderdeel te zijn van de "open dialoog", alsmede het aansluitoffensief.	• Eerdere benutting van het beschikbare potentieel door LNB • RNBs kunnen dit toepassen zodra bovenliggende congestie opgeheven is	• TenneT • Regionale netbeheerders	2026
9	Netbeheerders dienen transparantie te bieden over mogelijkheden en onmogelijkheden ten aanzien van het zwaarder belasten van netschakel(s)/ onderstations via het congestieonder-zoek of vooraankondiging - dit betreft bijv. statisch/cyclisch belasten, vervangen kritische componenten, extra koeling. In de toekomst mogelijk ook de inzet van de enkelvoudige storingsreserve.	• Verhoogt zichtbaarheid op successen die netbeheerders hiermee boeken • De ACM krijgt beter zicht in welke gevallen limiet-bepalende compo-nenten niet vervangen worden • EZK/de ACM en andere belang-hebbenden krijgen beter zicht welke toepassing/oplossing verhinderd wordt door (lange) vergunnings-trajecten (of andere barrières), en kan hierin optreden.	• TenneT • Regionale netbeheerders	Per direct
10	Netbeheerders dienen meer transparantie over de veronderstelde IBN-datum netinvestering op de nemen in het congestieonderzoek, met name over de impact op de mate van klantinpassing.	ACM kan een betere afweging maken tussen de hieraan gerelateerde risico's (minder klanten aansluiten vs. dure oplossingen om N-1 te kunnen garanderen).	• TenneT • Regionale net-beheerders	Per direct

Het beleid moet gericht zijn op het versnellen van deze ontwikkelingen, gekoppeld aan een aangepaste risicoafweging

Zonder aanpassing van de EMC kaders blijven onderzoeken en vergunningstrajecten twee tot zes jaar duren, waardoor de brede uitvoering traag blijft, waardoor het beschikbare potentieel voorlopig nauwelijks benut kan worden. Wanneer de EMC belemmeringen wel worden weggenomen en bovenliggende congestie tijdig wordt opgelost, kan een eerste deel van de maatregelen al binnen één jaar worden toegepast. In dat versnelde tempo kunnen de belangrijkste programma's vervolgens binnen één tot drie jaar breder worden uitgerold. Hierdoor worden zichtbare effecten begin 2027 haalbaar en komt benutting van het volledige resterende potentieel binnen handbereik.

Met de vaststelling dat alle mogelijke opties voor zwaarder belasten worden onderzocht en voorbereid door de netbeheerders, dient het beleid gericht te zijn op het versnellen van de implementatie hiervan. De onderstaande aanbevelingen zijn hierop gericht. Een aangepaste risicoafweging maakt hier ook deel vanuit (bijv. zwaarder belasten als niet alle benodigde informatie beschikbaar is), deze komt terug in aanbeveling #2.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
1	EMC vergunningstraject, benodigd bij zwaarder belasten hoogspannings-lijnen en -kabels, dient versneld en vereenvoudigd te worden	• Versneld vergunningstraject waardoor klanten sneller ingepast kunnen worden, ofwel • Mogelijkheid om klanten al in te passen (o.b.v. quick scan), in afwachting van de uitkomst van het vergunningstraject.	• Overheid (EZK/ VRO/IenW) • Regiefunctie bij EZK	6 maanden – 2 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing
12	Vergunningstrajecten t.a.v. geluidsnormen dienen versneld of vereenvoudigd te worden	Versneld aanvragen van nieuwe milieucategorie inclusief geluidsrapport.	• Overheid (EZK/ VRO/ IenW/ VNG) • Regiefunctie bij EZK	6 maanden – 2 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing

6.1.3 GEBRUIK STORINGSRESERVE

Technisch gezien heeft deze oplossing een enorm potentieel, deze is vergelijkbaar met het potentieel van de vluchtstrook bij invoeding, welke ca. 30% additionele transportcapaciteit oplevert[15]. Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van enerzijds klantparticipatie en anderzijds risicobereidheid. Een initiële inschatting van het realistisch potentieel bedraagt 10%.

Ten opzichte van invoeding zijn er echter wel grotere belemmeringen, omdat het veel lastiger is om afname te beperken in geval van een storing (of evt. bij gepland onderhoud). Er zijn in grote lijnen twee varianten denkbaar:

1. **Curatieve N-1 oplossing:** Hierbij worden er contracten met eindgebruikers (grootverbruikers) afgesloten, waarvan het gebruik gereduceerd kan worden indien er een storing optreedt, en eventueel tijdens onderhoud Hiermee blijft de betrouwbaarheid van het net intact. De schaalbaarheid is echter zeer afhankelijk van de vraag hoeveel grootverbruikers interesse hebben in een dergelijke afspraak.
2. Het **accepteren van een lagere betrouwbaarheid** van het net. Dit betreft een tijdelijke acceptatie (gedurende de congestieperiode) op specifieke locaties (afname congestiegebieden). De inzet van de enkelvoudige storingsreserve, ten behoeve van het versneld aansluiten van klanten, zonder aanvullende maatregelen, betekent in de praktijk dat dit in uitzonderlijke omstandigheden, tot uitval kan leiden. Hierbij bestaat ook nog de mogelijkheid, als bijvoorbeeld een storing in een transformator optreedt, om de andere transformator(en) tijdelijk zwaarder te belasten.

   De kans dat een storing tot uitval leidt is daarmee klein. Maar wanneer de vluchtstrook op veel locaties wordt ingezet (zonder aanvullende maatregelen zoals curatief N-1), zal de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet lager worden. Ook kunnen aanvullende maatregelen worden getroffen om de impact van een storing te verkleinen, zoals het toepassen van dynamisch zwaarder belasten en het versneld herstellen van storingen. Dit laatste vergt echter grote organisatorisch inspanningen en aanpassingen bij de netbeheerders.

[15] Bron: https://www.tennet.eu/nl/vluchtstrook-van-het-hoogspanningsnet

Behoudens enkele uitzonderingen, wordt deze oplossing momenteel nog niet toegepast.

LNB TenneT is momenteel een pilot voor het curatieve N-1 concept aan het uitvoeren met een industriële verbruiker. Ook zijn er enkele voorbeelden van RNB's die dergelijke afspraken met datacenters hebben gemaakt.

Momenteel geldt een verplichting voor het hanteren van een enkelvoudige storingsreserve op hoogspanning (de "vluchtstrook"). Voor TenneT geldt deze verplichting ook tijdens onderhoudssituaties (waarbij vrijstellingen van kracht zijn) en voor de RNB alleen tijdens normale bedrijfsvoering (op hoofdverdeelstations moet ook tijdens onderhoud redundantie aanwezig moet zijn waarbij wordt toegestaan dat er 200MW voor een periode van 6 uur mag uitvallen). Dit betekent dat voor afnamecongestie, de enkelvoudige storingsreserve niet gebruikt wordt om meer klanten aan te sluiten, behalve in enkele situaties waarvoor een ontheffing is aangevraagd en verleend.

Binnen de huidige beleidskaders kunnen de netbeheerders meer initiatief tonen

Ondanks de afhankelijkheid van beleidswijzigingen, zien we vooral een gebrek aan initiatief rond het curatieve N-1 concept. Gezien de beperking van de bovenliggende congestie voor RNBs, is hier vooral de LNB aan zet. Aangezien dit concept in andere landen zoals België al wordt toegepast, lijkt een snelle introductie binnen 2-3 jaar, haalbaar. Dit kan gekoppeld worden aan de individuele top-50 flexafspraken die binnen het *Aansluitoffensief* opgesteld gaan worden:

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
4	1. Ontwikkel de curatieve N-1 propositie met hoge prioriteit. 2. Voer hiervoor benodigde pilots uit, parallel aan 1,3,4 3. Adresseer technische vraagstukken 4. Bepaal of dit middels een (variant op de) CBC/CSC ingevuld kan worden, of een wetswijziging behoeft (Energiebesluit).	Een curatieve propositie die voldoende interessant is voor (bestaande) industrieën die snel tot zeer snel afschakelbaar zijn. Propositie die snel schaalbaar is Propositie die onafhankelijk is van de exacte locatie binnen de nettopologie Eventuele regulatorische barrières zijn opgeheven	1. Landelijk actieprogramma netcongestie 2. TenneT en RNB's 3. TenneT en RNB's 4. EZK en de ACM	2-3 jaar

Het beleid moet gericht zijn op benodigde wetswijzigingen en de risicobereidheid

Om het curatieve N-1 concept op grote schaal mogelijk te maken en de enkelvoudige storingsreserve deels te kunnen gebruiken om meer klanten aan te sluiten, zijn wetswijzigingen nodig. Daarnaast zal voor het tweede gebruik van de enkelvoudige storingsreserve de risicobereidheid aangepast dienen te worden.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
2	Bepaal in een open dialoog met netbeheerders een herijking tussen het versneld aansluiten van klanten en de betrouwbaarheid van het net. Hierbij dienen ook de geassocieerde kosten en de druk op de netbeheerders beschouwd te worden. Bij voorkeur is dit onderdeel van de doorbraakaanpak, waarbij het risico deels overgeheveld kan worden naar EZK (bijv. via een storingsfonds).	• Netbeheerders maken ook daadwerkelijk gebruik van maatregel 3, op een maatschappelijk geaccepteerde en optimale wijze. • TenneT kan een lagere betrouwbaarheid van het eigen net, of hogere kosten accepteren t.b.v. het versneld aansluiten van klanten op het distributienet.	EZK	6 maanden
3	Maak de verplichting van enkelvoudige storingsreserve in de planningsfase tijdsafhankelijk (bijv. 99% van de tijd, waarde afhankelijk van netvlak). Hiertoe dient het Energiebesluit aangepast te worden. ndien nodig kunnen ook hersteltijden opgerekt worden.	• Netbeheerders krijgen de vrijheid om een andere afweging te maken tussen het versneld aansluiten van klanten en hoge betrouwbaarheid • Maatregel is generiek, waarbij netbeheerders de vrijheid houden om rekening te houden met specifieke condities in congestiegebieden	• EZK (wijziging Energiebesluit) • NB-NL (voorstel percentage per netvlak/spanningsniveau of anderszins, alsmede hersteltijden)	2 jaar
5	Onderzoek de mogelijkheid om bepaalde afname-klantgroepen alleen een vluchtstrook aansluiting aan te bieden in congestiegebieden, tijdens congestieperiodes.	Specifieke doelgroepen, bijv. elektrolysers en datacenters, nemen hiermee geen transportcapaciteit in.	ACM	6 maanden

Indien de vastgestelde belemmeringen niet versneld weggenomen worden, zal het (op grote schaal) toepassen van deze technische oplossingen meerdere jaren vergen en niet snel, op grote schaal, tot het versneld aansluiten van klanten leiden. Echter, aangezien het aansluiten van extra klanten in de meeste gevallen niet direct leidt tot betrouwbaarheidsissues (congestie treedt met name op tegen het einde van de congestieperiode), kan er ook voor gekozen worden om op korte termijn al extra klanten aan te sluiten, anticiperend op het in de toekomst toe kunnen passen van deze oplossingen. Deze optie zou onderdeel moeten zijn van de open dialoog die we in aanbeveling #2 hebben vermeld.

6.1.4 LNB-RNB SAMENWERKING

Een nauwere samenwerking tussen LNB en RNB is een belangrijke voorwaarde om versneld meer klanten aan te kunnen sluiten.

Hierbij richt dit onderzoek zich op de thema's verlengde vluchtstrook, gezamenlijke congestie onderzoeken en uitwissellimieten.

De netbeheerders zijn de samenwerking aan het intensiveren

- Een eerste onderzoek door TenneT en een RNB ten aanzien van de verlengde vluchtstrook is inmiddels gestart.
- De netbeheerders voeren inmiddels gezamenlijk congestie onderzoeken uit, maar dit wordt met name toegepast voor regio's waar structurele overbelasting van het regionale stroomnet dreigt, en is dus vooral gericht op het vermijden van grootschalige uitval.
- Momenteel wordt met statische uitwissellimieten gewerkt. Een van de consequenties hiervan is dat bij iedere klantinpassing door de RNB, TenneT nieuwe berekeningen moet uitvoeren. Dit leidt tot vertraging van het proces. Momenteel voeren de netbeheerders een gezamenlijk onderzoek uit naar dynamische transferlimieten om hier verbetering in aan brengen.

Binnen de huidige beleidskaders kunnen de netbeheerders de samenwerking verder versterken

- Om het potentieel van curatief N-1 te vergroten, is het aan te bevelen de verlengde vluchtstrook met prioriteit nader te onderzoeken en te testen.
- Gezamenlijke congestie onderzoeken worden nog niet toegepast voor het versneld aansluiten van klanten. Dat wil zeggen in regio's waar weliswaar congestie is afgeroepen, maar er nog geen risico op grootschalige uitval voorzien is. Gezien de noodzaak voor (en succes van) veel nauwere samenwerking, verdient dit aanbeveling.

Aanbevelingen

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
6	Gezamenlijk onderzoek, zoals nu voor de FGU-regio plaats vindt, dient voor alle regio's plaats te vinden, waar congestie op LNB-niveau leidt tot wachtrijen op het distributienet. Dit betreft zowel samenwerking bij het opstellen van prognoses, als bij mogelijke klantinpassing.	• Veel nauwere samenwerking tussen LNB en RNB. Niet ad-hoc maar gestructureerd om in alle congestie-gebieden gezamenlijk alle mogelijk-heden voor het versneld inpassen van klanten te onderzoeken. • Eventueel te ruime marges op LNB-niveau wegnemen.	• TenneT • Regionale netbeheerders	Per direct
7	Onderzoek de mogelijkheid om RNB's en aangeslotenen op het distributienet (deels/tijdelijk) aan te sluiten op de enkelvoudige storingsreserve van TenneT.	• Meer ruimte op koppelpunten voor RNB's, waarmee zij meer capaciteit (via geschikte producten) aan kunnen bieden aan hun klanten. • Breder gebruik van het N-1 curatief concept, met name als er (op bepaalde locaties) onvoldoende mogelijkheden zijn vanuit klanten die rechtstreeks op transportnet zijn aangesloten.	• TenneT • Regionale netbeheerders (met koppelpunten op transportnet)	1 jaar

Er is daarmee geen noodzaak voor een aanpassing van de beleidskaders ten aanzien van LNB-RNB samenwerking.

6.2 Tussen- en middenspanningsnet

6.2.1 HUIDIGE BENUTTING VAN HET NET

Uit de analyse van de wijze waarop de netbeheerders de grenzen van het elektriciteitsnet bepalen, en op grond van een data-analyse van congestiegebieden, kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat voor de geanalyseerde congestiegebieden er geen ruimte is om meer klanten in te passen en dat er zelfs veelal aanvullende maatregelen nodig zijn om de betrouwbaarheid van het net te kunnen garanderen tegen het eind van de congestieperiode. Voor het TS- en MS-net is sprake van een gemiddelde overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit aan het eind van de congestieperiode met 11% (MS-transformatoren) en 17% (MS-kabels). Hierbij bedraagt de gemiddelde huidige benuttingsgraad in congestiegebieden 45-55%.

Wel zijn er grote inherente onzekerheden zowel in de natuurlijke belastinggroei (groei binnen bestaande transportovereenkomsten) als in de ingebruiknamedatum van netinvesteringen. Dit compliceert een correcte inschatting van de juiste mate van klantinpassing. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een beoordeling van de kwaliteit van de prognosemethodieken van de netbeheerders buiten scope van deze studie is. Hiervoor heeft EZK het aansluitoffensief traject gestart. Onze bevindingen zijn gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch en betrouwbaar zijn. Ten slotte kunnen recente wijzigingen in het prioriteringskader van invloed zijn op onze conclusies.

Het inzicht in de actuele belasting is in het MS-net beperkt doordat van een aanzienlijk deel van de netcomponenten geen metingen beschikbaar zijn of de frequentie van de meetwaarden zeer beperkt is. De belasting in deze delen van het MS-net wordt bepaald door gebruik te maken van modellen, die de belasting berekenen. Een beter inzicht verbetert de bepaling van de belastbaarheid. Alle RNB's werken op dit moment aan verbeterde monitoring van het MS-net richting 2030.

6.2.2 ZWAARDER BELASTEN

In het TS en MS-net bedraagt het resterende potentieel 15% - 20%. Hierbij is rekening gehouden dat zwaarder belasten in 20% en 70% (voor transformatoren en kabels, respectievelijk) van de gevallen toegepast kan worden. Voor TS/MS- en MS/MS-transformatoren zijn de mogelijkheden voor zwaarder belasten vergelijkbaar met die van de HS/MS-transformatoren en kunnen deze onder dezelfde voorwaarden 10% tot 50% boven hun nominale vermogen worden belast. Dit is echter maar in 10% van de congestiegebieden toepasbaar, wat voornamelijk door de grootte van de populatie komt. Voor kabels is het potentieel groter (32%). Deze kunnen namelijk tot circa 45% boven hun nominale waarde belast worden, in maximaal 70% van de gevallen. Het potentieel van het kabelnet is het meest bepalend voor de te benutten capaciteit van het TS- en MS-net.

- Transformatoren in de HS-, TS- en MS-netten van de RNB's worden al jaren boven hun nominale capaciteit belast. Op dit moment wordt zowel statische als dynamische belasting toegepast, wat lokaal 10% tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit oplevert, verschillend per RNB. De impact van het hoger belasten van TS/MS- en MS/MS-transformatoren is beperkt, aangezien deze in minder aantallen aanwezig zijn.
- Één netbeheerder staat belasting tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit toe, indien mogelijk.
- Op dit moment passen alle RNB's (een combinatie van) statisch en cyclisch zwaarder belasten van MS-kabels toe.
- Dynamische modellen worden (door)ontwikkeld om de impact van het (lokaal) toepassen van hogere belasting-waarden en de haalbaarheid daarvan te kunnen inschatten.

Net als bij TenneT, maakt ongeveer 50% van de RNB-transformatoren (40 tot 70%, afhankelijk van de RNB) gebruik van geforceerde koeling en kan de capaciteit van de rest van de transformatoren potentieel verhoogd worden door het toepassen van ventilatoren.

Voor benutting van het potentieel gelden dezelfde afwegingen en maatregelen genoemd voor het HS-net. Waarbij de nadruk ligt op doorzetten van de huidige strategieën, op harmonisatie om door een bredere, minder selectieve aanpak hogere belastinglimieten te bereiken, en op het versnellen.

Ook voor benutten van het potentieel in het TS- en MS-net is het oplossen van bovenliggende congestie cruciaal. Bij de huidige bovenliggende congestie bedraagt het realiseerbare potentieel slechts 3%.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
8	Netbeheerders dienen hun programma's ten aanzien van zwaarder belasten te versnellen, eventueel ten koste van andere initiatieven met een lager potentieel. Omdat hiervoor de inzet van schaarse expertise benodigd is, dient dit onderdeel te zijn van de "open dialoog", alsmede het aansluitoffensief.	RNBs kunnen dit toepassen zodra bovenliggende congestie opgeheven is	Regionale netbeheerders	2026

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
12	Vergunningstrajecten ten aanzien van geluidsnormen dienen versneld of vereenvoudigd te worden (lage prioriteit vanwege de beperkte impact)	Versneld aanvragen van nieuwe milieucategorie inclusief geluidsrapport	• Overheid (EZK/ VRO/IenW/VNG) • Regiefunctie bij EZK	6 maanden - 2 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
11	Verder harmoniseren van beleid ten aanzien van zwaarder belasten van MS-netcomponenten	Meer ruimte creëren in netten waar n etbeheerders conservatievere belast-baarheidswaardes hanteren	Regionale netbeheerders	1 jaar

6.2.3 GEBRUIK STORINGSRESERVE

Technisch gezien heeft deze oplossing een enorm potentieel. Deze is vergelijkbaar met het potentieel van de vluchtstrook bij invoeding, welke circa 30% additionele transportcapaciteit oplevert. Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van enerzijds klantparticipatie, anderzijds risicobereidheid. Een initiële inschatting van het realistisch potentieel bedraagt 10%.

Dit potentieel zal voornamelijk middels de tweede variant (accepteren lagere betrouwbaarheid) bereikt worden, aangezien de Curatieve N-1 oplossing waarschijnlijk minder interessant is voor eindklanten.

1. **Curatieve N-1 oplossing:** Indien bestaande klanten van deze oplossing gebruik zouden maken, zal dit direct extra transportcapaciteit opleveren die aan klanten in de wachtrij aangeboden kan worden. RNB's hebben hier echter nog geen geschikt product voor ontwikkeld. Het huidige aanbod kent geen additionele vergoeding of compensatie, waardoor deze alleen interessant is voor klanten in de wachtrij die anders niet aangesloten kunnen worden. Een beperkende factor is dat de aansluiting op de vluchtstrook tijdens normale bedrijfsvoering niet tot fysieke congestie (incl. spanningsproblemen) mag leiden. Ook zijn de mogelijkheden beperkt om op afstand af te schakelen. Ten slotte kan een dergelijke klant mogelijk lang afgeschakeld worden, na het optreden van een storing of tijdens onderhoud.

2. Het **accepteren van een lagere betrouwbaarheid** van het net. Dit betreft een tijdelijke acceptatie (gedurende de congestieperiode) op specifieke locaties (afname congestiegebieden). De inzet van de enkelvoudige storingsreserve, t.b.v. het versneld aansluiten van klanten, zonder aanvullende maatregelen, betekent in de praktijk dat een storing in zeer specifieke situaties tot uitval kan leiden. Als deze kans klein genoeg is, lijkt deze aanvaardbaar t.b.v. van het aansluiten van meer klanten. De uitdaging zit voornamelijk in: (1) de storing moet snel genoeg verholpen kunnen worden, om de impact te minimaliseren en (2) gepland onderhoud en netverzwaringen moeten wel mogelijk blijven.
Als de risico's op uitval te groot worden ingeschat, of noodzakelijk onderhoud onmogelijk wordt, kunnen alternatieve oplossingen alsnog overwogen worden, zoals het plaatsen van mobiele batterijen. Hierbij is het raadzaam om monitoringsapparatuur te installeren, indien nog niet aanwezig.

Behalve enkele uitzonderingen, wordt deze oplossing momenteel nog niet toegepast.

In MS geldt geen expliciete verplichting vanuit wet- en regelgeving voor het hanteren van een enkelvoudige storingsreserve. De inzet hiervan stuit dus niet op regulatorische barrières. De schaalbaarheid/toepasbaarheid is vooralsnog zeer beperkt gezien bovenliggende congestie. Dit laatste kan alleen overwonnen worden door toepassing van de "verlengde vluchtstrook" (zie paragraaf 3.3.3). De curatieve N-1 oplossing wordt op kleine schaal toegepast, alleen voor klanten op de wachtlijst. Overigens wordt de enkelvoudige storingsreserve in een deel van de congestiegebieden, tijdens piekbelasting, al ingezet voor het absorberen van de natuurlijk groei. Maar nog niet structureel om meer klanten aan te sluiten.

Binnen de huidige beleidskaders zal het resterende potentieel niet gerealiseerd worden.

Het curatieve N-1 concept heeft een groter potentieel op LNB-niveau. Bij de ontwikkeling van dit concept zal daar de nadruk op moeten liggen, waarbij het nuttig is dit concept ook geschikt op MS-niveau te maken.

Voor het accepteren van een lagere betrouwbaarheid, zijn grote organisatorische inspanningen en aanpassingen bij de netbeheerders benodigd. Zoals het installeren van monitoringsapparatuur, het monitoren van de belasting, opschalen van storingsdienst en het aanpassen van noodplannen. We zien daarmee vooral terughoudendheid bij de RNB's om deze oplossing toe te passen voor het versneld aansluiten van klanten, aangezien deze oplossing al wel wordt toegepast om autonome groei te kunnen absorberen.

Om het potentieel te realiseren, dient het beleid gericht te worden op risicobereidheid

Om de enkelvoudige storingsreserve deels te kunnen gebruiken om meer klanten aan te sluiten, zal de risicobereidheid aangepast dienen te worden. Evenals voor HS, is dit een maatschappelijk vraagstuk. Deze discussie dient op korte termijn gestart te worden, zodat de RNB voorbereidingen kan treffen om dit toe te kunnen passen zodra bovenliggende congestie opgeheven is.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
2	Bepaal in een open dialoog met netbeheerders een herijking tussen het versneld aansluiten van klanten en de betrouwbaarheid van het net. Hierbij dienen ook de geassocieerde kosten en de druk op netbeheerders beschouwd te worden. Bij voorkeur is dit onderdeel van het aansluitoffensief, waarbij het risico deels overgeheveld kan worden naar EZK (bijv. via een storingsfonds).	Netbeheerders zijn bereid, in staat en gefaciliteerd om op[basis van een ander risicoprofiel, meer klanten aan te sluiten.	EZK	6 maanden

6.3 Laagspanningsnet

Op basis van de input van de netbeheerders concluderen we dat er dringend behoefte is aan oplossingen in het LS-net, omdat verzwaren stuit op beperkingen in uitvoercapaciteit (de zogenaamde maakbaarheid bedraagt slechts 68% per 2030), en de groei momenteel niet (of nauwelijks) beteugeld kan worden. In 2030 kent ca. 5% van de HS/MS transformatoren een piekbelasting van gemiddeld 145% ten opzichte van de nominale capaciteit. Dit kan vanaf 2030 tot grootschalige uitval gaan leiden.

In deze studie is vastgesteld dat er geen technische oplossingen zijn in laagspanning waarmee de congestieproblematiek verder verzacht kan worden.

- Zwaarder belasten van netwerkcomponenten word reeds toegepast. Er is geen potentieel om nog zwaarder te belasten.
- In laagspanning is geen storingsreserve aanwezig, er is daarom geen potentieel deze te benutten.
- Andere oplossingen (compoundering en monitoring) worden reeds toegepast, of hebben onvoldoende potentieel.

Dit leidt tot de conclusie dat oplossingen in het markt/klantdomein noodzakelijk zijn om de congestieproblematiek het hoofd te bieden. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Bredere acceptatie/stimulering van dynamische leveringscontracten (deze leiden in het algemeen tot net-vriendelijk gedrag)
- Nieuwe methodiek voor KV-nettarieven, met stimulering van net-vriendelijke gedrag
- Congestie management in laagspanning
- Andere manieren om flexibele technologieën aan te sturen

De analyse van deze marktoplossingen valt buiten de scope van deze studie.

Nota bene: Indien vandaag besloten wordt om per 2030 de KV-tariefmethodiek aan te passen, kunnen op basis hiervan de prognoses vanaf 2030 aangepast worden, en zal dit tot meer ruimte leiden aan het einde van de congestieperiode. Hierdoor kan per direct begonnen worden met het aansluiten van klanten in de wachtrij (incl. klanten op HS- en MS-netten), dit hoeft dus niet te wachten tot het moment dat de nieuwe tariefmethodiek van kracht is. Dus ook lange-termijn wijzingen hebben de potentie om per direct tot resultaat te leiden. Hiervoor is alleen snelle besluitvorming noodzakelijk. Dit betekent overigens wel dat het beleid consistent moet zijn, want als een dergelijke beslissing op later tijdstip teruggedraaid wordt, zijn de gevolgen mogelijk niet te overzien.

6.3.1 AANBEVELINGEN TEN AANZIEN VAN BELEID

De voornaamste aanbevelingen zijn daarmee:

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
13	Netbeheerders/EZK moeten meer haast maken met het doorvoeren van markt-/klantoplossingen in laag-spanning.	• Voldoende prikkels voor consumenten ten aanzien van net-vriendelijk gedrag • Minimaliseren van impact flexibele technologieën op piekbelasting	• EZK • Netbeheerders	6 maanden - 3 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing
14	Onderzoeken prognosemethodiek, met name een voorschot nemen op de impact van toekomstige beleids-wijzigingen (bijv. afschaffen saldering, invoering nieuwe KV-tariefmethodiek, etc.). Daarnaast kan de methodiek verder geharmoniseerd worden tussen RNB's.	Verlaagde geprognotiseerde piekbelasting (t.o.v. huidige prognoses), waardoor er ruimte ontstaat voor inpassen klanten op hogere netvlakken.	Netbeheerders	6 maanden

APPENDIX A - Overige technische oplossingen

Een aantal andere technische oplossingen is in deze studie onderzocht. Hiervan is gebleken dat deze ofwel niet geschikt zijn om toe te passen op hoogspanning, ofwel al volledig benut worden. Een korte toelichting op deze overige oplossingen is opgenomen in deze sectie.

Overige HS-oplossingen

GEAVANCEERDE STROOMSTURING

Eén van de mechanismen die de netbeheerders hebben om de aanwezige capaciteit in het net optimaal te benutten, is om het stroomverloop in het net actief te beheren. Gecombineerd gebruik van dwarsregeltransformatoren (in Engels: Phase Shifting Transformers oftewel PST's) en hoogspanning gelijkstroomsystemen (HVDC) stelt netbeheerders in staat om de stroomrichting in het EHS-net te beïnvloeden, waardoor de flexibiliteit en capaciteit toenemen zonder dat er grote uitbreidingen van de infrastructuur nodig zijn. Dit gebeurt meestal door de impedantie of het spanningsprofiel van het elektriciteitsnet aan te passen, wat gerealiseerd kan worden met gebruik van regelbare componenten zoals de PST's en de HVDC-systemen.

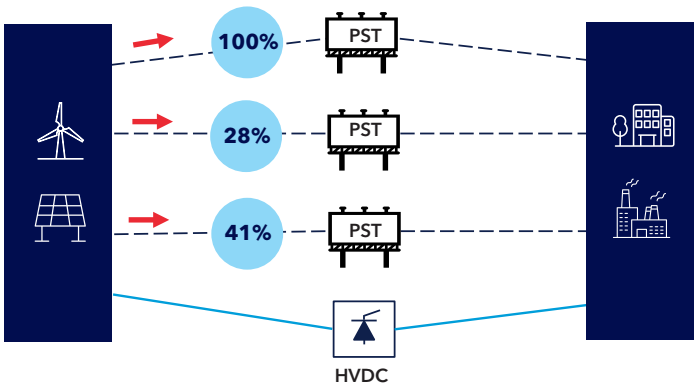
PST's kunnen vergeleken worden met slimme navigatie. De auto's veranderen hun route afhankelijk van de drukte, zodat het verkeer gelijkmatiger over alle beschikbare wegen verdeeld worden. PST's worden meestal geïnstalleerd op landsgrenzen, zoals tussen Nederland en België of Nederland en Duitsland. Ze werken door de fasehoek van de spanning te veranderen, waardoor stroom wordt omgeleid naar andere lijnen. Dit helpt om de belasting te balanceren zonder de hoeveelheid opgewekte of verbruikte elektriciteit te veranderen.

Bestaande PST's kunnen ook binnen een land worden ingezet om congestie te beheren en de netcapaciteit te vergroten.

HVDC-systemen kunnen vergeleken worden met hogesnelheidstreinen, die rechtstreeks van de ene stad naar de andere stad rijden zonder tussenstops. Ze zijn sneller, efficiënter en kunnen veel passagiers (elektriciteit) over lange afstanden vervoeren. HVDC-systemen transporteren elektriciteit als gelijkstroom en bieden verschillende voordelen ten opzichte van elektrisch transport op basis van traditionele wisselstroomsystemen. Denk aan lagere energieverliezen over lange afstanden, hogere capaciteit en de mogelijkheid om verschillende soorten AC-netwerken met elkaar te verbinden.

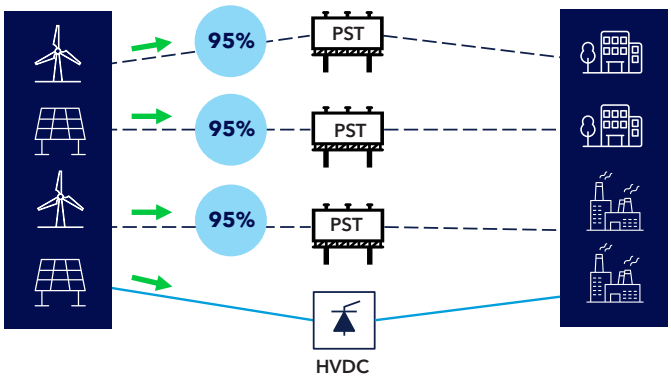
HVDC-links geven netbeheerders nauwkeurige controle over hoeveel elektriciteit, die wordt getransporteerd.

Figuur A - 1 en Figuur A - 2 illustreren hoe geavanceerde stroomsturing de efficiëntie van het elektriciteitsnet verbetert door stroom te herverdelen van overbelaste circuits naar onderbenutte circuits. Figuur A - 1 en Figuur A - 2 illustreren hoe geavanceerde stroomsturing de efficiëntie van het elektriciteitsnet verbetert door stroom te herverdelen van overbelaste circuits naar onderbenutte circuits. Stel je een slim verkeerscontrolecentrum voor dat zowel snelwegen als hogesnelheidstreinen beheert: het gebruik van PST's om auto's om te leiden en HVDC om mensen een snelle treinverbinding als alternatief te bieden. Zoals te zien is in Figuur A - 1, vóór toepassing van geavanceerde stroomsturing is de stroomverdeling ongelijk: één transmissiecircuit draagt 100% van de belasting (nominale capaciteit), terwijl de andere slechts 28% en 41% dragen (onderbenut).



FIGUUR A-1

Zonder geavanceerde stroomsturing



FIGUUR A-2

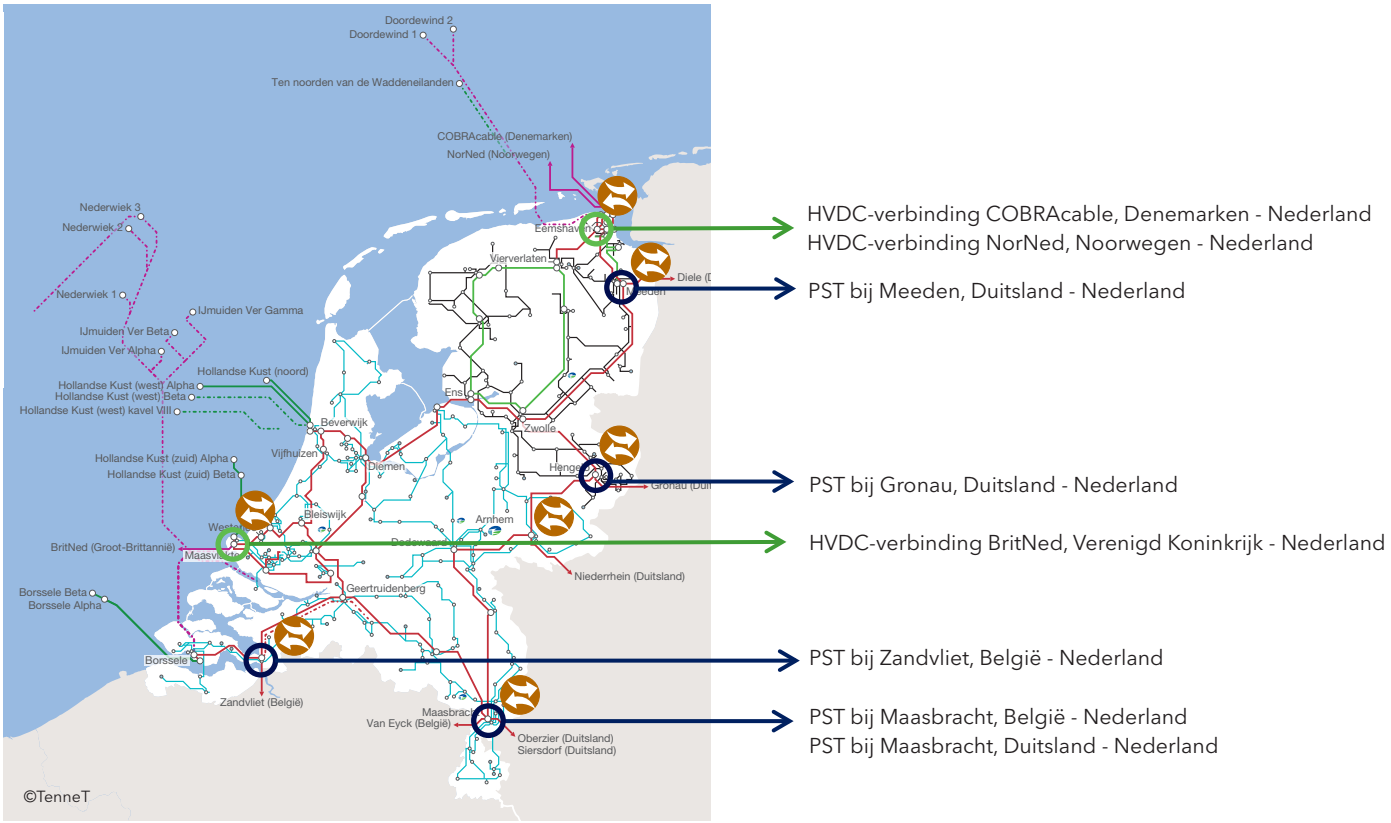
Met geavanceerde stroomsturing

Zoals te zien is in Figuur A - 1, vóór toepassing van geavanceerde stroomsturing is de stroomverdeling ongelijk: één transmissiecircuit draagt 100% van de belasting (nominale capaciteit), terwijl de andere slechts 28% en 41% dragen (onderbenut). In Figuur A - 2, na toepassing van geavanceerde stroomsturing, is de stroom gelijkmatig verdeeld en werken alle PST's dicht bij hun nominale capaciteit. In Figuur A - 2, na toepassing van geavanceerde stroomsturing, is de stroom gelijkmatig verdeeld en werken alle PST's dicht bij hun nominale capaciteit.
Deze balans wordt bereikt door PST's en HVDC-systemen slim te coördineren om stroom intelligent te herverdelen.
In Figuur A - 3 worden de bestaande locaties van PST's in Nederland en de HVDC-verbindingen met de omliggende landen weergegeven.

Gecoördineerde werking van bestaande PST's en HVDC-verbindingen kan worden gerealiseerd door het gebruik van stroomregelingssystemen (power flow controllers). Hierdoor hebben de netbeheerders de mogelijkheid om de transportcapaciteit maximaliseren zonder netcomponenten te overbelasten, ongewenste kringstromen te beheersen, de behoefte aan 'redispatch' (bijsturing van vraag en aanbod) te verminderen en de congestiekosten te verlagen.
Deze aanpak stelt netbeheerders in staat om flexibeler te reageren op veranderingen in de vraag, nieuwe klanten efficiënter aan te sluiten en beter gebruik te maken van bestaande infrastructuur. Geavanceerde stroomsturing wordt in netontwikkelingsplannen erkend als een volwassen en kosteneffectieve oplossing die geen nieuwe hoogspanningslijnen vereist.

HUIDIGE TOEPASSING

TenneT implementeert actief geavanceerde stroomsturing voor stroomsturing om netcongestie in (E)HS-netten te beheersen en grootschalige hernieuwbare energie te integreren. De primaire focus ligt op HVDC-technologie via het 2GW-programma, waarmee offshore windparken via 14 HVDC-verbindingen (zeven in Nederland, zeven in Duitsland) tegen 2032 op het landelijk net worden aangesloten. Deze systemen bieden nauwkeurige controle over vermogensstromen, verlagen de kosten van 'redispatching' en maken grensoverschrijdende flexibiliteit mogelijk. PST's worden ook ingezet op connecties met het buitenlandse net en binnen het Nederlandse net om vermogensstromen te beheren en de verdeling van wisselstroom te optimaliseren. Gecombineerde en gecoördineerde inzet van PST en HVDC wordt erkend als een ontwikkelde toepassing in TenneT's ontwikkelingsplannen voor het transmissienet, waarmee dynamische congestieverlichting en betere benutting van bestaande infrastructuur mogelijk wordt gemaakt.



FIGUUR A-3

Bestaande locaties van dwarsregeltransformatoren en HVDC-verbindingen

ANALYSE

Omdat deze oplossing, waar mogelijk al toegepast wordt, is er geen aanvullend potentieel om versneld, meer klanten aan te sluiten. Er zijn daarom geen beleidsadviezen geformuleerd, gericht op deze toepassing

Spanningskwaliteitsbeheersing

Een hoog niveau van stroomharmonischen in het net leidt tot extra verliezen in individuele componenten. Als gevolg daarvan wordt hun belastbaarheid en die van het transportnet verminderd. Door de aanwezigheid harmonischen in het net te verminderen of uit het net te verwijderen, kan de belastbaarheid van het net theoretisch worden hersteld tot de nominale waarden. Het zal echter in geen geval tot een toename van de belastbaarheid boven de nominale leiden. Er worden ook klanten in de wachtrij geplaatst vanwege de overschrijding van spanningslimieten (variatie t.o.v. de contractwaarde) op het distributienet (spanningscongestie). Oplossingen gerelateerd aan deze problematiek zal in de volgende fase van dit onderzoek uitgewerkt worden.

Herconfiguratie van het elektriciteitsnet

Dit betreft oplossingen om het bestaande net anders te configureren. Hieronder vallen o.a. het optimaliseren van de nettopologie en inpassing van "gesloten ringbedrijf". Dit zijn oplossingen voor het distributienet en zullen nader worden uitgewerkt in de volgende fase van dit onderzoek.

Risicogebaseerde klantinpassing

Bij de klantinpassing wordt een deterministische aanpak gehanteerd, d.w.z. op basis van vastgestelde aannames en scenario's wordt doorgerekend of het inpassen van de klant tijdens de operationele fase tot problemen kan leiden. De belangrijkste uitgangspunten hierbij zijn:

- Het net moet tijdens een storing of onderhoud bedreven kunnen worden zonder impact op aangeslotenen
- De belastingprognose is correct, waarbij de piekbelasting leidend is
- Een bepaalde belastbaarheid van netcomponenten
- Eventueel aanwezig regelbaar vermogen moet beschikbaar en betrouwbaar zijn

Een risico-gebaseerde klantinpassing kijkt naar de mogelijkheid dat alle uitgangspunten tegelijk ongunstig uitvallen, waarbij een bepaald risico geaccepteerd kan worden. Dit biedt de mogelijkheid om alle beschikbare marktgebaseerde en technische oplossingen in samenhang te beschouwen. Hieronder een eenvoudig voorbeeld:

- Een klantinpassing van 10 MW leidt tot een overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit 5% van de tijd in het laatste jaar voor congestie.
- Dit is gebaseerd op een bepaalde belastingprognose, waarbij er een kans van 30% is dat deze klantinpassing niet tot een overschrijding leidt.
- Preventief kan flexibiliteit worden afgeroepen, als de beschikbaarheid niet gegarandeerd is, zal dit in 50% van de gevallen de overschrijding kunnen voorkomen.
- Tijdens normale bedrijfsvoering kan de storingsreserve ingezet worden voor deze 5% van de tijd. Alleen bij een storing leidt dit tot complicaties, een dergelijke storing treedt lokaal eens in de 5 jaar op.
- Als een storing binnen deze 5% optreedt, kan de netcomponent nog zwaarder belast worden (dan volgens beleid toegestaan). Kans dat de component hierdoor faalt is 30%.

Via een dergelijke berekening kan de impact van klantinpassing op de betrouwbaarheid, gebruik makend van alle beschikbare oplossingen, bepaald worden. Hiermee kan het risicoprofiel binnen het bestaande profiel blijven (het net heeft tenslotte geen tweevoudige storingsreserve), maar ook kan een hoger risicoprofiel geaccepteerd worden.

Aangezien risico-gebaseerde klantinpassing, strikt genomen, geen technische oplossing is, wordt deze niet verder uitgewerkt in dit rapport. Wel komt de afweging tussen klantinpassing en betrouwbaarheid prominent naar voren in de analyse van de technische oplossing "inzet enkelvoudige storingsreserve".

Overige MS-oplossingen

SPANNINGSREGELING - COMPOUNDERING

Beschrijving

Zoals besproken in sectie 3.2 opereren MS-D-netten op spanningsniveaus van 10 kV tot 25 kV. De daadwerkelijke spanning op ieder punt in een MS-D-net kan echter variëren ten opzichte van het betreffende spanningsniveau. De wettelijke richtlijnen schrijven voor wat de minimum en maximum spanning ten opzichte van het nominale spanningsniveau in ieder punt van het MS-D-net is.

Figuur A - 4 geeft een voorbeeld weer van een MS-D ring met twee afgaande kabels die van elkaar gescheiden worden door een netopening. De spanning aan de eind van de kabel zal lager zijn, afhankelijk van de belasting op de betreffende kabel. Vergelijk situatie 5-5a met een groep elektrische auto's in de avondspits onderweg naar huis, die via de afrit van een snelweg naar een regionale weg kunnen. Op ieder van deze regionale weg kunnen zij vervolgens afslaan naar een lokale weg. De elektrische auto's hebben een verschillend rijbereik afhankelijk van hoeveel accucapaciteit beschikbaar is vanaf de afrit. De accu's raken steeds leger naarmate ze langer moeten rijden over de regionale weg tot de afslag naar de lokale weg. Hoe veel capaciteit er over is bij aankomst thuis, hangt onder andere af van de capaciteit die beschikbaar was vanaf de afrit.

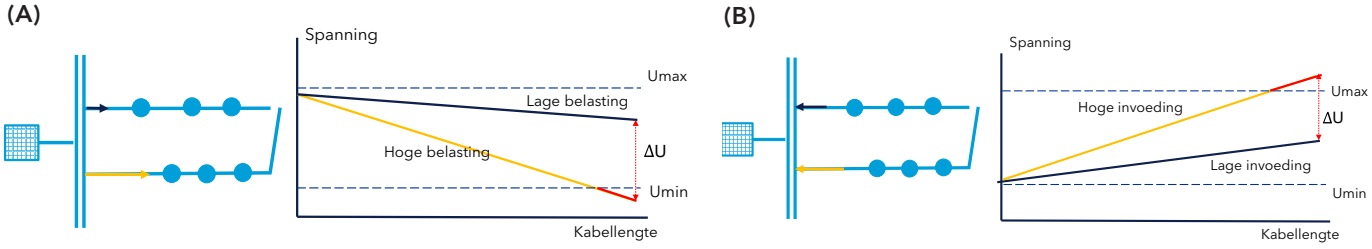
Vergelijkbaar neemt in het MS-D-net de spanning (accucapaciteit) af naarmate de stroom (auto's) een langere afstand door de kabels (regionale weg) moet afleggen. Wat de resulterende spanning aan het einde van de kabel is, hangt onder andere af van de spanning aan het begin van de kabel (afrit). Daarnaast hangt dit ook af van de hoeveelheid stroom die tegelijk getransporteerd wordt door de kabels. Bij een hoge vraag zal bij dezelfde afstand de resulterende spanning aan het eind van de kabel dus lager zijn dan tijdens periode van lage vraag. De situatie waarbij de spanning op een punt in het MS-D-net onder de wettelijk toegestane limiet is wordt onderspanning genoemd, wat kan het leiden tot het niet meer (goed) functioneren van apparaten.

Bij perioden van hoge invoeding door zonnepanelen werkt het precies omgekeerd zoals weergegeven in Figuur A - 4b. Als de elektrische auto's de volgende dag van huis vertrekken (hoge invoeding), moeten de auto's die verder van de snelweg af wonen verder zijn opgeladen om via de regionale weg met voldoende capaciteit de snelwegoprit te bereiken. Vergelijkbaar neemt de spanning (accucapaciteit) op de kabel (regionale weg) naar het einde toe. Om de stroom opgewekt door zonnepanelen in het MS-D-net richting het netstation getransporteerd te krijgen moet de spanning op ieder punt iets verhoogd worden, want stroom loopt namelijk alleen van een hoog naar lager spanningsniveau. Hierdoor loopt de spanning richting het einde van de kabel op. Als de spanning op een punt hoger is dan de wettelijk toegestane limiet spreekt men van overspanning. In de praktijk schakelt de omvormer uit waardoor invoeding gestopt wordt en verdere overspanning voorkomen wordt. In de praktijk komt het steeds vaker voor dat beide beschreven situaties zich kunnen voordoen op hetzelfde deel van het MS-D-net op verschillende momenten van de dag.

Traditioneel werden spanningsproblemen op kabels voorkomen door korte strengen te leggen en door een maximaal aantal klanten per streng (dus meer kabels) aan te sluiten. Omdat dit op het moment niet snel genoeg gaat kan compoundering een oplossing zijn op locaties waar het MS-D-net niet snel genoeg uitgebreid kan worden of waar de kosten van uitbreidingen te hoog zijn.

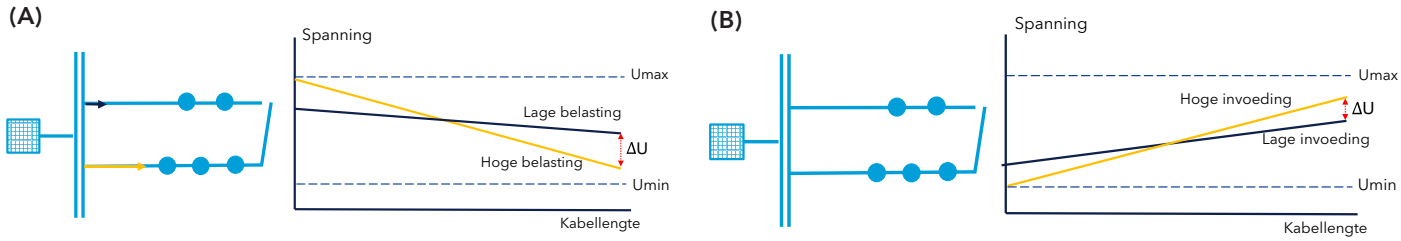
Compoundering is een techniek die wordt toegepast in middenspanningsdistributienetten (MS-D-netten) om spanningsproblemen zoals onderspanning en overspanning te voorkomen. Hierbij wordt de spanning op specifieke locaties in het net actief verhoogd of verlaagd, afhankelijk van de belasting en invoeding, zodat de spanning op ieder punt binnen de wettelijk toegestane grenzen blijft, zoals weergegeven in het besproken voorbeeld.

Door middel van vermogensregelaars kan de spanning op het onderstation automatisch aangepast worden. Zo kan bij onderspanning op de kabel de spanning op het onderstation tijdelijk worden verhoogd, en kan bij overspanning op de kabel de spanning op het onderstation tijdelijk worden verlaagd. Als gevolg van compoundering mag de spanning op het onderstation vanzelfsprekend niet te hoog of te laag worden.



FIGUUR A-4

Voorbeeld van de spanning over een MS-kabel tijdens hoge vraag (situatie A) en hoge invoeding (situatie B), waarbij de minimaal (Umin) en maximaal (Umax) toegestane spanning in een MS-D-net is weergegeven



FIGUUR A-5

Voorbeeld van de toepassing van compoundering om onderspanning en overspanning te voorkomen en het minderen van spannings-variatie (ΔU) over een MS-kabel, waarbij de minimaal (Umin) en maximaal (Umax) toegestane spanning in een MS-D-net is weergegeven

Naast de minimale en maximale spanningsniveaus die toegestaan zijn, geldt er ook dat er op ieder punt in het MS-D-net typisch een maximale spanningsvariatie van ±10% ten opzichte van de nominale spanning is toegestaan. In het voorbeeld van Figuur A - 5 waar de twee besproken situaties apart voorkomen neemt de spanningsvariatie af door toepassing van compoundering. Zoals aangekomen komt het in de praktijk steeds vaker voor dat beide situaties zich voordoen op verschillende momenten van de dag. Daardoor kan de toepassing van compoundering beperkt worden, want de toegestane spanningsvariatie kan de mate waarin de spanning verhoogd en verlaagd mag worden beperken zonder dat de minimaal en maximaal toegestane spanningslimieten overschreden worden.

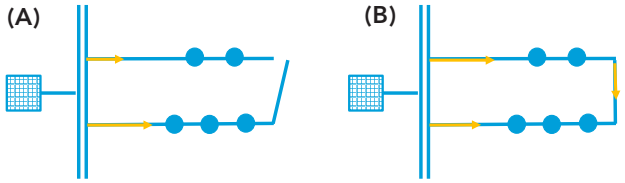
Compoundering wordt momenteel breed toegepast door de RNB op onderstations waar dit waarde heeft om de spanningsniveaus in MS-D-netten beter te kunnen handhaven. Twee RNB's geven aan dat zij compoundering niet zien als een oplossing voor congestie omdat ze of geen congestie ervaren op basis van spanningsproblemen, of dat spanningsproblemen alleen betrekking heeft op invoedingscongestie. Eén RNB geeft aan dat zij geen congestie ervaren op basis van spanningsproblemen in MS-D netten. De andere RNB past compoundering alleen toe in uitgestrekte MS-D-netten om de spanning op niveau te houden. De derde RNB geeft aan dat 50% van de MS-assets in hun verzorgingsgebied een spanningsknelpunt hebben, waarvan 22% enkel een spanningsknelpunt in het MS-D-net. Daarvan hebben deze spanningsknelpunten met name betrekking op invoedingscongestie en niet op afnamecongestie.

Er kan dus ten eerste geconcludeerd worden dat compoundering al waar mogelijk wordt toegepast. Daarnaast wordt zowel de potentie als schaalbaarheid voor de toepassing om afnamecongestie te beperken als gering ingeschat omdat compoundering met namen gericht is om de spanningsproblematiek op te lossen. Daarom zijn er geen concrete beleidsaanbevelingen voor de toepassing van deze oplossing gedaan.

NETWERK (HER)CONFIGURATIE - GESLOTEN RINGBEDRIJF

Beschrijving

Zoals in sectie 3.2 beschreven, zijn de meeste MS-D-netten ringvormig aangelegd, maar worden in de praktijk radiaal bedreven. Figuur A - 6 geeft een voorbeeld weer van een MS-D ring, waarbij de netopening geopend is en dus radiaal bedreven wordt. Figuur A - 6b geeft dezelfde MS-D ring weer, maar de netopening is gesloten waardoor dit net als een ring bedreven wordt.



FIGUUR A-6

Voorbeeld van een MS-D ring waarbij de netopening aan het eind van de twee kabels gesloten is

Files op de regionale weg zullen als eerst aan het begin van de regionale weg ontstaan, omdat het aantal auto's bij iedere afslag naar een lokale weg afneemt. Als de twee regionale wegen met elkaar verbonden worden door de open ring te sluiten, kunnen de auto's de andere afrit van de snelweg nemen als er file op één van de regionale wegen staat. Vergelijkbaar ontstaan capaciteitsproblemen in de MS-D ring als eerst aan het begin van een kabel (regionale weg). Daar is de stroom (auto's) die door de kabel loopt typisch het hoogst, omdat hier de stroom naar alle klanten die op de kabel aangesloten zijn loopt. Er kan tijdens perioden van hoge vraag en invoeding ook spanningscongestie ontstaan op de kabels, zoals toegelicht bij de oplossing met spanningsregeling door middel van compoundering.

In radiaal bedreven MS-D-netten ontstaat er op een vergelijkbare manier een ongelijke verdeling van de belasting over de kabels aan (de) weerszijde(n) van een netopening. Dit kan congestie op één van de kabels veroorzaken. Door de ring te sluiten kan de belasting zich op een natuurlijkere manier evenredig over beide kabels verdelen. Dit zou afhankelijk van de situatie, zowel capaciteitscongestie als spanningscongestie kunnen verminderen. Deze oplossing van herconfiguratie van het MS-D-net wordt gesloten ringbedrijf (GRB) genoemd.

In de praktijk hangt de potentie en schaalbaarheid van GRB sterk af van de nettopologie, type belasting(profielen) en gehanteerde criteria voor de storingsreserve. Daarnaast heeft deze manier van bedrijfsvoeren een aantal nadelen, waaronder dat het lastiger wordt om in het geval van een storing de plaats in de ring te lokaliseren waar de storing heeft plaatsgevonden. Dit leidt tot meer storingsverbruikers minuten (SVBM's) doordat het langer duurt om de storing te vinden, af te schakelen en (een deel van) de klanten weer van stroom te voorzien. Daarbij zal het vaker nodig zijn om in eerste instantie grotere delen van het net tijdens de storingen (tijdelijk) af te schakelen, totdat de storingslocatie bepaald kan worden.

Twee RNB's verwachten dat de potentie en schaalbaarheid van deze oplossing beperkt is, omdat zij nog weinig congestie in MS-D-netten kennen. Deze situatie kan gaan veranderen, maar de focus van dit onderzoek is het terugbrengen van de huidige wachtrijen. De derde RNB heeft de toepassing GRB op grote schaal in de praktijk getest. De schaalbaarheid en potentie voor het verminderen van capaciteitscongestie in hun MS-D-netten bleken in hun onderzoeken beperkt te zijn, voornamelijk vanwege verhoogde complexiteit van de bedrijfsvoering, benodigde aanvullende metingen, verhoogde SVMB's en beschikbaarheid van personeel voor o.a. implementatie in het veld. Vergeleken met oplossingen zoals het zwaarder belasten van componenten is de verwachte potentie van GRB marginaal, mede doordat er op dit moment maar één RNB is waar deze lokaal waarde kan toevoegen. Kijkend naar de impact op betrouwbaarheid, biedt het inzetten van storingsreserve met accepteren van lagere betrouwbaarheid meer potentie, mede doordat het een minder kostbare en complexe oplossing is. Er zijn daarom geen concrete beleidsadviezen ten behoeve van de inzet van deze oplossing over het hele net geformuleerd. Echter, de huidige aanpak van de derde RNB t.a.v. het toetsen van GRB voor het lokaal oplossen van congestie kan aanvullende inzichten opleveren voor bredere toepassing die niet bekend zijn ten tijde van dit onderzoek.

MONITORING - BETER INZICHT TEN BEHOEVE VAN KLANTINPASSING

In vergelijking met het HS-net is het inzicht in de actuele belasting van het MS-net beperkt doordat van een aanzienlijk deel van de netcomponenten geen metingen beschikbaar zijn of de frequentie van de meetwaarden zeer beperkt is. De belasting in deze delen van het MS-net wordt bepaald door gebruik te maken van modellen, die de belasting berekenen op basis van:

- Bekende informatie zoals gecontracteerd vermogen, gelijktijdigheidsfactoren en representatieve belastingprofielen.
- Omliggende netcomponenten die wel worden bemeten.

De installatie van meetapparatuur om meer componenten te monitoren kan helpen om een accurater beeld te krijgen van de actuele belasting in het net. In de praktijk kan dan blijken dat de componenten minder zwaar belasten worden dan berekend. Gebrek aan inzicht in het MS-net kan in die gevallen een directe belemmering vormen voor klantinpassing als er geen congestie op het HS-net is. Het is echter ook mogelijk dat de installatie van monitoring in plaats van rekenmodellen juist ongunstig kan uitvallen t.b.v. klantinpassing.

Op dit moment is de monitoring van onderstations, MS-regelstations en schakelstations op het MS-T-net relatief hoog (40%-100%), waarbij het hoogste in het (E)HS-net beheerd door de LNB. Echter, de monitoring van kabels in zowel het MS-T als het MS-D-net is vaak zeer beperkt. Indien meetapparatuur is geïnstalleerd, is monitoring niet beperkt tot het meten van het vermogen en de stroom, maar kan ook meer omvatten zoals de temperatuur, spanning, fasehoek en blindvermogen.

Technisch is het ook mogelijk om op basis van slimme meter data, belastingen in MS-netten te reconstrueren en daarmee het inzicht in de actuele belasting van het MS-net te vergroten. In praktijk wordt dit echter nog weinig toegepast door RNB's doordat er beperkte toestemming van aangesloten KV klanten is (ca. 50%-60%). Daarnaast is de reconstructie op met name MS-T-netten een uitdaging door onder andere het grote aantal klanten en de complexere netstructuren waar rekening mee moet worden gehouden. Eén van de RNB's geeft aan dat meer dan 80% van de MSR's op dit moment wordt bemeten, wat efficiënter toegepast kan worden om de belasting tot aan het MS-T-net te berekenen.

Alle RNB's werken op dit moment aan verbeterde monitoring van het MS-net. De uitvoeringscapaciteit vormt daarbij de grootste beperking voor een snellere uitrol van meer meetapparatuur. De locaties die in aanmerking komen voor de uitrol van meetapparatuur worden daarom als volgt geprioriteerd:

1. Meetapparatuur wordt als eerst geïnstalleerd op locaties met berekende congestie
2. Vervolgens op locaties met verwachte transportschaarste
3. Tot slot op overige locaties

Omdat er al plannen liggen voor de brede uitrol van meetapparatuur in het MS-net tot 2030 en een snellere realisatie hiervan met name wordt beperkt door de beschikbare uitvoeringscapaciteit, zijn er geen concrete aanbevelingen gedaan voor deze oplossing.

Overige LS-oplossingen

SPANNINGSREGELING - TOEPASSEN VAN COMPOUNDERING OP HS/MS EN MS/MS NIVEAU

De spanning op HS-MS onderstations en MS-regelstations kan ingesteld worden afhankelijk van de belasting, zodat het spanningsniveau ook in het LS-net blijft voldoen aan de geldende beleidsnormen. Dat wil zeggen dat de spanning op het onderstation verhoogd kan worden tijdens perioden met hoge vraag, zodat de spanning voor (toekomstige) klanten aan het einde van LS-kabels niet te laag wordt. De volgende randvoorwaarden zijn van toepassing voor de inpassing van nieuwe afname klanten:

- het spanningsniveau van klanten aan het begin van de MS-kabel mag de geldende beleidsnormen m.b.t. de maximaal toegestane spanningsniveau niet overschrijden;
- de spanningsvariatie op jaarbasis mag de geldende beleidsnormen niet overschrijden. Dat wil zeggen dat toepassing van compoundering door het verlagen van de spanning op het onderstation om overspanning te voorkomen tijdens perioden met hoge teruglevering, de toepasbaarheid van deze oplossing voor nieuwe afnameklanten kan beperken.

Compoundering op transformatoren in hoger gelegen netvlakken kan worden toegepast om spanningsknelpunten op het MS-net op te lossen (zie paragraaf 6.5). Hiermee kan ook de spanning verbeterd worden die als uitgangspunt aan het LS-net wordt meegegeven. Dit wordt al door twee van de drie RNB's toegepast, een derde is bezig dit in te richten/ te optimaliseren. Het optimaliseren van het spanningsniveau betekent niet dat er meer klanten ingepast kunnen worden. Op dit moment is er namelijk geen congestie op het LS-net die puur gerelateerd is aan de onderspanning. Er zijn dus geen LS-afnameklanten op de wachtlijst vanwege spanningsproblemen op het LS-net. Daarnaast is dit een weinig effectieve maatregel, de spanning kan maar op een beperkt aantal plekken gereguleerd worden op de stations in hoger gelegen netvlakken ten behoeve van de verbetering van het spanningsniveau op onderliggende MS en LS-netten. Het is daarmee veel effectiever om het spanningsniveau in de MS/LS transformator te regelen (zie volgende paragraaf).

SPANNINGSREGELING - TOEPASSEN VAN AUTOMATISCHE SPANNINGSREGELING OP MS/LS NIVEAU

Een regelbare distributietransformator (rDTR) is een MS/LS transformator voorzien van een tapwisselaar (trapstandschakelaar), die de uitgangsspanning automatisch instelt om spanningsvariaties in het net te corrigeren. De werking van een rDTR volgt hetzelfde principe voor compoundering in het MS-net. Bij een hoge vraag wordt de spanning op de rDTR verhoogd om onderspanning aan het eind van een LS-kabel te mitigeren. Bij veel invoeding wordt de spanning op de rDTR juist verlaagd om overspanning aan het einde van een LS-kabel te mitigeren.

De huidige MS/LS transformatoren zijn niet op afstand regelbaar. Veel van deze transformatoren moeten toch al vervangen/verzwaard worden. Het voordeel van het plaatsen van een rDTR is in dat geval dat dit kan voorkomen dat de uitgaande LS-kabels vervangen moeten worden.

Deze oplossing valt onder "slimmer bouwen" en is daarmee buiten scope van deze studie. Gezien de raakvlakken met de oplossing "compoundering (HS/MS en MS/MS niveau)" wordt deze voor de volledigheid kort toegelicht.

Een RNB geeft aan dat de inzet van rDTR's en snelle LS-zekeringen de benodigde kabelverzwaringen met zo'n 25-30% zou kunnen reduceren. Deze RNB geeft niet expliciet aan rDTR's toe te passen in hun netten terwijl de tweede RNB wel expliciet aangeeft deze strategie toe te passen, waar mogelijk en de derde aangeeft dit niet te doen. Reden om rDTR's niet toe te passen is dat deze RNB verwacht dat de meeste netten met spanningsproblemen, door capaciteitsknelpunten toch uitgebreid moeten worden, waardoor enkel een rDTR geen toekomstbestendige oplossing is.

De belangrijkste beperkingen zijn:

- Noodzaak voor ombouwen/vervangen van bestaande MSR's vanwege de grotere afmetingen van rDTR's
- Voor oudere dunnere netten met veel aansluitingen (groot deel van de LS-netten), is het verzwaren en splitsen van LS-kabels en het bijplaatsen van LS-voedingspunten benodigd.
- De conditie van LS-kabels is een belangrijk aspect, dus ook al worden transportbeperkingen opgelost door vervanging naar een rDTR, kan het zijn dat de kabel alsnog moet worden vervangen vanwege de conditie.

Eén RNB implementeert momenteel een spanningsregelaar (een LS/LS transformator) waarmee op specifieke, lange strengen in buitengebieden, waar enkel spanning een probleem is, de spanning beter onder controle gehouden kan worden met beperkte additionele investeringen.

MONITORING - BETER INZICHT T.B.V. KLANTINSPANNING

Het netinzicht van het LS-net is laag. Hierdoor is het wellicht lastig om te bepalen of er nog klanten aangesloten kunnen worden. Bij deze oplossing wordt bekeken of bij het toepassen van meer monitoring, meer klanten aangesloten kunnen worden.

Twee van de drie RNB's plaatsen alleen vanwege bovenliggende congestie klanten op de wachtrij. De derde heeft een zeer beperkt aantal klanten (47) op de wachtrij vanwege congestie in het LS-net, zonder bovenliggende congestie. Een betere zichtbaarheid zal daarom nu niet leiden tot meer klantaansluitingen. Aangezien er wel wachtrijen verwacht worden vanaf 2026, is het relevant om toekomstige ontwikkelingen ten aanzien van LS-monitoring te beschouwen.

Onder monitoring wordt in deze context verstaan:

(1) Het meten van de belasting van een LS-netcomponent met hoge resolutie (kwartier- of uurwaardes). Deze zijn op afstand uitleesbaar, waarbij de data gebruikt wordt voor analyse doeleinden (geen noodzaak voor real-time monitoring)

(2) Het inschatten van de belasting van een netwerkcomponent op basis van metingen lager in het net, met name middels slimme meter data. Gegeven de 90% dekkingsgraad kan, o.b.v. de netwerktopologie, de belasting van specifieke componenten met een zekere nauwkeurigheid herleid worden vanuit de slimme meter data.

De huidige status van, en de toekomstige ontwikkelingen in LS-monitoring zijn:

- Momenteel wordt 5,2% van de LS-kabels bemeten, met grote verschillen tussen RNB's
- In 2030 is dit 57%, ook dan zijn er grote verschillen tussen RNB's
- Eén netbeheerder verkiest het gebruik van slimme meter data boven het installeren van monitoring op LS-kabels in bestaande MSR's, als dit succesvol is kan gesteld worden dat in 2030 monitoring op 78% van de LS-kabels aanwezig is.

Alle RNB's zijn bezig met een uitrol van monitorapparatuur, belangrijkste belemmeringen zijn de uitvoeringscapaciteit, kosten, levering van materiaal en ruimtegebrek. Slimme Meter (SM) data is hierbij een kansrijk alternatief, op zijn minst ter overbrugging.

RNB's onderzoeken hiertoe hoe SM-data gebruikt kan worden t.b.v. LS-monitoring:

- Eén RNB heeft pilots gedaan en gaat opschalen;
- Een tweede RNB ontwikkelt dit, resultaten worden in 2026 verwacht, met de verwachting dit in 2030 toe te kunnen passen op max. 73% van de LS-velden;
- Een derde RNB meldt alleen dat er plannen hiertoe zijn.

Beperkingen in het gebruik van slimme meter data ten behoeve van LS-monitoring zijn:

- Lastig om te implementeren voor vermaasde netten (zoals aanwezig in een aantal steden);
- Momenteel (2025) mag 60% van de profielen hiervoor gebruikt worden. Als de nieuwe allocatiemethode operationeel is (per 2026) levert dit 90% zichtbaarheid op, en is deze beperking grotendeels opgeheven;
- Gebruik van SM-data is alleen toegestaan bij kabels met minimaal 5 aansluitingen vanwege regelgeving op het gebied van privacy.

APPENDIX B
Beoordelingsmethodiek technische oplossingen

Voor de analyse van de technische oplossingen in paragraaf Analyse technische oplossingen is een kwalitatieve beoordelingsmethodiek toegepast, deze is in onderstaande tabel nader toegelicht.

	1	2	3	4	5
CAPACITEIT Biedt de technologie voldoende capaciteit om de aansluting van klanten op de wachtlijst te versnellen?	< 5% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	10-15% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	10-15% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	15-25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	>25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt
SCHAALBAARHEID Kan het in elke situatie worden toegepast of alleen op specifeke locaties/tijdstippen?	Geschikt voor minder dan 5% van de situaties	Geschikt voor 5-20% van de situaties	Geschikt voor 20-50% van de situaties	Geschikt voor de meerderheid van de situaties (50-80%)	Geschikt voor (bijna) alle situaties (80-100%)
KOSTENEFFECTIVITEIT Staan de operationele/implementatiekosten in verhouding tot de baten (maatschappelijk perspectief)?	> 500 k€/MW per jaar ≈ bruto maatschappelijke kosten	250-500 k€/MW jaarlijks ≈ netto maatschappelijke kosten	100-250 k€/MW jaarlijks ≈ netwerktarieven	40-100 k€/MW jaarlijks ≈ netto baten	< 40 k€/MW jaarlijks ≈ netto voordelen
COMPLIANT MET REGELGEVING Zijn substantiële wijzigingen van het regelgevingskader nodig?	Grote wijzigingen nodig, zeer politiek	Grote wijzigingen nodig, enigszins politiek	Beperkte wijzigingen, enigszins politiek of groot/nauwelijks	Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek	Geen wijzigingen nodig
TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL) Is de technologie voldoende volwassen/kan de markt deze technologie of dienst leveren?	TRL 7	TRL 8	TRL 9, nog niet toegepast voor versnelde netaansluitingen	TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen, minder dan 5 jaar	TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen tingen meer dan 5 jaar
TIJD OM TE IMPLEMENTEREN Hoe snel kan de oplossing worden geïntroduceerd?	Meer dan 36 maanden	24-36 maanden	12-24 maanden	6-12 maanden	Minder dan 6 maanden
ORGANISATORISCHE IMPACT Hoeveel inspanning zal de organisatie van de SO moeten leveren voor het ontwerpen, implementeren en gebruiken van de oplossing (personeel en IT/OT-aanpassingen)?	Vereist aanzienlijke organisatorische veranderingen, ontwikkeling van nieuwe competenties en IT/OT-aanpassingen	Vereist ofwel de invoering van nieuwe processen of de ontwikkeling van nieuwe competentie	Vereist ofwel de invoering van nieuwe proessen of de ontwikkeling van nieuwe competentie	Vereist kleine veranderingen in organisatorische processen of beperkte ontwikkeling van nieuwe competentie	Vereist kleine veranderingen in bedrijfsprocessen, interne teamstructuren, nieuwe competenties
OPERATIONELE COMPLEXITEIT In welke mate worden real-time operaties beïnvloed door de oplossing?	Toename in complexiteit is substantieel met (te) hoge risico's voor RT operaties	Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/geïmplementeerd worden	Toename in complexiteit is beperkt en beheersbaar	Kleine impact, nauwelijks extra complexiteit	Geen effect op RT-operaties
BETROUWBAARHEID Heeft het invloed op de betrouwbaarheid van het net (storingsminuten)?	Grote impact, geen geschikte mitigatie beschikbaar	Substantiële impact, mitigatie is denkbaar maar kostbaar of complex	Marginale impact, of er bestaan duidelijke mitigatiemogelijkheden	Geen significante impact	Verbetert de betrouwbaarheid van het het
VEILIGHEID Heeft het een invloed op de veiligheid en/of (cyber)beveiliging van het net?	Grote impact, geen geschikte mitigatie beschikbaar	Substantiële impact, mitigatie is denkbaar maar kostbaar of complex	Marginale impact, of er bestaan duidelijke mitigatiemogelijkheden	Geen significante impact	Verbetert de veiligheid/ beveiliging van het net

ABOUT DNV

DNV is an independent assurance and risk management provider, operating in more than 100 countries, with the purpose of safeguarding life, property, and the environment. Whether assessing a new ship design, qualifying technology for a floating wind farm, analysing sensor data from a gas pipeline, or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to manage technological and regulatory complexity with confidence. As a trusted voice for many of the world's most successful organizations, we use our broad experience and deep expertise to advance safety and sustainable performance, set industry standards, and inspire and invent solutions.

In the energy industry

DNV provides assurance to the entire energy value chain through its advisory, monitoring, verification, and certification services. As the world's leading resource of independent energy experts and technical advisors, the assurance provider helps industries and governments to navigate the many complex, interrelated transitions taking place globally and regionally, in the energy industry. DNV is committed to realizing the goals of the Paris Agreement, and supports customers to transition faster to a deeply decarbonized energy system.

Disclaimer
All information is correct to the best of our knowledge. Contributions by external authors do not necessarily reflect the views of the editors and DNV.
All rights reserved. DNV 04/2026

DNV Netherlands B.V.
Utrechtseweg 310-B50
6812 AR Arnhem, the Netherlands
Tel: +31 26 3569111
Email: contact.energysystems@dnv.com
www.dnv.com

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Verzachten neveneffecten financieel instrumentarium op netcongestie

Een verkenning van aanpassingen aan het financiële instrumentarium van RVO, ten behoeve van het verminderen van de impact op netcongestie.

In opdracht van het ministerie van Klimaat en Groene Groei



Inhoudsopgave

Managementsamenvatting 3

Inleiding 5

Deelvraag 1 - Stimuleringsregelingen met invloed op netbelasting 9

Deelvraag 2 – Netcongestiemitigerende aanpassingen 12

- Algemene, thema-overstijgende aanpassingen 14
- 1. Energiebesparing 15
- 2. Flexibiliteit 16
- 3. Elektrisch vervoer op land en luchtvaart 18
- 4. Maritiem 19
- 5. Opwek elektriciteit 21
- 6. Verduurzaming industrie 23
- 7. Glastuinbouw 24
- 8. Elektrolyse 25
- 9. Warmte en warmtenetten 26
- Samenvatting aanpassingen en mogelijke aanvullende regelingen 27

Deelvraag 3 – Oplossingen voor ondernemers binnen het financieel instrumentarium 28

- Regelingen voor ondernemers die te maken krijgen met netcongestie 28
- Regelingen voor ondernemers om bij te dragen aan het ontlasten van het elektriciteitsnet 30

Conclusies 31

Aanbevelingen 33

Bijlagen 36

- Bijlage 1: Lijst van niet geselecteerde regelingen in fase 2 37
- Bijlage 2: Omschrijvingen onderzochte regelingen 38
- Bijlage 3: Bestaande netcongestiemitigerende maatregelen en maatregelen die doorgevoerd gaan worden 41

Managementsamenvatting



Veel van het energie- en klimaatbeleid van de Rijksoverheid wordt uitgevoerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). We werken voor verschillende ministeries aan het energiezuiniger, klimaatbestendiger en toekomstbestendiger maken van de energiesector, bedrijven en de industrie, woningen en gebouwen, en verkeer en vervoer. Daarbij zetten we een breed scala aan instrumenten in, waarvan financiële regelingen een belangrijk onderdeel vormen. Vanuit de uitvoeringspraktijk bieden we inzicht in de samenhang en impact van beleidsinstrumenten, en adviseren we over het vergroten van hun doelmatigheid en doeltreffendheid.

Netcongestie vormt een belemmering voor het behalen van de energie- en klimaatdoelen. Ook in de uitvoering van regelingen merkt RVO dat netcongestie een steeds grotere invloed heeft op de uitvoerbaarheid en effectiviteit ervan. In sommige gevallen kunnen regelingen zelfs onbedoeld bijdragen aan een hogere belasting van het elektriciteitsnet. Om deze neveneffecten van bestaande regelingen te beperken, zijn al verschillende ad-hocaanpassingen doorgevoerd, onder meer op het gebied van teruglevering van zonnepanelen.

Om de neveneffecten van financiële regelingen op netcongestie verder te beperken, heeft RVO in opdracht van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei en het Landelijk Actieprogramma Netcongestie verkend welke aanvullende aanpassingen binnen bestaande regelingen mogelijk zijn. Daarbij gold als randvoorwaarde dat het specifieke doel van deze regelingen niet wordt gewijzigd, aangezien deze doelen het domein zijn van politieke en beleidsmatige afwegingen. Deze randvoorwaarde maakt dat maatwerk noodzakelijk is om mogelijke aanpassingen zorgvuldig en in samenhang vorm te geven, zodat én beleidsdoelen overeind blijven én netcongestie zoveel mogelijk wordt beperkt. Het onderzoek biedt géén handreiking om de problematiek rondom netcongestie in zijn geheel op te lossen.

Het onderzoek is gestart als een brede scan van alle nationale financiële stimuleringsregelingen die raken aan netcongestie. Vanuit deze brede inventarisatie is ingezoomd op regelingen die voor dit onderzoek het meest relevant zijn.

De meest kansrijke aanpassingen vragen voorbereiding en zijn niet direct breed toepasbaar, maar kunnen dat in de toekomst mogelijk wel zijn. Het gaat om:

1. Verplicht of stimuleer het gebruik van flexibele contractvormen.
Pas dit toe binnen regelingen, met aandacht voor de beschikbaarheid van deze contracten in de praktijk.

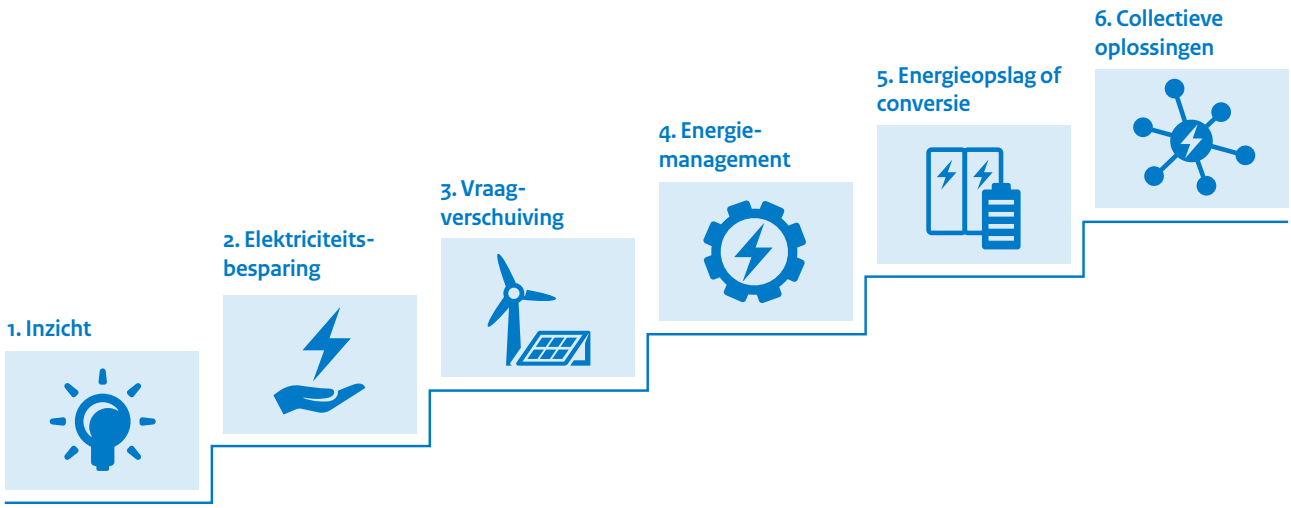
2. Sluit in regelingen aan op normen voor slimme aansturing van elektrische apparaten.
Stimuleer onder andere slimme warmtepompen en laadinfrastructuur door aan te sluiten op (te ontwikkelen) normen. Het uiteindelijke gebruik bepaalt het effect op netcongestie.

3. Overweeg voorwaarden bij de stimulering van batterijen.
Stel technische voorwaarden aan batterijen en aan de inzet ervan binnen regelingen, om netcongestie en piekbelasting te beperken.

In de marge van het onderzoek naar mogelijke aanpassingen van regelingen is verkend welke handelingsperspectieven ondernemers hebben om met netcongestie om te gaan. Deze lopen uiteen van het verkrijgen van inzicht in het eigen verbruiksprofiel tot collectieve oplossingen zoals energiehubs, zoals weergegeven in de interventieladder hieronder. Per trede is bezien in hoeverre bestaande instrumenten ondernemers bij deze stappen kunnen ondersteunen.

Het onderzoek laat wel zien dat er momenteel relatief weinig instrumenten zijn die primair gericht zijn op netontlasting via flexibiliteit. De recent ingevoerde Flex-e-regeling vormt hierop een belangrijke uitzondering.

Interventieladder netcongestie – stappen voor ondernemers die te maken hebben of krijgen met netcongestie



Via het Loket Netcongestie van RVO zijn verschillende oplossingsrichtingen voor ondernemers te vinden die te maken hebben met netcongestie. Het Loket vormt daarmee een aanvullend instrument binnen de bredere inzet van RVO op dit thema.

Naast de hiervoor genoemde kansrijke aanpassingen bevat het onderzoek een aantal algemene aanbevelingen voor beleidsdepartementen en RVO (tenzij anders aangegeven). Deze zijn in het rapport verder geconcretiseerd.

- Pas maatwerk toe per regeling en per openstelling;
- Betrek en/of informeer netbeheerders tijdig bij ontwikkeling van nieuwe regelingen of nieuwe openstellingen van regelingen;
- Versterk kennisuitwisseling binnen RVO en tussen ministeries;
- Blijf ontwikkelingen rond slimme sturing en flexibele contractvormen actief volgen;
- Maak het stellen van netcongestiegerelateerde voorwaarden een expliciete en onderbouwde keuze;
- Stimuleer netbewust gedrag bij subsidieaanvragers;
- Wees alert op het feitelijke gebruik van gesubsidieerde installaties;
- Verzamel en deel praktijkoplossingen uit gesubsidieerde projecten;
- Neem relevante mogelijkheden voor ondernemers die te maken hebben met netcongestie op in het Loket Netcongestie van RVO;
- Overweeg vervolgonderzoek naar niet-financieel instrumentarium.



Inleiding

Aanleiding

De Rijksoverheid, waaronder de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), ondersteunt ondernemers om stappen te zetten die bijdragen aan maatschappelijke doelen. Dit kan onder andere via financiële stimuleringsregelingen zoals subsidies. Maatschappelijke doelen zijn bijvoorbeeld verduurzaming en CO_2-reductie ten behoeve van het klimaat. Een regeling kan bedrijven bijvoorbeeld helpen om over te stappen van gas naar elektriciteit. Een neveneffect hiervan is dat deze bedrijven meer elektriciteit gaan verbruiken en zo het elektriciteitsnet belasten. Als dit het geval is, heeft de regeling impact op de netcongestieproblematiek. Op piekmomenten (bij grote elektriciteitsvraag of -aanbod) is er soms onvoldoende ruimte op het net, waardoor nieuwe aansluitingen of verzwaringen van bestaande aansluitingen niet mogelijk zijn.

Op allerlei manieren wordt er gewerkt aan het mitigeren van netcongestie, onder andere door het versnellen van de bouw, het beter benutten van het bestaande net en het verkrijgen van beter inzicht in elektriciteitsgebruik. Uit diverse rapporten, waaronder het rapport van bestuurlijk aanjager Schouw[1] en de Rapportage Flexibilisering Bedrijven en Instellingen[2] blijkt dat er behoefte is aan een analyse van het huidige (subsidie)-instrumentarium en de impact hiervan op netcongestie. Hoewel elektrificatie en verduurzaming wenselijk blijven, zijn er mogelijk manieren te vinden om de huidige regelingen aan te scherpen zodat zij bijdragen aan het mitigeren van netcongestie, of in ieder geval het niet verergeren. Tegelijkertijd is het voor ondernemers niet altijd duidelijk op welke wijze (subsidie-)regelingen hen kunnen helpen wanneer zij met netcongestie worden geconfronteerd.

In dit onderzoek wordt daarom onderzocht 1) welke financiële stimuleringsregelingen uitgevoerd door RVO positief en/of negatief bijdragen aan netcongestie, 2) welke mogelijke aanpassingen gedaan kunnen worden om de huidige regelingen aan te scherpen om bij te dragen aan het mitigeren van netcongestie of in ieder geval het niet erger te maken, en 3) welke regelingen ondernemers kunnen helpen als zij met netcongestie te maken krijgen, en via welke regelingen zij kunnen bijdragen aan het leveren van flexibiliteit aan netbeheerders.

1. Het rapport van bestuurlijk aanjager Gerard Schouw over de mogelijkheden van flexibilisering in de elektriciteitscrisis
2. RVO-rapport over de flexibilisering van elektriciteitsverbruik van bedrijven en instellingen

Opdracht

Het onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG). Het ministerie van KGG is beleidsverantwoordelijk voor netcongestie. De uitvoering lag bij een onderzoeksteam binnen RVO. RVO rapporteert aan het Landelijk Actieprogramma Netcongestie[3] (team Beter Benutten Grootverbruikers). Voor de begeleiding van het onderzoek heeft het ministerie van KGG een klankbordgroep ingericht. Hierin zijn de volgende stakeholders betrokken[4]:

- Het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG)
- Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW)
- Het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO)
- Het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN)
- Netbeheer Nederland
- VNO-NCW
- RVO

Tijdens de looptijd van het onderzoek heeft de klankbordgroep meegekeken met de opzet van het onderzoek, waaronder de criteria voor het opnemen van regelingen. Daarnaast heeft zij meegekeken met de lijst aan te onderzoeken regelingen en heeft zij feedback gegeven op het conceptrapport.

Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen die in dit onderzoek centraal staan, zijn de volgende:

1. Welke financiële stimuleringsregelingen uitgevoerd door RVO hebben invloed op netbelasting?

2. Welke aanpassingen, rekening houdend met de beleidsdoelen van een regeling, kunnen er worden aangebracht in de in deelvraag 1 geïdentificeerde regelingen?

a. ...om te voorkomen dat door de ondersteunde activiteiten (investeringen/exploitatie) het netcongestieprobleem verergert (netcongestieneutrale inpassing)?
b. ...om met de regelingen een positieve(re) impact op netcongestie te realiseren (netcongestie-oplossend). Het gaat hierbij bijvoorbeeld om:
- Ondernemers en particulieren beter in staat te stellen hun elektriciteitsverbruik slim in te richten binnen hun eigen aansluiting; of
- Flexibiliteit in het energiesysteem te vergroten.

c. Welke aanvullende regelingen zijn er mogelijk om bedrijven nog beter in staat te stellen netcongestie te mitigeren?

3. Welke regelingen zijn er voor ondernemers die te maken krijgen met netcongestie, bijvoorbeeld doordat zij op een wachtlijst staan voor het verkrijgen van een grotere aansluiting? En via welke regelingen kunnen ondernemers bijdragen aan het ontlasten van het elektriciteitsnet?

Afbakening

Het onderzoek richt zich op financiële regelingen voor ondernemers en particulieren die door RVO namens het Rijk worden verstrekt. Het betreft niet alleen regelingen van het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG), maar ook van andere ministeries, zoals het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) en het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO). Naast subsidies vallen ook vouchers, Specifieke Uitkering (SPUK's), borgstellingen en fiscale regelingen binnen de scope van het onderzoek[5]. Daarnaast is gekeken naar regelingen die nog in ontwikkeling zijn, en dus nog opengesteld moeten worden.

Uitgangspunten

Het onderzoek richt zich uitsluitend op aanpassingen binnen de reikwijdte van RVO-regelingen. Los van regelingen worden binnen RVO diverse activiteiten uitgevoerd rondom het mitigeren van (effecten van) netcongestie, zoals via het Loket Netcongestie[6]. Het onderzoek biedt géén handreiking om de problematiek rondom netcongestie in zijn geheel op te lossen. Verder zijn er de uitgangspunten:

- De voorgestelde aanpassingen dienen uitvoerbaar te zijn.
- Bij de voorgestelde aanpassingen is zowel gekeken naar aanpassingen die op lange termijn bij kunnen dragen aan meer flexibiliteit in het systeem, als naar aanpassingen die per jaar en per openstelling van de regeling kunnen worden doorgevoerd.
- Waar mogelijk wordt aansluiting gezocht bij lopende relevante onderzoeken en evaluaties van financiële regelingen.

3. Landelijk Actieprogramma Netcongestie
4. De deelnemerslijst van deze klankbordgroep is op verzoek opvraagbaar.
5. In deelvraag 1 wordt een nadere selectie gemaakt van regelingen die voor dit onderzoek relevant zijn. Er wordt binnen het project niet gekeken naar verplichtingen, zoals maatregelen onder de energiebesparingsplicht. Ook subsidies en andere financiële regelingen van decentrale overheden of de EU zijn niet meegenomen in dit onderzoek. Daarnaast zijn maatwerksubsidies en programma's in deze studie niet onderzocht.
6. Loket Netcongestie | RVO.nl

Begrippenlijst

Tabel 1: Begrippenlijst

Begrip	Uitleg	Bron
Netcongestie	Netcongestie duidt op een situatie waarbij er meer behoefte aan elektriciteitstransport is dan het elektriciteitsnet op die locatie aankan. Netcongestie kan zowel voor afname als opwek optreden en kan op elke plek in het laag-, midden- en hoogspanningsnetwerk voorkomen. De term netcongestie wordt ook gebruikt voor de formele toestand waarin een gebied zich bevindt. Er is dan uit onderzoek gebleken dat er geen transportcapaciteit beschikbaar kan komen via voorgeschreven congestiemanagementmiddelen. Meestal betekent dit dat er te weinig grootverbruikers zijn gevonden om, op momenten van piekbelasting, extra capaciteit vrij te geven. Deze formele toestand is in rood weergegeven op de capaciteits kaarten van de netbeheerders	Flexibilisering van elektriciteitsverbruik door bedrijven en instellingen Capaciteitskaart elektriciteitsnet | Totaal - Afname
Congestiemanagement	Het proces van het voorkomen en oplossen van overbelasting door vraag en aanbod van elektriciteit te balanceren.	Flexibilisering van elektriciteitsverbruik door bedrijven en instellingen
Flexibel vermogen	Flexibel vermogen is de capaciteit van energiebronnen of systemen om hun elektriciteitsverbruik of -productie flexibel aan te passen aan de vraag- en aanbodcondities.	Flexibilisering van elektriciteitsverbruik door bedrijven en instellingen
Transportcapaciteit	Vermogen om een energiedrager te verplaatsen.	Netbeheer Nederland: energiesysteembeheer: transportcapaciteit
Opwek- of invoedingscongestie	Opwek-installaties moeten langer wachten en worden mogelijk op een wachtlijst gezet voor het verkrijgen van transportcapaciteit om opgewekte elektriciteit op het net te kunnen zetten.	Flexibilisering van elektriciteitsverbruik door bedrijven en instellingen
Afnamecongestie	Elektriciteitsgebruikers, zoals industriële bedrijven, laadinfrastructuur of nieuwe woonwijken, kunnen op een wachtlijst belanden om elektriciteit af te nemen.	Flexibilisering van elektriciteitsverbruik door bedrijven en instellingen
Firm-aansluiting	Met een firm-aansluiting kan op ieder moment het transportvermogen gebruikt kan worden voor afname of invoeding.	Beleid voor grootschalige batterijen en opweknetcongestie
Non-firm ATO (NFA)	Een non-firm ATO (aansluit- en transportovereenkomst) betekent dat een partij een beperkt transportrecht heeft. Er wordt gewerkt aan verschillende type NFA's. In ruil voor een beperkter transportrecht krijgt de aangeslotene een korting op het nettarief.	Beleid voor grootschalige batterijen en opweknetcongestie
Capaciteitsbeperkingscontract (CBC)	De aangeslotenen en netbeheerder sluiten een contract over de flexibele inzet van de aangeslotenen. In de regelgeving is verder vrijgelaten hoe dit contact er uit moet zien. Een vergoeding kan betaald worden voor de deelname en/of per MWh.	Beleid voor grootschalige batterijen en opweknetcongestie
Capaciteitssturingscontract	Met het capaciteitssturingscontract kan de netbeheerder aangeslotenen verzoeken om hun netaansluiting te gebruiken in de tegenovergestelde richting van de fysieke congestie, bijvoorbeeld door juist op momenten van afnamecongestie stroom in te voeden in het netwerk. Dit draagt bij aan het oplossen van fysieke congestie en creëert meer ruimte voor nieuwe partijen om toegang tot het net te krijgen.	Ontwerp codebesluit capaciteitssturingscontract | ACM

Disclaimers bij onderzoek

In dit onderzoek is uitsluitend gekeken naar aanpassingen die binnen regelingen mogelijk zijn, of die direct raken aan een regeling. Het onderzoek biedt nadrukkelijk géén handreiking om de problematiek rondom netcongestie in zijn geheel op te lossen. De mogelijkheden die worden gegeven, liggen binnen de reikwijdte van de regelingen die door RVO worden uitgevoerd.

Tijdens het onderzoek zijn diverse ideeën en *mogelijke* aanpassingen aan regelingen opgehaald. Deze zijn geanalyseerd en beoordeeld, onder andere op wenselijkheid en uitvoerbaarheid. Wanneer een idee niet uitvoerbaar of wenselijk bleek, is dit niet verder uitgewerkt in dit onderzoek. Een uitzondering betreft een aantal beleidsaanpassingen die niet *direct* wenselijk of uitvoerbaar zijn, maar waarvan wordt ingeschat dat zij in de toekomst mogelijk nog relevant kunnen zijn.

De gepresenteerde aanpassingen zijn vaak (nog) niet direct toepasbaar op regelingen. Het aanbrengen van aanpassingen, rekening houdend met de beleidsdoelen van een regeling, is maatwerk. In dit onderzoek is het beperkt gelukt om per regeling de diepgang te bereiken die nodig is om tot volledig uitgewerkte aanpassingen te komen. In dit onderzoek is een brede, kwalitatieve, scan gedaan. Per regeling is, enkele uitzonderingen daargelaten, minstens één gesprek gevoerd tussen de onderzoekers en de uitvoerings- en beleidsverantwoordelijken. Door de verschillen tussen regelingen en de (netcongestie)situaties is het in de praktijk complex om in één gesprek tot breed toepasbare aanpassingen te komen. Er zijn veel afwegingen te maken om tot een aanpassing te komen die daadwerkelijk goed toe te passen is binnen een regeling. De uiteindelijke afweging om een specifieke aanpassing al dan niet toe te passen ligt bij de beleidsverantwoordelijken, in samenspraak met de uitvoeringsexperts.

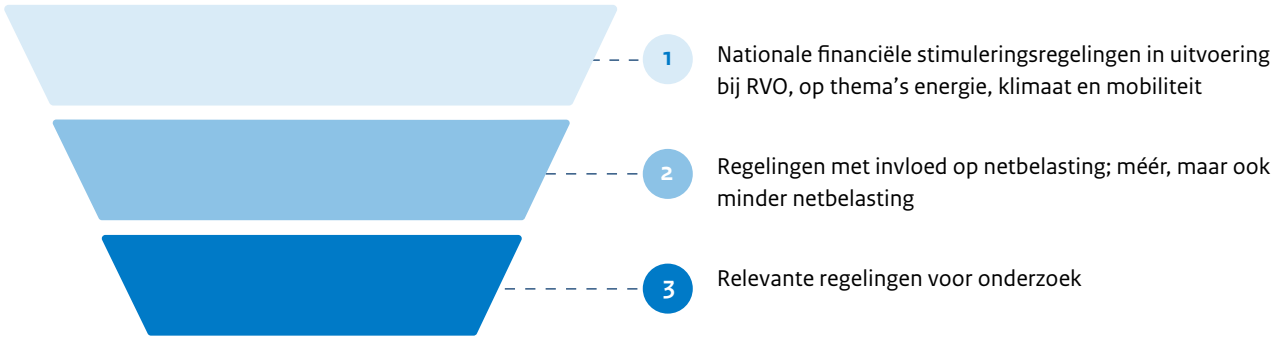


Deelvraag 1
Stimuleringsregelingen met invloed op netbelasting

In dit hoofdstuk staat de volgende vraag centraal:

Welke huidige financiële stimuleringsregelingen uitgevoerd door RVO hebben invloed op netbelasting?

Om te komen tot de selectie van relevante regelingen voor dit onderzoek, is 'getrechterd' via drie fases. In schema:



Figuur 1: Toegepaste 'trechter' om te komen tot relevante regelingen voor het onderzoek

In de eerste fase is gekeken naar alle nationale regelingen uitgevoerd door RVO die energie- en mobiliteit-gerelateerd zijn. Hiervoor is gebruik gemaakt van de subsidiewijzer van RVO[7] en van enkele interne databases binnen RVO[8]. De initiële lijst omvatte 314 (deel)regelingen en opdrachten. Mede door het samenvoegen van databases bevatte deze lijst dubbeltellingen. De inventarisatie van regelingen heeft medio april 2025 plaatsgevonden. Na afbakening en ontdubbeling bleven 87 unieke financiële stimuleringsregelingen over[9].

In deze fase is afgebakend op subsidies, vouchers, specifieke uitkeringen (SPUK's), borgstellingen en fiscale regelingen, in overeenstemming met de afspraken over de onderzoeksafbakening met het ministerie van KGG. Daarnaast is er afgebakend op regelingen met Nederlandse beleidsmiddelen, waarbij specifiek is gekeken naar Nederland als 'doelland' van een regeling, in termen van (beoogde) productie en/of gebruik van energie.

In de tweede fase is specifiek gekeken naar alle regelingen van de eerste fase die een invloed hebben op netbelasting. Dit kan zich onder meer uiten in een toename of afname van de elektriciteitsvraag, bijvoorbeeld door elektrische auto's en elektrische apparaten. Daarnaast kan er sprake zijn van extra opwek uit wind en zon, onder andere via regelingen zoals de SDE++.

Ook is er gekeken naar mogelijke indirecte effecten[10] en stimulering van flexibiliteit, bijvoorbeeld via de Flex-e-regeling. Deze beoordeling is uitgevoerd door het projectteam op basis van bureauonderzoek, waarbij gebruik is gemaakt van informatie op websites van RVO en regelingsteksten via de Staatscourant. Van de 87 unieke regelingen uit de eerste fase bleven er na deze stap 52 unieke regelingen over.

In de derde fase is specifieker gekeken welke regelingen daadwerkelijk relevant zijn voor dit onderzoek, aan de hand van een aantal specifieke criteria. Het doel is om doorlopende regelingen, met een relatief grote impact (beleidsbudget en/of piekbelasting) op korte termijn te identificeren. De met het ministerie van KGG afgestemde criteria dit doel te bewerkstelligen waren de volgende:

- De regeling moet (ook) na 2025 nog een openstelling hebben;
- De regeling heeft een beleidsbudget van meer dan € 10 mln. in 2025 of het meest recente bekende jaar;
- De netbelasting is binnen 5 jaar te verwachten;
- Er wordt een substantiële piekbelasting verwacht door activiteiten die via de regeling worden gestimuleerd en/of de regeling heeft een positief effect op het verminderen van piekbelasting[11].

Na deze stap bleven er 30 verschillende regelingen over, die hieronder zijn weergegeven[12]. Om de regelingen te toetsen aan het bovengenoemde budgetcriterium van € 10 mln. zijn de budgetten gebruikt zoals ze in april 2025 bekend waren.

7. Via de subsidiewijzer van RVO zijn alle regelingen genomen die niet als status 'gesloten' hadden en die gericht zijn op de thema's 'energie besparen', 'energie produceren' of 'vervoer verduurzamen'.
8. Het gaat om twee interne portfoliobestanden en een database van RVO waar informatie over nieuwe, aankomende openstellingen van regelingen in staat.
9. Deze lijst van opdrachten en regelingen is niet opgenomen in het onderzoeksrapport, maar is op verzoek wel opvraagbaar. Van de afgevallen opdrachten en regelingen in deze stap waren er 138 geen financiële stimuleringsregeling, 30 regelingen die gesloten waren, 18 waarbij er geen sprake was van nationale financiering. Als laatste waren er 13 overige regelingen of opdrachten, waarbij het soms een monitoringsopdracht betrof of een regeling of opdracht waar we geen informatie over hebben kunnen achterhalen.
10. Via bijvoorbeeld kostencompensatie van elektriciteit, waardoor een toename van elektriciteitsverbruik gestimuleerd kan worden.
11. Hierbij is primair gekeken naar netbelasting van regelingen: of er ook daadwerkelijk meer risico op congestie is, is niet goed te onderzoeken, omdat dit van externe factoren zoals locatie en tijd afhankelijk is. Er is in deze fase ook geen data over verbruik of piekbelasting gebruikt. De juiste data verzamelen zou zeer tijdsintensief zijn en ook het vergelijkbaar maken van data zou zeer complex zijn. Als laatste is er niet gekeken naar locatiespecifieke invloed van een regeling op het net, omdat dit te complex is.
12. Tijdens het onderzoek, toen de onderzoeken lijst van regelingen al was vastgesteld, is ook de regeling Vroege opschaling energietransitie zeeschepen 2026-2030 nog aangeduid als regeling die binnen de onderzoekscriteria zou vallen. Deze regeling is in dit onderzoek niet meegenomen.

Tabel 2: Regelingen die nader zijn onderzocht in dit onderzoek (regelingen overgebleven na fase 3)

	Naam regeling	Afkorting	Status regeling	Ministerie
1	Energietransitie binnenvaart	N.v.t.	In ontwikkeling	IenW
2	Stimulering duurzame luchtvaartbrandstoffen	SDL	In ontwikkeling	IenW
3	Regeling stimulering Schoon en Emissieloos Bouwen voor medeoverheden	SPUK SEB	Bestaand	IenW
4	Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks	AanZET	Bestaand	IenW
5	Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel Aanschaf	SSEB	Bestaand	IenW
6	Subsidieregeling Private Laadinfrastructuur bij bedrijven	SPRILA	Bestaand	IenW
7	Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen klimaat 2024-2026	N.v.t.	Bestaand	IenW
8	Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen 2024-2027	N.v.t.	Bestaand	IenW
9	Subsidieregeling Publieke Laadinfrastructuur zwaar vervoer	SPULA	Bestaand	IenW
10	Subsidieregeling batterij elektrisch varen zeehavens 2026-2029	BEVZ	In ontwikkeling	IenW
11	Elektrificatie Havenmaterieel	N.v.t.	In ontwikkeling	IenW
12	Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie[13]	SDE++	Bestaand	KGG
13	Subsidieregeling grootschalige productie volledig hernieuwbare waterstof via elektrolyse, inclusief OWE waterstofhubs (in ontwikkeling)	OWE	Bestaand	KGG
14	Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing	ISDE	Bestaand	KGG/ VRO
15	Energie-investeringsaftrek	EIA	Bestaand	KGG
16	Nationale Investeringsregeling Klimaatprojecten Industrie	NIKI	Bestaand	KGG
17	Warmtenetten Investeringssubsidie	WIS	Bestaand	KGG
18	Subsidieregeling Indirecte kostencompensatie ETS	IKC ETS	Bestaand	KGG
19	Stimuleringsprogramma Energiehubs[14]	N.v.t.	Bestaand	KGG
20	Versnelde klimaatinvesteringen industrie	VEKI	Bestaand	KGG
21	Subsidieregeling Coöperatieve Energieopwekking	SCE	Bestaand	KGG
22	Subsidie voor flexibel elektriciteitsverbruik	Flex-e	Bestaand	KGG
23	H2-WOZ DEMO1 (regeling Elektrolyse op Zee)[15]	H2-WOZ DEMO1	Gepauzeerd	KGG
24	Subsidie Warmte-infrastructuur Glastuinbouw	SWiG	Bestaand	LVVN
25	Energie-efficiëntie glastuinbouw 2025	EG	Bestaand	LVVN
26	Subsidieregeling Emissieloos Landbouwmaterieel (SEL)[16]	SEL	In ontwikkeling	LVVN
27	Marktintroductie energie-innovaties glastuinbouw	MEI	Bestaand	LVVN
28	Subsidieregeling duurzaam maatschappelijk vastgoed	DUMAVA	Bestaand	VRO
29	Subsidieregeling Verduurzaming en Onderhoud Huurwoningen	SVOH	Bestaand	VRO
30	Subsidieregeling verduurzaming voor verenigingen van eigenaars	SVVE	Bestaand	VRO

Bijlage 1 geeft de 21 regelingen weer die in deze stap zijn afgevallen, inclusief de reden van afvallen.
Bijlage 2 geeft korte omschrijvingen van de regelingen die wel in het onderzoek zijn meegenomen.

13. Inclusief de opvolger van de SDE++ vanaf 2027 voor hernieuwbare elektriciteit, Contracts for Difference (CfD).
14. Van deze regeling is tijdens het onderzoek nog niet duidelijk geworden of dit daadwerkelijk een subsidieregeling zou gaan worden. Deze regeling is daarom in dit onderzoek niet nader onderzocht.
15. In de Klimaat- en Energienota van 16 september 2025 is aangekondigd dat de voorbereidingen voor waterstofproductie en -transport op zee worden gepauzeerd. De pauze geldt voorlopig voor vijf jaar. Om deze reden is deze regeling niet meegenomen in het verdere onderzoek.
16. Van deze regeling is inmiddels bekend dat het budget € 8,6 miljoen zal zijn voor 2026. Daarmee voldoet de regeling niet meer aan het budgetcriterium. Ten tijde van de toetsing van regelingen aan de criteria, in april 2025, voldeed de regeling nog wel aan het criterium (o.b.v. verwacht budget) en is daarom in het onderzoek opgenomen.

Deelvraag 2
Netcongestiemitigerende aanpassingen

In dit hoofdstuk beantwoorden we de volgende vragen:

1. Welke aanpassingen in regelingen er kunnen worden aangebracht binnen de in deelvraag 1 geïdentificeerde regelingen, met het oog op het verminderen van de netimpact van deze regelingen.

2. Welke ideeën er zijn voor aanvullende regelingen om bedrijven nog beter in staat te stellen netcongestie te mitigeren.

Bij het inventariseren van mogelijke aanpassingen in regelingen is als belangrijk uitgangspunt gehanteerd dat er rekening gehouden wordt met de beleidsdoelen van een regeling. Ook moeten aanpassingen uitvoerbaar zijn voor RVO. Voor de totstandkoming van deze aanpassingen zijn per regeling gesprekken gevoerd met RVO-experts en beleidsverantwoordelijken van de diverse ministeries[17,18]. Deze gesprekken zijn gevoerd in de periode juli tot en met oktober 2025. Van ieder gesprek is een verslag gemaakt, dat voor feedback is gedeeld met de betrokkenen.

De voorgestelde aanpassingen kunnen op verschillende manieren impact op netcongestie hebben:

1. De aanpassingen kunnen leiden tot een lagere piekbelasting binnen bestaande aansluitingen. Dit kan onder meer het stellen van voorwaarden die slimme aansturing van installaties, zoals warmtepompen, vereisen. Hierdoor kan het elektriciteitsverbruik op drukke momenten worden verminderd en kan de benodigde netverzwaring worden beperkt.

2. Door aanpassingen te doen, zijn aanvragen voor nieuwe aansluitingen of een verhoging van de capaciteit van bestaande aansluitingen niet of minder nodig.

3. De aanpassingen kunnen ervoor zorgen dat er met dezelfde netcapaciteit meer of grotere projecten kunnen worden gerealiseerd, in lijn met de doelstellingen van de regelingen. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer ondernemers via een regeling eerst worden gestimuleerd energiebesparende maatregelen toe te passen, waardoor ruimte binnen de aansluiting ontstaat voor een netbelastende activiteit of project. Deze maatregel heeft geen effect op de absolute netbelasting, maar wel ten opzichte van een situatie waarin het project zou worden uitgevoerd zonder deze energiebesparing.

17. Behalve voor de regelingen SPULA en SPRILA. Voor deze regelingen zijn geen aparte gesprekken gevoerd, maar is uitgegaan van een interne analyse door RVO waarin de benodigde informatie voor dit onderzoek al was opgehaald en uitgeschreven. Waar nodig is nog wel contact geweest tussen de onderzoekers en de regelingsexperts van RVO van deze regelingen.
18. De betrokken contactpersonen per regeling zijn op verzoek opvraagbaar.

Aan het begin van dit hoofdstuk worden allereerst enkele thema-overstijgende aanpassingen beschreven. Vervolgens worden er mogelijke aanpassingen binnen verschillende thema's besproken. De thema's zijn: 1) energiebesparing; 2) flexibiliteit; 3) elektrisch vervoer op land en luchtvaart; 4) maritiem; 5) opwek van elektriciteit; 6) verduurzaming industrie; 7) elektrolyse, 8) glastuinbouw, 9) warmtenetten.

Tussen de themaspecifieke en thema-overstijgende aanpassingen kan enige overlap bestaan. Per thema wordt eerste kort uiteengezet welke regelingen relevant zijn voor dit thema en welke relatie zij hebben met netcongestie. Vervolgens worden de mogelijke aanpassingen gepresenteerd. Deze aanpassingen zijn onderverdeeld in verschillende typen, die in onderstaande tabel worden toegelicht.

Tabel 3: Type aanpassingen en toelichting

Type aanpassing	Toelichting op aanpassing
Potentievol op middellange termijn	Deze aanpassingen lijken potentie te hebben voor toekomstige toepassing binnen regelingen, op middellange termijn (binnen 1-3 jaar) en kunnen netcongestie beperken, gegeven de doestelling van een regeling.
Ter overweging, nader te onderzoeken	Voor deze aanpassingen is nog nader onderzoek nodig en/of er wordt momenteel overwogen om dit binnen regelingen te implementeren.
Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken	Ideeën en kansen besproken of gesuggereerd die nog in een (zeer) vroeg stadium van uitwerking zijn. Deze dienen nog verder uitgewerkt en onderzocht te worden op mogelijk nut en toepasbaarheid binnen regelingen.
Aanpassingen die nu niet wenselijk zijn, maar mogelijk in de toekomst wel.	Aanpassingen die nu niet wenselijk zijn, maar mogelijk in de toekomst wel.

De aanpassingen die zijn gepresenteerd, zijn aanvullend aan de al bestaande netcongestiemitigerende voorwaarden in regelingen. In verschillende regelingen is al bewust nagedacht over netcongestiemitigerende voorwaarden en zijn er mitigerende voorwaarden opgenomen. In bijlage 3 zijn de bestaande voorwaarden opgenomen. Deze voorwaarden kunnen mogelijk aanknopingspunten bieden voor andere regelingen. Waar nodig wordt er naar specifieke bestaande voorwaarden verwezen in de hoofdtekst.

Het is van belang om te benadrukken dat elke regelingsaanpassing maatwerk is, en de toepassing ervan sterk afhangt van het doel van een regeling, de werking van een regeling en andere factoren.

Algemene, thema-overstijgende aanpassingen

Naast de opties die binnen de afzonderlijke thema's zijn geïdentificeerd, zijn ook enkele opties thema-overstijgend relevant. De meeste potentie zien we in aanpassingen die op dit moment nog niet mogelijk zijn, maar die in de toekomst kansrijk kunnen zijn. Het gaat om de volgende aanpassingen:

1. Aansluiten op normen voor slimme sturing in regelingen.
Een eerste kansrijke aanpassing betreft het in de regelingen aansluiten op (te ontwikkelen) normen voor slimme aansturing van elektrische apparaten zoals warmtepompen en laadinfrastructuur. De daadwerkelijke implementatie van dergelijke normen binnen een regeling is maatwerk en niet voor alle regelingen een geschikte (toekomstige) aanpassing. Het effect op netcongestie wordt uiteindelijk bepaald door het daadwerkelijke *gebruik* van slimme sturing, waarop regelingen zelf slechts beperkte invloed hebben.

In dit onderzoek zijn concrete aanpassingen opgehaald met betrekking tot slimme sturing voor warmtepompen (in de sectie energiebesparing in dit hoofdstuk gaan we hier op in) en laadinfrastructuur (zie bijlage 3, sectie elektrisch vervoer op land en luchtvaart). Er bestaan echter meer vormen van normen voor slimme sturing[19]. In feedback bij de afronding van dit onderzoek is door partners benoemd dat er mogelijk kansen liggen bij slimme sturing van zonnepanelen, warmtebuffervatten en hoge-temperatuur-warmteopslag.

2. Stimuleren of verplichten van flexibele contractvormen binnen regelingen.
Een tweede thema-overstijgende aanpassing betreft het in de toekomst stimuleren of verplichten van het gebruik van flexibele contractvormen binnen regelingen. Dit advies is speciaal van toepassing op alle regelingen die samenhangen met elektrificatie, waaronder de thema's elektrolyse, elektrisch vervoer op land en luchtvaart, maritiem en verduurzaming industrie. Dit geldt ook voor het thema opwek van elektriciteit.

Ook hier geldt dat de daadwerkelijke implementatie binnen een regeling maatwerk is. Als deze aanpassing wordt overwogen, is het van belang om rekening te houden met de beschikbaarheid van dergelijke contractvormen in de praktijk. Alternatieve transportrechten, zoals tijdsduur- en tijdsblokgebonden transportrechten, zijn momenteel schaars. Er is bijvoorbeeld meer vraag naar tijdsduurgebonden contracten dan dat er aanbod is. In dergelijke situaties kan een verplichting via een subsidieregeling een te beperkende voorwaarde vormen.

Ook bij netcongestiemanagementcontracten kan dit een risico zijn, wat vooraf zorgvuldig onderzocht moet worden. Daarnaast kan nog worden gedifferentieerd naar het flexibele vermogen waar het contract betrekking op heeft: hoe groter het flexibele vermogen, hoe groter het netcongestiemitigerende effect. Ondernemers kunnen op dit moment al wel op eigen initiatief gebruikmaken van dergelijke contracten.

Daarnaast zien we kansen voor netcongestiemitigerende voorwaarden bij de stimulering van batterijen. Batterijen worden in verschillende regelingen gestimuleerd, terwijl bij een deel van deze regelingen geen voorwaarden zijn verbonden aan het gebruik en de inzet ervan. Hierdoor bestaat het risico dat batterijen, zonder aanvullende voorwaarden, bijdragen aan netcongestie en piekbelasting, met name als zij worden ingezet voor handel op de onbalansmarkt. Deze belangrijke kanttekening lijkt nog niet bij alle regelingen even bekend te zijn.

Bij de Flex-e, SPRILA- en SPULA-regelingen zijn al wel duidelijk mitigerende voorwaarden rond batterijen opgenomen (zie bijlage 3). Bij verschillende andere regelingen zoals de EIA en enkele maritieme regelingen kan nog nader worden gekeken naar voorwaarden die ervoor zorgen dat de batterijen niet (of minder) worden gebruikt voor handel op de onbalansmarkt. Binnen RVO wordt hierover al kennis over uitgewisseld. Deze opties worden in de thema's hieronder nader uitgewerkt.

In algemene zin zou 'netbewustheid' van projecten kunnen worden opgenomen als tendercriterium bij tenderregelingen[20] met een grote netimpact. Hiermee wordt netbewustheid een aspect waar expliciet rekening mee gehouden kan worden bij de toekenning van subsidies of andere vormen van financiële ondersteuning. Het is een beleidsafweging in hoeverre het effect op netbelasting moet worden meegewogen bij de projectbeoordelingen en welke vorm een regeling krijgt (tenderregeling of bijvoorbeeld first-come-first-serve[21]). Hierbij spelen ook allerlei andere aspecten zoals doeltreffendheid, doelmatigheid, gebruikerservaring en uitvoering een rol. In dit onderzoek gaan we hier niet verder op in.

19. Er wordt ook normering ontwikkeld voor zonnepanelen, thuisbatterijen en Home Energy Management Systems (HEMS) Zie: Solar & Storage Magazine - Minister Hermans geeft startsein voor normontwikkeling slimme net-intensieve apparaten. Thuisbatterijen en HEMS worden tot op heden niet gestimuleerd via RVO-regelingen. Mocht dit in de toekomst wel het geval worden, is het relevant om te onderzoeken of daar via voorwaarden rondom slimme sturing in de regelingen op aangesloten kan worden.
20. Een tenderregeling is een subsidie- of financieringsmechanisme waarbij aanvragen met een deadline worden beoordeeld en gerangschikt op basis van vastgestelde criteria, in plaats van op volgorde van binnenkomst. Het is een competitief proces waarbij de aanvragen worden beoordeeld op een aantal criteria zoals bijvoorbeeld effectiviteit en kwaliteit. De projecten met de hoogste scores komen in aanmerking voor de toewijzing van de beschikbare middelen.
21. Bij first-come-first-serve-regelingen kan minder goed gestuurd worden dan bij een tenderregeling, omdat aanvragen op volgorde van binnenkomst worden beoordeeld. Hierdoor is een integrale vergelijking van alle projecten op criteria niet mogelijk.

1. Energiebesparing

Regelingen en belangrijkste technieken binnen dit thema

Energiebesparing kan een netcongestiemitigerende maatregel zijn, omdat het ervoor kan zorgen dat het elektriciteitsnet op sommige momenten minder wordt belast.

Binnen het thema energiebesparing bespreken we aanpassingen die zijn genoemd in gesprekken over regelingen met verduurzaming en/of energiebesparing als doel, zoals de EIA[22], de ISDE en DUMAVA, SVVE en de SVOH. Binnen dit thema komen meerdere onderwerpen terug die te maken hebben met afnamecongestie.

Enerzijds stimuleren deze regelingen een of meer vormen van energiebesparende **isolatiemaatregelen**. Deze maatregelen kunnen leiden tot een lagere elektriciteitsvraag voor ruimteverwarming wanneer deze (deels) elektrisch plaatsvindt[23]. Isolatiemaatregelen hebben daarmee een netpositieve werking. Daarnaast stimuleren deze regelingen ook zonthermie, zoals zonneboilers, waarmee energie kan worden bespaard voor de productie van warm water. Via de EIA-regeling kan daarnaast fiscaal voordeel worden verkregen voor andere elektriciteitsbesparende technieken en processen die per saldo netcongestiebeperkend werken, zoals ledverlichting.

Anderzijds stimuleren deze regelingen ook technieken die de netbelasting verhogen. De belangrijkste daarvan is de stimulering van **warmtepompen**[24]. All-electric warmtepompen kennen hierbij een relatief hogere netbelasting dan hybride warmtepompen. Warmtepompen worden ook gestimuleerd via de SVOH-, de SVVE-, de DUMAVA, de SDE++ en de VEKI-regeling.

Potentievolle aanpassing op middellange termijn

Een aanpassing die op termijn waarschijnlijk binnen de ISDE-regeling wordt geïmplementeerd, is het **toepassen van de toekomstige normen voor slimme sturing van warmtepompen**. Hiervoor wordt momenteel gewerkt aan een NTA (Nederlands Technische Afspraak). Met een aanpassing van de ISDE-regeling kan dan als aanvullende subsidie-eis worden gesteld dat een warmtepomp slim aangestuurd moet kunnen worden. Het flexibel inzetten van individuele warmtepompen kan volgens onderzoeksbureau Merosh een substantiële bijdrage leveren aan het verminderen van netcongestie[25]. Deze aanpassing lijkt relatief eenvoudig te integreren in regelingen, bijvoorbeeld door deze op te nemen in energie- of maatregelenlijsten en daarbij te verwijzen naar deze (toekomstige) NTA. Wel is nadere uitwerking nodig op welke wijze de NTA kan worden benut, om te borgen dat warmtepompen die worden aangeschaft ook daadwerkelijk slim gebruikt worden[26]. De NTA is nog in ontwikkeling en komt naar verwachting in 2026 beschikbaar. Momenteel wordt onderzocht welke vervolgstappen nodig zijn voor implementatie en hoe deze norm in onder andere de ISDE-regeling kan worden meegenomen.

De aansluiting op slimme sturing van warmtepompen kan mogelijk ook relevant zijn voor andere regelingen die warmtepompen stimuleren, zoals de EIA, de SVOH, de SVVE. Hiervoor is echter nader onderzoek nodig. In gesprek over de DUMAVA-regeling is aangegeven dat slimme sturing van warmtepompen mogelijk minder geschikt is voor maatschappelijk vastgoed, zoals ziekenhuizen, vanwege de behoefte aan continu gebruik. Slimme sturing in de industrie wordt nader besproken in de sectie verduurzaming industrie.

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

Door Netbeheer Nederland is het **vergroten van het ISDE-budget voor isolatiemaatregelen** als aanpassing voorgesteld. Bij een gelijkblijvend subsidiepercentage kan dit inderdaad een positief effect op netcongestie hebben. De onderliggende verwachting en aanname is dat er dan meer isolatie zou kunnen worden aangevraagd en gerealiseerd. Daarbij moet worden opgemerkt dat de ISDE één gezamenlijk budget kent voor zowel isolatiemaatregelen als warmte-installaties. Een verhoging van het budget zou daarmee beide categorieën ten goede komen. Warmte-installaties hebben geen positieve impact op de netbelasting. Het doen van aanbevelingen over de hoogte en verdeling van budgetten binnen de ISDE en andere regelingen valt echter buiten de reikwijdte van dit onderzoek.

22. De basis van de EIA ligt bij energiebesparing. Sinds enige tijd zijn er ook investeringen aan de energielijst toegevoegd rond het thema energietransitie. Deze technieken staan dus los van het beleidsstreven "energiebesparing".
23. Isolatiemaatregelen kunnen ook bijdragen aan een overstap van gas naar elektrisch verwarmen. In dat laatste geval wordt er daarna in absolute zin waarschijnlijk méér elektriciteit verbruikt, maar wel minder dan zonder isolatie.
24. Er zijn veel elektriciteitsprofielen van verschillende typen warmtepompen beschikbaar binnen het programma Kennis- en Dataplatform Individuele Technieken (KITE). Dit is een datadeelplatform en community waar datasets & toepassingen op één centrale plek toegankelijk zijn voor warmteprofessionals zoals onderzoekers, modelbouwers, adviseurs, en product- en dienstenontwikkelaars.
25. Via slimme aanstuurbaarheid van net-intensieve apparaten kan flexibiliteit worden ontsloten voor een optimaal gebruik van de beschikbare capaciteit van het elektriciteitsnet. Ook kan het stroomverbruik worden gespreid over een langere periode of verschoven naar momenten waarop het elektriciteitsnet minder belast is. Zie het rapport Meer collectieve aandacht voor het individuele spoor (2024)
26. Kamerstuk 29 023, Voorzienings- en leveringszekerheid energie (2025)

2. Flexibiliteit

Regelingen en belangrijkste technieken met impact op netcongestie

Binnen dit thema is gekeken naar de Flex-e-regeling. Daarnaast wordt de EIA besproken in relatie tot de stimulering van energiebalanceringsprojecten en accu's.

De Flex-e-regeling is (vooralsnog) de enige door RVO uitgevoerde financiële regeling die specifiek gericht is op het vergroten van de flexibiliteit van het elektriciteitsverbruik bij ondernemers, waardoor er meer ruimte op het elektriciteitsnet ontstaat. De subsidieregeling ondersteunt bedrijven via drie onderdelen:

- Flexibiliteitsscans;
- Haalbaarheidsstudies om te kijken welke maatregelen technisch haalbaar zijn;
- Ondersteuning voor het uitvoeren van flexibiliteitsmaatregelen.

Deze onderdelen helpen bedrijven met het verkrijgen van kennis en inzicht en het (beter) inzetten van flexibele elektriciteitsmaatregelen. De doelgroep betreft bedrijven met een aansluiting van minimaal 100 kW. De regeling wordt geëvalueerd door RVO en het ministerie van KGG.

Via de EIA is daarnaast sinds enige tijd ondersteuning mogelijk voor **energiebalanceringsprojecten** die uiteindelijk bijdragen aan een besparing van fossiele energie[27]. Binnen deze regeling worden onder meer grote systemen gesubsidieerd, waaronder **batterijparken** groter dan 10 MW, die (ook) worden ingezet voor het balanceren van de energiemarkt. Op dit moment zijn er geen directe netcongestiegerelateerde voorwaarden verbonden aan deze batterijsystemen[28].

Aanpassingen ter overweging, nader te onderzoeken

Voor de EIA-regeling zijn er twee mogelijke opties verkend die nader onderzocht kunnen worden.

1. De eerste optie betreft het introduceren van een **maximaal investeringsbedrag per kWh opslagcapaciteit voor batterijen dat voor EIA-ondersteuning in aanmerking komt**. Deze optie geeft een indirecte stimulans voor batterijen met een relatief lager laadvermogen. Dit komt doordat batterijen met een lager laadvermogen, bij een gelijkblijvende accucapaciteit, in de regel in de aanschaf goedkoper zijn en ook relatief goedkopere omvormers hebben. Ten opzichte van het totale investeringsbedrag wordt dus relatief meer fiscaal voordeel gegeven aan deze batterijen. Deze maatregel kan afnamecongestie beperken, omdat batterijen met een hoger laadvermogen een grotere piekbelasting tijdens het laden en ontladen kennen. Deze aanpassing zou wel neerkomen op een financiële versobering van de huidige EIA-ondersteuning voor batterijen. Op dit moment is er namelijk geen maximum investeringsbedrag voor batterijen, maar geldt dat het hele investeringsbedrag voor EIA-ondersteuning in aanmerking komt. Het is een afweging of dit wenselijk is. Batterijen worden immers ook gezien als mogelijke oplossing voor ondernemers die te maken hebben met netcongestie. Bijvoorbeeld omdat een batterij tijdelijk extra vermogen kan leveren, zonder dat er een grotere aansluiting op het elektriciteitsnet nodig is. Dit kan handig zijn voor bedrijven die (tijdelijk) veel energie verbruiken.

2. De tweede optie betreft het **uitsluiten van batterijen die veel piekstroom of relatief veel afnamenetcongestie (kunnen) veroorzaken voor EIA-ondersteuning**. Bijvoorbeeld door een bepaald maximumlaadvermogen voor batterijen te hanteren, een bepaalde maximumlaadsnelheid of een bepaalde maximum C-waarde (eenheid vermogen per eenheid capaciteit). Er is overigens wel een aantal risico's bekend van het toepassen van de C-waarde in regelingen[29]. Ook deze optie kan afnamecongestie beperken.

Het daadwerkelijke effect op netcongestie van deze aanpassingen zal afhangen van hoe en waar de gestimuleerde batterijen in de praktijk worden ingezet. Een hoog laadvermogen van batterijen kan immers ook nuttig zijn voor het beperken van invoedingscongestie. Dit is het geval als er een overschot van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit is. Door het eigen energieverbruik op zo'n moment te verhogen via de batterij, kan invoedingscongestie worden beperkt.

In de huidige regelingsopzet van de EIA is niet goed te sturen of te handhaven op de manier waarop de batterijen in de praktijk worden ingezet. Wel lijkt het aannemelijk dat de door de EIA gestimuleerde batterijen vaak zullen worden ingezet voor de handel op de onbalansmarkt. In die situatie hebben batterijen, gegeven het huidige beleid, volgens onderzoek van CE Delft een positief effect op nationale energiebalancering, maar een negatief effect op (lokale) netcongestie[30].

27. Het doel is dat een eventueel overschot aan duurzame energie later benut kan worden. Op die manier hoeven zonne- en windparken bijvoorbeeld niet worden uitgezet en via opslag kan extra fossiele energie worden bespaard.
28. De batterijen binnen de EIA moeten wel gekoppeld zijn aan een duurzame energieopwekking (zoals zonnepanelen), of gekoppeld zijn aan een elektriciteitsmarkt ten behoeve van netbalancering.
29. Zo is het belangrijk dat de C-waarde hardwarematig moet zijn. Dit is belangrijk, omdat omvormers relatief eenvoudig softwarematig tijdelijk beperkt en of verruimd kunnen worden. Daarnaast zijn er nog enkele andere uitvoeringstechnische uitdagingen die het lastig maken om goed onderscheid te maken tussen batterijen. Er zijn namelijk ook installateurs die het vermogen aanpassen via een lagere zekering. Dit kan ook relatief eenvoudig ongedaan worden gemaakt. Daarnaast zijn er aanbieders van batterijen die een verwisselbare omvormer met hoger vermogen als optie aanbieden. Hierdoor is het lastig om precies aan te duiden om wat voor soort batterij het gaat. Via de EIA-regeling zijn de mogelijkheden tot controles achteraf zeer beperkt, waardoor hier niet goed op gecontroleerd zou kunnen worden.
30. Beleid voor grootschalige batterijsystemen en afnamenetcongestie

Nader onderzoek naar deze aanpassingen is wenselijk. Het is raadzaam om netbeheerders te betrekken om het effect op netcongestie in te schatten. Ook andere aspecten, zoals de businesscase en het effect op de terugverdientijd zullen moeten meegewogen in de nadere uitwerking. De voorgestelde opties kunnen dienen als input voor de publicatie van de energielijst 2027.

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

Voor de batterijsystemen die via de EIA-regeling worden gestimuleerd, zou onderzocht kunnen worden of voorwaarden gesteld kunnen worden die ervoor zorgen dat deze systemen vooral **voor eigen gebruik worden ingezet** en niet of minder voor het handelen op de onbalansmarkt. De landelijke netbeheerder TenneT is verantwoordelijk om het hoogspanningsnet in balans te houden. Vraag en aanbod van stroom moeten altijd in balans zijn, zodat de spanning op het stroomnet niet te hoog of te laag wordt. Als stroom wordt geleverd op momenten dat het nodig is, ontvangt men een onbalansprijs als vergoeding. Als men tegen de systeembalans ingaat, moet de onbalansprijs worden betaald. Omdat de onbalansmarkt geen rekening houdt met de lokale netcongestiesituatie, kan deze manier van handelen netcongestie in sommige situaties verergeren[31].

Of inzet voor eigen verbruik nageleefd wordt, zou mogelijk via steekproefcontroles nagegaan kunnen worden. Vanwege de hoge uitvoeringskosten die bij de controles komen kijken, lijkt het zinnig om dit vooral of uitsluitend bij grote batterijen te doen. Omdat de EIA een aanschafregeling is, zijn de mogelijkheden voor controles achteraf echter zeer beperkt.

Daarnaast zouden in de toekomst contractvormen zoals een capaciteitsbeperkingscontract (CBC) of een capaciteitssturingscontract (CSC) als voorwaarde kunnen worden overwogen. Deze contractvormen zijn echter nog in ontwikkeling en worden nog niet breed toegepast.

31. Kernrapport Beleid voor grootschalige batterijsystemen en afnamenetcongestie | Rapport | Rijksoverheid.nl



3. Elektrisch vervoer op land en luchtvaart

Regelingen en belangrijkste technieken met impact op netcongestie

In deze paragraaf worden de regelingen rondom elektrisch vervoer op land en in de luchtvaart behandeld. Dit zijn enerzijds regelingen die duurzame voertuigen en laadinfrastructuur subsidiëren zoals de AanZET, SPRILA, de SPULA en de SVVE-regeling. Daarnaast is er ondersteuning voor de bouwsector via de SSEB en de SPUK SEB. De landbouwsector wordt ondersteund via de nog open te stellen subsidieregeling Emissieloos Landbouwmaterieel (SEL) . De luchtvaartsector wordt ondersteund via de nog open te stellen subsidieregeling stimulering duurzame luchtvaartbrandstoffen (SDL).

De belangrijkste technieken die via de regelingen gestimuleerd worden, of gaan worden, zijn (off-grid) **laadinfrastructuur, batterijen en batterijpakketten, en elektrische voertuigen en machines**. De SDL stimuleert daarnaast de bouw en het gebruik van de **productie-installaties e-Sustainable Aviation Fuels (e-SAF)**. De genoemde technieken hebben op korte termijn een direct of indirect toenemend effect op de vraag naar elektriciteit[32].

Een kanttekening bij deze regelingen is dat projecten door netcongestie, zonder mitigerende maatregelen, vaak niet of slechts beperkt kunnen worden gerealiseerd. Dit is onder meer terug te zien in een achterblijvend aantal subsidieaanvragen voor de SSEB, SPRILA en SPULA. Netcongestie werkt vooral vertragend in de transitie, waarbij met bestaande technische voorwaarden de negatieve impact beperkt wordt. Deze bestaande voorwaarden zijn opgenomen in bijlage 3.

Uit de gesprekken kwam daarnaast duidelijk naar voren dat de mate en de invloed van de regelingen op netcongestie samenhangt met gedragsaspecten. Uit de praktijk weten we dat subsidieobjecten voor andere doelen kunnen worden gebruikt dan waar ze voor bedoeld zijn. Om die reden zijn in het verleden scherpere voorwaarden toegevoegd in regelingen. Het stellen van aanvullende voorwaarden die sturen op gedrag wordt bij aanschafsubsidies vrijwel altijd als onwenselijk beschouwd. Dit hangt samen met de bijkomende uitvoerings- en controlekosten en de onuitvoerbaarheid van voorwaarden. Gedrag is immers moeilijk te controleren.

In sommige gevallen kan worden gewerkt met een geschreven verklaring van aanvragers, waarin zij aangeven zich aan bepaalde voorwaarden te zullen houden. Tegelijkertijd bestaat bij het stellen van voorwaarden het risico dat (gewenste) toepassingen worden uitgesloten. Een mogelijk neveneffect is dat aanvragers afzien van een subsidieaanvraag of zelfs helemaal van investeringen in verduurzaming, vanwege te complexe regelgeving.

De onderstaande mogelijke suggesties en kansen zijn afkomstig uit een interne analyse binnen RVO rondom elektrische mobiliteit. De analyse *'Hoe om te gaan met netcongestie in subsidieregelingen voor elektrische mobiliteit. Voorwaarden, mitigerende maatregelen en lessons learned.'* is op verzoek opvraagbaar[33].

Potentievolle aanpassing op middellange termijn (met kanttekening)

Een mogelijke toekomstige aanpassing, met weliswaar beperkte impact, is het toepassen van specifiekere eisen voor het ondersteunen van slim laden in bestaande regelingen. Een breed gedragen label of keurmerk voor 'slimme laadpalen' ontbreekt nog. Vooralsnog is in de SPRILA en de SPULA wel de eis opgenomen dat de laadpalen geschikt moeten zijn voor slim laden (zie ook bijlage 3).

Daarnaast is de norm NTA8043 ontwikkeld, waarin staat beschreven wat onder slimme laadpunten en -diensten wordt verstaan. Momenteel wordt de certificering en het bijbehorende keurmerk hiervoor ontwikkeld. Het is relevant om deze ontwikkelingen in de gaten te houden voor een mogelijke toekomstige toepassing (als vereiste) binnen de regelingen. Daarbij moet wel worden aangetekend dat de uiteindelijke winst vooral wordt behaald in het daadwerkelijke gebruik van de laadinfrastructuur. Dit gebruik is door RVO echter beperkt te controleren.

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

Een aanpassing die voor de toekomst relevant kan zijn, betreft **het opnemen van tijdsblokgebonden contracten als voorwaarde** om voor subsidie voor grote laadpleinen in aanmerking te komen. Door dergelijke contracten worden bedrijven gestimuleerd meer netcapaciteit af te nemen op momenten waarop het net minder wordt belast, in afstemming met netbeheerders. Op sommige onderstations is gedurende de nacht bijvoorbeeld zo'n 30 procent restcapaciteit beschikbaar. Onder meer de wegtransportsector is geschikt voor dergelijke contracten, omdat zij vooral 's nachts laden. Op dit moment zijn tijdsblokgebonden contracten nog beperkt beschikbaar voor marktpartijen en betreft het maatwerk per aanvraag, waarbij de netbeheerder met de aanvrager onderzoekt wat er mogelijk is. Dit is een belangrijke reden waarom dergelijke contractvormen ook (nog) niet als voorwaarde of subsidiëringsoptie zijn opgenomen in de mobiliteitsregelingen. Naar verwachting worden generieke tijdsblokgebonden contracten pas vanaf 2026 breder toepasbaar[34]. Het is nog onduidelijk in welke mate dit zal plaatsvinden[35].

32. Een korte toelichting op de productie van e-SAF en de elektriciteitsvraag: voor de productie is CO_2 vereist. Deze kan worden ingekocht, of kan via de elektriciteitsintensieve luchtbehandelings-techniek Direct Air Capture worden gewonnen. De duurzame brandstof wordt gemaakt door het binden van halffabricaten wat onder andere veel stroom vergt. Bij de marktconsultatie stond netcongestie in de top-3 redenen voor risico's voor het niet slagen van het project. Dit komt mede doordat de productie-installaties een hoog (continu) elektriciteitsafnameprofiel hebben.
33. Het rapport kan worden aangevraagd via elektrischrijden@rvo.nl
34. Voor recente informatie, zie Beter benutten van het net | Partners in Energie
35. De inschatting is op basis van het ACM rapport: Overzicht netcongestiemaatregelen ACM (geüpdatet 30 april 2025)

4. Maritiem

Regelingen en belangrijkste technieken met impact op netcongestie

Binnen het thema maritiem worden aanpassingen besproken die zijn benoemd in relatie tot regelingen die te maken hebben met maritieme zaken. Het betreft twee bestaande regelingen en drie regelingen die nog niet open zijn op het moment van schrijven. De twee bestaande regelingen zijn de Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen (stikstof) 2024-2027 en de Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen klimaat 2024-2026. De nieuwe regelingen zijn Elektrificatie havenmaterieel, Energietransitie binnenvaart en Batterij-Elektrisch Varen Zeehavens (BEVZ).

Binnen deze regelingen gaat het met name om **elektriciteitsvoorziening voor walstroom, laadinfrastructuur, batterijpakketten en batterijcontainers** als belangrijkste netcongestie-gerelateerde onderdelen die gestimuleerd worden. De regelingen binnen dit thema hebben als doel het reduceren van met name CO_2-uitstoot en stikstofemissies, dan wel -depositie. Wat betreft de activiteiten die worden gestimuleerd is er een duidelijk raakvlak met de eerder besproken regelingen binnen het thema elektrisch vervoer op land en luchtvaart, waar eveneens laadinfrastructuur en batterijpakketten centraal staan.

Op korte termijn leiden deze regelingen tot een toenemende elektriciteitsvraag als gevolg van elektrificatie ten behoeve van duurzaamheidsdoelstellingen. Dit betreft onder meer elektrificatie van havenmaterieel, emissieloze en klimaatneutrale aandrijftechnieken, elektriciteitsvoorziening voor walstroom, batterijcontainers, en elektrificatie van schepen om elektrisch te varen in havengebieden.

Uit de gesprekken blijkt dat netcongestie bij deze regelingen, zowel bij bestaande als bij nieuwe regelingen, nu vooral als knelpunt wordt ervaren. Netcongestie werkt beperkend, of dreigt beperkend te gaan werken, voor projecten die aanvullende netcapaciteit nodig hebben. Het opnemen van extra verplichtingen in de vorm van netimpactbeperkende aanpassingen wordt gezien als een extra hobbel die een ondernemer moet nemen voordat hij een haalbare aanvraag kan doen. Dit zou de beoogde beleidsdoelen eerder kunnen frustreren dan ondersteunen. Voor aanvullende mitigerende maatregelen wordt daarom met interesse gekeken naar andere regelingen en programma's.

Aanpassingen ter overweging

Voor enkele regelingen wordt overwogen om, als energievoorziening voor laadinfrastructuur, **duurzame elektriciteitsopwekking ter plaatse en opslag daarvan mee te subsidiëren**. Deze aanpassing kan bijdragen aan het realiseren van projecten ondanks beperkingen op het elektriciteitsnet. Het opnemen van duurzame elektriciteitsopwekking, bijvoorbeeld vanuit een energiedrager als waterstof of biogas, kan echter een negatief effect hebben op de stikstofuitstoot[36] en raakt daarmee aan de doelstelling van sommige van diezelfde regelingen. In de Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen 2024–2027 is deze aanpassing onlangs doorgevoerd, voor de openstelling van 2026[37,38].

Voor de nieuwe (tender)regeling Energietransitie binnenvaart wordt ook het subsidiëren van een hybride optie overwogen, bestaande uit een relatief schone verbrandingsmotor (stage V) in combinatie met een batterij. Via deze optie kan elektrificatie plaatsvinden, terwijl op termijn meer laadinfrastructuur ontwikkeld kan worden om over te gaan op een volledig duurzame toepassing. Bij de SSEB is momenteel al subsidie beschikbaar voor verschillende duurzame aggregaten (zie bijlage 3, thema elektrisch vervoer op land en luchtvaart).

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

Een mogelijke toekomstige optie is het stimuleren van **verwisselbare batterijen op schepen**, onder meer in de binnenvaart. Deze batterijen zouden, wanneer zij niet aan boord worden gebruikt, aan wal kunnen worden ingezet voor netdiensten, vergelijkbaar met Vehicle-to-grid-toepassingen. Het is van belang om er rekening mee te houden dat ook voor het terugleveren van stroom netcapaciteit nodig is, terwijl daar ook beperkingen kunnen zijn door netcongestie.

Om dit systeem optimaal in te zetten voor het verminderen van netcongestie, moet ervoor worden gezorgd dat het gebruik goed afgestemd wordt op de lokale netcongestiesituatie, en niet uitsluitend op de landelijke onbalansmarkt. Dit kan worden gestuurd via voorwaarden en stimulering. Afspraken met de netbeheerder over de flexibiliteit, bijvoorbeeld via een capaciteitsbeperkingscontract of in de toekomst met een capaciteitssturingscontract , kunnen helpen om de negatieve effecten te voorkomen.

36. Tenzij het om zero-emissie-aggregaten gaat. Dit zijn alternatieven voor traditionele aggregaten die geen schadelijke stoffen uitstoten. Bij SSEB-regeling komen deze typen in aanmerking voor subsidie.
37. Staatscourant 2025, 17906 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen
38. Hierbij geldt als voorwaarde dat de productiecapaciteit van de installatie voor de productie van hernieuwbare elektriciteit ter plaatse niet groter mag zijn dan het maximale nominale uitgangsvermogen van de oplaadinfrastructuur waarop zij is aangesloten. Emissies die ontstaan tijdens de productie van hernieuwbare elektriciteit ter plaatse dienen meegenomen te worden in de berekening van de stikstofdepositiereductie, wat één van de criteria is waarop projecten binnen deze tenderregeling worden gerangschikt.

Omdat veel van de regelingen binnen dit thema nog in ontwikkeling zijn, was tijdens de gesprekken vaak nog niet duidelijk hoe de uiteindelijke regelingsvoorwaarden eruit zouden zien. In deze fase is daarom vooral verkend welke opties denkbaar zijn. Deze opties waren grotendeels afkomstig uit een interne RVO-analyse rondom duurzame mobiliteit, waarin bestaande maatregelen en geleerde lessen zijn opgenomen. De bestaande maatregelen binnen het thema elektrisch vervoer op land en luchtvaart zijn beschreven in bijlage 3 en zijn verkend op mogelijke toepasbaarheid binnen de maritieme regelingen. In de gesprekken is onder meer gesproken over flexibele netbeheercontracten, verplichte ondersteuning van slimme laadinfra, het delen van laadinfra en mogelijke batterijvoorwaarden.

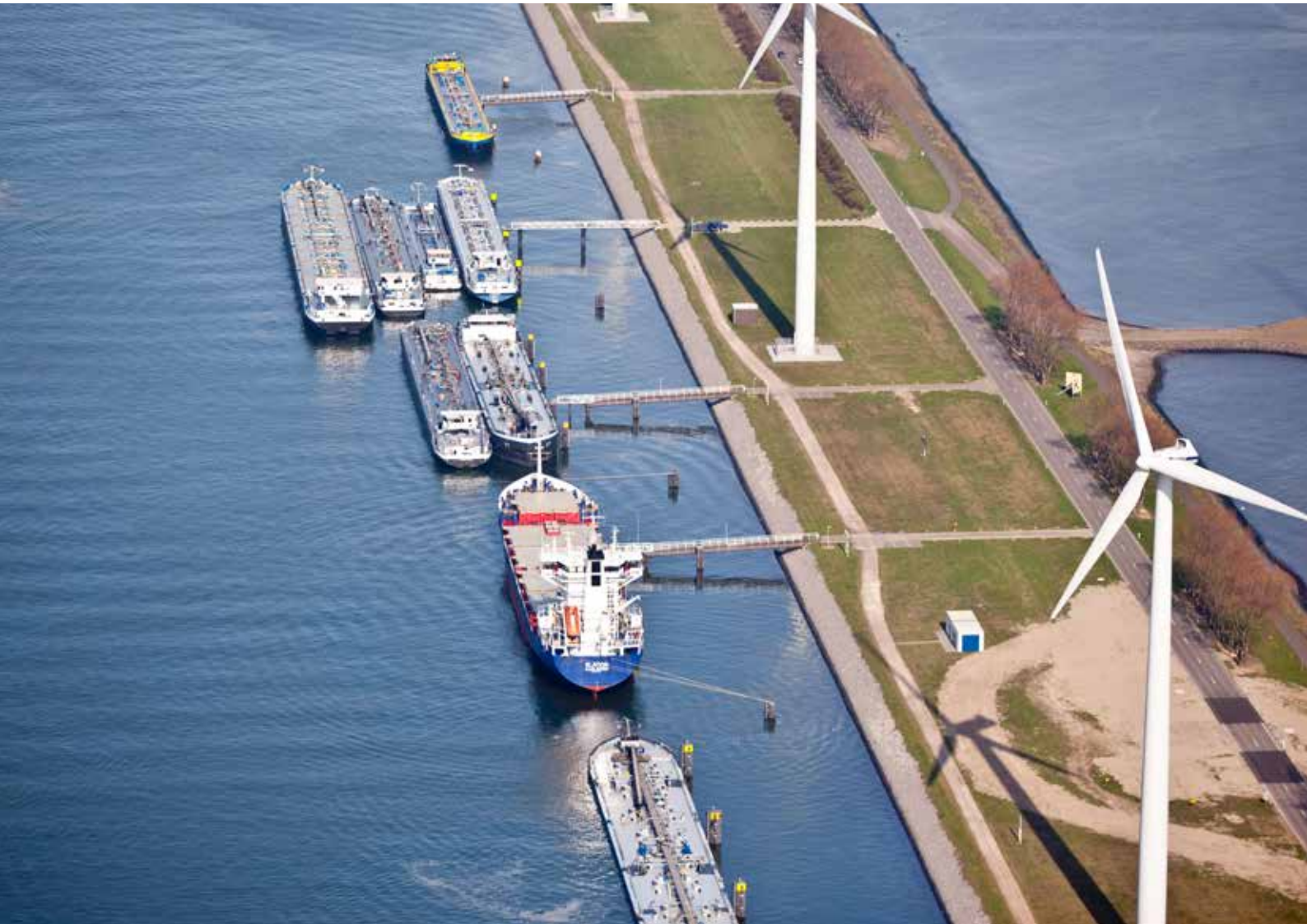
Om te bepalen of deze voorwaarden uitvoerbaar en haalbaar zijn voor deze regelingen, is per regeling meer verdieping en onderzoek nodig. Het ministerie van IenW en RVO werken hier samen aan. Uit de gesprekken zijn de volgende aandachtspunten naar voren gekomen:

- Er bestaat nog geen duidelijk beeld of flexibele netbeheercontracten in de regelingen als voorwaarde moeten worden opgenomen. Deze nieuwe contractvormen zijn nog in ontwikkeling en worden momenteel slechts beperkt aangeboden door netbeheerders, al liggen hier op termijn kansen.

- De aanpassing dat de laadinfrastructuur slim laden moet kunnen ondersteunen lijkt in beginsel goed toepasbaar binnen de nieuwe regeling Elektrificatie Havenmaterieel[39]. Of dit bij andere regelingen toepasbaar is, is niet onderzocht en/of expliciet ter sprake gekomen.

- Ondernemers in de transportsector, relevant voor de regeling Elektrificatie Havenmaterieel, zijn terughoudend in het delen van laadinfra voor efficiënter gebruik, omdat transport hun kernactiviteit is en zij risico's willen vermijden rond beschikbaarheid en laadtijd. Eventuele aanpassingen moeten daarom in ieder geval aandacht hebben voor voldoende zekerheid. Daarnaast bevindt laadinfrastructuur voor havenmaterieel zich vaak op afgesloten terminals, wat het delen ervan praktisch beperkt.

39. Er bestaat ondertussen een Nederlands Technische Afspraak voor slimme laadpunten en laaddiensten. Zie Nieuw keurmerk vereenvoudigt uitrol slimme laadpalen | Nationale Agenda Laadinfrastructuur



5. Opwek electriciteit

Regelingen en belangrijkste technieken met impact op netcongestie

In dit thema worden de Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) en de Subsidieregeling Coöperatieve Energieopwekking (SCE) besproken. De SDE++ is gericht op grootschalige projecten van bedrijven en non-profitorganisaties, terwijl de SCE is bedoeld voor kleinere, lokale energie-initiatieven waarbij omwonenden kunnen deelnemen. Naast deze regelingen zijn er ook andere regelingen die zonnepanelen stimuleren, zoals de DUMAVA, de EIA en tot en met 2025 ook via de SVVE[40]. Binnen deze regelingen worden zonnepanelen voornamelijk voor eigen gebruik worden ingezet. In tegenstelling tot de SCE en de SDE++, waar het doel expliciet is gericht op de opwek van elektriciteit voor netlevering. Om die reden ligt de focus in dit hoofdstuk op de SCE en de SDE++. Daarbij wordt specifiek gekeken naar categorieën met betrekking tot opwek van elektriciteit, aangezien deze de grootste impact heeft op het elektriciteitsnet[41].

Deze regelingen dragen bij aan een sterke toename van duurzame elektriciteitsproductie op land, met name via zon en wind, en ondersteunen projecten die resulteren in een aanzienlijke extra behoefte aan netcapaciteit. Binnen de regelingen zijn al diverse maatregelen genomen die netcongestie beperken of die zijn ingegeven door de doelstelling om netcongestie te mitigeren[42]. Deze maatregelen zijn opgenomen in bijlage 3.

Voor de SDE++ zijn door CE Delft en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in eerdere studies diverse mogelijke aanpassingen onderzocht en voorgesteld[43]. Een beperkt deel van deze voorstellen is daadwerkelijk in de regeling opgenomen. Veel opties blijken niet uitvoerbaar, onder meer doordat zij de subsidieberekening door PBL complexer maken of doordat het verlies aan duurzame energie relatief groot is. Voor nadere toelichting op deze niet-doorontwikkelde opties wordt verwezen naar de eerdergenoemde onderzoeken van CE Delft en PBL. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de aanpassingen die in de gesprekken met betrokkenen naar voren zijn gekomen.

Aanpassingen ter overweging, nader te onderzoeken

Categorieën betreffende verticale zonnepanelen (een bestaande categorie in de SDE++) zijn in de SCE niet opgenomen. Verticale zonnepanelen hebben een ander opwekprofiel, meer naar de randen van de dag. Deze verminderen daardoor de opwekpiek. Deze optie zou daarom netcongestiemitigerend kunnen werken. Er zijn echter wel de nodige kanttekeningen bij deze optie te plaatsen. Zo is in het gesprek aangegeven dat, doordat de SCE een kleine regeling is, er voor iedere extra categorie moet worden afgewogen hoe kansrijk en effectief die is. Een extra overweging bij het vooralsnog niet toevoegen van deze categorie is dat het basisbedrag van de SCE afgetopt op een maximum van 15 cent per kWh, om de doelmatigheid van uitgaven binnen de SCE te borgen. Vertical zonnepanelen zouden hier als duurdere categorie al gauw bovenuit kunnen komen, waardoor projecten dan niet de hele onrendabele top vergoed krijgen. Verder zal in de afweging gekeken moeten worden naar de extra uitvoeringslast voor PBL en RVO, en naar regeldruk bij de aanvragende ondernemer.

Aanpassingen die nu niet wenselijk zijn, mogelijk in de toekomst wel

Een aanpassing die voor de SDE++ reeds is onderzocht is het subsidiëren van uitgestelde levering van elektriciteit. Hierbij gaat het om de inzet van energieopslagsystemen, zoals grootschalige batterijen, waarin opgewekte zonne- of windenergie tijdelijk wordt opgeslagen en op een later moment, wanneer er meer vraag naar is, aan het elektriciteitsnet wordt geleverd. Deze maatregel kan bijdragen aan het verminderen van netcongestie, maar kan lokaal ook juist leiden tot extra belasting wanneer op ongunstige momenten wordt teruggeleverd. Op dit moment is het nog niet uitvoerbaar om uitgestelde levering te subsidiëren, waarbij de belangrijkste belemmering is dat relevante en betrouwbare data ontbreken. Het ministerie is in gesprek met de sector, netbeheerders en RVO om te onderzoeken of subsidiëring van uitgestelde levering in de toekomst wel mogelijk is[44].

Bedrijven die duurzame stroom opwekken met zonnepanelen en windmolens krijgen via de SDE++ financiële ondersteuning wanneer de marktprijzen voor elektriciteit laag zijn. De manier waarop Nederland dit nu heeft geregeld in de SDE++-regeling, staat de Europese Commissie vanaf 2027 niet meer toe[45]. Daarom is het voornemen om de SDE++ voor vanaf dat moment te vervangen door Contracts for Difference (CfD) voor de opwek van hernieuwbare elektriciteit, zoals zonne-energie en windenergie op land[46]. Op basis van de huidige inzichten worden bij deze overgang geen significante veranderingen in de netimpact verwacht ten opzichte van de SDE++.

In het kader van de opvolger van de SDE++ heeft Netbeheer Nederland een aanpassing voorgesteld voor de toepassing van CfD[47]. Deze aanpassing betreft een aanscherping van de huidige aftopping van 50 procent van het piekvermogen van

40. De ondersteuning voor zonnepanelen in de SVVE-regeling liep tot en met 2025. Er is wel subsidie voor procesondersteuning en advies voor zonnestroominstallaties in 2026.
41. Bij de SCE-regeling worden in principe de aanpassingen in de SDE++ gevolgd. Niet alle categorieën in de SDE++ zitten echter in de SCE-regeling. In de SCE zitten enkel de categorieën zon-PV, wind en (tot en met 2025) waterkracht. Onder meer e-boilers worden enkel via de SDE++ gestimuleerd.
42. Dit speelt bijvoorbeeld bij het toevoegen van een categorie 'zon-PV op gevels met oost-west-opstelling'. Projecten binnen deze categorie dragen waarschijnlijk zeer beperkt bij aan de problematiek rondom netcongestie en negatieve uren, terwijl zij wel hernieuwbare elektriciteit leveren.
43. Zie onder meer: Aanpassingen SDE++ voor lagere netimpact - CE Delft en Wijzigingsnotitie SDE++ 2026 | Planbureau voor de Leefomgeving
44. Kamerbrief over openstelling SDE++ 2026 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl
45. De Europese Commissie vindt dat bedrijven hiermee te veel voordeel krijgen bij een hoge marktprijs, terwijl ze daarnaast ook nog subsidie ontvangen bij lage prijzen. Dit zorgt volgens de EC voor overstimulering en daarmee oneerlijke concurrentie, in vergelijking met bedrijven uit andere landen. Bron: Andere vorm van financiële steun voor zonne- en windenergie, bedrijven mogen meedenken | RVO.nl
46. Andere vorm van financiële steun voor zonne- en windenergie, bedrijven mogen meedenken | RVO.nl
47. Netbeheer Nederland heeft het memo waarin dit voorstel is uitgewerkt op 29 september per e-mail gedeeld met RVO ten behoeve van dit onderzoek. Het voorstel is eerder ingebracht bij een informele consultatie van het ministerie van KGG over de CfD-regeling.

zonneparken. Voorgesteld wordt om zonneparken verplicht aan te sluiten met 25 procent van het piekvermogen als firm-aansluiting, aangevuld met een flexibele schil van non-firm-capaciteit tot 70 procent van het piekvermogen, mits dit past binnen de beschikbare netcapaciteit. Bij een firm-aansluiting kan het transportvermogen op ieder moment worden gebruikt voor afname of invoeding; bij non-firm-capaciteit geldt een beperkt transportrecht. Volgens Netbeheer Nederland sluit deze 70 procent aan bij de wijze waarop omvormers vaak worden gedimensioneerd en biedt dit ontwikkelaars meer ruimte dan de huidige firm-aftopping van 50 procent in de bestaande regeling.

Deze optie wordt echter als onwenselijk beschouwd. De financiering van zon- of windprojecten is op dit moment al complex, en de voorgestelde aanpassing vergroot de onzekerheid over de mate waarin hernieuwbare elektriciteit daadwerkelijk aan het net kan worden geleverd. Deze onzekerheid maakt het rondkrijgen van financiering voor projecten moeilijker en kan daarmee een significante negatieve invloed hebben op de realisatie van projecten en op de doelstelling van de regeling[48]. Daarnaast zijn non-firm-contracten momenteel nog niet breed beschikbaar. Ook wordt het met dergelijke non-firm-aansluitingen complexer voor PBL om de subsidieberekening te maken. Netbeheer Nederland heeft in een reactie wel aangegeven dat de maatregel ook positieve effecten kan hebben voor de markt: *"Door aan de voorkant afspraken te maken over ruimte op het net, kunnen er meer projecten op dezelfde netcapaciteit worden aangesloten. Zo kan er een breder en stabieler aanbodprofiel worden ingevoed op het net, wat de markt juist ten goede komt."*

Een andere, hiermee samenhangende optie voor zowel de SDE++ als de SCE-regeling is het verder beperken van het maximale terugleververmogen ten opzichte van het piekvermogen van zonnepanelen. Momenteel geldt hiervoor een grens van 50 procent. In de praktijk bereiken productie-installaties hun piekvermogen slechts gedurende een beperkt deel van de dag, en alleen op zeer zonnige dagen. Het grootste deel van de tijd draait een installatie op minder dan 50 procent van het piekvermogen. Het productieverlies doordat er niet teruggeleverd kan worden, is jaarlijks volgens RVO zo'n 6 tot 7 procent[49]. Door de aftopping verder te verlagen, bijvoorbeeld naar 40 procent, zou de netimpact verder kunnen worden beperkt.

Deze optie is onderzocht in een studie van CE Delft in 2023. Hierin wordt geconcludeerd dat een verdere verlaging van het aansluitvermogen inderdaad leidt tot een lagere netimpact, maar ook tot een lagere elektriciteitsproductie. CE Delft schat dat een aansluitvermogen van bijvoorbeeld 40 procent gemiddeld resulteert in ongeveer 10 procent minder invoeding van elektriciteit ten opzichte van een aansluitwaarde van 50 procent. Daarmee leidt deze maatregel tot hogere kosten per geproduceerde kWh, waardoor meer subsidie nodig is om de onrendabele top te dekken. CE Delft wijst er bovendien op dat een dergelijke maatregel als algemene voorwaarde onnodige beperkingen kan opleveren, omdat er buiten piekmomenten wel ruimte is om extra zonne-energie in te voeden[50]. Om deze redenen wordt deze aanpassing op dit moment als onwenselijk beschouwd. Op de langere termijn kan zij echter opnieuw worden overwogen.

48. Eindadvies basisbedragen SDE++ 2024
49. SDE++ Aanvragen, RVO. Dit percentage wordt betwist door marktpartijen. Zij spreken meer van 10 -15 procent, volgens een RVO-expert.
50. Onderzoek door CE Delft: aanpassingen SDE++ voor lagere netimpact



6. Verduurzaming industrie

Regelingen en belangrijkste technieken

Binnen het thema verduurzaming industrie worden de NIKI-, VEKI- en IKC-ETS[51] en SDE++ besproken. Deze regelingen hebben als primair doel, of in het geval van de IKC-ETS als secundair doel, het reduceren van CO_2-uitstoot. Voor de NIKI, VEKI en IKC-ETS geldt dat deze regelingen uitsluitend gericht zijn op de industrie.

De technieken die binnen de NIKI en IKC-ETS worden gestimuleerd zijn breed en generiek van aard, maar zullen naar verwachting in totaliteit gepaard gaan met een toename in elektrificatie. Binnen de VEKI en SDE++ worden warmtepompen en e-boilers voor de industrie gestimuleerd, technieken die leiden tot een hogere elektriciteitsvraag en daarmee een verergerend effect op netcongestie kunnen hebben. Er worden echter ook efficiency-projecten gestimuleerd die zorgen voor een lager stroomverbruik en daarmee netcongestiemitigerend kunnen werken.

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

Voor de IKC-ETS-regeling is een mogelijke kans om een flexibel netcongestiemanagementcontract als voorwaarde op te nemen voor het aanvullende verduurzamingsplan. Deze optie kan bijdragen aan het ontsluiten van flexibiliteit bij bedrijven. Ook kan het bijdragen aan de afname en aantrekkelijkheid van flexibele contracten. De maatregel werkt als volgt. De IKC-ETS vereist dat bedrijven die kostencompensatie ontvangen minimaal 3 procent CO_2-vermindering realiseren per subsidiejaar. Als dit niet haalbaar is, dienen bedrijven dit toe te lichten en een extra plan op te stellen. Uit dit plan moet blijken dat minstens 30 procent van het elektriciteitsverbruik afkomstig is uit koolstofvrije bronnen[52]. Een flexibel netcongestiemanagementcontract zou hierbij als aanvullende voorwaarde kunnen worden ingezet. Contractvormen zoals capaciteitssturingscontracten kunnen bijvoorbeeld uitkomst bieden voor het flexibel gebruik van e-boilers.

Een algemene verplichting van een flexibel netcongestiemanagementcontract als voorwaarde voor deelname aan de IKC-ETS-regeling wordt op dit moment niet wenselijk geacht. Dit type contract wordt nog maar beperkt toegepast en bovendien hebben niet alle bedrijven mogelijkheden om hun elektriciteitsverbruik te flexibiliseren. Ook bevindt niet ieder bedrijf zich in een netcongestiegebied. Door deze maatregel zou de kostencompensatie voor een deel van de bedrijven vervallen, wat gepaard kan gaan met een verhoogd risico op het vertrek van deze bedrijven uit Nederland. Ook voor de VEKI en de NIKI wordt een algemene verplichting niet wenselijk geacht. Genoemd wordt dat niet elk CO_2-besparend project netimpact heeft waar dit een oplossing voor zou zijn, en dat de verplichting zorgt voor een toename van de administratieve lastendruk voor ondernemers.

Naast mogelijkheden voor flexibele contracten is ook gekeken naar slimme sturing van warmtepompen binnen de industrie. Binnen het thema Energiebesparing benoemden we de mogelijkheid om aan te sluiten op toekomstige normen voor slimme sturing van warmtepompen binnen de ISDE-regeling. Voor de industrie lijkt deze optie echter niet direct toepasbaar. Het eerdergenoemde normtraject (NTA) richt zich namelijk enkel op kleine installaties, toepasbaar in huishoudens of kleine utiliteitsbouw. Toepassing op de industrie zou een afzonderlijk normtraject vereisen. Het lijkt wel wenselijk om nader te onderzoeken of een dergelijk normtraject ook voor de industrie interessant is.

51. European Trade System (ETS) is het handelssysteem in Europa voor de CO_2-uitstoot van de industrie. Een industrieel bedrijf moet in dat systeem voor elke ton (1.000 kilogram) CO_2 dat het uitstoot één emissierecht inleveren. Die emissierechten kunnen worden gekocht en verhandeld.
52. Subsidieregeling Indirecte kostencompensatie ETS (IKC-ETS) | RVO.nl

7. Glastuinbouw

Regelingen en belangrijkste technieken

Binnen dit beleidsthema staat de verduurzamingsopgave van de glastuinbouw centraal. Hierbij is CO_2-reductie de primaire doelstelling. De verwachting is dat deze reductie grotendeels via elektrificatie zal worden gerealiseerd. Dit leidt tot een afname van het gebruik van aardgasgestookte warmtekrachtkoppeling (WKK's), waarbij warmte, elektriciteit en CO_2 worden geproduceerd.

Deze WKK's spelen echter een belangrijke rol bij het in balans houden van het elektriciteitsnet en kunnen flexibel vermogen bieden in geval van netcongestie. WKK's kunnen daarmee een belangrijke functie vervullen bij netcongestiemanagement.

Binnen dit thema onderzoeken we twee regelingen: de MEI en de EG[53]. De MEI stimuleert de ontwikkeling van CO_2-reducerende innovaties binnen de glastuinbouw totdat deze klaar zijn voor opschaling. De EG-regeling stimuleert de investering en opschaling van deze technieken. Het gaat hierbij om technieken die voortkomen uit de MEI en marktrijp zijn, maar nog wel een onrendabele top kennen. Verder worden via de SDE++ voor de glastuinbouwsector geothermie en warmtepompen gesubsidieerd. Binnen de SDE++ is ervoor gekozen om geen e-boilers bij lagetemperatuurtoepassingen waaronder glastuinbouw te subsidiëren. Warmtepompen worden wel gestimuleerd vanwege het hogere rendement (COP)[54] van een warmtepomp[55].

De technieken met de grootste impact op het elektriciteitsnet zijn **warmtepompen, e-boilers, batterijopslag, midden-temperatuuropslag, Direct Air Capture, hogedrukvernevelingsinstallaties en luchtbehandeling. Isolatiemaatregelen**, zoals een modern glasdek of een tweede energiescherm, kunnen een mitigerend effect hebben op netcongestie wanneer er elektrisch wordt verwarmd, doordat zij leiden tot energiebesparing en daarmee tot een lagere elektriciteitsvraag. **LED-belichting** is een maatregel die zorgt voor minder elektriciteitsafname.

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

In de volgende openstelling van de EG-regeling wordt overwogen om de kosten van een **directe lijn, dus buiten het net om, met een (nabijgelegen) zon- of windpark te subsidiëren**. Een directe lijn kan lokaal netcongestieverzachtend werken en tuinders ondanks netcongestie in staat stellen te verduurzamen. Zo kan een overschot aan zonne-energie lokaal worden ingezet, bijvoorbeeld voor Direct Air Capture, wat leidt tot minder lokale belasting van het elektriciteitsnet. Meer informatie over een directe lijn is te vinden op de website van RVO[56].

53. De SWiG heeft ook de glastuinbouw als doelgroep, maar wordt besproken binnen het thema warmte en warmtenetten. De subsidiabele technieken van EG en MEI die betrekking hebben op warmte komen ook in het thema warmte aan bod. Het gaat om technieken zoals de warmtepomp, directe aansluiting op een warmtenet en warmtecluster, en warmte-koude-opslag.
54. Coëfficiënt of Performance, COP. De COP geeft de verhouding aan tussen de verbruikte elektriciteit en de geproduceerde warmte; een hogere COP betekent een zuinigere warmtepomp.
55. RVO Kennisdossier E-Boilers Power-2-Heat
56. Elektriciteit met een bedrijf in de buurt delen via een directe lijn | RVO.nl



Foto: Loes Spruijt-van der Meer

8. Elektrolyse

Regelingen en belangrijkste technieken met impact op netcongestie

De omzetting van elektriciteit naar waterstof via elektrolyse wordt door RVO met name gestimuleerd via de subsidieregelingen OWE (met een geplande aparte openstelling voor waterstofhubs) en de SDE++ . Elektrolysers worden vaak genoemd als een (deel)oplossing voor netcongestie vanwege de rol die deze techniek kan spelen bij een efficiëntere benutting van het elektriciteitsnet, vergelijkbaar met de inzet van batterijsystemen[57].

De impact van een elektrolyser op netcongestie hangt echter sterk af van de context en de wijze waarop zij worden ingezet. Uit onderzoek van CE Delft blijkt dat elektrolysers bij aanlandlocaties voor wind op zee een netto-positieve impact kunnen hebben op de belasting van het elektriciteitsnet[58]. Zij kunnen namelijk voorkomen dat elektriciteit verder landinwaarts moet worden getransporteerd en dat het net daarvoor verzwaard moet worden.

De impact van elektrolysers op het elektriciteitsnet is echter niet in alle gevallen positief. Met name bij zeer grote vermogens aan elektrolysers en in gebieden waar al sprake is van hoge elektriciteitsafname, kunnen elektrolysers juist bijdragen aan het ontstaan of verergeren van netcongestie, zo stelt het onderzoek. In het onderzoek van CE Delft worden vier variabelen onderscheiden die invloed hebben op de netimpact van elektrolysers:

1. Het jaar waarvoor de voorspelling wordt gedaan (in het onderzoek is gekeken naar situaties in 2030 en 2040);
2. De locatie, waarbij er wordt gekeken naar het regionale elektriciteitsprofiel;
3. De wijze van inzet van de elektrolysers;
4. Het vermogen van de elektrolyser.

Deze variabelen en enkele casussen worden in het onderzoek van CE Delft nader uitgewerkt.

De projecten die op dit moment worden gesubsidieerd via RVO zijn nog in ontwikkeling. In dit onderzoek is daarom gekeken naar bestaande voorwaarden (zie bijlage 3), en naar mogelijke kansen.

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

In de gesprekken over deze regelingen is naar voren gekomen dat **RVO samen met het ministerie van KGG zou kunnen onderzoeken of de uitwisseling met netbeheerders over elektrolyseprojecten verbeterd kan worden**. Doordat deze projecten over het algemeen grote aansluitingen betreffen, is het wenselijk om te verkennen of hier winst te behalen is ten behoeve van netcongestie, bijvoorbeeld om capaciteitsverwachtingen beter op elkaar af te kunnen stemmen. Hierbij dient expliciet te worden gekeken naar de juridische haalbaarheid en uitvoerbaarheid van het delen van deze informatie. Netbeheer Nederland heeft aangegeven positief te staan tegenover deze optie.

Deze suggestie kan mogelijk ook relevant zijn voor andere regelingen waar projecten worden gerealiseerd met een hoge elektriciteitsafname- of invoeding. Hierbij kan onder meer worden gedacht aan de SDL-regeling en mogelijk ook de NIKI-regeling.

57. ACM onderzoekt bijdrage batterijsystemen en elektrolysers aan elektriciteitsnet | ACM
58. Elektrolysers, nettarieven en het elektriciteitssysteem - CE Delft

9. Warmte en warmtenetten

Regelingen en belangrijkste technieken met impact op netcongestie

Binnen het thema warmte en warmtenetten zijn gesprekken gevoerd over de regelingen die gericht zijn op energiebesparing via de opwek en het gebruik van duurzame warmte. Het betreft onder meer de WIS-, SWiG-, SDE++-, de MEI- en EG-regeling. Deze regelingen stimuleren de opwek van duurzame warmte onder meer via warmtepompen, e-boilers en geothermie (SDE++), de aanleg van warmtenetten (WIS en SWiG) en het gebruik van duurzame opgewekte warmte (VEKI, MEI en EG).

De inzet van duurzaam opgewekte warmte kan zowel netcongestiemitigerend als netcongestieverergerend werken. Netcongestiemitigerende effecten treden op wanneer de omzetting van elektriciteit naar warmte plaatsvindt op momenten met een overschot aan elektriciteit, of wanneer gebruik wordt gemaakt van duurzame warmtebronnen zoals geothermie en restwarmte. Tegelijkertijd kan de productie van warmte leiden tot een hogere elektriciteitsvraag en daarmee tot extra netbelasting, met name wanneer elektrische warmtepompen worden ingezet.

In hoeverre warmtenetten netcongestievriendelijk zijn, is onder meer afhankelijk van de warmtebronnen die worden gebruikt voor een warmtenet. Onderzoeksbureau Merosh geeft aan dat als de warmtebron een hoge temperatuur heeft, zoals restwarmte uit afvalverbrandingsinstallaties of energiecentrales, warmtenetten een aanzienlijk lagere netbelasting hebben dan individuele warmtepompen[59]. Voor warmtenetten die gebruikmaken van centrale warmtepompen is de netbelasting echter vergelijkbaar met, of zelfs iets hoger dan, die van individuele warmtepompen. Er spelen echter meer factoren mee, zoals of er sprake is van een warmtebuffer[60] en ook het type (individuele) warmtepomp waarmee vergeleken wordt is hierbij relevant; all electric warmtepompen kennen doorgaans een hoger elektriciteitsverbruik dan hybride warmtepompen.

Aanpassingen ter overweging, nader te onderzoeken

Een aanpassing ter overweging is om **geen individuele warmtepompen te subsidiëren in gebieden waar een warmtenet gepland is én waar warmtepompen de realisatie van dit warmtenet kunnen belemmeren**. Als de aanname wordt gedaan dat een warmtenet gemiddeld genomen minder impact heeft op netcongestie dan individuele warmtepompen, kan deze maatregel een netcongestieneutraliserend effect hebben. In gesprekken over de ISDE-regeling is aangegeven dat deze maatregel ter overweging ligt. Momenteel wordt onderzocht hoe het criterium “geen warmtepompsubsidie indien er een warmtenet is gepland (door gemeente)” op een juridisch en uitvoeringstechnisch houdbare manier kan worden geïmplementeerd[61].

Er zijn ook andere overwegingen bij deze maatregel. Zo bestaat er een kans dat deze maatregel de keuzevrijheid en het maatschappelijk draagvlak van warmtenetten onder druk zet. In dat geval kan het effect op netcongestie ook negatief uitvallen, omdat dit de realisatie van warmtenetten kan beperken. Dit zou nader onderzocht moeten worden. Bij het overwegen van deze aanpassing moet daarnaast rekening worden gehouden met het type warmtebron dat voor een warmtenet wordt ingezet. In sommige gevallen is een warmtepomp namelijk alsnog nodig ter opwaardering van de warmte. Ook is het momenteel nog onzeker of alle woningen in een wijk daadwerkelijk een aanbod krijgen om aan te sluiten op een warmtenet, aangezien deze verplichting nog niet is opgenomen in gemeentelijke kavelplannen.

De verwachte impact van deze maatregel is naar verwachting beperkt. Het aantal geplande warmtenetten is vooralsnog gering en de overlap in toepassing is beperkt vanwege het gebouwtype. Warmtepompen worden immers relatief weinig toegepast in dichtbebouwde wijken, terwijl warmtenetten daar juist vaker worden gerealiseerd en minder in verspreide bouw[62].

Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken

Binnen de SWiG-regeling is aangegeven dat wordt overwogen om **een aanvullende of grotere warmteleiding te subsidiëren naar de gebouwde omgeving achter de glastuinbouw**. Dit wordt mogelijk in de openstelling van 2027 meegenomen. Op deze manier wordt gestimuleerd dat overcapaciteit vanuit de glastuinbouw wordt benut binnen de gebouwde omgeving. Hierdoor kan een toenemende elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving (gedeeltelijk) ondervangen worden door de restwarmte uit de glastuinbouw. Dit kan daardoor een netcongestiemitigerende maatregel zijn.

In de tabel op de volgende pagina presenteren we de verschillende mogelijke aanpassingen en vervolgonderzoeken die in het hoofdstuk aan bod zijn gekomen. In de tabel zijn de aanpassingen geclusterd op type aanpassing. Per aanpassing wordt aangegeven in welk thema de aanpassing aan bod is gekomen.

59. Onderzoek Merosch: meer collectieve aandacht voor het individuele spoor
60. Door een warmtebuffer voor lage temperatuur te koppelen, kunnen de centrale warmtepompen op netvriendelijke momenten worden ingezet. Met voldoende buffering is zelfs seizoensbuffering mogelijk.
61. Kamerstuk 32847, nr. 1376 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen
62. Een koud bad voor warmtenetten | Algemene Rekenkamer

Samenvatting aanpassingen en mogelijke aanvullende regelingen

Tabel 4: Samenvattende tabel met mogelijke aanpassingen en vervolgonderzoeken

Type aanpassing[63]	Beknopte beschrijving van aanpassing	Wordt besproken in thema
Potentievol op middellange termijn	Het in de toekomst verplichten of stimuleren van het gebruik van flexibele contractvormen (congestiemanagement en alternatieve transportrechten voor zowel opwek als afname) binnen de regelingen.	Algemeen
	Toepassen van de toekomstige normen voor slimme sturing van warmtepompen en slim laden in regelingen. Kanttekening dat het daadwerkelijk slim gebruik het effect op netcongestie bepaalt. De regelingen hebben hier geen invloed op.	Energiebesparing / Elektrisch vervoer op land en luchtvaart
	Netcongestiemitigerende voorwaarden rond de stimulering van batterijen.	Algemeen
Ter overweging, nader te onderzoeken	'Netbewustheid' van projecten opnemen als tendercriterium bij tenderregelingen met een grote netimpact.	Algemeen
	Het vergroten van het ISDE-budget voor isolatiemaatregelen.	Energiebesparing
	Relatief meer fiscaal voordeel voor batterijen met een lagere laadsnelheid binnen de EIA en/of normeren van maximale laadsnelheid.	Flexibiliteit
	Opnemen tijdsblokgebonden contract als voorwaarde, mits algemeen beschikbaar.	Elektrisch vervoer op land en luchtvaart
	Duurzame elektriciteitsopwekking ter plaatse en opslag daarvan meesubsidiëren.	Maritiem
	Toevoegen van categorieën voor verticale zonnepanelen bij SCE-regeling.	Opwek elektriciteit
	In gebieden waar een warmtenet gepland is én waar warmtepompen de realisatie van dit warmtenet kunnen belemmeren, deze individuele warmtepompen niet subsidiëren.	Warmte en warmtenetten
Suggesties en mogelijke kansen, nader te onderzoeken	Onderzoeken of batterijsystemen EIA meer voor eigen gebruik kunnen worden ingezet.	Flexibiliteit
	Het stimuleren van verwisselbare batterijen op schepen.	Maritiem
	Het opnemen van een flexibel netcongestiemanagementcontract als extra voorwaarde voor het aanvullende verduurzamingsplan van de IKC-ETS-regeling.	Verduurzaming industrie
	Onderzoeken of een normtraject voor slimme sturing van warmtepompen in de industrie interessant kan zijn.	Verduurzaming industrie
	Directe lijn met een (nabijgelegen) zon- of windpark subsidiëren.	Glastuinbouw
	Onderzoeken hoe de uitwisseling van inzichten tussen netbeheerders en RVO over elektrolyseprojecten kan worden verbeterd.	Elektrolyse
	Subsidiëren van aanvullende warmteleiding naar de gebouwde omgeving achter de glastuinbouw, binnen de SWiG-regeling.	Warmte en warmtenetten
Vooralsnog onwenselijk, mogelijk in de toekomst wel	Verder beperken van maximale terugleververmogen ten opzichte van het piekvermogen van de zonnepanelen.	Opwek elektriciteit
	Het subsidiëren van uitgestelde levering. Door gebruik te maken van energie-opslag kan duurzame elektriciteit op een later tijdstip aan het elektriciteitsnet worden geleverd.	Opwek elektriciteit
	Aanscherping van huidige voorwaarde van het te contracteren terugleververmogen van maximaal 50 procent van het piekvermogen van de zonnepanelen (50 procent firm), naar een systeem waarbij het te contracteren terugleververmogen maximaal 25 procent mag zijn van het piekvermogen van de zonnepanelen (25 procent firm), en een flexibele schil tot 70 procent van het piekvermogen, op het moment dat dit past binnen de beschikbare netcapaciteit (tot 70 procent non-firm).	Opwek elektriciteit

Aanvullende regelingen voor ondernemers om netcongestie te mitigeren

Tijdens het onderzoek zijn geen concrete ideeën naar voren gekomen voor aanvullende regelingen voor ondernemers om netcongestie te mitigeren.

63. De definities van de type aanpassingen zijn te vinden in tabel 4 op pagina 16.

Deelvraag 3
Oplossingen voor ondernemers binnen het financieel instrumentarium

Dit hoofdstuk richt zicht op de beantwoording van de volgende twee vragen:

1. Welke regelingen zijn er voor ondernemers die te maken krijgen met netcongestie, bijvoorbeeld doordat zij op een wachtlijst staan voor het verkrijgen van een grotere aansluiting?

2. Via welke regelingen kunnen ondernemers bijdragen aan het ontlasten van het elektriciteitsnet?

Regelingen voor ondernemers die te maken krijgen met netcongestie

Door netcongestie kunnen sommige bedrijven op dit moment, of in nabije de toekomst, geen extra elektriciteit afnemen van het elektriciteitsnet. Dit kan ertoe leiden dat uitbreiding, verhuizing of verduurzaming van bedrijven niet mogelijk is of moet worden uitgesteld. Ook kan het voorkomen dat bedrijven zelf opgewekte energie niet of beperkt kunnen terugleveren aan het net[64].

Ondernemers die te maken krijgen met netcongestie, bijvoorbeeld doordat zij op een wachtlijst staan voor de uitbreiding van de huidige aansluiting, hebben verschillende mogelijkheden om hun plannen alsnog te realiseren. In dit onderzoek is gekeken naar de mogelijkheden die ondernemers in deze situatie hebben en naar welke regelingen daarbij kunnen ondersteunen.

Om deze mogelijkheden inzichtelijk te maken, is gebruikgemaakt van een zogenoemde 'interventieladder'. Deze ladder beschrijft de verschillende stappen die ondernemers kunnen doorlopen om te verduurzamen en/of uit te breiden in tijden van netcongestie. Hierbij worden naar mate de ladder vordert ingrijpendere maatregelen benoemt, om zo ruimte op het elektriciteitsnet en de groeiende vraag naar elektriciteit te faciliteren. In de tabel hieronder zijn de opties en de bijbehorende ondersteunende regelingen opgenomen.

64. Wegwijzer voor ondernemers: wat kunt u doen bij netcongestie? | RVO.nl. NB: Grote zon- en windparken kunnen, als zij op verzoek van de netbeheerder afschakelen, wel een vergoeding krijgen.

Uit het overzicht blijkt dat verschillende RVO-regelingen ondersteunend kunnen zijn voor ondernemers die te maken krijgen met netcongestie. Met name de Flex-e-regeling is op meerdere onderdelen van toepassing. Dit komt doordat deze regeling specifiek ontworpen is met het oog op het mitigeren van netcongestie en het vergroten van de flexibiliteit in het elektriciteitsgebruik.

Daarnaast is het relevant om de bijdrage van het Stimuleringsprogramma Energiehubs hier te benadrukken. Eén van de doelstellingen van dit programma is het 'helpen oplossen en voorkomen van maatschappelijke problemen rond de overbelasting van het elektriciteitsnet (netcongestie)'. Binnen het programma worden instrumenten ontwikkeld die ondernemers ondersteunen in de initiatief-, plan- en ontwerpfase van de ontwikkeling van een energiehub. Door samenwerking, het verkrijgen van inzicht in opwek- en verbruiksprofielen en het beter balanceren van opwek en verbruik, is er binnen bestaande netcapaciteit meer mogelijk, zonder dat een zwaardere aansluiting vereist is.

*Tabel 5: Interventieladder netcongestie – stappen voor ondernemers en bijbehorende ondersteuningsregelingen**

Stappen	Uitleg	Relevante regelingen
1. Inzicht	Inzicht in verbruiksprofielen	• Flex-e-regeling (scan en haalbaarheidsstudie)
2. Elektriciteits-besparing	Aanschaffen middelen om elektriciteit te besparen binnen een onderneming. Wat er wordt bespaard, hoeft niet getransporteerd te worden.	• SDE (m.n. zonneboilers) • EIA (diverse energiebesparende maatregelen zoals ledverlichting) • Opties voor specifieke doelgroepen: ◦ DUMAVA (m.n. isolatie en zonneboilers) ◦ SVVE (m.n. isolatie en zonneboilers) ◦ SVOH (m.n. isolatie en zonneboilers) ◦ VEKI (energiebesparing voor industrie)
3. Vraagverschuiving	Aanpassen bedrijfsprocessen om piekvermogen te verkleinen. Hier scharen we ook het benutten van de elektriciteit afkomstig van duurzame energiebronnen (zoals zon) binnen de eigen aansluiting onder waardoor pieken worden verlaagd (en er tevens geen teruglevering aan het net plaatsvindt).	• Flex-e-regeling (maatregelen) • SCE (in geval van grootverbruikers: productie van elektriciteit via zon, wind, waterkracht)
4. Energiemanagement	Hard- en software-oplossingen om pieken te voorkomen.	• Flex-e-regeling (maatregelen)
5. Energieopslag of conversie	Asset-oplossingen zoals batterijen[65], e-boilers, overige warmtebuffers	• EIA (batterijsystemen, e-boilers, warmtebuffering) • Flex-e-regeling (maatregelen, via batterijen) • SDE++ (e-boilers en warmtebuffering)
6. Collectieve oplossingen	Samenwerking met anderen, bijvoorbeeld door het delen van een aansluiting met een bedrijf in de buurt, of het delen van elektriciteit met een bedrijf in de buurt via een directe lijn. Een energiehub is een uitgebreide samenwerking met andere bedrijven om energie uit te wisselen en opwek en verbruik af te stemmen.	• Stimuleringsprogramma energiehubs[66]

** Voor de tabel is getracht de belangrijkste regelingen voor een relatief brede doelgroep weer te geven. Het overzicht kan daarom onvolledig zijn. Er is gekeken naar de regelingen zoals ze werden uitgevoerd in 2025.*

65. Voor batterijen is in dit overzicht specifiek gekeken naar regelingen waar batterijen als losstaande techniek worden gesubsidieerd. In verschillende RVO-regelingen kunnen batterijen wel meegesubsidieerd worden als onderdeel van andere subsidiabele activiteiten of projecten. Dit geldt voor de SPULA en SPRILA-regeling, waar het een onderdeel kan zijn bij laadinfrastructuurprojecten. Ook binnen de DUMAVA-regeling is een batterij een subsidiabele maatregel die is opgenomen in de maatregelenlijst 2025. Deze mogelijkheden zijn niet allemaal opgenomen in het overzicht. Dergelijke mogelijkheden zijn binnen deze regelingen natuurlijk wel relevant voor ondernemers.
66. Voor meer informatie, zie Aan de slag met het Stimuleringsprogramma Energiehubs | RVO.nl

Regelingen voor ondernemers om bij te dragen aan het ontlasten van het elektriciteitsnet

Er zijn op dit moment weinig regelingen bij RVO in uitvoering die als primair doel hebben of expliciet stimuleren dat het elektriciteitsnet wordt ontlast, door ondernemers in staat te stellen om flexibiliteit aan de netbeheerder te leveren. Pas recent is de Flex-e-regeling in werking getreden[67]. Deze regeling is erop gericht om een deel van de flexibiliteit bij ondernemers met een grootverbruikersaansluiting (minimaal 100 kW) te kunnen ontsluiten. Dit kan onder meer via de inzet van batterijen, e-boilers en warmtebuffering.

Deze technieken die flexibiliteit kunnen leveren worden daarnaast ook via andere regelingen gestimuleerd, zij het niet met het expliciete doel om flexibiliteit beschikbaar te stellen aan de netbeheerder.

Via e-boilers kan bijvoorbeeld flexibiliteit worden vrijgespeeld[68], die vervolgens kan worden aangeboden aan de netbeheerder.

Met name wanneer een e-boiler wordt geplaatst naast een gasboiler kan deze flexibel worden ingezet. Bij de **SDE++-regeling** komt deze opstelling bij veel aanvragen voor. Ook binnen de **EIA-regeling** worden e-boilers gestimuleerd. Via de **VEKI-regeling** kunnen e-boilers daarnaast onderdeel uitmaken van subsidie voor specifieke industriële verduurzamingsprojecten.

Via de **EIA-regeling** kan ook ondersteuning worden verkregen voor energiebalanceringsprojecten waarmee flexibiliteit kan worden gecreëerd. Investeringen in bijvoorbeeld batterijen voor energieopslag vallen onder de regeling. Deze systemen kunnen ook worden ingezet om flexibiliteit aan een netbeheerder te leveren. Hiervoor zijn echter aanvullende afspraken met netbeheerders nodig, bijvoorbeeld via een capaciteitsbeperkingscontract, om te voorkomen dat de batterijen worden ingezet voor handel op de onbalansmarkt. Op dit moment wordt dit type contract nog niet op grote schaal afgesloten.

67. De Flex-e-regeling is opengesteld vanaf 1 april 2025 tot en met 15 oktober 2025. Er is een nieuwe ronde gepland in 2026.
68. Zie: Energiebesparing | in de industrie



Conclusies

Veel van de onderzochte regelingen hebben als doel verduurzaming te stimuleren. Deze verduurzaming vindt in de praktijk vaak plaats via elektrificatie. Elektrificatie raakt al snel aan netcongestie. Enerzijds kunnen regelingen door het stimuleren van elektrificatie bijdragen aan een toename van netbelasting. Anderzijds zien we dat netcongestie er bij veel regelingen juist toe leidt dat het aantal aanvragen en/of toekenningen afneemt. In dit onderzoek is daarom gezocht naar opties die ingaan op optimalisatie van regelingen; om meer aanvragen mogelijk te maken met zo min mogelijk negatieve effecten op netcongestie, of met een positieve bijdrage aan het verhelpen van netcongestie.

Binnen verschillende regelingen zijn al diverse aanpassingen doorgevoerd om het neveneffect op netcongestie te beperken. Met name bij grote regelingen zoals de SDE++ en de ISDE, maar ook bij regelingen die laadinfrastructuur stimuleren zoals de SPULA en de SPRILA, is aandacht voor netcongestie inmiddels al onderdeel van het regelingontwerp- en evaluatieproces. Daarbij wordt nagegaan of en welke netcongestiemitigerende voorwaarden kunnen worden opgenomen. Bij andere regelingen zien we dat hier wel over nagedacht is, maar dat de ruimte voor aanpassingen, rekening houdend met het doel van de regeling, vaak beperkt is.

De meeste potentie zien we in aanpassingen die op dit moment nog niet breed toepasbaar zijn, maar in de toekomst wel. Het gaat hierbij om aanpassingen die aanvullend zijn op de al bestaande maatregelen, zoals opgenomen in bijlage 3. Het betreft in het bijzonder:

1. Het in de toekomst stimuleren of verplichten van het gebruik van nieuwe **flexibele contractvormen** binnen regelingen. Dit advies is speciaal van toepassing op regelingen die samenhangen met elektrificatie, zoals regelingen binnen de thema's elektrolyse, elektrisch vervoer op land en luchtvaart, maritiem en verduurzaming industrie, en voor het thema opwek van elektriciteit. Ondernemers kunnen op dit moment al wel op eigen initiatief gebruikmaken van dergelijke contractvormen. Een verplichting zou nu belemmerend werken voor regelingen, maar wordt interessanter als deze contracten breder toegepast worden dan nu het geval is.

2. Het in regelingen aansluiten op (te ontwikkelen) normen voor **slimme sturing**, onder andere voor warmtepompen en laadinfrastructuur. De toepasbaarheid hiervan verschilt per regeling en vraagt om maatwerk. Bovendien wordt het effect op netcongestie uiteindelijk bepaald door het daadwerkelijke gebruik van slimme sturing, waarop de regelingen zelf geen invloed hebben.

Daarnaast zien we kansen voor netcongestiemitigerende voorwaarden bij de stimulering van batterijen. Batterijen worden in verschillende regelingen gestimuleerd, terwijl bij veel van deze regelingen geen specifieke voorwaarden verbonden zijn aan het gebruik en de inzet ervan. Zonder aanvullende voorwaarden bestaat het risico dat batterijen bijdragen aan netcongestie en piekbelasting, met name wanneer zij worden ingezet voor handel op het elektriciteitsnet. Deze belangrijke kanttekening lijkt nog niet bij alle regelingen bekend te zijn. Bij de SPRILA- en de SPULA-regelingen zijn al wel mitigerende voorwaarden opgenomen. Bij verschillende andere regelingen, zoals de EIA en enkele maritieme regelingen, kan nog worden verkend of aanvullende voorwaarden die ervoor zorgen dat de batterijen niet of minder worden gebruikt om mee te handelen op de onbalansmarkt wenselijk en uitvoerbaar zijn.

Tot slot blijkt dat de regelingen die door RVO worden uitgevoerd ondernemers op verschillende manieren kunnen ondersteunen wanneer zij te maken krijgen met netcongestie. Dit geldt onder meer voor de Flex-e-regeling, SDE++ en de EIA. Deze ondersteuningsmogelijkheden zijn gepresenteerd in tabel 5 op pagina 29. Slechts een beperkt aantal regelingen die door RVO worden uitgevoerd heeft echter als expliciet doel om flexibiliteit beschikbaar te stellen aan de netbeheerder, of dit direct te stimuleren. Pas recent is de Flex-e-regeling in werking getreden en is specifiek ontworpen met het oog op netcongestie. Daarnaast bieden de EIA-regeling, de SDE++ en de VEKI-regeling mogelijkheden om flexibiliteit te ontsluiten.



Foto: Tennet/Chris Pennarts

Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek worden verschillende aanbevelingen gedaan. Hierbij is voortgebouwd op aanbevelingen uit een interne analyse van RVO rondom elektrische mobiliteit. De analyse *"Hoe om te gaan met netcongestie in subsidieregelingen voor elektrische mobiliteit. Voorwaarden, mitigerende maatregelen en lessons learned"* is op verzoek opvraagbaar[69].

Onderstaande aanbevelingen zijn gericht op de beleidsdepartementen en RVO, tenzij anders aangegeven.

1. Pas maatwerk toe per regeling en per openstelling

Er is geen one-size-fits-all-oplossing voor netcongestiemitigatie binnen financiële regelingen. De impact van een regeling op netcongestie verschilt per situatie, doel en doelgroep. Het is daarom aan te bevelen om per regeling en per openstelling expliciet af te wegen welke mitigerende opties passend zijn. Laat RVO nieuwe openstellingen hierop monitoren tijdens de periodieke evaluatierondes, zodat tijdig kan worden bijgestuurd.

2. Betrek en/of informeer netbeheerders tijdig bij ontwikkeling van nieuwe regelingen of nieuwe openstellingen

Betrek of informeer netbeheerders tijdig bij de ontwikkeling van nieuwe regelingen en bij nieuwe openstellingen wanneer er sprake lijkt te zijn van invloed op de netbelasting. Maak afspraken met Netbeheer Nederland over hoe dit proces het beste ingericht kan worden. Tijdige betrokkenheid van netbeheerders helpt om onvoorziene ontwikkelingen te voorkomen. Het betrekken van de netbeheerder is een goede stap om te komen tot afstemming over de juiste voorwaarden en mogelijkheden rondom (nieuwe vormen van) mitigerende aanpassingen.

3. Versterk kennisuitwisseling binnen RVO en tussen ministeries

Zorg binnen RVO en tussen de betrokken ministeries voor (verdere) kennisuitwisseling tussen de regelingen over netcongestiemitigerende maatregelen. Via dit onderzoek en andere trajecten binnen RVO is hier al een start mee gemaakt. Zo is binnen de mobiliteitsregelingen, inclusief maritieme regelingen, bij RVO al structurele kennisuitwisseling en afstemming georganiseerd. Ook is er een centraal team binnen RVO dat een kennisfunctie vervult en deze verder aan het uitbouwen is.

Aan de kant van de beleidsministeries wordt aanbevolen om, bijvoorbeeld via de bestaande klankbordgroep, structureel contact te houden over nieuwe regelingen en mitigerende maatregelen. Deze kennisuitwisseling kan bijdragen aan beter

69. Het rapport kan worden aangevraagd via elektrischrijden@rvo.nl

inzicht in de (verwachte) netimpact van regelingen en of er mitigerende maatregelen mogelijk zijn. Deze maatregelen kunnen ook helpen om projecten te realiseren binnen de beperkte netruimte die er is.

4. Blijf ontwikkelingen rond slimme sturing en flexibele contractvormen actief volgen

Blijf ontwikkelingen rondom flexibele contractvormen en slimme sturing actief in de gaten houden, met het oog op toepassing in financiële regelingen met netbelasting. Bespreek deze ontwikkelingen bij jaarlijkse wijzigingen van bestaande regelingen en bij het ontwerp van nieuwe regelingen. Opties zoals alternatieve transportrechten en groepscontracten hebben potentie, maar zijn op dit moment nog niet voor alle bedrijven beschikbaar. Wanneer deze opties breder beschikbaar worden, kan integratie in regelingen interessant zijn en dient dit nader onderzocht te worden. Als gestandaardiseerd product kunnen groepscontracten ook voor (veel) energiehubs een interessante optie zijn.

Houd daarnaast de ontwikkelingen rondom slimme sturing van onder andere warmtepompen en laadinfrastructuur goed in de gaten. Deze aanbeveling hangt nauw samen met de eerdere aanbeveling om kennisuitwisseling te organiseren. Dit kan bijvoorbeeld geborgd worden via het centrale team binnen RVO en/of via de liaisons van het LAN.

5. Maak het stellen van netcongestiegerelateerde voorwaarden een expliciete en onderbouwde keuze

Laat het al dan niet stellen van netcongestiegerelateerde voorwaarden altijd een bewuste keuze zijn. Het is niet vanzelfsprekend dat subsidies zonder dergelijke voorwaarden leiden tot voldoende kansrijke projecten. Evenmin is het vanzelfsprekend dat de impact van projecten op het elektriciteitsnet zonder voorwaarden beperkt blijft. Tegelijkertijd kunnen voorwaarden onvoorziene neveneffecten hebben en leiden tot extra controleverplichtingen. Daarom is het aan te bevelen om, voor zover dit nog niet gebeurt, te onderbouwen – bijvoorbeeld in het beleidskompas of de opdrachttoets binnen RVO – waarom voor bepaalde netcongestiegerelateerde voorwaarden wordt gekozen, en ook waarom daarvan wordt afgezien.

6. Stimuleer netbewust gedrag bij subsidieaanvragers

Motiveer subsidieaanvragers, waar relevant, om mogelijkheden te onderzoeken om hun piekbelasting te verlagen en bij voorkeur maatregelen te realiseren binnen hun bestaande aansluiting en gecontracteerde transportvermogen.

Wanneer dit niet mogelijk is, motiveer hen dan een netaansluiting en gecontracteerd transportvermogen aan te vragen dat aansluit bij het verwachte elektriciteitsgebruik en -profiel. Dit is in het voordeel van de ondernemer, omdat deze hiermee mogelijk hoge kosten voorkomt en makkelijker aan de gewenste capaciteit of aansluiting komt. Tegelijkertijd is dit in het voordeel van de netbeheerder, die met minder hoge vermogensaanvragen wordt geconfronteerd. Bewustwording bij subsidieaanvragers kan onder meer worden bevorderd via gerichte communicatie.

7. Wees alert op het feitelijke gebruik van gesubsidieerde installaties

Wees bij het ontwerp (of wijzigen) en de uitvoering van een regeling bewust van de verschillende manieren waarop gesubsidieerde installaties in de praktijk kunnen worden ingezet. Weeg af in hoeverre verschillende vormen van inzet wenselijk en geoorloofd zijn, en of er risico bestaat op ander gebruik dan bedoeld is, om hier waar nodig gericht op te kunnen sturen en te handhaven.

Uit eerdere openstellingen zijn bijvoorbeeld signalen naar voren gekomen dat batterijen zijn aangeschaft voor een ander doel dan waarvoor de subsidie bedoeld was. Om die reden zijn in sommige regelingen aangescherpte voorwaarden opgenomen. Probeer erop toe te zien dat het daadwerkelijke gebruik van gesubsidieerde installaties overeenkomt met het doel van de regeling. De huidige praktijk laat zien dat batterijen vaak alleen een rendabele businesscase hebben door het stapelen van markten, met diverse verdienmodellen naast elkaar. Dit onderstreept dat het genoemde risico op alternatief gebruik zeer reëel is.

8. Verzamel en deel praktijkoplossingen uit projecten

Overweeg het (breder) verzamelen door RVO van technieken en creatieve oplossingen uit projectaanvragen die in de markt worden bedacht om netcongestie te mitigeren. Dit kan bijvoorbeeld via de VEKI en enkele mobiliteits- en maritieme regelingen, waar moet worden aangetoond dat projecten haalbaar zijn ondanks netcongestie. Daarnaast vinden binnen diverse innovatieregelingen die door RVO worden uitgevoerd, zoals de regeling Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+)[70], ontwikkelingen plaats op het gebied van netcongestie. Ook de Innovation Impact Challenge (voorheen SBIR) kan innovatieve en oplossingsgerichte producten en diensten voor maatschappelijke vraagstukken opleveren. Innovation Impact Challenge[71] is de werkwijze waarmee de overheid in een innovatiecompetitie ondernemers uitdaagt[72]. In 2024 is er een oproep geweest voor innovatieve oplossingen die leiden tot een betere of zo mogelijk optimale benuttingsgraad van bestaande en nieuw aan te leggen elektriciteitsnetwerken. Ook deze ontwikkelingen zijn relevant om in de gaten te houden. Deze oplossingen kunnen vervolgens worden teruggekoppeld aan de markt en/of netbeheerders.

70. Voor meer informatie, zie Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) | RVO.nl. Deze regeling is in dit onderzoek afgevallen in de laatste onderzoeksfase en dus niet grondig onderzocht, omdat er niet binnen 5 jaar een substantiële impact op netcongestie wordt verwacht.
71. Voor meer informatie, zie Innovation Impact Challenge | RVO.nl
72. SBIR-oproep Betere benutting van de capaciteit van elektriciteitsnetwerken | RVO.nl

9. Neem relevante mogelijkheden op in het Loket Netcongestie

Neem de in deelvraag 3 beschreven mogelijkheden voor ondernemers die te maken krijgen met netcongestie, of die flexibiliteit willen leveren, op in het Loket Netcongestie van RVO.

Deze aanbeveling is specifiek gericht aan het ministerie van KGG als beleidsverantwoordelijk departement voor het Loket Netcongestie. De uitvoering van het loket ligt bij RVO.

10. Overweeg vervolgonderzoek naar niet-financieel instrumentarium

Overweeg vervolgonderzoek naar de invloed van niet-financieel instrumentarium op netcongestie. In dit rapport is enkel gekeken naar financieel instrumentarium, terwijl ook ander instrumentarium, zoals programma's, campagnes gericht op gedragsverandering en verplichtingen, kan bijdragen aan het verminderen of juist vergroten van netcongestie. Bijvoorbeeld binnen maatschappelijk vastgoed bestaat een ontzorgingsprogramma, uitgevoerd door RVO, waarin wordt onderzocht bij welk maatschappelijk vastgoed het flexibel elektriciteitsverbruik vergroot kan worden[73]. Het kan waardevol zijn om in vervolgonderzoek de impact van niet-financieel instrumentarium op netcongestie in beeld te brengen.

73. Ontzorgingsprogramma maatschappelijk vastgoed | RVO.nl



Bijlagen



Bijlage 1:
Lijst van niet geselecteerde regelingen in fase 2

Regelingnaam		Afkorting	Reden om niet mee te nemen
1	Borgstelling MKB-kredieten-Groen	BMKB-G	Geen aanzienlijke netbelasting verwacht.
2	Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+)	DEI+	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
3	Energie en Klimaat Onderzoek en Ontwikkeling (EKOO)	EKOO	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
4	Horizon Europe Partnership (HEP)	HEP	Budget onder de 10 miljoen.
5	Importregeling Waterstofdragers	N.v.t.	Nog geen duidelijk beeld van uitwerking instrument.
6	Koplopersregeling Maritiem Masterplan	N.v.t.	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
7	MIA en Vamil voor ondernemers	MIA\ Vamil	Geen aanzienlijke netbelasting verwacht.
8	Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI)	MOOI	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
9	PPS Innovatie	PPS-i	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
10	Regeling lage temperatuur Geothermie	N.v.t.	Geen piekbelasting verwacht.
11	Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen (SAH)	SAH	Regeling loopt niet door na 2025.
12	Subsidie emissieloze touringcars (STour)	STour	Minder dan 10 miljoen budget.
13	Subsidieregeling Clean Energy Hubs	N.v.t.	Regeling gaat niet worden uitgevoerd door RVO.
14	Subsidieregeling Collectieven mkb Verduurzaming Reisgedrag (COVER)	COVER	Minder dan 10 miljoen budget.
15	Subsidieregeling Luchtvaart in Transitie (LiT)	LiT	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
16	Subsidieregeling maritieme innovatieprojecten	N.v.t.	Minder dan 10 miljoen budget.
17	Subsidieregeling Samenwerking in Logistieke Keten (SILK)	SILK	Regeling loopt niet door na 2025.
18	Subsidieregeling TopSector High Tech Vliegtuigmaakindustrie	N.v.t.	Geen aanzienlijke netbelasting verwacht. Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
19	Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen	SRVB	Regeling loopt niet door na 2025.
20	Subsidieregeling Waterstof in mobiliteit (SWIM)	SWIM	Geen aanzienlijke netimpact verwacht binnen 5 jaar.
21	Subsidieverlening Groeifondsvoorstel Digitale Infrastructuur voor Toekomstbestendige Mobiliteit (DITM)	DITM	Regeling loopt niet door na 2025.

Bijlage 2:
Omschrijvingen onderzochte regelingen

Regelingnaam	Regelingomschrijving
Energietransitie binnenvaart	Het doel is stimuleren van de vroege fase opschaling (VFO) van emissieloze en klimaatneutrale aandrijftechnieken om een nagenoeg emissieloze binnenvaart in 2050 haalbaar te maken. Er kan subsidie aangevraagd worden voor de aandrijflijn, maar vooralsnog niet voor de laadinfrastructuur.
Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks (AanZET)	Subsidieregeling gericht op ondernemers en non-profitorganisaties die een nieuwe, volledig emissieloze (uitstootvrije) vrachtauto willen kopen of financial-leasen.
Elektrificatie Havenmaterieel	Het doel van de regeling is het realiseren van een reductie van de stikstofdepositie, middels subsidie voor elektrisch havenmaterieel en laadinfrastructuur, in stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden die met stikstof-overbelast zijn. Gewenste neveneffecten zijn CO_2- en fijnstofreductie.
Regeling stimulering Schoon en Emissieloos Bouwen voor medeoverheden (SPUK SEB)	Specifieke uitkering (SPUK) voor mede-overheden. Doel is om meer aanbestedingen met emissieloos materieel te bewerkstelligen en ondertekening van convenant SEB.
Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB) Aanschaf	De Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB) is er voor de aanschaf van en de ombouw naar emissieloze (uitstootvrije) bouwwerktuigen en bouwvaartuigen door bouwbedrijven. De SSEB is er ook voor de ombouw van bouwwerktuigen en bouwvaartuigen naar emissie-arm. Vernieuwende ideeën die emissieloze bouwmachines en de laadinfrastructuur verbeteren kunnen subsidie krijgen vanuit de SSEB.
Subsidieregeling Emissieloos Landbouwmaterieel (SEL)	Het doel van de subsidie is de stimulering van het vervangen van fossiel dieselaangedreven landbouwmaterieel door elektrisch landbouwmaterieel. Dit leidt tot een vermindering van CO_2-uitstoot.
Subsidieregeling batterij elektrisch varen zeehavens 2026-2029	Het doel van de regeling is het realiseren van een reductie van de stikstofdepositie, middels subsidie voor een batterijpakket en de laadinfrastructuur, in stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden die met stikstof overbelast zijn. Gewenste neveneffecten zijn een reductie in CO_2-uitstoot, verbetering van luchtkwaliteit en een vermindering in geluidsemissies.
Subsidieregeling Private Laadinfrastructuur bij bedrijven (SPRILA) Aanschaf	De Subsidieregeling Private Laadinfrastructuur bij bedrijven (SPRILA) Aanschaf helpt bedrijven om te investeren in laadpunten voor elektrische voertuigen op privéterreinen. Zo komen er sneller meer laadpunten beschikbaar.
Subsidieregeling Publieke Laadinfrastructuur zwaar vervoer (SPULA)	Subsidieregeling gericht op ondernemers die op een publiek toegankelijke locatie laadinfrastructuur willen aanleggen voor zware elektrische voertuigen. De Subsidieregeling Publieke Laadinfrastructuur zwaar vervoer (SPULA) stelt bedrijven in staat om de uitrol van publiek toegankelijke laadlocaties te versnellen.
Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen 2024-2027	De subsidieregeling is gericht op partijen die een walstroomvoorziening willen aanleggen in een Nederlandse zeehaven waarbij het doel is om stikstofdepositie te verminderen. De voorziening is bedoeld voor zeeschepen.

Regelingnaam	Regelingomschrijving
Tijdelijke subsidieregeling walstroom zeeschepen klimaat 2024-2026	De subsidieregeling is gericht op partijen die een walstroomvoorziening willen aanleggen in een Nederlandse zeehaven waarbij het doel is om CO_2-emissie van zeeschepen te verminderen en bij te dragen aan de Europese AFIR-verplichtingen voor walstroom. De voorziening is bedoeld voor zeeschepen.
Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE)	De Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE) is er voor woningeigenaren en zakelijke gebruikers. Zakelijke gebruikers kunnen hun productieproces of gebouw verduurzamen via een (hybride) warmtepomp, een zonneboiler of een kleine windturbine en kunnen hier subsidie voor krijgen. Woningeigenaren kunnen hun woning verduurzamen en geld terugvragen nadat zij een (hybride) warmtepomp, zonneboiler of elektrische kookvoorziening hebben laten installeren. Of als zij hun woning hebben geïsoleerd of deze hebben aangesloten op een warmtenet.
Energie-investeringsaftrek (EIA) voor ondernemers	Gericht op bedrijven die investeren in bedrijfsmiddelen die zorgen voor minder CO_2-uitstoot of energiezuinig zijn, en gericht op bedrijven die willen investeren in duurzame energie. Met de Energie-investeringsaftrek (EIA) kunnen zij 40 procent van de investeringskosten aftrekken van de winst.
Stimuleringsprogramma Energiehubs	Met het Stimuleringsprogramma Energiehubs moedigen we de ontwikkeling van lokale en regionale energiehubs aan. De overheid maakte hiervoor € 166 miljoen vrij. Het programma stimuleert het ontstaan van energiehubs door hulp bij de ontwikkeling van energiehubs, kennisontwikkeling en uitwisseling en wegnemen van knelpunten.
Subsidie voor flexibel elektriciteitsverbruik (Flex-e)	Subsidieregeling gericht op het vergroten van de flexibiliteit van het elektriciteitsverbruik bij ondernemers, waardoor er meer ruimte op het elektriciteitsnet ontstaat. De subsidieregeling ondersteunt bedrijven via drie onderdelen: Flexibiliteitsscans; Haalbaarheidsstudies om te kijken welke maatregelen technisch haalbaar zijn; Ondersteuning voor het uitvoeren van flexibiliteitsmaatregelen. Deze onderdelen helpen bedrijven met het verkrijgen van kennis en inzicht en het (beter) inzetten van flexibele elektriciteitsmaatregelen.
Warmtenetten Investeringssubsidie (WIS)	Investeringssubsidie gericht op het investeren in een efficiënt warmtenet om al bestaande woningen en gebouwen van het aardgas te halen. De Warmtenetten Investeringssubsidie kan worden aangevraagd voor het deel van de investering dat zich niet terugverdient. Deze subsidie is voor projecten die snel van start kunnen gaan.
Subsidieregeling Verduurzaming en Onderhoud Huurwoningen (SVOH)	Subsidieregeling gericht op verhuurders die één of meer van hun bestaande huurwoningen willen verduurzamen. Via de Subsidieregeling Verduurzaming en Onderhoud Huurwoningen (SVOH) kunnen zij subsidie ontvangen voor energiebesparende maatregelen, duurzame warmteopties, onderhoudsmaatregelen en een maatwerkadvies.
Subsidieregeling verduurzaming voor verenigingen van eigenaars (SVVE)	Subsidieregeling gericht op Verenigingen van Eigenaars (VvE), woonverenigingen en wooncoöperaties die hun gebouw willen verduurzamen. Met de Subsidieregeling verduurzaming voor verenigingen van eigenaars (SVVE) vragen zij subsidie aan voor verduurzamingsonderzoeken, -adviezen, -maatregelen en laadinfrastructuur.
Subsidieregeling duurzaam maatschappelijk vastgoed (DUMAVA)	Subsidieregeling gericht op eigenaren van maatschappelijk vastgoed en iedereen die zich bezighoudt met het verduurzamen van maatschappelijk vastgoed zoals scholen, overheidsgebouwen, zorginstellingen of monumenten. De subsidieregeling duurzaam maatschappelijk vastgoed (DUMAVA) komt eigenaren van bestaand maatschappelijk vastgoed tegemoet in de kosten om te verduurzamen.

Regelingnaam	Regelingomschrijving
Marktintroductie energie-innovaties glastuinbouw (MEI)	Subsidie gericht op glastuinders die het energiesysteem in hun kassen willen verduurzamen. Via de subsidie kunnen zij investeren in innovatieve kassystemen of kasenergiesystemen die de CO_2-uitstoot verminderen.
Energie-efficiëntie glastuinbouw (EG) 2025	Subsidieregeling gericht op glastuinders en samenwerkingsverbanden van glastuinders die energie willen besparen, bijvoorbeeld door een luchtbehandelingssysteem te installeren.
Subsidie Warmte-infrastructuur Glastuinbouw (SWiG)	Subsidie gericht op ondernemers die willen investeren in de aanleg van een efficiënt en toekomstbestendig warmtenet voor glastuinbouwondernemingen.
Stimulering duurzame luchtvaartbrandstoffen (SDL)	Dit betreft een regeling om productie van duurzame luchtvaartbrandstoffen te stimuleren (alcohol-to-jet en e-fuels), doelgroep zijn SAF-producenten.
Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie	De regeling Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) is gericht op ondernemers die grootschalig hernieuwbare energie opwekken of die een techniek gaan gebruiken die de CO_2-uitstoot vermindert.
Subsidieregeling Coöperatieve Energie opwekking (SCE)	Subsidie voor energiecoöperaties en Verenigingen van Eigenaars voor het lokaal en gezamenlijk opwekken van duurzame energie uit zon, wind of waterkracht (voorheen Regling Verlaagd Tarief).
Subsidieregeling Indirecte kostencompensatie ETS (IKC-ETS)	Subsidieregeling gericht op het vergoeden van de (indirecte) kosten die vanwege het Europese systeem van emissiehandel (EU ETS) zijn doorgerekend in de elektriciteitsprijzen. De subsidie is gericht op bedrijven met hogere elektriciteitskosten en bedrijven die actief zijn in een bedrijfstak waarin de productie veel stroom verbruikt. De subsidie verlaagt hun totale elektriciteitskosten.
Versnelde klimaatinvesteringen industrie (VEKI)	Gericht op ondernemingen in de industrie die CO_2-besparende maatregelen nemen, waarvan de werking is bewezen. De subsidie ondersteunt als zij deze maatregelen voor eigen rekening en risico nemen, maar tegen te hoge investeringskosten aanlopen. De tijd waarin deze kosten zich terugverdienen moet langer zijn dan 5 jaar. Thema's zijn energie-efficiëntie, circulaire economie, infrastructuurvoorzieningen en overige CO_2-verlagende maatregelen.
Nationale Investeringsregeling Klimaatprojecten Industrie (NIKI)	De NIKI-regeling biedt financiële steun voor bedrijven met plannen voor (omvangrijke) investeringen in innovatieve duurzame technieken, die bijdragen aan de energietransitie en het terugdringen van CO_2-uitstoot.
H2-WOZ DEMO1 (regeling Elektrolyse op Zee)	Demo 1 beoogt de realisatie van een elektrolyse installatie op zee met een minimaal vermogen van 20 MW in of nabij het windenergiegebied Hollandse Kust (noord). Demo 1 heeft als doel om kennis en ervaring op te doen met waterstofproductie en -transport op zee, waarbij de toeleverings- en uitvoeringsketen wordt betrokken. De inzichten van Demo 1 moeten kunnen worden benut voor de realisatie van Demo 2 en om deze reden dient Demo 1 in het jaar 2031 te starten met commerciële waterstofproductie.
Subsidieregeling grootschalige productie volledig hernieuwbare waterstof via elektrolyse (OWE), inclusief OWE waterstofhubs (in ontwikkeling)	De subsidieregeling grootschalige productie volledig hernieuwbare waterstof via elektrolyse (OWE) is gericht op bedrijven die hernieuwbare (duurzame) waterstof produceren met een elektrolyser met een vermogen van ten minste 0,5 megawatt. In ontwikkeling is een aparte openstelling met als werktitel OWE waterstofhubs. Het doel is het stimuleren van zogenaamde waterstofhubs, waarbij het belangrijkste onderdeel de elektrolyser is.

Bijlage 3:
Bestaande netcongestiemitigerende maatregelen en maatregelen die doorgevoerd gaan worden

Energiebesparing

Onderstaande bestaande voorwaarden hebben niet direct als doel om netcongestie te mitigeren, maar werken in de praktijk al wel netcongestiemitigerend.

- Het subsidiebedrag voor warmtepompen bij de ISDE-regeling is onafhankelijk van het vermogen van de warmtespiralen. Hierdoor wordt energie-efficiëntie gestimuleerd en worden (onnodig) hoge vermogens (en dus hoge piekbelasting) voorkomen.
  Via de ISDE- en de DUMAVA-regeling worden enkel warmtepompen gestimuleerd met een (relatief) hoog rendement. Door deze maatregel wordt de elektriciteits- en piekvraag beperkt ten opzichte van warmtepompen die minder efficiënt zijn.

- DUMAVA hanteert een verplicht energieadvies bij het indienen van een aanvraag. Het energieadvies dient ertoe om eigenaren te stimuleren en bewust te maken van energiegebruik van het gebouw en de mogelijkheden.

Flexibiliteit

Binnen de Flex-e-regeling wordt een netcongestiemanagementcontract vereist voor het onderdeel flexibiliteitsmaatregelen. Als voorbeeld van flexibiliteitsmaatregelen kan batterij-opslag dienen. In een congestiemanagementcontract staan de afspraken over het elektriciteitsverbruik van de aansluiting van een bedrijf op verschillende momenten. Dit is een extra overeenkomst. Hierin staan afspraken over welk flexibel elektriciteitsverbruik een bedrijf vrijmaakt[74]. Er zijn verschillende vormen van congestiemanagementcontracten. Een capaciteitsbeperkend contract is hier een voorbeeld van, maar er zijn meer varianten[75]. Netbeheerders zijn momenteel nog wel beperkt in capaciteit om deze contracten, waar maatwerk voor nodig is, te kunnen opstellen. Op de website van RVO wordt op de pagina van de Flex-e-regeling aangegeven dat een aanvraag een aantal maanden kan duren.

Elektrisch vervoer op land en luchtvaart

De bestaande voorwaarden in de mobiliteits-gerelateerde regelingen zijn de volgende:

- Bij een aanvraag voor de SPRILA wordt om een **capaciteitsberekening** gevraagd waarin moet worden aangetoond dat extra netcapaciteit binnen 24 maanden wordt gerealiseerd. Er wordt om de berekening gevraagd als de benodigde capaciteit meer dan 50 procent van de beschikbare capaciteit is. Dit is een drempel die voor beter overwogen en uitvoerbare projectaanvragen zorgt. Door deze berekening te vragen, worden aanvragers zich bewust van de capaciteit van laadinfra die zij nodig hebben en wordt voorkomen dat er laadpalen worden geïnstalleerd met een onnodig hoog vermogen.

- Verder worden er binnen sommige regelingen **voorwaarden gesteld aan batterijen**, om zo de mitigerende werking zo goed mogelijk te benutten, zoals:
  - 70 procent van de capaciteit moet gebruikt worden voor laadinfrastructuur. Om zo handel via energiemarkten te beperken. Deze voorwaarde geldt zowel voor de SPULA als de SPRILA. RVO kan de subsidieontvanger na de subsidievaststelling verzoeken om gebruiksdata te delen over een exploitatieperiode van drie achtereenvolgende maanden. De gebruiksdata bestaan uit het aantal kWh dat is ontladen uit de batterij, en het aantal kWh dat via de laadstations aan voertuigen is geleverd. Een aanvrager kan deze data delen uit achtereenvolgens het Batterij Management Systeem en uit de administratie van de afgenomen laadsessies. De subsidieontvanger is verplicht hieraan mee te werken. Op deze wijze wordt gecontroleerd of de subsidieontvanger voldoet aan deze voortdurende verplichtingen[76].

  - Bij de SPRILA was de maximale C-waarde tot en met de openstelling in 2025 0,25. De C-waarde geeft aan hoe snel een batterij oplaadt/ontlaadt, waarmee de piekimpact op het net kan worden ingeperkt. Een waarde van 0,25 is relatief laag, waarmee een batterij dus relatief langzaam oplaadt en ontlaadt. Deze C-waarde wordt aangepast naar 0,5 in de volgende opstelling. De eerdere waarde was netcongestievriendelijker, maar een C-waarde van 0,25 bleek niet gangbaar in de markt. Bij de SPULA moet door de publieke laadfunctie sneller geladen kunnen worden, waardoor deze voorwaarde daar niet is opgenomen. Overigens zijn er enkele uitvoeringstechnische haken en ogen aan het verplichten en controleren van deze C-waarde[77].

  - De SSEB stimuleert meerdere verwisselbare batterijpakketten, waardoor het gebruik van de en laden van batterijen los van elkaar kan plaats vinden. Hierdoor kunnen de batterijen beter buiten de netcongestiepieken worden geladen.

74. Flex-e: Flexibiliteitsmaatregelen | RVO.nl
75. Zie voor meer informatie Pas uw elektriciteitsverbruik aan (via een flexibel contract) en krijg een vergoeding of korting | RVO.nl
76. Staatscourant 2025, 39984 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen
77. Er zijn namelijk manieren om de omvormer (tijdelijk) softwarematig te beperken. Hierdoor is de eis in de SPRILA opgenomen dat de C-waarde hardwarematig moet zijn. Verder kan de C-waarde worden beperkt door een (tijdelijke) zekering en zijn er verwisselbare omvormers (met een hogere C-waarde) voor batterijen beschikbaar.

- Voor de SPUK SEB moet een gemeente **aangesloten zijn bij het convenant Schoon en Emissieloos Bouwen**[78]. Gemeenten denken mee en ondersteunen om emissieloos bouwen te faciliteren ondanks de beperkingen van netcongestie, door ruimte zoeken te binnen de bestaande aansluiting waar nog capaciteit is om tijdelijk onder meer de batterijpakketten op te laden. Het ondersteuningsprogramma SEB, wat niet wordt uitgevoerd door RVO, helpt gemeenten daarbij door middel van energiescans, waarin onderzocht kan worden waar energie vandaan gehaald kan worden, zonder dat dit een nieuwe aansluiting vergt.

- Bij de SSEB is er subsidie beschikbaar voor verschillende aggregaten op duurzame brandstof als energievoorziening voor laadinfra, zoals:
  - aggregaat op wind- of zonne-energie;
  - aggregaat voor off-grid stroomvoorziening op waterstof of waterstofdragers.

- **De laadinfrastructuur moet mobiel zijn** bij de SSEB. Deze voorwaarde zorgt voor minder netcongestie, omdat er geen aansluiting op het net vereist is. Het laden van de infrastructuur kan daarom plaatsvinden in de ruimte van elektriciteitsprofielen van bestaande aansluitingen.

- In de SPRILA aanschaf, de SPULA en de SVVE-regeling is opgenomen dat laadpalen geschikt moeten zijn voor slim laden. Met **slim laden**[79], hier specifiek load balancing, kan het beschikbare vermogen dusdanig worden verdeeld over de voertuigen dat het laden niet leidt tot overschrijding van het gecontracteerde vermogen. Hierdoor worden pieken vermeden en kan er vaak meer op een kleinere netaansluiting.

- In de SPULA zat, tot en met de openstelling van 2025, de eis dat de laadlocatie, op het moment van aanvragen, een netaansluiting moet hebben van minimaal 600 kVA. Dit zorgde ervoor dan het aantal aanvragen stokte. Er waren geen geschikte locaties meer door netcongestie. **In de openstelling van 2026 is deze eis verlaagd naar 100 kVA**[80]. Dit zorgt er (in potentie) voor dat projecten ook met een minder grote aansluiting uitkunnen, waarbij ze zelf voor andere (flexibelere) opties zorgen, door het verschil aan te vullen met bijvoorbeeld stroom uit Zon-PV of wind. Deze aanpassing zorgt ervoor dat het net beter benut kan worden (met dezelfde capaciteit méér grotere projecten en daarmee in lijn met de doelstellingen van de regelingen) kunnen worden gerealiseerd. Deze maatregel heeft geen mitigerend effect op de reële netbelasting, maar wel in vergelijking met de situatie waarbij het project uitgevoerd zou worden zonder deze maatregel.

Maritiem

In de eerstvolgende opstellingen (2026) van de twee walstroomregelingen zal worden toegevoegd dat het **opwekken van hernieuwbare elektriciteit ter plaatse en de opslag daarvan** meegesubsidiëerd kan worden. Hierbij is bepaald dat de batterij niet méér mag opslaan dan dat er nodig is voor het schip. Dit kan gezien worden als aanpassing die netcongestieverminderend werkt, omdat dit kan voorkomen dat er uitbreiding van bestaande netaansluitingen nodig is voor de aanvragers. Het effect op de piekbelasting hangt echter ook af van hoe de batterij in de praktijk wordt ingezet; een batterij kan immers ook netcongestieverergerend effect hebben[81]. Dit risico lijkt reëel, omdat de businesscase van batterijen meestal een stapeling van markten vereisen, waarvan de meerderheid geen rekening houdt met netcongestie[82].

Opwek elektriciteit

De netcongestieverminderende maatregelen die nu actief zijn in de SDE++-regeling, zijn de volgende:

- Voor zon-PV-productie-installaties geldt dat maximaal 50 procent van het piekvermogen van de zonnepanelen teruggeleverd mag worden aan het elektriciteitsnet. Zo kunnen er bij dezelfde netcapaciteit meer hernieuwbare (duurzame) energieprojecten gerealiseerd worden. Via de regeling worden projecten voor het kleine verlies aan opbrengst gecompenseerd[83]. Deze maatregel leidt daarmee uiteindelijk tot een toename van de totale hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit uit zonnepanelen.

- Er wordt geen subsidie verleend / berekend over de productie van elektriciteit (via grootverbruikersaansluitingen) op momenten/uren waarop er negatieve elektriciteitsprijzen zijn. Hiermee wordt gestimuleerd dat er geen energie wordt geleverd op momenten dat het net vol is.

- Thermische opslag van hogetemperatuur-warmte wordt gestimuleerd. Deze categorie betreft het gebruik van thermische opslag voor uitgestelde levering van hoge-temperatuurwarmte (boven de 100 °C) aan industriële productieprocessen. Netcongestie kan voorkomen worden door warmte te gebruiken uit de warmteopslag op momenten van netcongestie.

- Bij e-boilers wordt gerekend met een bedrag waarbij wordt uitgegaan van een non-firm-ATO. Dit verlaagt het basisbedrag vanwege de korting op de kosten van de ATO en heeft positief effect op netcongestie. Dit stimuleert het realiseren via een non-firm-ATO via de financiële prikkel. Duurdere contractvormen worden niet expliciet uitgesloten, maar zouden in principe niet rendabel moeten zijn.

78. Convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) | Convenant | Rijksoverheid.nl
79. Voor de SPRILA en SPULA geldt dat de subsidienemer verplicht is een laadsysteem te gebruiken dat permanent met het internet is verbonden waarbij de communicatie volgens het Open Charge Point Protocol versie 1.6 of hoger verloopt. Voor de SVVE-regeling moet in de offerte moeten de volgende onderdelen van de basislaadinfrastructuur staan: "voorzieningen voor optimale stroomverdeling en stroomverbruik (slim laden)".
80. Staatscourant 2025, 39984 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen
81. Kernrapport Beleid voor grootschalige batterijsystemen en afnamenetcongestie | Rapport | Rijksoverheid.nl
82. Denk hierbij aan alle balanceringsmarkten van TenneT: Balanceringsmarkten.
83. Deze compensatie vindt plaats door een lager aantal vollasturen en een hoger basisbedrag.

- Er is een categorie 'verticaal geplaatste tweezijdige panelen gericht op oost en west' toegevoegd. De verticaal opgestelde tweezijdige zonnepanelen hebben een gunstig productieprofiel voor netcongestie en negatieve uren. Dit komt doordat zij met name produceren tijdens ochtend- en einde-middaguren, en een dip hebben rond het middaguur. Dit zijn perioden wanneer andere zon-oriëntaties (met name zuid-opstellingen) juist pieken[84].

- Er is een categorie 'zon-PV op gevels met oost-west-opstelling' toegevoegd. De oost-west-opstelling van de zonnepanelen zorgen voor een gunstig opbrengstprofiel, met pieken in de ochtend en (late) middaguren en een dal wanneer de zon het hoogst staat en de meeste zonnepanelen maximaal produceren. Door dit profiel zullen projecten binnen deze categorie waarschijnlijk zeer beperkt bijdragen aan de problematiek rondom netcongestie en negatieve uren, terwijl zij wel hernieuwbare elektriciteit leveren[85].

- Er zijn categorieen voor zonvolgende PV-systemen op veld en op water[86]. Het opwekprofiel is net als bij oost-west-georiënteerde panelen meer verspreid over de dag.

- Er is een categorie 'procesgeïntegreerde warmtepompen' toegevoegd. Zie voor een toelichting op deze optie de Kamerbrief SDE++ openstelling 2024[87].

- Er is een categorie 'productie van warmte met warmteopslag' toegevoegd. Zie voor een toelichting op deze optie de Kamerbrief SDE++ openstelling 2024[88].

- Het ontwerp van PV-systemen afstemmen op het eigen verbruik. Zie voor een toelichting op deze optie het PBL-advies van 2025[89].

Bij de SCE-regeling worden in principe de aanpassingen in de SDE++ gevolgd. Niet alle categorieën in de SDE++ zitten echter in de SCE-regeling. Zo worden e-boilers enkel via de SDE++ gestimuleerd.

Verduurzaming industrie

Bij de stimulering van e-boilers via de SDE++ wordt gerekend met een bedrag waarbij wordt uitgegaan van een non-firm-ATO. Dit verlaagt het basisbedrag vanwege de korting op de kosten van de ATO en heeft positief effect op netcongestie. Dit stimuleert het realiseren via een non-firm-ATO via de financiële prikkel. Duurdere contractvormen worden niet expliciet uitgesloten, maar zouden in principe niet rendabel moeten zijn.

Glastuinbouw

Binnen de SDE++ is ervoor gekozen om geen e-boilers bij lagetemperatuurtoepassingen waaronder glastuinbouw te subsidiëren. Warmtepompen worden wel gestimuleerd vanwege het hogere rendement (COP) van een warmtepomp[90]

Elektrolyse

Omdat elektrolyse nog in de opschaling is, is ervoor gekozen om vooralsnog zo min mogelijk beperkende maatregelen op te nemen in de regelingen binnen dit thema. Binnen de regelingen zijn er twee bestaande voorwaarden te noemen die invloed hebben op het net:

- Een van de Europese eisen is dat de elektrolysers binnen een bepaalde tijdsperiode **evenveel elektriciteit mogen gebruiken als dat er gecontracteerd is bij de energiebron** (het zon- of windpark). Een goed gecontracteerd vermogen helpt bij (vooraf) optimaliseren van het elektriciteitsnet en voorkomt netcongestie.

- **Een kleine batterij[91] kan in beide regelingen worden meegesubsidieerd**. Dit kan een mitigerende werking op de pieken hebben, als de batterij ingezet wordt om een vlakkere productie te kunnen draaien. Bij overschot aan groene elektriciteit wordt de elektriciteit opgeslagen in de batterij, die omgezet kan worden bij een tekort aan elektriciteitsproductie. Dit verlaagt de (gemiddelde) kosten voor waterstofproductie en daarmee verbetert het de businesscase van de elektrolyser, die veel uren per jaar nodig heeft om rendabel te kunnen zijn. Net als bij andere regelingen waar batterijen gestimuleerd worden, hangt het uiteindelijke effect van de batterij op netcongestie af van de wijze waarop de batterij wordt ingezet. In de regeling zijn hier geen sturende voorwaarden aan verbonden. Dit is daarmee een terugkerend aandachtspunt.

Warmte en warmtenetten

In de SWiG werd toegestaan dat een deel van het aan te leggen **warmtenet, inclusief de overcapaciteit[92], gebruikt kan worden voor warmtelevering aan derden** (andere afnemers dan de glastuinbouw, zoals gebouwde omgeving).[93] De reden hiervoor is dat het inefficiënt is om derden niet aan te sluiten als er vanuit de glastuinbouw een efficiënt warmtenet wordt aangelegd. Dit deel van de investering werd echter niet gesubsidieerd. De investeringskosten voor de gebouwde omgeving worden reeds gesubsidieerd in de WIS.

84. Kamerbrief openstelling SDE++ 2025 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl
85. Staatscourant 2025, 23407 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen
86. Brochure SDE++ 2025
87. Kamerbrief SDE++ openstelling 2024 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl
88. Kamerbrief SDE++ openstelling 2024 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl
89. Eindadvies basisbedragen SDE++ 2025
90. Coëfficiënt of Performance, COP. De COP geeft de verhouding aan tussen de verbruikte elektriciteit en de geproduceerde warmte; een hogere COP betekent een zuinigere warmtepomp.
91. Voor de OWE-regeling betreft het een batterij-opslagsysteem van maximaal 1 megawatt en maximaal 2 megawattuur. Dit is 'klein' in verhouding tot het vermogen van de elektrolyser. Voor de openstelling waterstofhubs zijn de voorwaarden nog niet gepubliceerd.
92. Het efficiënte warmtenet moet worden gedimensioneerd op het in de toekomst (2040) verwachte warmtetransport, dat groter is dan het warmtetransport dat is voorzien bij vaststelling van het project.
93. Staatscourant, nr. 41560, 2024



Dit is een uitgave van:

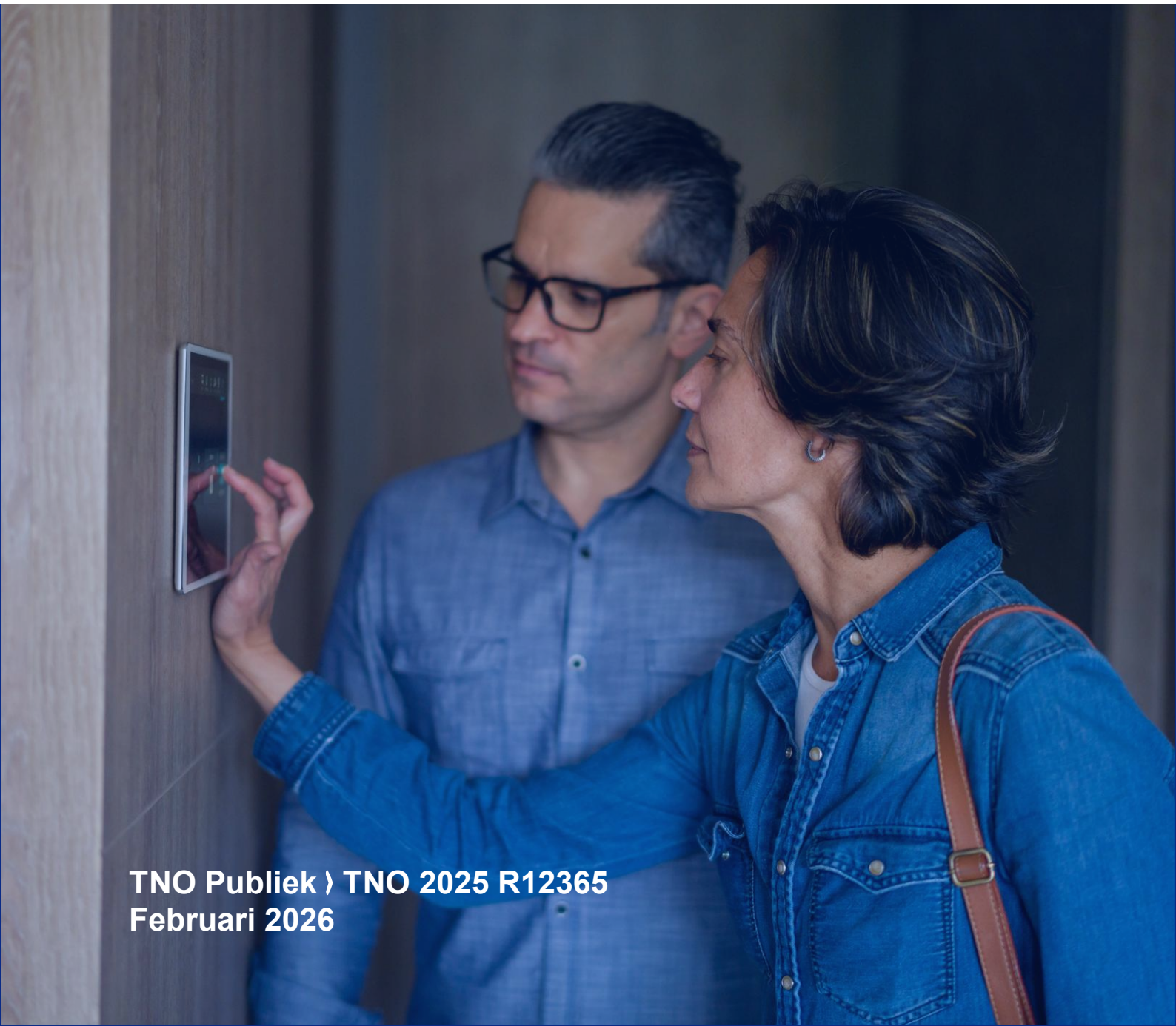
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
www.rvo.nl

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | maart 2026

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

TNO innovation for life

Technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers



TNO Publiek ⟩ TNO 2025 R12365
Februari 2026

Energy & Materials Transition
www.tno.nl
+31 88 866 23 45
info@tno.nl

TNO 2025 R12365 – Februari 2026

Technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers

Auteurs: Hanna van Sambeek, Mente Konsman, Isaï Magan

Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Publiek
Aantal pagina's	65 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	3
Projectnummer	060.65583

Alle rechten voorbehouden
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Samenvatting

Het Nederlandse elektriciteitsnet staat onder druk, met risico op lokale overbelasting en stroomuitval. Netbescherming in brede zin zijn maatregelen om het net veilig te houden in noodsituaties. Het doel van netbescherming is om storingen, schade aan het elektriciteitsnet en/of afschakeling van klanten te voorkomen. Netbescherming is in potentie een instrument waarbij de netbeheerder tijdelijk verplichte vermogenskaders oplegt om het elektriciteitsnet te beschermen. In opdracht van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) onderzoeken we **technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers** (KV-netbescherming) waarbij de focus ligt op huishoudens. De noodzaak, wenselijkheid, het toepassingskader en juridische aspecten van KV-netbescherming zijn buiten scope van dit onderzoek. Dit rapport richt zich aan beleidsmakers, netbeheerders en professionals die werken aan netcongestie en overbelasting van het elektriciteitsnet.

Onze belangrijkste conclusies zijn:
- Geen van de onderzochte technische mechanismen voor KV-netbescherming kan op korte en middellange termijn breed uitgerold worden.
- Een HEMS is de technisch beste manier om een vermogenskader te verwerken en het verhoogt het comfort en de autonomie.
- Om KV-netbescherming op lange termijn breed toegepast te krijgen, moeten er nu stappen gezet worden in de technische voorbereiding. Netbeheerders moeten eenduidige en verantwoorde vermogenskaders ontwikkelen en de manier bepalen waarop die mogelijk gecommuniceerd kunnen worden aan kleinverbruikers.

De belangrijkste aanbevelingen zijn:
- Netbeheerders moeten duidelijkheid geven over de specificaties van een mogelijk KV-netbeschermingssignaal.
- Zet in op vrijwillige, marktgebaseerde, lokale flexibiliteit om stroomstoringen te voorkomen op zowel korte- als lange termijn.
- Stimuleer de adoptie en standaardisatie van HEMS en slimme apparaten.

Internationale voorbeelden

In onderzoek naar hoe andere landen omgaan met KV-netbescherming en netcongestie zien we verschillende benaderingen. De mate van standaardisatie en verplichting verschilt sterk per land. Duitsland is het verst met verplichte KV-netbescherming, terwijl andere landen vooral inzetten op vrijwillige flexibiliteit.
- Duitsland: Verplichte externe aansturing van apparaten >4,2 kW, via slimme meters en gestandaardiseerde protocollen, met financiële compensatie voor huishoudens.
- Verenigd Koninkrijk: Marktgebaseerde flexibiliteitsmarkten, gestandaardiseerd via PAS 1878/1879, met veel ruimte voor vrijwillige deelname.
- Australië, VS, Japan: Marktgebaseerde oplossingen via slimme meters, aggregator- en VPP-oplossingen (Virtual Power Plants), en pilots met directe aansturing van apparaten.

Technische opties in Nederland

Zes mechanismen zijn in dit rapport kwalitatief geanalyseerd en gescoord op comfort, effectiviteit, implementatie, veiligheid, privacy en betaalbaarheid:

- GridShield - decentraal, direct op apparaat of via HEMS
- Real Time Interface v2 - internetgebaseerde aansturing via HEMS
- NextGen slimme meter + HEMS
- Duitse model (§14a EnWG)
- VK-model (PAS 1878/1879)
- Aggregator route - communicatie van aggregator of CPO naar apparaat of HEMS

Uit deze scoring valt op te maken dat routes via de HEMS beter scoren. Verder is er geen enkel mechanisme dat het beste scoort op alle beoordeelde aspecten. Elk mechanisme heeft voor- en nadelen.

De beste technische route is dat kleinverbruikers de vermogenskaders ontvangen via een HEMS, in de vorm van een lokaal kastje in huis en/of in de vorm van een internet-gebaseerde omgeving. Deze technische route maakt coördinatie over apparaten én andere stuursignalen vanuit andere actoren op de apparaten mogelijk. Op die manier wordt het comfortverlies beperkt en de effectiviteit vergroot.

Technisch ontwikkelpad

De komende jaren is een *brede* uitrol van verplichte KV-netbescherming technisch nog niet mogelijk. Het advies is daarom om in te zetten op een vrijwillige flexmarkt waar eventueel technisch op kan worden voortgebouwd voor KV-netbescherming. Dit marktmechanisme blijft ook op lange termijn belangrijk voor het elektriciteitssysteem.

Voor zowel het inzetten op een marktmechanisme als voorbereiding op KV-netbescherming moeten de netbeheerders snel duidelijkheid geven over een gestandaardiseerde en eenduidige definitie van locatieafhankelijke vermogenslimieten en de manier waarop deze zullen worden gecommuniceerd.

De beste technische manier om KV-netbescherming te realiseren is via een Home Energy Management System (HEMS), voortbouwend op de technische keten voor marktgebaseerde flex-oplossingen. Het is daarom onze aanbeveling om te beginnen met een vrijwillige markt voor lokale flexibiliteit. Voor een soepele invoering is het essentieel dat de technische ketens voor marktgebaseerde flexibiliteitsoplossingen en KV-netbescherming goed op elkaar aansluiten. In de NTA (Nederlandse Technische Afspraak) HEMS dient rekening gehouden te worden met het ontvangen van een mogelijk KV-netbeschermingssignaal zodat systemen en apparaten hier technisch op voorbereid zijn. Daarbij verdient het de voorkeur om te kiezen voor internationale, IP-gebaseerde communicatieprotocollen, zoals OpenADR of RTI v2 LS.

De conclusie is dat er geen ‘one size fits all’-oplossing bestaat. De keuze voor een technisch mechanisme vereist een zorgvuldige afweging tussen comfort, effectiviteit, veiligheid, privacy, betaalbaarheid en implementatiegemak. Op korte termijn zijn marktmechanismen het meest haalbaar om stroomstoringen te voorkomen. Voor KV-netbescherming is een HEMS-gedreven aanpak kansrijk. Standaardisatie en interoperabiliteit zijn cruciaal voor succes.

Inhoudsopgave

Samenvatting 3
1 Inleiding 7
1.1 Doelstelling van KV-netbescherming 8
1.2 Definitie KV-netbescherming 9
1.3 Vereisten van netbescherming bij kleinverbruikers 9
2 Wat onderzoeken we en hoe? 11
2.1 Doel van het onderzoek 11
2.2 Onderzoeksvragen 11
2.3 Scope 12
2.4 Onderzoeksaanpak 12
2.5 Leeswijzer 12
3 Internationale voorbeelden 14
3.1 Duitsland 14
3.2 Verenigd Koninkrijk 15
3.3 Australië 16
3.4 Verenigde Staten 17
3.5 Japan 18
3.6 Internationale vergelijking 20
4 Technische opties voor KV-netbescherming 21
4.1 GridShield 22
4.2 Real Time Interface v2 24
4.3 NextGen Slimme meter + HEMS 24
4.4 Duitsland - §14a 25
4.5 Verenigd Koninkrijk - PAS 1878/1879 26
4.6 Aggregator route 27
4.7 IEEE 2030.5 – CSIP / Rule 21 29
5 Scoring 31
5.1 GridShield 31
5.2 Real Time Interface 33
5.3 Ingrijpen via de NextGen slimme meter + HEMS 35
5.4 Het Duitse voorbeeld – Paragraaf 14a 36
5.5 Het VK-voorbeeld – PAS 1878/1879 37
5.6 Aggregator route – assets/HEMS aansturen (incl. CPOs) 38
5.7 Score vergelijking 41
6 Advies en reflectie 44
6.1 Technische randvoorwaarden voor netbescherming bij kleinverbruikers 44
6.2 Technische voorkeur: HEMS 45
6.3 Technisch ontwikkelpad 45
7 Conclusies en aanbevelingen 50
7.1 Conclusies 50
7.2 Aanbevelingen 51
7.3 Standaardisatie 52

Referenties 54

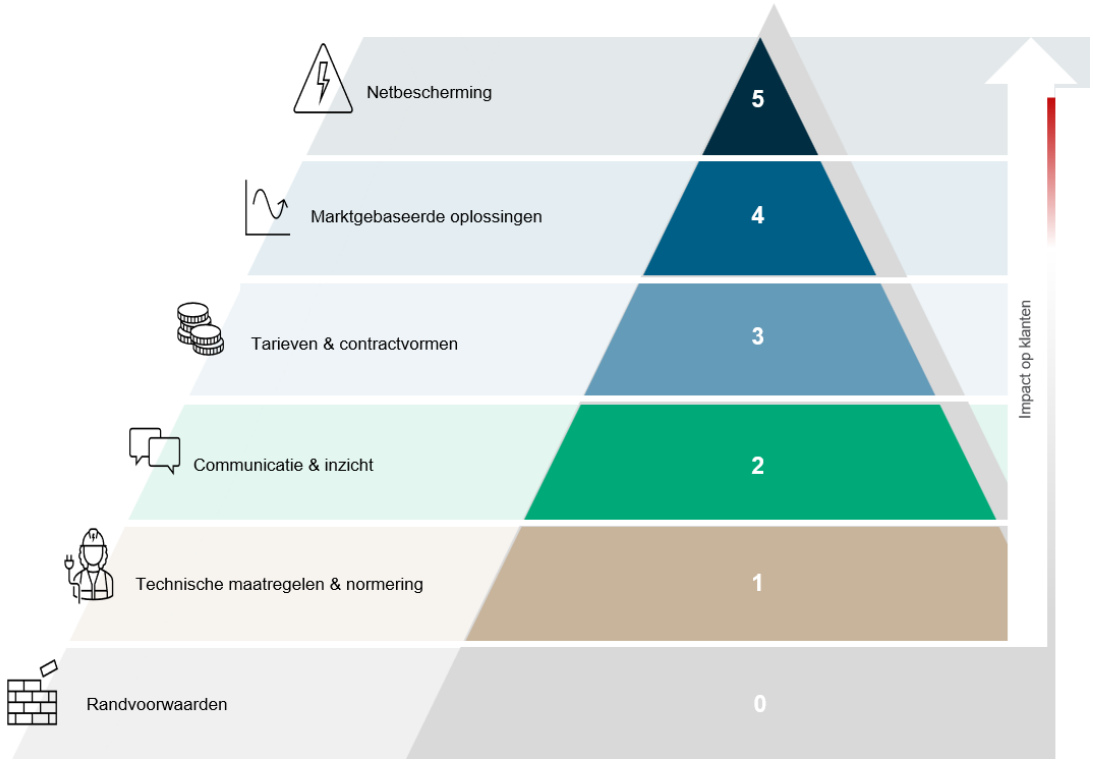
Bijlagen
Bijlage A: Uitgebreide scoring maatregelen 56
Bijlage B: Verdiepende analyse 59
Bijlage C: Technische implicaties KV-netbescherming en marktmechanisme 63

1 Inleiding

Het elektriciteitssysteem in Nederland heeft op sommige momenten te maken met krapte in de mate waar stroom geleverd en terug-geleverd kan worden aan het systeem. Deze krapte, netcongestie, kan leiden tot overbelasting van het net met lokaal of regionaal stroomuitval als gevolg. Door het verminderen en verplaatsen van netgebruik tijdens drukke momenten, zorgen we voor een beter benut stroomnet en minder kans op storingen. In dit rapport bieden we inzichten in de opties die er bestaan voor netbescherming bij kleinverbruikers (KV's) – oftewel het netgebruik tijdelijk, verplicht te verminderen om een stroomstoring te voorkomen.

Er zijn twee vormen van netbescherming: een verplicht vermogenskader en directe aansturing door de netbeheerder. In dit onderzoek is het **uitgangspunt dat netbescherming een vermogenskader is** voor een aansluiting of apparaat. Het niet opvolgen van een verplicht vermogenskader kan gevolgen hebben, die buiten scope zijn van dit onderzoek.

De netbeheerders werken hard aan oplossingen voor netcongestie, waaronder netverzwaring en beter benutten van het net.[1] Maatregelen voor het beter benutten van het net zijn beschreven in de flexpiramide van het Landelijke Actieprogramma Netcongestie (LAN), Figuur 1.1. Netbescherming is de laatste maatregel om de netbelasting lokaal te verminderen om een stroomstoring te voorkomen.



Figuur 1.1: De flex-piramide van het Landelijke Actieprogramma Netcongestie (LAN)

[1] Het Landelijke Actieagenda Netcongestie actielijn 'Sneller bouwen' werkt aan manieren om netverzwaring te versnellen, de actielijn 'Beter benutten' werkt aan onderwerpen zoals flexibiliteit en netbescherming.

Dit rapport heeft als doelstelling om inzichten te bieden in de opties die er bestaan voor netbescherming bij kleinverbruikers: KV-netbescherming – oftewel tijdelijk verplichte vermogenskaders om het elektriciteitsnet te beschermen. Eerder stond dit bekend onder de namen ‘Technisch Vangnet’ en ‘Flexibele Backstop’. Het rapport richt zich aan beleidsmakers, netbeheerders en professionals die werken aan netcongestie en overbelasting van het laagspanningsnet (LS-net). In de analyse zijn met name de technische aspecten van deze opties meegenomen. In andere lopende onderzoeken van het LAN worden onder andere de juridische aspecten, het toepassingskader en de noodzaak voor KV-netbescherming belicht.

1.1 Doelstelling van KV-netbescherming

Het doel van KV-netbescherming is om **stroomstoringen te voorkomen**. Dit onderzoek richt zich op de inzet van netbescherming bij kleinverbruikers (KVers) en met name particulieren, omdat dit een andere aanpak vraagt dan bij grootverbruikers en bedrijven - waar de netbeheerders meer mogelijkheden hebben om contractuele afspraken te maken.

Netbeheerders verwachten een toename in het aantal momenten en hoogte van gelijktijdigheid in netgebruik door o.a. netintensieve apparaten bij kleinverbruikers. Dit komt door zowel grootschaligere adoptie als door toenemende reactie op marktprikkels van deze apparaten. Via verschillende instrumenten die in het LAN worden ontwikkeld zal het netgebruik worden beïnvloed om deze pieken te beperken. Denk daarbij aan bewustwording, normeringen, de introductie van tijdgebaseerde KV-tarieven én marktgerichte oplossingen.

De netbeheerders verwachten situaties waarbij onvoldoende (vrijwillige) flex-liquiditeit en/of onvoorspelbaarheid van veranderlijke (markt)situaties leiden tot overbelastingen op het stroomnet [1]. In de gevallen waar generieke en marktgebaseerde instrumenten niet genoeg effect bereiken is het belangrijk dat onhoudbare situaties door overbelasting worden beheerst om stroomstoringen én blijvende schade aan het stroomnet te voorkomen.

Op dit moment is het laatste redmiddel afschakeling via op afstand bedienbare netelementen zoals een hoog- of middenspanningsstation en/óf automatisch afgaande beveiligingen in het stroomnet. Beide net-gebaseerde instrumenten leiden tot ingrijpend comfortverlies bij kleinverbruikers vanwege volledige uitval van stroom.

Door in dergelijke noodsituaties kleinverbruikers **tijdelijk** limieten voor hun netgebruik op te leggen wordt ingrijpend comfortverlies bij kleinverbruikers als gevolg van stroomstoringen zoveel mogelijk voorkomen. Onder de noemer ‘KV-netbescherming’ wordt onderzocht via welke route een dergelijke tijdelijke noodoplossing kan worden geïntroduceerd. Dit onderzoek naar technische opties is daar onderdeel van.

Gelaagde (indirecte) netcongestie
Lokale stroomstoringen kan een gevolg zijn van een lokale overbelasting. Het kan ook een gevolg zijn van gelaagde netcongestie waar de cumulatieve belasting van meerdere laagspanningsnetten tot overbelasting op hogere netvlakken leidt. Het is de verwachting dat er in de komende jaren overbelasting kan optreden op middenspanningsstations (HS/MS-stations) waardoor alle onderliggende LS-net zullen uitvallen – mits er niets veranderd in de piekbelasting. De risico op overbelasting geldt zowel in de zomer door invoeding (zonnepanelen), als in de winter door afname.

Naast het voorkomen van stroomstoringen kan KV-netbescherming leiden tot efficiënter gebruik van het net door dichter op de technische grens te sturen met minimaal risico op

stroomuitval bij consumenten. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld meer klanten worden aangesloten in afwachting op netverzwaring.

Normering, autonoom regelen, en communicatie met gebruikers
In de flex-piramide vormen communicatie met de gebruikers, en autonoom regelen de basis. Autonoom regelen kan bijvoorbeeld via normeren en standaardisatie van installaties. Denk bijvoorbeeld aan laadpalen met een standaardinstelling dat beperkt wordt geladen tussen 17 en 21 u, tenzij de gebruiker er bewust om vraagt. Hierbij kan de (avond)piek en behoefte van KV-netbescherming verlaagd worden. Deze basis geeft echter geen zekerheid op het realiseren van de benodigde piekvermindering. Normeren, communicatie en tarieven zijn dus belangrijke aspecten om stroomstoringen te voorkomen, maar geen onderdeel van dit onderzoek. Wij kijken naar het technische onderdeel van het topje van de piramide: het verbruik of teruglevering van stroom gedeeltelijk beperken, om op die manier de kans op een stroomstoring te voorkomen.

1.2 Definitie KV-netbescherming

De definitie van netbescherming bij kleinverbruikers opgesteld door KGG en de netbeheerders in het LAN is:

- Netbescherming in brede zin zijn maatregelen om het net veilig te houden in noodsituaties wanneer marktgebaseerde instrumenten onvoldoende effect sorteren.
- Het doel van KV-netbescherming is om storingen, schade aan het elektriciteitsnet en/of afschakeling van klanten te voorkomen in noodsituaties.
- KV-netbescherming is in potentie een instrument waarbij de netbeheerder tijdelijk verplichte vermogenskaders oplegt aan kleinverbruikers om het elektriciteitsnet te beschermen.

1.3 Vereisten van netbescherming bij kleinverbruikers

In dit rapport worden technische opties voor KV-netbescherming geanalyseerd. Het uitgangspunt is om al ver ontwikkelde opties te onderzoeken die meest kansrijk zijn op snelle implementatie. In andere onderzoeken door LAN worden de juridische aspecten, de noodzaak en het toepassingskader onderzocht. Dit onderzoek hanteert de volgende eisen en uitgangspunten voor de technische oplossing:

- Betrouwbaarheid: het is de laatste optie om overbelasting te voorkomen, zonder netdelen (en gebruikers) af te schakelen.
- Eerlijkheid en proportionaliteit: een verplicht mechanisme moet voor zo ver mogelijk eerlijk zijn en gelijk voor alle consumenten.
- Werken voor zowel invoeding als afname.
- Werken voor gelaagde netcongestie[2].

KV-netbescherming is een instrument die tijdelijke, verplichte vermogenskaders oplegt aan kleinverbruikers. De technische invulling daarvan moet een uniforme oplossing zijn zodat alle kleinverbruikers op dezelfde manier worden behandeld, en het duidelijk is aan welke eisen zij moeten voldoen. Het is *niet* wenselijk dat consumenten zelf aan knoppen moeten draaien om het verplichte signaal op te volgen. Een geautomatiseerde, ontzorgende technische invulling is wenselijk. Het is verder wenselijk dat het eerlijk toepasbaar is: dat iedereen met hetzelfde

[2] Gelaagde netcongestie is dat de cumulatieve belasting van meerdere laagspanningsnetten tot overbelasting op hogere netvlakken leidt.

soort apparaat zich aan dezelfde regels moet houden – om het probleem van ‘retro-fitting’ te voorkomen (de oplossing werkbaar maken voor apparaten verkocht in het verleden) kan er besloten worden dat de verplichting geldt voor een aansluiting als geheel of voor apparaten verkocht na een bepaalde datum. Het is aan beleidsmakers om uitzonderingen te maken.

Dat KV-netbescherming óók een functie kan hebben als extra veiligheid voor het net tegen o.a. (cyber)aanvallen is in dit onderzoek niet een speerpunt. Het wordt wel meegenomen als een pluspunt in de analyse. Het introduceren van nieuwe veiligheidsrisico’s in ongewenst.

2 Wat onderzoeken we en hoe?

2.1 Doel van het onderzoek

KV-netbescherming is in dit onderzoek gedefinieerd als een mechanisme om stroomstoringen te voorkomen, door tijdelijk verplichte vermogenskaders op te leggen. Dit rapport heeft als doelstelling om inzichten te bieden in de technische opties voor KV-netbescherming bij kleinverbruikers. De focus ligt op netintensieve apparaten die veel voorkomen bij aangeslotenen op het laagspanningsnet. Dit zijn zonnepanelen, warmtepompen, laadpalen en batterijen. Ook de rol van een Home Energy Management Systemen (HEMS) wordt inzichtelijk gemaakt.

2.2 Onderzoeksvragen

Middels kwalitatief onderzoek beantwoorden we de volgende onderzoeksvragen:

1. Welke doelstelling heeft KV-netbescherming, en welke eisen (o.a. technisch) komen daaruit voort waar een toekomstige oplossing aan moet voldoen?
2. Welke mechanismes kunnen invulling geven aan KV-netbescherming?
3. Hoe werken de verschillende mechanismes technisch?
   a. Wat zijn de technische eisen? (Hardware & software)
   b. Wat zijn de communicatie-eisen?
   c. Welke overige eisen zijn er om het mechanisme te laten werken (bijvoorbeeld: register van slimme apparaten, near real time voorspelling netbelasting)
4. Wie heeft welke rol bij de verschillende mogelijke invullingen aan KV-netbescherming?
5. Op welke apparaten kunnen de verschillende mechanismes van toepassing zijn?
6. Hoe scoort elk van de verschillende mechanismes op de aspecten:
   a. Impact op comfort: in welke mate wordt het comfort van de consument geraakt door het mechanisme? Welke autonomie heeft de consument om zelf te bepalen hoe die invulling geeft aan een KV-netbeschermingsmaatregel?
   b. Effectiviteit: Hoe effectief kan het mechanisme bijsturen in vraag of aanbod van elektriciteit? Werkt het in potentie ook op de hogere netvlakken of alleen op laagspanningsniveau?
   c. Betrouwbaarheid: Tegen welke situaties beschermt het mechanisme? Hoe effectief is het mechanisme dan?
   d. Implementatie van het mechanisme:
      i. Hoever is de technologie van het mechanisme in de ontwikkeling?
      ii. Hoe makkelijk is het mechanisme technisch te schalen? In getalen en functionaliteit zonder kwaliteitsverlies
      iii. Wat is de inschatting van de (maatschappelijke) acceptatie??
      iv. Hoe makkelijk is dit landelijk fysiek uit te rollen?
      v. Hoe makkelijk is dit te implementeren bij netbeheerders, marktpartijen, consumenten, apparaatproducenten en overige partijen?
   e. Veiligheid:
      i. Onder welke omstandigheden blijft het mechanisme werken?

   ii. Welke risico's creëert het mechanisme op het gebied van cyber security en op de stabiliteit van het net? (Communicatiestoring/hack)
   f. Privacy: Welke gegevensuitwisseling is nodig? Wat is impact daarvan op privacy?
   g. Betaalbaarheid: Wat zijn de implementatiekosten?
7. Worden er al vergelijkbare mechanismes in het buitenland toegepast en zo ja, welke zijn dit, wat zijn ervaringen bij de inzet van het mechanisme en hoe past deze invulling op de Nederlandse situatie? (In ieder geval Duitsland)

2.3 Scope

Dit onderzoek focust op technische varianten voor KV-netbescherming en de voor- en nadelen daarvan. In andere onderzoeken van het LAN worden de juridische aspecten, het toepassingskader en het probleem verder geanalyseerd. In het toepassingskader (buiten scope van dit onderzoek) moeten maatschappelijke keuzes worden gemaakt zoals onder welke omstandigheden KV-netbescherming geactiveerd mag worden.

Dit onderzoek is niet een kwantitatieve of modelmatige analyse van de verschillende varianten, maar beoogd kwalitatief inzicht te verkrijgen in wat nodig is om verschillende varianten te implementeren en wat hiervan de voor- en nadelen zijn.

De focus is op kleinverbruikers op het laagspanningsnet, met name particulieren.

Buiten scope zijn:
- Aansluitingen op het midden- en hoogspanningsnet.
- Grootverbruikersaansluitingen.
- Vrijwillig en marktgebaseerde flexibiliteit.
- Kwantitatief modellering of analyse.
- Analyse van juridische aspecten en maatschappelijke impact.
- Analyse van nettarieven.

2.4 Onderzoeksaanpak

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden hebben we een literatuuronderzoek gedaan en tien interviews gehouden met experts. De LAN Werkgroep Netbescherming is meerdere keren als klankbordgroep geraadpleegd.

Na een initiële inventarisatie van geschikte technische opties is samen met KGG en de LAN besloten welke alternatieven verder onderzocht zou worden. Deze zijn beschreven, kwalitatief geanalyseerd en gescoord. De methodologie voor de scoring is afgestemd met KGG en LAN en beschreven in Bijlage A. De scoring is gecheckt door deelnemende experts en de LAN Werkgroep Netbescherming. Tot slot is er een analyse en advies gedaan van hoe er invulling gegeven kan worden aan KV-netbescherming om stroomstoringen te voorkomen in de komende jaren.

2.5 Leeswijzer

Dit rapport biedt beleidsmakers, netbeheerders en professionals inzicht in de technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers. In de inleiding is de context van het onderzoek en uitgangspunten van het onderzoek uiteengezet. Vervolgens worden in Hoofdstuk 2 de centrale onderzoeksvragen, de scope en de methodologie besproken.

Hoofdstuk 3 richt zich op internationale voorbeelden en beschrijft hoe andere landen omgaan met KV-netbescherming en netcongestie. Daarbij is er speciale aandacht voor relevante regelgeving en technische oplossingen in Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Australië, de Verenigde Staten en Japan.

De beschrijving van verschillende technische mechanismen volgt in Hoofdstuk 4. De onderzochte opties zijn: GridShield, Real Time Interface v2, de NextGen slimme meter, Aggregator Route en de opties uit Duitsland en VK. Elk mechanisme wordt schematisch toegelicht.

De analyse van de technische mechanismen voor KV-netbescherming is te vinden in Hoofdstuk 5. De onderzochte mechanismen zijn kwalitatief beoordeeld en gescoord op aspecten als comfort, effectiviteit, implementatie, veiligheid, privacy en betaalbaarheid. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabellen, zodat een vergelijking eenvoudig mogelijk is. De uitgebreide scoring van de maatregelen en een toelichting op de gehanteerde beoordelingscriteria is te vinden in Bijlage A.

Hoofdstuk 6 biedt advies op de technische invulling van KV-netbescherming. We presenteren de zienswijze van TNO op de technische randvoorwaarden waaraan KV-netbescherming voor kleinverbruikers zou moeten voldoen. Vervolgens schetsen we een technisch voorkeursbeeld en een mogelijk technisch ontwikkelpad.

Tot slot worden de belangrijkste inzichten samengevat in Hoofdstuk 7, en worden concrete aanbevelingen gedaan voor beleid en praktijk.

3 Internationale voorbeelden

Buiten Nederland speelt netcongestie ook een rol, waar er duidelijke verschillen bestaan in de aanpak van verschillende landen om hier zowel preventief als reactief mee om te gaan. In dit hoofdstuk analyseren we netcongestie in vijf landen in de context van KV-netbescherming. Hierbij worden niet alleen de maatregelen besproken die enkel KV-netbescherming bewerkstelligen. We beschrijven ook maatregelen die momenteel gebruikt worden voor het beïnvloeden van consumptiegedrag aan de hand van prijsprikkels omdat aspecten daarvan relevant is voor KV-netbeschermingsmaatregelen.

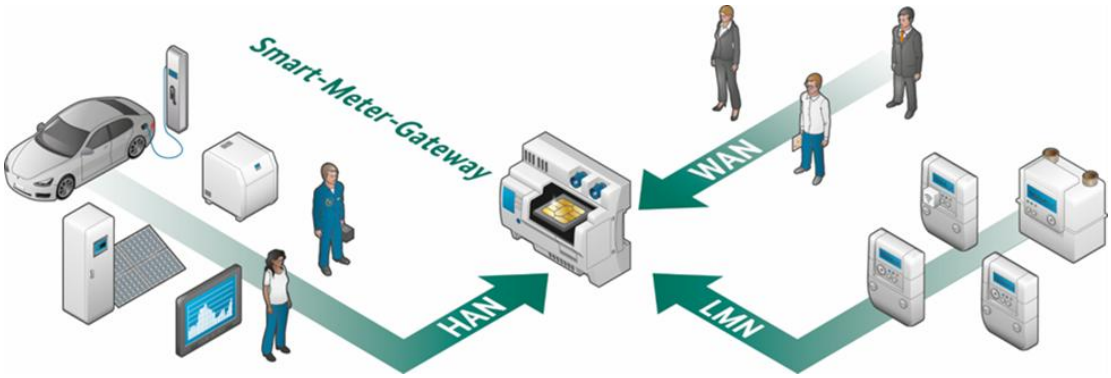
3.1 Duitsland

De Bundesnetzagentur is de Duitse toezichthouder op onder meer het nationale elektriciteitssysteem en heeft in 2024 paragraaf 14a van de Energiewirtschaftsgesetz (EnWg) bewerkstelligd. Deze wet schrijft voor dat alle huishoudelijke apparaten met een vermogen boven 4,2 kW moeten worden geïnstalleerd met de mogelijkheid om van een afstand aangestuurd te worden. Op het gebied van regelgeving speelt Duitsland hiermee een leidende rol in de implementatie van controlemaatregelen in laagspanningsnetwerken [2].

Als compensatie voor het regelbaar maken van de apparaten die boven de vermogenslimiet vallen, ontvangen huishoudens lagere netwerkkosten. Deze compensatie kan verschillende vormen aannemen, zoals een vaste jaarlijkse korting of een korting gebaseerd op daadwerkelijk stroomverbruik. Verder is het op grond van paragraaf 14a verboden voor de DSO om nieuwe aansluitingen te weigeren of uit te stellen. In plaats hiervan moet de DSO eventuele overbelasting beheren door flexibele belasting op het net te beperken.

Het ontwerp van de controlemaatregel ligt in lijn met de algemenere ontwerpkeuzes die gemaakt zijn binnen de wet op de digitalisering van de energiesector (“Wet op de herstart van de digitalisering van de energietransitie”). Deze wet stelt vanaf 2025 een verplichting op de installatie van slimme meter voor consumenten met een verbruik vanaf 6 000 kWh per jaar of installaties met meer dan 7 kW vermogen. De wet beschrijft verder dat tegen 2032 slimme meters de standaard moeten zijn in alle huishoudens en bedrijven in Duitsland [3].

Verder is het ontwerp grofweg op te delen in drie aparte componenten die ieder aparte functionaliteiten realiseren. Het eerste component is een digitale (‘slimme’) meter. Hiermee is het aflezen en monitoren van energieverbruik inzichtelijker. Het tweede component is een ‘Smart Meter Gateway’ systeem. Dit component verzorgt de communicatie tussen de informatie in de digitale meter en andere (markt)partijen, en is te zien in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Communicatiemogelijkheden van de Smart-Meter-Gateway [4].

Zoals te zien in de figuur is er sprake van drie aparte communicatieverbindingen. De Local Metrological Network (LMN) verbindt de Smart-Meter-Gateway met de digitale meter. De Wide Area Network (WAN) verzorgt de communicatie met externe partijen. De Home Area Network (HAN) integreert de Smart-Meter-Gateway in het lokale netwerk waarbij het mogelijk gemaakt wordt voor consumenten om toegang te verkrijgen tot verbruiksdata en additioneel eventueel ook het home energy managementsysteem (HEMS). Het laatste component, de *Steuerbox*, is een gestandaardiseerde module die stuursignalen van de Smart-Meter-Gateway omzet naar signalen die gecommuniceerd kunnen worden naar (slimme) apparaten.

In de praktijk verloopt de implementatie in Duitsland minder spoedig dan beoogd, en is het onduidelijk of de doelen voor 2025 en 2032 behaald zullen worden. De hoeveelheid geïnstalleerde apparaten was eind 2024 ingeschat op ongeveer veertien procent van de hoeveelheid nodig om de doelstelling van 2025 te halen [5]. Dit komt voornamelijk door een tekort aan personeel, al is er ook vertraging vanwege ontwerpkeuzes voor interoperabiliteit met andere systemen zoals verschillende soorten HEMS.

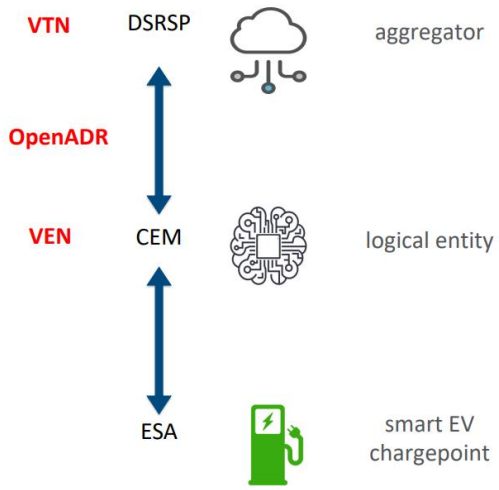
3.2 Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk (VK) wordt de mogelijkheid om netcongestie te verminderen via flexibiliteit van consumenten geacht als realistisch alternatief voor netverzwaring. Het VK richt zich hiermee meer op een marktgebaseerd mechanisme dan KV-netbescherming. De *UK Power Networks* (UKPN) is de grootste regionale netbeheerder in het VK en introduceerde deze optie sinds 2017 als strategie, met daarbij het ontwerp van de flexibiliteitsmarkten waar zij inmiddels mee werken [6].

Binnen het nationale ‘Smart Systems and Flexibility Plan 2021’ zijn er in het VK in 2021 specificaties ontworpen om te dienen als standaard en richtlijn voor de interoperabiliteit tussen apparaten. De Publicly Available Specifications (PAS) 1878 en PAS 1879 vormen hierbij het meest relevante beleid. Vergelijkbaar met Duitsland speelt in het VK de toezichthouder *Office of Gas and Electricity Markets* (Ofgem) de rol van het reguleren van het elektriciteitssysteem.

De PAS 1878 en PAS 1879 schrijven maatregelen voor die genomen kunnen worden om de hoeveelheid flexibiliteit op het laagspanningsnet te vergroten. De initiatiefnemers van deze maatregelen zijn doorgaans de nationale overheid in samenwerking met de British Standardisation Institute (BSI). Voorbeelden van maatregelen zijn de ontwikkeling en adoptie van energy smart appliances (ESA’s), waarbij industriële partijen tevens betrokken zijn.

De BSI heeft binnen dit kader (nog) geen standaard voorgesteld voor de interoperabiliteit van apparaten en hoe deze ingezet zouden kunnen worden om netcongestie te verhelpen. Dit zal vanaf 2026 verder uitgewerkt worden. Er bestaan echter wel al voorgeschreven standaarden, zoals de interactie tussen de apparaten en een *Consumer Energy Manager (CEM) gateway* en het gebruik van open *Application Programming Interfaces* (API) voor de communicatie tussen de CEM en de balanspartij en/of platform [7]. Zie als voorbeeld Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Ontwerp volgens de PAS 1879 voor de communicatie tussen slim apparaat en balanspartij en/of platform. Hierbij staat VEN voor 'Virtual End Node' (een entiteit die OpenADR signalen kan ontvangen van een server) en VTN voor 'Virtual Top Node' (server die OpenADR signalen communiceert met verschillende entiteiten) [8].

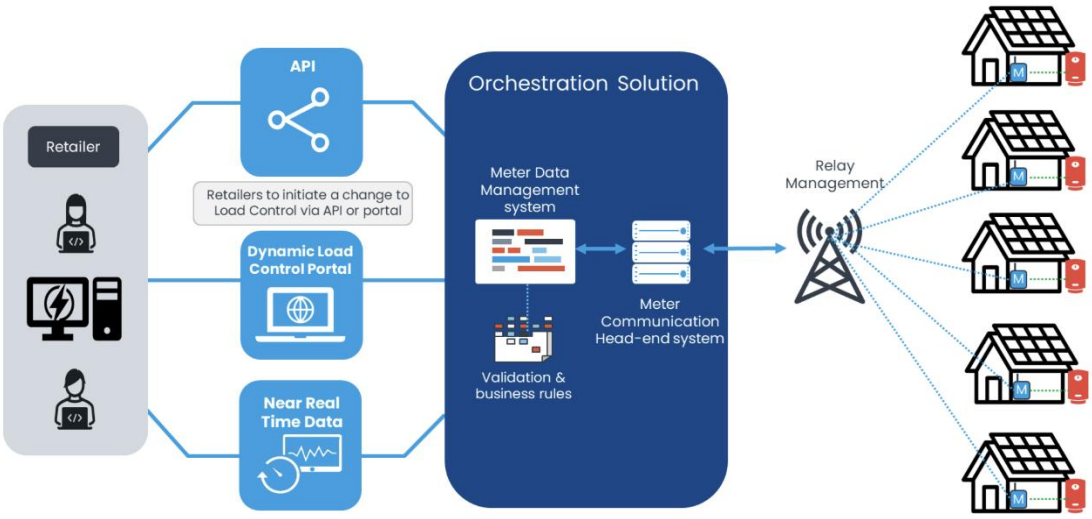
Een voorbeeld van een handelsplatform waar momenteel gebruik gemaakt wordt van de flexibiliteit van slimme apparaten is Piclo Flex. Dit is een platform waar *Flexible Service Providers* (FSPs) flexibiliteit kunnen bieden aan geïnteresseerde partijen zoals regionale netbeheerders. In de praktijk plaatsen de netbeheerders op dit platform tenders voor het inkopen van flexibiliteit waar deze FSPs vervolgens op kunnen bieden. Het is niet toegestaan voor eindgebruikers om zelf assets te registeren op het platform, het is echter wel mogelijk voor assetmanagers om de assets van eindgebruikers aan te bieden als flexibiliteitsoptie.

Zowel regionale netbeheerders (UK Power Networks, Electricity North West, SP Energy Networks, Northern Powergrid) als de TSO maken gebruik van dit platform, waarbij in 2023 1.1 GW aan flexibiliteitscapaciteit geregistreerd stond [9]. De marktgebaseerd oplossing zoals hierboven beschreven is in het VK hiermee groot én ontwikkeld genoeg om naar alle waarschijnlijkheid de komende jaren netcongestieproblemen te verminderen.

3.3 Australië

De *Australian Energy Market Commission* (AEMC) heeft in Australië de verantwoordelijkheid voor regelgeving in de nationale elektriciteitsmarkt. In deze rol verplicht de AEMC het gebruik van slimme metersystemen, met als doel om in 2030 alle huishoudens hiervan te voorzien. Eind 2024 stond het percentage van huishoudens met een slimme meter op grofweg 57 procent [10]. De technische eisen voor slimme metersystemen zijn gedefinieerd binnen de *National Electricity Rules* (NER). Hierbij staat centraal dat de slimme meters in staat zijn om op afstand te communiceren met andere systemen. Verder moet verbruiksdata gemonitord, opgeslagen en uitgewisseld kunnen worden [11].

In Australië zijn er verschillende pilots geweest om slimme apparaten in te zetten voor het verhelpen van netcongestie. Een project uit 2024 heeft onderzocht hoe elektrisch aangedreven warmte-leverende apparaten zoals warmtepompen aangestuurd kunnen worden met behulp van slimme meters [12]. Verder is er onderzocht hoe de vraagprofielen naar elektriciteit hiermee verschoven kunnen worden. Het ontwerp van het systeem waarvoor gekozen is gebaseerd op een *dynamic load control portal*, te zien in Figuur 3.3.



Figuur 3.3: Voorgesteld ontwerp energiemanagement binnen het pilotproject in Australië via de dynamic load control portal.

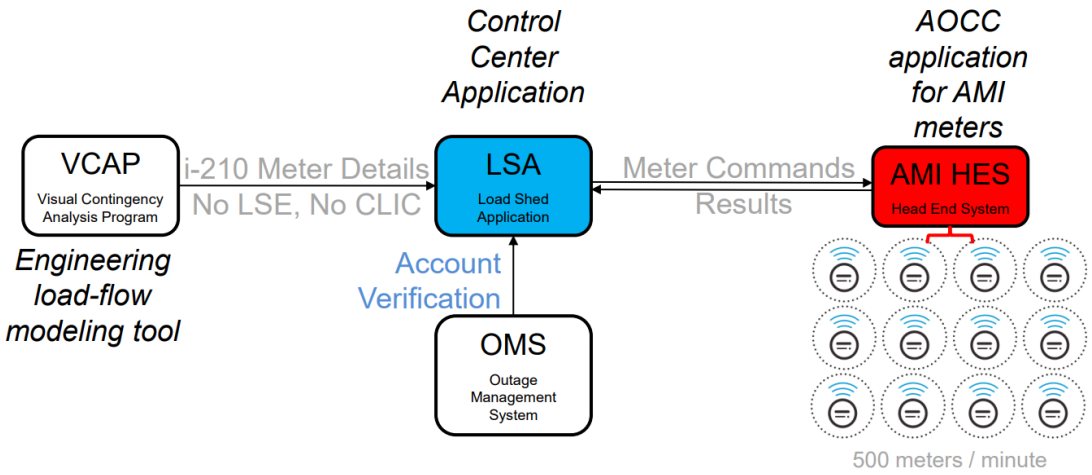
Voor het communiceren met de slimme meters is een API-oplossing ontwikkeld. Deze oplossing kan ingezet worden om automatisch verzoeken voor belastingverschuiving te behandelen via integratie met het energiemanagementsysteem. Verschillende data wordt gecommuniceerd via dit systeem, bijvoorbeeld historisch en huidig elektriciteitsverbruik, netwerktarieven en elektriciteitsprijzen. Verder wordt er informatie gemonitord zoals voltage (V), actief vermogen (W) en reactief vermogen (VAr). Uit de resultaten van de pilot blijkt dat het aansturen van slimme apparaten succesvol leidt tot het reguleren van onder andere voltage.

3.4 Verenigde Staten

De Verenigde Staten (VS) kampt net als Nederland met toenemende overbelasting op distributienetwerken. De Department of Energy (DoE) en de National Renewable Energy Laboratory (NREL) signaleren in gepubliceerde rapporten dat elektrificatie van regionale energiesystemen hinder kan ondervinden door de huidige capaciteit op laagspannings-netwerken [13]. Het verzwaren van de distributienetwerken in de VS kost naar schatting tussen 350 en 790 miljard Amerikaanse dollar [14]. Vanwege deze significante kosten worden momenteel alternatieven onderzocht. Non-Wires Alternatives (NWA) zijn investeringen in het elektriciteitssysteem die dienen als alternatieven voor traditionele netverzwaring.

Een voorbeeld van een NWA toepassing is het ‘Con Edison Outage Management and Smart City’ programma van Con Edison, een energieleverancier in New York City, Verenigde Staten. Binnen dit programma bestaat het initiatief ‘AMI Load Shedding’, waarbij AMI staat voor *Advanced Metering Infrastructure*. In dit initiatief is het mogelijk gemaakt om via slimme meters gericht af te schakelen. Via contractuele overeenkomsten is het hiermee mogelijk om

flexibiliteit te ontsluiten bij kleinverbruikers, zonder daarmee af te schakelen binnen het gehele gebied waar bijvoorbeeld ook cruciale diensten zoals ziekenhuizen vallen [15].



Figuur 3.4: Ontwerp van de data uitwisseling in het AMI Load Shedding initiatief [15].

In **Figuur 3.4** is een overzicht te zien van het ontwerp van de data uitwisseling in het AMI Load Shedding-initatief. De eindverbruiker is verbonden via een AMI Head End System (HES). De Visual Contingency Analysis Program (VCAP) en de Outage Management System (OMS) zijn verbonden met een Load Shedding Application (LSA), en communiceren de status van het distributienetwerk. De LSA is vervolgens in staat om met de AMI HES te communiceren om te sturen wanneer dit nodig is. Er is sprake van bi-directionele communicatie, waarbij de resultaten van de daadwerkelijke sturing terug gecommuniceerd worden aan de LSA. Dit is enkel één voorbeeld van een NWA-oplossing. De prognose voor totale investeringen in verschillende NWA-oplossingen in de VS bedraagt 580 miljoen Amerikaanse dollar in 2026 [16].

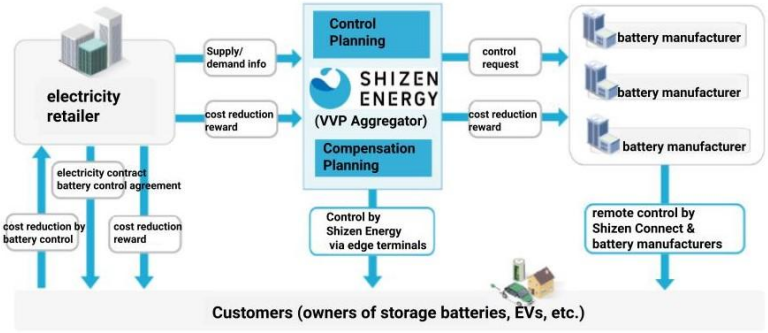
3.5 Japan

In Japan vallen de verantwoordelijkheden voor transmissie en distributie binnen dezelfde portefeuille, in plaats van TSOs en RNBs bestaan hier namelijk *Transmission & Distribution Operators* (TDOs) [17]. Binnen het nationale ministerie van economie, handel en industrie (経済産業省) bestaat een departement (agentschap voor natuurlijke grondstoffen en energie, 資源エネルギー庁) dat werkt aan beleid om slimme metersystemen van standaarden te voorzien en de integratie hiervan te kunnen bevorderen in bijvoorbeeld virtual power plants (VPPs).

Hervormingen in het Japanse elektriciteitssysteem, waaronder de Energy System Reform Roadmap stimuleren de integratie van VPP-systemen [18]. Afhankelijkheden van grondstoffen voor traditionele elektriciteitscentrales (gas, kolen) worden als significante risico's geacht. In combinatie met de grootschalige adoptie van zonnepanelen en elektrische auto's vormen VPPs een logisch alternatief. De prognose voor de geaggregeerde capaciteit van VPP-systemen in Japan voorspelt een toename van 1 GW in 2019 tot 12.6 GW in 2029, een jaarlijkse groei van 31.9% [19].

Ook op het laagspanningsnetwerk kunnen VPPs een belangrijke balanceerrol spelen. Pilots in distributiesystemen werken met systemen waar verschillende slimme apparaten

geaggregeerd worden in een VPP, waar vervolgens signalen mee uitgewisseld kunnen worden. In de Shizen Energy pilot is er gewerkt met een soortgelijk mechanisme [20].



Figuur 3.5: VPP-mechanisme in de Shizen Energy pilot voor distributienetwerk balancering [20].

Figuur 3.5 weergeeft het VPP-mechanisme in de Shizen Energy pilot. Zoals te zien in de figuur is er sprake van een communicatie van de energieleverancier naar de aggregator, van onder andere real-time prijzen voor elektriciteit. Vervolgens is de aggregator in staat om slimme apparaten aan te sturen. De ‘Shizen Connect’ in de figuur is onderdeel van een demonstratie van een VPP systeem van batterijen en elektrische voertuigen, specifiek voor het laagspanningsnetwerk [21].

3.6 Internationale vergelijking

In **Tabel 3.1** is een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden voor KV-netbescherming uit de beschouwde internationale context. Deze verzameling van mechanismen zijn niet alomvattend, en dienen om te laten zien dat er veel verschillen bestaan in hoe landen omgaan met netcongestie en hoe hun oplossingen daarvoor technisch zijn ingericht. Ook is het belangrijk om te vermelden dat niet alle opties strikgenomen KV-netbescherming zijn, al zijn alle beschouwde mechanismen met enige aanpassingen in te zetten voor KV-netbeschermingsdoeleinden.

Tabel 3.1: Vergelijking van mechanismen uit de internationale context gebruikt voor verhelpen van netcongestie en mogelijk inzetbaar als KV-netbescherming

Mechanisme	Type	Voorbeeld (land)	Operator	Voordelen	Nadelen
Netverzwaring	Technisch	Allen	RNB	Deterministisch in capaciteitsverhoging -> je weet wat je krijgt	Hoge kosten / arbeidsintensief
Slimme apparaten	Technisch / wetgeving	Paragraaf 14a Energy Industry Act (Duitsland)	RNB	Gegarandeerde afschakeling	Invloed op autonomie van consument – impact op comfort
Slimme meter	Technisch / wetgeving	AEMC / NER via dynamic load control portal (Australië)	RNB	Gegarandeerde reductie	Invloed op autonomie van consument – impact op comfort
Lokale flexibiliteits-markten	Marktgebaseerd / technisch / wetgeving	PAS 1878/1879 (VK)	RNB en marktplatformen	Marktoptimale oplossing voor congestie verhelpen – lage kosten + participatie consument	Vereist voldoende flexibiliteit in pooling + geen garantie op voldoende afschakeling
NWA	Marktgebaseerd / technisch / wetgeving	Verenigde Staten	RNB en marktplatformen	In de praktijk lagere kosten dan netverzwaring	Geen standaard, overkoepelend principe en niet per se 1 techniek
VPP	Marktgebaseerd / technisch	Japan	Aggregator	(Gecontracteerde) pooling geeft meer zekerheid/inzicht in mogelijkheid afschakeling	Sterke afhankelijkheid aggregator (waarschijnlijk marktpartij)

Uit het overzicht valt op te maken dat het ontwerp van de KV-netbeschermingsopties uit de verschillende landen sterk beïnvloed zijn door de lokale context. Een NWA oplossing in de VS gaat gepaard met weinig standaardisatie, terwijl dit in het VK juist als nodig wordt geacht om lokale flexibiliteitsmarkten op te kunnen zetten. Verder zijn er in de technische ontwerpen van de mechanismen ook veel verschillen te zien. Een RNB verstuurt in vrijwel alle gevallen een signaal naar een systeem waaraan aansluitingen of apparaten verbonden zijn, maar het communicatieprotocol en de type signalen kennen hier geen overkoepelende standaard.

Het mechanisme in Duitsland en het Verenigde Koninkrijk worden meegenomen in de verdere analyse als opties die mogelijk kunnen werken in de Nederlandse context.

4 Technische opties voor KV-netbescherming

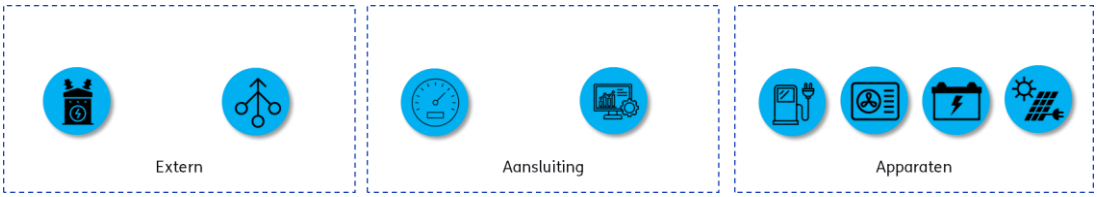
Na een initiële inventarisatie is samen met KGG en LAN besloten welke technische alternatieven onderzocht zou worden. Het uitgangspunt was om opties te onderzoeken die op korte termijn geïmplementeerd kunnen worden. Verder moeten ze kunnen werken voor zowel invoeding als afname, en voor gelaagde netcongestie. De technische werking van deze opties is beschreven in dit hoofdstuk.

Onderzochte mechanismen
De onderzochte opties zijn een mix van pilots voor KV-netbescherming, technieken die aangepast kunnen worden voor KV-netbescherming, en markmechanismen die in zijn geheel of elementen daarvan gebruikt kunnen worden voor KV-netbescherming.

- GridShield (netbescherming)
- Real Time Interface v2 (netbescherming, nu alleen op middenspanning)
- NextGen Slimme meter + HEMS (netbescherming)
- Duitsland - §14a (netbescherming)
- Verenigd Koninkrijk - PAS 1878/1879 (marktmechanisme)
- Aggregator route (marktmechanisme)
- IEEE 2030.5 – CSIP (netbescherming)

De marktmechanismen - VK, aggregator route, en RTI - moeten aangepast worden om echt als KV-netbescherming ingezet te worden. KV-netbescherming is een verplichte maatregel om het net fysiek te beschermen, terwijl marktgebaseerde oplossingen via prijsprikkels vrijblijvend zijn. In Hoofdstuk 6 gaan we verder in op het verschil tussen verplichte en vrijwillige opties en wat dat betekent voor de technische eisen.

Uitleg schematische weergave
Om de verschillen en overeenkomsten tussen de technische oplossingen inzichtelijk te maken, worden deze gemapped op een schematisch overzicht van de KV-netbeschermingsketen.



Figuur 4.1: Schematisch overzicht van de KV-netbeschermingsketen

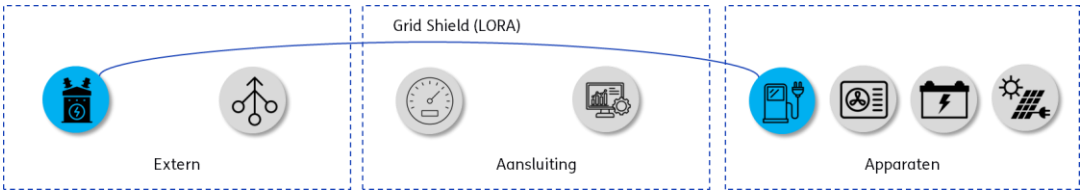
Figuur 4.1 laat zien welke componenten betrokken kunnen zijn bij het overbrengen van een stuursignaal vanaf de RNB, waar congestie wordt vastgesteld, tot aan de slimme net-intensieve apparaten die uiteindelijk de gevraagde flexibiliteit moeten leveren om congestie het hoofd te kunnen bieden.

In het schema worden de volgende symbolen gehanteerd:

	De Regionale Netbeheerder: RNB. Bij de RNB wordt eventuele netcongestie gedetecteerd en wordt besloten hoe hierop te reageren. KV-netbescherming is daarbij één van de mogelijke opties.
	Aggregator. Wanneer de aggregator onderdeel uitmaakt van de keten hoeft de RNB niet zelf met individuele aangeslotenen (of apparaten) te communiceren. De aggregator rol kan door diverse partijen worden ingevuld, bijvoorbeeld door een CPO, OEM, energieleverancier of een VPP.
	Slimme meter. De slimme meter maakt onderdeel uit van de infrastructuur van de RNB en bevindt zich tegelijkertijd in het domein van de aangeslotene. Hiermee vormt de slimme meter in beginsel een logisch ontvangstpunt voor een stuursignaal voor KV-netbescherming.
	Home Energy Management System: HEMS. Een HEMS coördineert het gedrag van slimme net-intensieve apparaten op een aansluiting. Als reactie op een KV-netbeschermingssignaal kan een HEMS bepalen wat de bijdrage van elk apparaat moet zijn.
	Laadpaal. Via een laadpaal kan het laden van een EV beïnvloed worden, bijvoorbeeld door het laden uit te stellen, het maximale laadvermogen te begrenzen of energie terug te leveren in het geval van V2Grid. Het is ook mogelijk dat een laadsessie rechtstreeks via de auto wordt aangestuurd.
	Warmtepomp. Een warmtepomp kan o.a. flexibiliteit leveren door warmte te bufferen in de thermische massa van een huis of in een buffervat voor tapwater.
	Thuisbatterij. Een thuisbatterij vervult geen functionele rol en is volledig gericht op het leveren van flexibiliteit en kan zowel flexibel zijn op afname als op invoeding
	PV-omvormer. Een PV-omvormer kan alleen begrensd worden op het maximaal te leveren vermogen.

Wanneer één van bovenstaande symbolen in het grijs worden weergegeven vormen zij geen onderdeel van een specifieke KV-netbeschermingsketen. De lijn tussen de componenten laat zien hoe de communicatie loopt.

4.1 GridShield



Figuur 4.2: GridShield keten, laadpaalvariant

Zoals weergegeven in Figuur 4.2 is GridShield een KV-netbeschermingsmechanisme waarbij een stuursignaal **rechtstreeks** vanuit de RNB naar een apparaat wordt gestuurd. In het pilot-project gaat het daarbij om laadpalen. Het kan ook aangepast worden om op andere apparaten te werken. Deze rechtstreekse link is één van de onderscheidende factoren van GridShield ten opzichte van de andere mechanismen die in dit hoofdstuk beschreven worden.

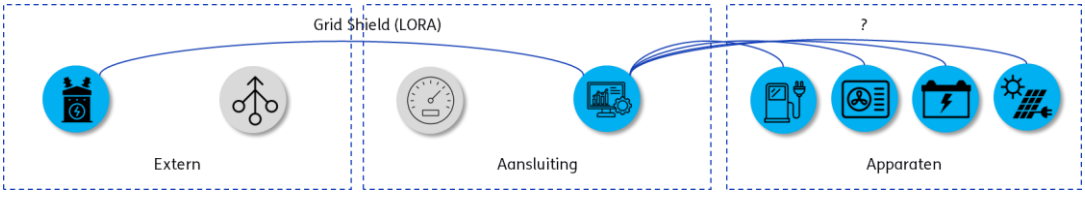
Een andere onderscheidende factor is dat GridShield expliciet als een **decentraal mechanisme** is ontwikkeld. De aansturing van GridShield vindt plaats op basis van metingen in een MSR (MiddenSpanningsRuimte, of LS-trafo). Wanneer lokale overbelasting dreigt plaats te vinden, wordt vanuit de MSR een signaal gestuurd naar de laadpalen die door deze MSR worden gevoed. Dit is een autonoom lokaal proces waarbij geen centrale aansturing door de RNB nodig is. De laadpalen reageren op dit signaal door hun vermogen af te schalen. Wanneer de metingen in de MSR laten zien dat dit onvoldoende effect heeft gehad, wordt opnieuw een signaal gestuurd om de laadpalen nog verder af te laten schalen totdat de belasting van de MSR weer binnen de normale operationele grenzen valt.

Dit afschalen en vervolgens weer opschalen gebeurt volgens het Additive Increase, Multiplicative Decrease algoritme (AIMD). Doordat het afschalen volgens dit algoritme via vermenigvuldiging gaat wordt er bij overbelasting snel ingegrepen. Het opschalen vindt incrementeel plaats, waardoor het laadvermogen weer relatief langzaam wordt opgehoogd om toch weer zoveel mogelijk van de beschikbare capaciteit gebruik te maken. Door dit snelle afschalen en het daarna weer langzaam opschalen worden oscillaties zoveel mogelijk beperkt.

Dit decentrale mechanisme is goed in staat om met directe congestie om te gaan, maar behoeft aanpassingen om ook voor het oplossen van indirecte (gelaagde) congestie ingezet te kunnen worden. Hiervoor is additionele communicatie tussen centrale RNB-systemen en de MSR's noodzakelijk.

GridShield maakt gebruik van LoRa (long range) radiosignalen voor de communicatie tussen de MSR en de laadpalen. Hierbij is de MSR de zender en de laadpaal de ontvanger. De werking van GridShield is daarmee afhankelijk van de installatie van hardware in de MSR en de individuele laadpalen. Elke paal moet uitgerust worden met een LoRa ontvanger en er moeten aanpassingen worden gedaan om het ontvangen signaal om te zetten in een daadwerkelijke reductie van het vermogen. De berichten die door de MSR worden verstuurd worden ondertekend met de private key van de MSR, zodat ontvangers met behulp van de public key van de MSR kunnen vaststellen dat dit bericht inderdaad van de MSR komt.

Wanneer GridShield ingezet gaat worden om naast de laadpalen ook de andere apparaat typen aan te sturen, dan zullen deze apparaten eveneens voorzien moeten worden van bovengenoemde aanpassingen. Om dit te voorkomen is er een alternatieve variant van GridShield denkbaar waarbij er gebruik gemaakt wordt van een HEMS (zie Figuur 4.3).



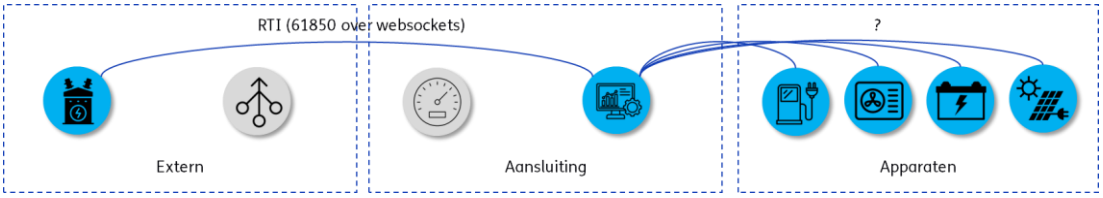
Figuur 4.3: GridShield keten HEMS variant

In dit geval wordt alleen de HEMS uitgerust met een LoRa ontvanger om het stuursignaal van de MSR te kunnen ontvangen. De HEMS kan vervolgens de apparaten achter de meter met een ander protocol aansturen om zo tot de gevraagde reductie in vermogen te komen.

4.2 Real Time Interface v2

De Real Time Interface (RTI) is als KV-netbeschermingsinstrument al in gebruik op middenspanningsnet. Via de RTI kunnen vermogenslimieten naar de aangeslotene (zoals bijvoorbeeld wind- of zonneparken) gecommuniceerd worden. Aangeslotenen zijn verplicht om zich aan deze limieten houden. De basis voor deze verplichting is gelegen in de Europese netcode Requirements for Generators (RfG) en geldt voor opwekkers met een vermogen van 1 tot 50 MW.

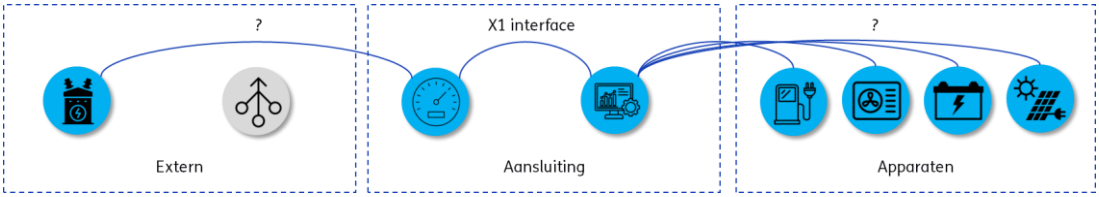
De huidige versie van de RTI bestaat uit twee fysiek endpoints, één voor de aangeslotene en één voor de netbeheerder. Deze endpoints worden op de locatie van de meter verbonden met een fysieke ethernetkabel. Via de kabel vindt communicatie plaats tussen de twee endpoints volgens het IEC-61850 protocol. Deze versie van de is RTI te kostbaar en onvoldoende schaalbaar om als basis te kunnen dienen voor KV-netbescherming op het laagspanningsnet.



Figuur 4.4: Real Time Interface v2 voor laagspanning

Er wordt door Netbeheer Nederland echter ook gewerkt aan een internet gebaseerde versie: RTI v2. Deze zou ook voor laagspanning kunnen worden toegepast (zie Figuur 4.4). Voor RTI v2 worden dezelfde (IEC 61850) berichtdefinities gehanteerd als voor v1.1, maar deze worden via internet (over een websocket verbinding) van de RNB naar een Energie Management Systeem (EMS) op de aansluiting gestuurd. De communicatie van het EMS naar de assets (middenspanning) is niet vastgelegd en biedt dus ook geen houvast voor het inrichten van de communicatie tussen een (H)EMS en slimme net-intensieve apparaten wanneer de RTI v2 naar laagspanning “vertaald” wordt.

4.3 NextGen Slimme meter + HEMS



Figuur 4.5: NextGen Slimme meter

De slimme meter is het ontkoppelpunt tussen de infrastructuur van de RNB en de aangeslotene en is daarmee een logische plek voor het afleveren van een KV-netbeschermingssignaal. Figuur 4.5 laat de keten zien met de NextGen slimme meter. De NextGen slimme meter kan echter geen apparaten aansturen en moet daarom altijd gecombineerd worden met een HEMS.

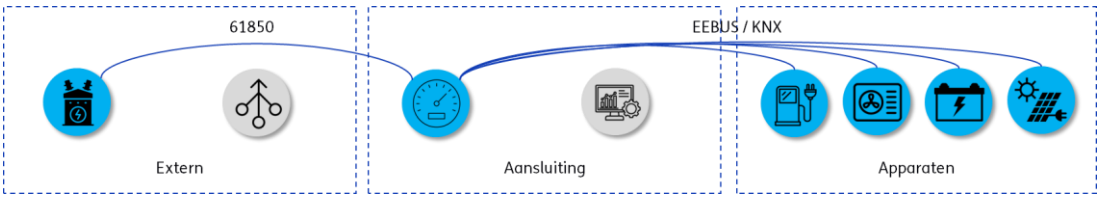
In de NextGen slimme meter is de P1 poort vervangen door de X1 interface. Dit is een kleine webserver op de slimme meter waardoor lokale systemen eenvoudig verbinding kunnen maken. In het geval van KV-netbescherming zou een stuursignaal beschikbaar gemaakt kunnen worden op de X1 interface waar het opgepakt kan worden door een (H)EMS die vervolgens de apparaten aan kan sturen.

Op dit moment is het echter niet voorzien dat er een stuursignaal van de head end systemen bij de RNB naar de slimme meter gestuurd kan worden. Ook gaat het door de geleidelijke uitrol van de NextGen slimme meter nog 10 tot 15 jaar duren voordat deze op voldoende schaal bij aangeslotenen geïnstalleerd zijn.

4.4 Duitsland - §14a

In Duitsland is §14a van de Energiewirtschaftsgesetz (EnWg) per 1 januari 2024 van kracht geworden. Dit is een praktijkvoorbeeld van een verplichte KV-netbeschermingsmaatregel. Aangeslotenen moeten aan §14a voldoen wanneer zij gebruik maken van één of meerdere van de volgende types apparaten: thuislader voor EV, warmtepomp, airconditioning en batterijopslag. Daarbij moet het piekvermogen van zo'n apparaat boven 4,2 kW uitkomen; kleinere installaties vallen niet onder §14a.

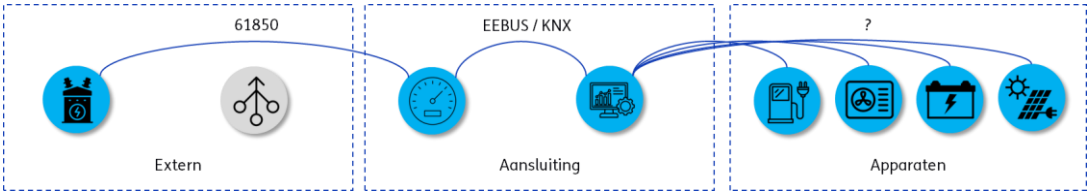
Er zijn twee varianten van §14a: de "Direktansteuerung" variant (waarbij het stuursignaal direct wordt doorgezet naar de individuele apparaten) en de "EMS" variant (waarbij een EMS bepaalt wat de bijdrage van elk apparaat moet zijn om aan het stuursignaal te voldoen).



Figuur 4.6: §14a - apparaat variant

Figuur 4.6 toont de apparaat variant waarbij het stuursignaal één op één wordt doorgezet naar de apparaten. Het mechanisme maakt gebruik van de slimme meter infrastructuur om een stuursignaal naar de aangeslotene te kunnen sturen. Hierbij maakt de RNB gebruik van het IEC 61850 protocol om het stuursignaal bij de aangeslotene af te leveren. In Duitsland is de slimme meter functionaliteit bij de aangeslotene verdeeld over meerdere apparaten: voor §14a wordt gebruik gemaakt van de "smart meter gateway" en de zogenaamde "steuerbox".

De steuerbox zet het signaal in deze variant direct door naar de apparaten. De apparaten moeten vervolgens op dit signaal reageren door het vermogen te beperken tot maximaal 4,2 kW. Het signaal wordt aan de apparaten doorgegeven middels het EEBUS-protocol of via KNX.



Figuur 4.7: §14a - EMS variant

De (H)EMS-variant (zie Figuur 4.7) is tot aan de steuerbox gelijk aan de apparaat variant. Daarna wordt het signaal aan een (H)EMS doorgegeven waarbij ook weer voor EEBUS of KNX gekozen kan worden. Bij de (H)EMS-variant wordt gekeken naar het totaal toegestane vermogen op de aansluiting. Het toegestane vermogen is afhankelijk van het aantal apparaten dat onder §14a valt.

Wanneer er bijvoorbeeld drie netintensieve apparaten zijn, mag voor het eerste apparaat 4,2 kW gerekend worden, terwijl er voor de overige twee apparaten een factor van 0,75 gehanteerd wordt. Het totaal toegestaan vermogen op de netaansluiting wordt hiermee:

4,2 kW + 2 x 0,75 x 4,2 kW = 10,5 kW

Het voordeel van een beperking voor de gehele aansluiting is dat de aangeslotene nu zelf kan bepalen hoe de beperking over de beschikbare apparaten verdeeld moet worden. Zo kan bijvoorbeeld PV opwek worden gebruikt om het extra verbruik van andere apparaten te compenseren.

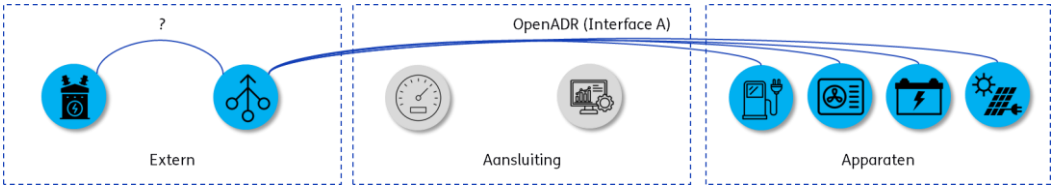
Voor de communicatie tussen (H)EMS en apparaten wordt geen specifiek protocol voorgeschreven.

Alhoewel §14a een wettelijke verplichting is, loopt de uitrol van de infrastructuur (zoals de Steuerbox) traag: momenteel is dit bij minder dan 5% van de aansluitingen geïmplementeerd.

4.5 Verenigd Koninkrijk - PAS 1878/1879

In het Verenigd Koninkrijk zijn in 2021 de PAS 1878 en 1879 gepubliceerd. PAS staat voor Publicly Available Specification en is vergelijkbaar met een Nederlands Technische Afspraak (NTA).

Alhoewel in de PAS documenten geen verplichte KV-netbescherming wordt gespecificeerd is het wel interessant om te kijken welke marktmechanismen voor congestie management door PAS 1878/1879 mogelijk worden gemaakt. De keten voor PAS 1878/1879 is weergeven in Figuur 4.8.

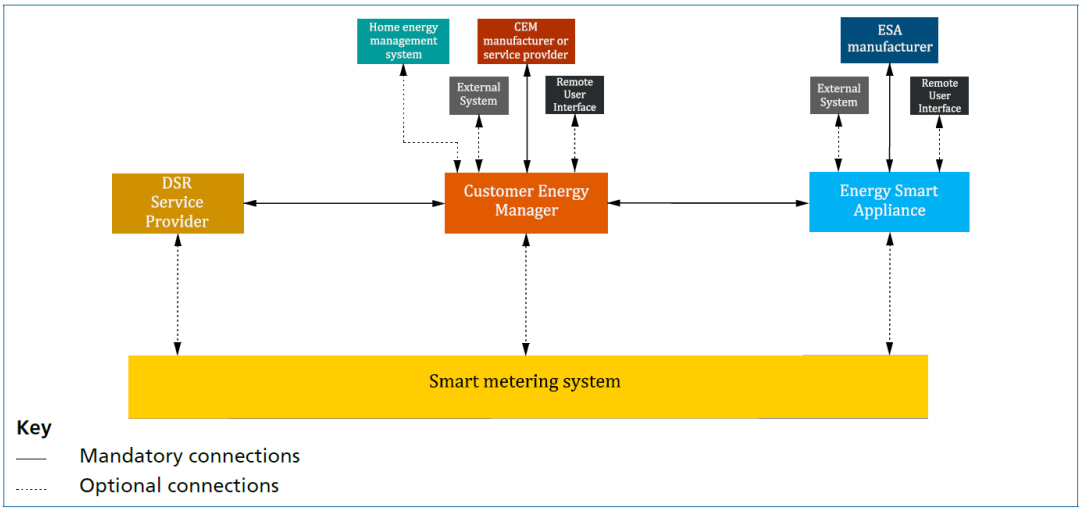


Figuur 4.8: PAS 1878/1879

De RNB kan congestiemanagementdiensten afnemen van een aggregator. In de PAS 1878/1879 wordt de aggregator aangeduid als Demand Side Response Service Provider (DSRSP). Er is geen protocol voor deze communicatie voorgeschreven.

De DSRSP stuurt vervolgens de Energy Smart Appliances (ESA) aan die tot zijn portfolio behoren. De ESA eigenaren kiezen zelf of en door welke DSRSP hun apparaten aangestuurd mogen worden.

Alhoewel Figuur 4.8 anders doet vermoeden worden de apparaten/ESA's niet rechtstreeks door de aggregator/DSRSP aangestuurd. Dit wordt duidelijk bij bestudering van de PAS 1878 architectuur (zie Figuur 4.9).



Figuur 4.9: Overzicht van de PAS 1878:2021 architectuur

Een ESA wordt vertegenwoordigd door een Customer Energy Manager[3] (CEM). Het is deze CEM die met de DSRSP communiceert middels het OpenADR protocol. Voor de communicatie tussen CEM en ESA worden geen specifieke protocollen voorgeschreven.

Opvallend aan de architectuur van PAS 1878 is dat er nauwelijks tot geen aandacht is voor een HEMS. De HEMS is dan wel opgenomen het architectuur plaatje, maar de communicatie is niet gespecificeerd. In de revisie van de PAS 1878 die eind 2025 of begin 2026 gepubliceerd zal worden is de HEMS zelfs helemaal weggelaten.

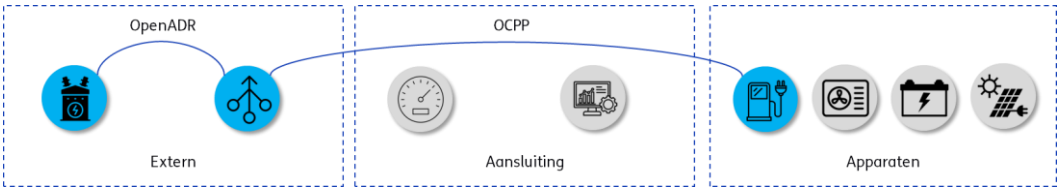
4.6 Aggregator route

Flexibiliteit ontsluiten via een aggregator is een vrijwillig marktmechanisme. Dit kan technisch ook ingezet worden om een KV-netbeschermingssignaal van de netbeheerders te sturen die verplicht opgevolgd zou moeten worden. Het uitgangspunt van onze analyse is in lijn met de definitie van KV-netbescherming van de netbeheerders: de verplichting ligt bij de aangeslotene, en deze kiest ervoor om een aggregator te gebruiken om te voldoen aan de verplichting.

In dit rapport wordt er onderscheid gemaakt tussen drie verschillende varianten om de KV-netbeschermingssignaal via een aggregator te communiceren: de *CPO-route*, *Aggregator naar apparaat* en *Aggregator naar HEMS*. Deze varianten zijn hieronder beschreven.

CPO-route (actieve low tech)
Bij deze variant (zie Figuur 4.10) wordt de aggregator rol ingevuld door een Charging Point Operator (CPO).

[3] De Customer Energy Manager komt ook terug in internationale standaarden. In de PAS 1878 is echter voor een afwijkende invulling van de CEM gekozen waardoor deze niet vergelijkbaar is met de internationale variant.

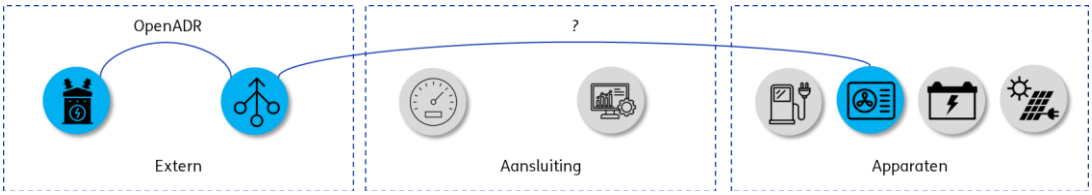


Figuur 4.10: CPO-route

De RNB stuurt een bericht naar de CPO met daarin het verzoek om het vermogen van laadpalen in een bepaald congestiegebied te reduceren. Voor deze communicatie wordt gebruik gemaakt van het OpenADR protocol. Deze laadpalen worden vervolgens door de CPO middels het Open Charge Point Protocol (OCPP) aangestuurd om deze reductie ook daadwerkelijk te realiseren.

Het voordeel van dit marktmechanisme is dat het gebruik maakt van de bestaande laad-infrastructuur/-architectuur en OCPP. Daarmee is dit mechanisme snel inzetbaar. Een nadeel is dat hiermee niet alle laadpalen worden afgedekt. Een deel van de thuislaadpalen wordt niet beheerd door een CPO en kan dus niet op deze manier aangestuurd worden.

Aggregator – apparaat
Deze variant is een generalisering van de CPO-route, waarbij elk type apparaat door een aggregator aangestuurd kan worden (zie Figuur 4.11).

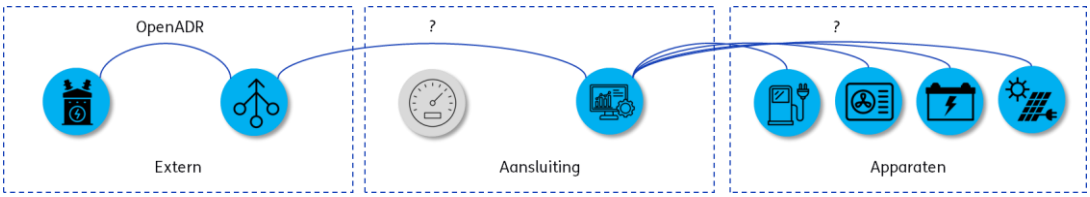


Figuur 4.11: Aggregator – apparaat variant

In dit geval blijft de communicatie tussen RNB en aggregator nog steeds plaatsvinden via OpenADR. De aggregator rol kan hier echter door uiteenlopende partijen worden ingevuld. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan OEM's, VPP's of energieleveranciers. Één van de scenario's zou kunnen zijn dat een warmtepomp fabrikant optreedt als aggregator en via zijn cloudomgeving in staat is om het vermogen van de warmtepompen binnen een bepaald congestiegebied te reduceren wanneer de RNB hier om vraagt.

Het protocol dat de aggregator gebruikt om de apparaten onder zijn beheer aan te sturen is niet gespecificeerd en mag ook proprietary zijn.

Aggregator – HEMS
De laatste variant binnen de aggregator route loopt via een HEMS (zie Figuur 4.12)



Figuur 4.12: Aggregator – HEMS variant

Bij deze variant stuurt de aggregator geen individuele apparaten aan, maar worden er eisen gesteld aan het totaal toegestane vermogen op de aansluiting. Deze eisen worden door de aggregator naar de HEMS gecommuniceerd die vervolgens de apparaten gecoördineerd aanstuurt om zo gunstig mogelijk invulling te geven aan de gestelde limieten.

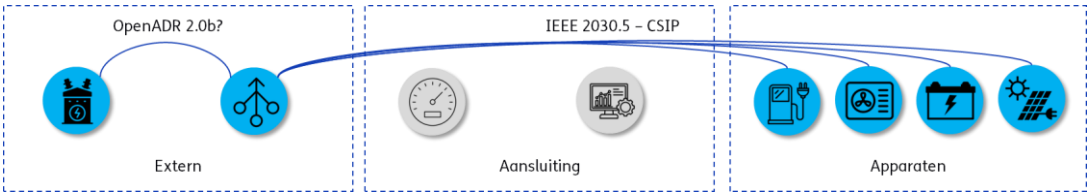
De protocollen die worden gebruikt tussen aggregator en HEMS en tussen HEMS en apparaten zijn niet nader gespecificeerd.

4.7 IEEE 2030.5 – CSIP / Rule 21

IEEE 2030.5 – CSIP stond niet op de originele afgestemde lijst met te onderzoeken protocollen/oplossingen voor KV-netbescherming. Doordat het pas later in dit onderzoek aan bod is gekomen, is IEEE 2030.5 dan ook niet meegenomen in de scores zoals die in hoofdstuk 5 beschreven worden. Dit protocol wordt echter wel als een relevante oplossing gezien op het gebied van KV-netbescherming en is om die reden dan ook opgenomen in dit overzichtshoofdstuk. De input voor deze paragraaf is aangeleverd door ElaadNL.

IEEE 2030.5 (voorheen Smart Energy Profile 2.0, SEP2) is origineel gemaakt door de ZigBee Alliance, bekend van het in-house smart device protocol. SEP2 is een doorontwikkeling van SEP1, wat gelimiteerd was tot het ZigBee protocol, naar een multi-protocol oplossing voor beveiligde, bi-directionele sturing.

De ZigBee Alliance heeft in 2013 SEP2 overgedragen aan de IEEE, waarna het protocol gepubliceerd is als “IEEE 2030.5 – Smart Energy Profile Application Protocol”.



Figuur 4.13: 4.7 IEEE 2030.5 – CSIP / Rule 21

Het protocol is sterk gegroeid toen het in 2016 door California verplicht werd gesteld voor alle nieuwe DER-apparaten, onder het zogenaamde “Rule 21”. Rule 21 is een besluit van de staatsoverheid over hoe er gecommuniceerd moet worden met slimme apparaten. Rule 21 kent twee niveaus van sturing en gebruikt daar respectievelijke OpenADR 2.0b (DSO -> Aggregator) en IEEE 2030.5 + CSIP (Aggregator -> Devices) voor.

Wat is CSIP
Common Smart Inverter Profile (CSIP) is een specificatie boven op IEEE 2030.5 en geen nieuw protocol. Het stelt bepaalde, specifieke eisen aan hoe delen van IEEE 2030.5 die of optioneel, of multi-interpretabel zijn, geïnterpreteerd moeten worden.

CSIP is opgezet om leveranciers van apparaten een duidelijke handleiding te geven van welke functionaliteiten binnen IEEE 2030.5 minimaal ondersteund moeten worden, en op welke manier.

De keten
IEEE 2030.5 + CSIP dient dus door zowel de apparaatleverancier als de Aggregator geïmplementeerd te worden en zit ‘as intended’ op dezelfde plek waar we ook Matter, ZigBee, EEBUS, S2, etc. zien.

Op technisch vlak maakt CSIP gebruik van XML als basis voor het berichtformaat en REST voor de communicatielaag. CSIP heeft onder andere functies voor vermogenslimitering, ramp rates, maar biedt ook frequentieondersteunende functies.

Implementatie
Implementeren is voor zowel aggregator als voor apparaat absoluut niet triviaal. Het gebruik van Mutual TLS (mTLS) stelt stevige eisen aan beide kanten en vereist de nodige rekenkracht. Voeg daar aan toe dat de lijst van verplichte functionaliteiten uitgebreid is en vaak niet apparaat-agnostisch te maken is, en je loopt al snel tegen een stevige belasting aan voor apparaatleveranciers.

Aan de kant van de aggregator is de belasting dubbel, daar ze niet alleen IEEE 2030.5 als geheel moeten implementeren om de CSIP-functies te ondersteunen, want de server voor CSIP draait immers bij hen, maar daarnaast ook nog eens een companion-protocol, zoals OpenADR 2.0b, moeten ondersteunen.

Beperkingen met betrekking tot KV-netbescherming
CSIP is alleen geschikt voor ‘reactieve bescherming’. Het gebrek aan real time sturing alsmede de format van het berichten zorgt er voor dat actief aansturen op afschakelen en KV-netbescherming onmogelijk is. Het protocol stelt wel eisen aan de maximale polling intervals, maar deze hebben een dusdanige orde van grote dat dit simpelweg niet snel genoeg is.

Echter – het is wel goed in te zetten voor reactief aansturen. Hiermee bedoelen we in dit geval dat een apparaat van tevoren wordt uitgerust (‘provisioned’) met een set instructies over hoe te reageren bij specifieke net-situaties. Denk bijvoorbeeld aan:

- “Als het voltage onder de 190V zakt, ga je in standby-modus tot het voltage weer boven 200V zit”
- “Als de netfrequentie boven X is, dan zak je naar max Y verbruik”

IEEE 2030.5 implementeert een ‘ride-through’ concept, waardoor er van apparaten verwacht wordt dat ze in bovenstaande gevallen niet direct om slaan, maar enkele polling momenten nemen om te controleren of de gebeurtenis niet een losse piek was.

5 Scoring

Dit hoofdstuk presenteert een kwalitatieve analyse van de geselecteerde maatregelen. De beoordeling richt zich op de geschiktheid van deze maatregelen, waarbij verschillende aspecten afzonderlijk worden geëvalueerd. De onderzochte aspecten zijn:

- Impact op comfort
  - De mate waarin het consumentencomfort wordt beïnvloed.
  - Het niveau van autonomie dat de consument heeft bij het invulling geven aan de opgelegde beperking.
- Effectiviteit
  - De effectiviteit bij het sturen van vraag en/of aanbod van elektriciteit.
  - De bijdrage aan de bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie.
  - De mogelijkheid voor deelname van uiteenlopende typen net-intensieve apparaten.
- Implementatie
  - De huidige stand van de technologische ontwikkeling.
  - Het potentieel om door te ontwikkelen tot een Technology Readiness Level (TRL) van 9.
  - De schaalbaarheid van implementatie.
  - De complexiteit van implementatie bij netbeheerders, marktpartijen, consumenten en producenten.
  - De mate van afhankelijkheid van externe partijen tijdens gebruik.
- Veiligheid
  - De operationele robuustheid onder wisselende omstandigheden.
  - De introductie van risico's op het gebied van cybersecurity en netwerkstabiliteit.
- Privacy
  - De omvang van de vereiste gegevensuitwisseling en de implicaties hiervan.
- Betaalbaarheid
  - De implementatiekosten voor netbeheerders.
  - De implementatiekosten voor consumenten.
  - De implementatiekosten voor derde partijen, zoals bijvoorbeeld aggregators.

Voor elk (sub-)aspect wordt een score toegekend van één tot vijf, waarbij een hogere score overeenkomt met een hogere mate van geschiktheid van de maatregel. Een compleet overzicht van de betekenis per score per (sub-)aspect is gegeven in **Tabel** in Bijlage A. Elke score wordt onderbouwd met een kwalitatieve toelichting, er is verder geen sprake van een kwantitatieve analyse. De scoring is vooral een richtlijn om de maatregelen onderling te vergelijken.

In de volgende paragrafen is een beknopte beoordeling per maatregel te vinden, waar elke score per aspect genomen is als een gemiddelde waarde van de score van de respectievelijke sub-aspecten. Voor een uitgebreider overzicht van de beoordelingen, zie **Tabel A.2** in Bijlage A.

5.1 GridShield

De kwalitatieve beoordeling van GridShield geïmplementeerd op apparaat of op de aansluiting is te vinden in **Tabel 5.1**. Zoals beschreven in Paragraaf 4.1 is een alternatief om

GridShield een signaal te laten sturen naar een (H)EMS in plaats van een apparaat. In de tabel en in de tekst is opgenomen hoe dat de score zou beïnvloeden.

Tabel 5.1: Samenvatting score per aspect van GridShield geïmplementeerd op apparaten en op aansluiting

Aspect	GridShield op apparaat	GridShield op (H)EMS
Impact op comfort	2	5
Effectiviteit	3	4
Implementatie	3	3,2
Veiligheid	5	5
Privacy	5	5
Betaalbaarheid	2,7	3

GridShield – Apparaat

Comfort
Op het gebied van impact op comfort voor de gebruiker functioneert GridShield als zeer moduleerbaar. Het AIMD-algoritme stelt het mechanisme in staat om stapsgewijs de vraag van het apparaat af te schakelen. Echter, op het gebied van autonomie biedt het mechanisme geen keuze aan de consument. Het algoritme verzorgt de mate van afschakeling zonder dat hierbij verdere afstemming nodig is.

Effectiviteit
Gezien deze mate van autonomie is het mechanisme in staat om snel, en zo nodig, veel af te schakelen. GridShield beschermt het lokale systeem, in een lokale context. De werking van het mechanisme is hierbij afhankelijk van een signaal vanuit de MSR. Het huidige ontwerp van GridShield neemt het sturen van signalen momenteel niet in beschouwing, wat de effectiviteit van het systeem benadeelt. Mogelijk is er in de toekomst de optie om via Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) soft- en hardware het verzenden van signalen mogelijk te maken. Verder is het ontwerp van GridShield momenteel enkel van toepassing op het sturen van laadpalen.

Implementatie
Vanwege deze ontwerpkeuze scoort de implementatie van GridShield als algemeen KV-netbeschermingsmechanisme minder hoog op het gebied van technologische ontwikkeling. Voor het volledig uitrollen en inbouwen van nieuwe functionaliteiten zoals het sturen van andere typen apparaten geldt een geschatte tijdsinvestering van minimaal twee jaar. Voor het opschalen van de implementatie van het mechanisme geldt dat dit technisch geen problemen presenteert. Gezien de kopieerbaarheid van de implementatie wordt het opschalen als simpel, maar arbeidsintensief beschouwd. Afhankelijkheid van derde partijen is gelimiteerd en vindt enkel plaats tijdens de ontwikkelfase van het mechanisme, niet tijdens het gebruik.

Veiligheid en privacy
Op het gebied van veiligheid scoort GridShield hoog. Vanwege het decentrale karakter van het mechanisme schalen aanvallen slecht en veroorzaken storingen enkel lokaal problemen. De integriteit van het systeem is beschermd door het gebruik van Public Key Infrastructure (PKI). Er is geen gegevensuitwisseling nodig van privacygevoelige informatie, gezien er geen data van de consument wordt gedeeld in de werking van het mechanisme.

Betaalbaarheid
De verwachte implementatiekosten zijn het hoogst voor consumenten. Voor deze groep brengt het inbouwen van de functionaliteit in het apparaat kosten met zich mee, net als de installatieprocedure om het apparaat correct in te stellen. Voor de netbeheerders betreffen de kosten voornamelijk het aanpassen van de MSR om signalen te kunnen versturen, waarbij het voordeel geldt dat dit niet voor elke MSR hoeft vanwege het lokale karakter van het mechanisme. Er kan een mate van prioriteit gegeven worden aan de implementatie afhankelijk van welke MSR het beste gebruik kan maken van het mechanisme. De verwachte implementatiekosten voor derde partijen zijn lager dan voor consumenten en netbeheerders, en betreffen de aanpassingen aan apparaten die vereist zijn voor de werking van het mechanisme. Hieronder vallen het installeren van een Long Range (LoRa) antenne en softwareaanpassingen.

GridShield – (H)EMS

Comfort
GridShield is ook in te zetten als mechanisme aangesloten op een (H)EMS of soortgelijke aansluiting. Het mechanisme is in dit geval even modulair als wanneer het aangesloten zou zijn op een apparaat, maar biedt meer autonomie aan de consument om te kiezen hoe er aan vraagvermindering voldaan zou moeten worden. De consument kan dan immers zelf kiezen hoe de vraagvermindering over de apparaten verdeeld moet worden.

Effectiviteit
Het mechanisme is in staat om in deze configuratie meerdere verschillende apparaten aan te sturen. Dit leidt tot een effectievere bijsturing. Net als in het geval van aansluiting op de apparaat is er in dit geval nog geen rekening gehouden met het sturen van signalen via SCADA-systemen.

Implementatie
De beoordeling voor de implementatie van het mechanisme is grotendeels vergelijkbaar met het mechanisme waar GridShield rechtstreeks is aangesloten op een apparaat. De implementatie is mogelijk gemakkelijker mocht er meer uniformiteit bestaan in het ontwerp van de benutte (H)EMS-en

Veiligheid en privacy
Vanwege het decentrale aspect van GridShield schaalt een aanval slecht, en veroorzaken storingen enkel in de lokale context mogelijke problemen. In het geval van een (H)EMS-aansluiting is het hierbij wel mogelijk dat het (H)EMS-systeem aangevallen kan worden. Er is geen sprake van privacygevoelige gegevensuitwisseling.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten voor netbeheerders en consumenten blijven vergelijkbaar met de kosten wanneer GridShield ingezet wordt op apparaatniveau. De aanname is hier gemaakt dat dit het geval is indien de consument al in het bezit is van een (H)EMS. Voor derde partijen zijn de implementatiekosten hoger ingeschat vanwege onder andere het installeren van de LoRa antennes.

5.2 Real Time Interface

De kwalitatieve beoordeling van de Real Time Interface als geschikte maatregel is te vinden in **Tabel 5.2**.

Tabel 5.2: De score per geschiktheidsaspect van de Real Time Interface als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	5
Effectiviteit	5
Implementatie	3,6
Veiligheid	3,5
Privacy	4
Betaalbaarheid	3,7

Comfort
Net als GridShield is de RTI enigszins moduleerbaar. Er is sprake van een rechtstreekse verbinding over internet tussen de RNB en de aangesloten partij. Mocht deze verbinding verbroken worden, zijn er ook geconfigureerde streefwaarden bepaald waarnaar afgeschakeld kan worden. Het gebruik van de RTI verloopt door middel van sturen op de aansluiting. Een (H)EMS of soortgelijk systeem is hierbij een vereiste. Een voordeel hiervan voor de autonomie van de consument is de mogelijkheid om te kiezen in welke mate aangesloten apparaten bijdragen aan de totale afschakeling van de aansluiting.

Effectiviteit
Bij het ontwerp van de RTI is een strikte scheiding gemaakt tussen het technische mechanisme waarmee de tijdelijke beperkingen op de aansluiting worden gecommuniceerd en de toepassingskaders die bepalen voor welk doeleinde en onder welke voorwaarden de RTI kan worden ingezet. Hiermee is de RTI dus voor uiteenlopende toepassingen te gebruiken. Daarnaast is de RTI ook in staat om zowel productie als consumptie te beperken. Afhankelijk van het toepassingskader is het hierbij mogelijk om snel en veel te sturen. De RTI maakt gebruik van cloudnetwerken.

Implementatie
Gezien de huidige technologische ontwikkeling van de RTI, is de verwachte uitrol van de cloud-versie van het mechanisme vanaf 2028. De basisversie van de RTI is inmiddels al in gebruik en werkzaam op middenspanningsnetwerken. Het mechanisme is technisch op te schalen, al ligt hierbij de last voornamelijk bij de RNBs. Gezien de cloud optie van de RTI zijn er geen fysieke kastjes nodig in de uitrol, echter is het een vereiste dat het (H)EMS of soortgelijke systeem een aparte WebSocket connectie ondersteunt. Tijdens het gebruik van de RTI is er geen afhankelijkheid van derde partijen.

Veiligheid en privacy
De cloud-implementatie van de RTI heeft gevolgen voor de robuustheid van het mechanisme. De werking is namelijk sterk afhankelijk van de gebruikte internetverbinding en de status van het centrale systeem bij de netbeheerder. Verder kan een aanval op dit centrale systeem grote impact hebben op de operabiliteit van de RTI. De benodigde gegevensuitwisseling voor de werking van de RTI bevat gebruiksmetingen die na een stuursignaal van de RNB teruggestuurd worden om de effectiviteit van het originele signaal te kunnen meten. Dit is gevoelige informatie, er is echter geen sprake van marktpartijen die deze informatie kunnen inzien. Het zal in deze voorgestelde werking van de RTI gaan om informatie-uitwisseling tussen de RNB en de (H)EMS.

Betaalbaarheid
De verwachte implementatiekosten zijn het hoogst voor de RNBs. Deze partijen zullen rekening moeten houden met het configureren en beheren van het centrale systeem dat stuursignalen naar de (H)EMS verstuurt. Voor de consument zijn de verwachte kosten lager, met mogelijk investeringskosten voor het aanpassen van de (H)EMS. De derde partijen zijn in dit geval de (H)EMS-producenten die kosten maken om het design van de (H)EMS aan te passen aan de vereiste die nodig zijn om de RTI te laten functioneren.

5.3 Ingrijpen via de NextGen slimme meter + HEMS

De kwalitatieve beoordeling van het ingrijpen via de NextGen slimme meter in combinatie met HEMS, als geschikte maatregel is te vinden in Tabel 5.3. De beoordeling is gegeven op basis van de eigenschappen van de nieuwe generatie slimme meter, de NextGen slimme meter, hierna benoemd als ‘slimme meter’.

Tabel 5.3: De score per geschiktheidsaspect van het ingrijpen via de slimme meter als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	5
Effectiviteit	4,7
Implementatie	2,8
Veiligheid	3,5
Privacy	5
Betaalbaarheid	4,3

Comfort
Afhankelijk van de implementatie is de slimme meter een zeer modulair mechanisme. Er wordt bij de werking van het mechanisme gestuurd op de aansluiting. De consument is hiermee in staat om te kiezen hoe aan een signaal van de RNB voldoen moet worden.

Effectiviteit
Ondanks de mogelijk langzamere werking is het mechanisme in staat om te sturen op de gehele aansluiting. Het mechanisme beschermt tegen verschillende situaties afhankelijk van het bericht verstuurd vanuit de RNB. De RNB is in staat om in relevante situaties naar relevante aansluitingen een signaal te verzenden. Dit stelt het mechanisme in staat om effectief vermogenskaders naar de aansluitingen te sturen. De NextGen slimme meter is echter zelf niet in staat om apparaten achter de aansluiting aan te sturen en zal daarvoor gecombineerd moeten worden met een HEMS.

Implementatie
Hoewel de technische ontwikkeling van het mechanisme als snel wordt ingeschat, is daadwerkelijke KV-netbescherming via de slimme meter nog niet ontwikkeld. Het mechanisme wordt beschouwd als moeilijk om technisch op te schalen, met een termijn van ongeveer tien tot vijftien jaar voor een adequate uitrol van de nieuwe generatie slimme meters. Uiteindelijk moeten miljoenen meters met CDMA, LTE, GPRS of soortgelijke verbindingen vervangen worden. Dit is een significante, arbeidsintensieve uitdaging en zal veel tijd in beslag nemen.

Veiligheid en privacy
In het geval van uitval van de telecommunicatie is het mechanisme niet meer werkzaam. Er is een backend server nodig waarbij een aanval op dit centrale systeem kan leiden tot volledige uitschakeling van het mechanisme. Dit heeft consequenties voor het gehele verzorgingsgebied van de RNB. Het centrale systeem is echter goed te beschermen. Verder is er ook geen gegevensuitwisseling nodig van privacygevoelige data, enkel het stuursignaal hoeft verstuurd te worden.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten voor netbeheerders zijn afhankelijk van de mate van de mogelijkheid om gelijktijdig KV-netbeschermingsfunctionaliteit mee te nemen in de huidig geplande uitrol van de slimme meters. De verwachting is echter dat dit te laat plaatsvindt, waardoor duurdere alternatieven gekozen moeten worden. Voor de consument zijn er mogelijk implementatiekosten bij het aanschaffen van een HEMS.

5.4 Het Duitse voorbeeld – Paragraaf 14a

De kwalitatieve beoordeling van het Duitse voorbeeld (paragraaf 14a) als geschikte maatregel is te vinden in **Tabel 5.4**.

Tabel 5.4: De score per geschiktheidsaspect van het Duitse voorbeeld (paragraaf 14a) als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	4,5
Effectiviteit	4,3
Implementatie	4,2
Veiligheid	3,5
Privacy	5
Betaalbaarheid	3,3

Comfort
De beoordeling van het Duitse mechanisme neemt de huidige werking in Duitsland in beschouwing. De consument heeft de keuze om het mechanisme te laten werken via de aansluiting of rechtstreeks op het apparaat, met daarbij de behorende impact op comfort. De impact op het comfort van de consument is afhankelijk van de beschouwde apparaten. Mocht de grens op 4,2 kW liggen zoals in Duitsland dan betreft dit enkel de meest net-intensieve apparaten, en heeft dit minder impact dan in het geval van een lagere grenswaarde.

Effectiviteit
De grenswaarde bepaalt hiermee ook de effectiviteit van het systeem. Een lagere grenswaarde correspondeert met meer aangesloten apparaten en daarmee een hogere effectiviteit. De snelheid en duur van werking is vergelijkbaar met het slimme meter mechanisme. Ook is het mogelijk om voor die mechanisme in relevante situaties een stuursignaal te verzenden naar relevante aansluitingen, net als in het geval van een slimme meter toepassing. Het mechanisme sluit geen apparaten uit, en is daarmee toepasbaar op ieder type apparaat.

Implementatie
Het mechanisme heeft geen ontwikkeltijd nodig, gezien het al geïmplementeerd is in de Duitse context. Voor het opschalen in Nederland is per aansluiting de installatie van een

steuerbox vereist. Het inrichten van de *steuerbox* en de bijbehorende certificaatontwikkeling wordt beschouwd als duur en ingewikkeld. Verder zijn er geen geïdentificeerde technische barrières. Er is geen sprake van afhankelijkheid van derde partijen bij het gebruik van dit mechanisme.

Veiligheid en privacy
De veiligheid van het mechanisme is vergelijkbaar met de slimme meter. De werking vereist een centraal systeem waarbij het risico bestaat dat een uitval van de telecommunicatieverbinding een grote impact heeft voor het gehele verzorgingsgebied van de RNB. Zoals eerder vermeld is dit echter goed te beschermen. Er is tijdens de werking van het mechanisme geen sprake van de uitwisseling van privacygevoelige data, met uitzondering van de registratie van de net-intensieve apparaten.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten van het mechanisme zijn het hoogst voor de RNBs vanwege de aangenomen verantwoordelijkheid voor het uitrollen van de steuerbox systemen. In Duitsland loopt de uitrol hierdoor achter. Voor de consument is het mogelijk dat er een nieuwe meterkast nodig is voor de werking van het mechanisme, met de bijbehorende implementatiekosten. Er zijn geen implementatiekosten voor derde partijen.

5.5 Het VK-voorbeeld – PAS 1878/1879

De kwalitatieve beoordeling van het VK-voorbeeld (PAS 1878/1879) als geschikte maatregel is te vinden in Tabel 5.5.

Tabel 5.5: De score per geschiktheidsaspect van het VK-voorbeeld (PAS 1878/1879) als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	5
Effectiviteit	3,7
Implementatie	4,4
Veiligheid	3
Privacy	2
Betaalbaarheid	4,7

Comfort
Het VK-mechanisme is inherent een marktmechanisme en minder een netbeschermingsmechanisme. De beoordeling reflecteert dit aspect van het mechanisme. De autonomie van de consument is bijvoorbeeld gewaarborgd via een opt-out met betrekking tot deelname in het mechanisme. De serviceprovider werkt met afschakelprofielen om de impact op het comfort van de consument te beperken.

Effectiviteit
Deze aspecten van autonomie en comfort hebben nadelige gevolgen voor de effectiviteit van het mechanisme. Het mechanisme is zeer flexibel, serviceproviders kunnen eigen diensten opbouwen. Het mechanisme is geschikt voor alle apparaten, en vereist geen interne coördinatie. Ook kan het mechanisme reageren op frequentieschommelingen. De werking van het mechanisme vindt plaats via cloudnetwerken.

Implementatie
Het mechanisme is dusdanig ver ontwikkeld dat er in het VK-pilots bestaan, maar er nog geen nationale uitrol heeft plaatsgevonden. De enige vereiste voor het technisch opschalen van het mechanisme is de OpenADR connectie met de serviceprovider. De consument is op korte termijn in het bezit van apparaten die aan deze specificatie voldoen, waarbij de volledige implementatie plaats kan vinden wanneer de geïnstalleerde capaciteit groot genoeg is.

Het gemak van implementatie is nadrukkelijk bewerkstelligd door de vele afspraken die gemaakt zijn in het voorstadium van ontwikkeling tussen netbeheerders, regulators en fabrikanten. In het VK is de uitrol van het mechanisme hiermee versimpeld. In de Nederlandse context is het lastiger omdat voorgenoemde afspraken nog niet gemaakt zijn. De mate van afhankelijkheid van derde partijen tijdens gebruik van het mechanisme is afhankelijk van welke partij de rol neemt als serviceprovider. Het is mogelijk dat de RNB deze rol neemt, in dit geval is er geen sprake van afhankelijkheid van derde partijen.

Veiligheid en privacy
Het mechanisme introduceert risico's op het gebied van cyber security en op de stabiliteit van het net. Het systeem kan namelijk aangevallen worden via de CEMs. Er is ook een afhankelijkheid van de stabiliteit van de marktplatformen. Het mechanisme blijft werken zolang er een internetverbinding is tussen RNB en aansluiting, vergelijkbaar met het CPO-mechanisme. Er is sprake van gegevensuitwisseling van privacygevoelige data, in het specifiek de profielen met bijbehorend verwachte energieconsumptie per apparaat.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten van het mechanisme zijn laag. Derde partijen, zoals fabrikanten, zijn verantwoordelijk voor de meeste kosten, bijvoorbeeld voor het verzorgen van een OpenADR client implementatie. De implementatiekosten voor netbeheerders zijn beperkt, maar zij moeten bijvoorbeeld wel in staat zijn om de locatie van assets te kunnen identificeren en een OpenADR server inrichten.

5.6 Aggregator route – assets/HEMS aansturen (incl. CPOs)

De kwalitatieve beoordeling van de verschillende aggregator routes (incl. CPO's) als geschikte maatregel is te vinden in Tabel 5.6. Het aansturen van laadpalen via de CPO is een specifieke invulling van de aggregator apparaat variant.

Tabel 5.6: De score per geschiktheidsaspect van de drie verschillende aggregator routes als maatregel

Aspect	Aggregator: CPO	Aggregator: generiek	Aggregator: HEMS
Impact op comfort	2	2	5
Effectiviteit	3	4,3	4,7
Implementatie	4	3	2,8
Veiligheid	2,5	2,5	2,5
Privacy	5	5	5
Betaalbaarheid	4,7	4,3	4,3

CPO-route

Comfort
Het CPO-mechanisme is modulair, echter is er sprake van een mogelijk relatief langzame werking vanwege de inrichting van het systeem. Er is sprake van een langere keten van signalen dan bij alternatieve mechanismen. Hierdoor wordt er wellicht meer ingegrepen dan nodig. Er is geen sprake van autonomie van de consument. Het enige type apparaat wat in beschouwing genomen wordt in dit mechanisme is de laadpaal.

Effectiviteit
Vanwege de gelimiteerde inzetmogelijkheden van het mechanisme op enkel laadpalen is de sturingseffectiviteit als lager geacht dan bij een mechanisme als de slimme meter. Verder beschikt niet elke laadpaal over de functionaliteit om te werken met een CPO.

Implementatie
De ontwikkeling van het mechanisme is in een vergevorderd stadium, waarbij TRL 9 in zicht is. Het mechanisme is technisch makkelijk op te schalen, er hoeft enkel een OpenADR connectie gemaakt te worden tussen de RNB en de CPO. Verder is het van belang om te weten in welk verzorgingsgebied de laadpalen met CPO-functionaliteit staan, en via welke kabel deze aangesloten zijn. De CPO kan vervolgens laadpalen aansturen. Er is een afhankelijkheid van derde partijen tijdens het gebruik van het mechanisme, namelijk de aansturing via de CPO.

Veiligheid en privacy
De werking van het mechanisme is afhankelijk van de kwaliteit van de internetverbinding tussen de RNB en de CPO. Hierbij creëert het mechanisme risico's op het gebied van cyber security en de stabiliteit van het net. De CPO krijgt in dit mechanisme de extra functie van KV-netbescherming, en kan daarmee een doelwit worden van aanvallen. Dit soort aanvallen zijn momenteel al mogelijk. Een aanval of storing bij zowel de RNB als bij verschillende CPO's kan leiden tot impact op de voorgenoemde gebieden. Op het gebied van privacy is de CPO in het bezit van veel privacygevoelige data, al is er geen *extra* informatie nodig voor de uitbreiding naar KV-netbeschermingsfunctionaliteiten.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten voor dit mechanisme worden ingeschat als laag vergeleken met alternatieven. De voornaamste kosten zijn voor derde partijen, waar ze moeten investeren in het kunnen ontvangen van ADR-signalen en eventuele inventarisatie van laadpalen mocht dit nodig zijn. Voor de netbeheerders zijn er kosten geassocieerd met het kunnen sturen van ADR-signalen, en dezelfde soort inventarisatie als gedaan door derde partijen. Voor de consument zijn er geen significante implementatiekosten.

Aggregator op apparaat

Comfort
Het mechanisme waarbij een aggregator een apparaat aanstuurt is vrij generiek; de aggregator rol kan bijvoorbeeld worden ingevuld door de fabrikant, een VPP of de energieleverancier. De beoordeling van dit mechanisme is gedaan met een mogelijke invulling hiervan. De aggregator is bijvoorbeeld gebaat bij het behoud van klanten en zal hierom vermoedelijk 'zacht' omgaan met het sturen op elektriciteitsverbruik. In het geval van sturing op een apparaat is er echter maar tot op zekere hoogte autonomie mogelijk.

Effectiviteit
Het mechanisme is vergelijkbaar in effectiviteit met de CPO, waarbij in theorie ieder type apparaat aangestuurd kan worden, onder verschillende omstandigheden. In de praktijk gaat het stuursignaal via cloudnetwerken en functioneert het mechanisme daarom trager dan een mechanisme als GridShield.

Implementatie
De technologische ontwikkeling van het mechanisme moet nog vorm krijgen, waarmee TRL 9 op korte termijn geen vanzelfsprekendheid is. Het gemak van de technische opschaling van het mechanisme is hierdoor lastig in te schatten. Er is veel variatie mogelijk in de vormgeving van het mechanisme. Er is vrijwel zeker een mate van afhankelijkheid van derde partijen, in dit geval aggregators. Dit zou bijvoorbeeld in de vorm van een VPP kunnen.

Veiligheid en privacy
De veiligheid van het mechanisme is vergelijkbaar met de CPO-beoordeling. De operationaliteit is afhankelijk van de internetverbinding tussen de aggregator en het apparaat. Een aanval op of storing bij de aggregator kan grote impact hebben, afhankelijk van het aantal aangesloten slimme apparaten. Voor het privacy aspect is er wederom geen *extra* informatie vereist voor de uitbreiding naar KV-netbeschermingsfunctionaliteiten.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten van dit mechanisme zijn het hoogst voor de derde partijen, in dit geval de aggregators. Deze partijen moeten, vergelijkbaar met het CPO-mechanisme, kosten maken voor het kunnen ontvangen van ADR-signalen en de monitoring van het inventaris aan slimme apparaten. Mogelijke implementatiekosten voor consumenten zijn afhankelijk van in welke mate benodigde software of hardware aanwezig is in de apparaten. Implementatiekosten voor netbeheerders zijn beperkt tot het mogelijk maken van ADR-stuursignalen.

Aggregator op HEMS

De werking van het aggregator mechanisme op een HEMS of soortgelijk apparaat in plaats van rechtstreeks op slimme apparaten leidt tot een andere beoordeling. De grootste verschillen zijn onder andere een hogere score op het gebied van comfort en effectiviteit, en een lagere score voor de implementatie van het mechanisme. Een HEMS is in staat om consumenten meer autonomie te geven over welke apparaten gestuurd worden, maar zal in de praktijk moeilijker zijn om technisch op te schalen dan het mechanisme waarbij aggregators rechtstreeks sturen op individuele apparaten.

5.7 Score vergelijking

Een vergelijking van de beoordeling per aspect in de vorm van een score voor ieder beschouwd mechanisme is te vinden in Tabel 5.7. De hoogste (gedeelde) score per categorie is aangegeven met een groene kleur. Zoals te zien in de tabel verkrijgt ieder mechanisme op minstens één aspect de hoogste score. Er is géén mechanisme dat op ieder aspect de hoogste score behaalt.

Tabel 5.7: Beoordeling per aspect voor alle mechanismen

Aspect	GridShield		RTI	Slimme meter	Duitse voorbeeld	VK voorbeeld	Aggregator route		
Versie	Apparaat	HEMS	-	-	-	-	CPO	Apparaat	HEMS
Impact op comfort	2	**5**	**5**	**5**	4,5	**5**	2	2	**5**
Effectiviteit	3	4	**5**	4,7	4,3	3,7	3	4,3	4,7
Implementatie	3	3,2	3,6	2,8	4,2	**4,4**	4	3	2,8
Veiligheid	**5**	**5**	3,5	3,5	3,5	3	2,5	2,5	2,5
Privacy	**5**	**5**	4	**5**	**5**	2	**5**	**5**	**5**
Betaalbaarheid	2,7	3	3,7	4,3	3,3	**4,7**	**4,7**	4,3	4,3

Impact op comfort

De beoordeling op de impact op het comfort van de consument schetst dat mechanismen waarbij er sprake is van limieten sturen naar een apparaat in plaats van een HEMS over het algemeen lager scoren. De hogere score van een HEMS op comfort komt vanwege de mogelijkheid tot coördinatie over de apparaten heen. De aggregator route in het geval van aansturing op een apparaat of via een CPO scoren samen met GridShield op het apparaat het laagst omdat er geen keuze is van de consument in hoe invulling te geven aan de opgelegde limiet. De overige mechanismen scoren het hoogst vanwege bovengenoemde reden, met uitzondering van het Duitse voorbeeld. In dit mechanisme is er namelijk sprake van sturen op een van tevoren bepaalde limiet per apparaat, die afhankelijk van de hoogte wellicht niet optimaal aansluit bij de benodigde afschakeling. Als het Duitse voorbeeld ook in Nederland ingevoerd zou worden kan men we besluiten om andere limieten te hanteren.

Effectiviteit

De RTI scoort het hoogst op het gebied van effectiviteit, met als uniek onderscheidende karakteristiek dat het technisch mogelijk is om zowel vraag als aanbod te sturen. De slimme meter en de aggregator route op de HEMS scoren ook hoog, al worden deze opties als potentieel trager beschouwd dan mechanismen met een minder complexe signaalketen. GridShield, beide op apparaat en de HEMS, scoort lager dan de andere mechanismen in de bijdrage aan bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie. Dit is vanwege het decentrale karakter van het mechanisme, waarmee congestieproblemen enkel in de lokale context worden beschouwd.

Implementatie
Het voorbeeldmechanisme uit het VK verkrijgt de hoogste score op het gebied van implementatie. Implementatie wordt als makkelijk ingeschat, met name vanwege de bewerkstelliging van het voorgestelde ontwerp via uitgebreide afstemming tussen fabrikanten, netbeheerders en regulators. Verder is er alleen een OpenADR connectie nodig tussen de Service Provider en de consument. Voor het slimme meter mechanisme is de implementatie het enige aspect waar het relatief laag op scoort. Dit komt voornamelijk vanwege de verwachte moeite in het technisch schalen van de implementatie, en de complexiteit hiervan.

Veiligheid
Het decentrale karakter van GridShield, zowel aangesloten op apparaat of in het geval van een HEMS-aansluiting, is een bepalende factor in de hoge score op het gebied van veiligheid. Andere mechanismen zijn tot op verschillende hoogtes kwetsbaar voor centrale aanvallen. In het geval van GridShield zou er mogelijk sprake kunnen zijn van decentrale aanvallen of storingen maar de impact daarvan is beperkt. Verder is de integriteit van het systeem beschermd door PKI. De verschillende versies van het aggregator mechanisme scoren op dit aspect relatief laag. Dit is voornamelijk vanwege introductie van risico's op het gebied van cybersecurity, met name de kwetsbaarheid van het systeem in het geval van een aanval op de aggregator, bijvoorbeeld op de CPO.

Privacy
De meeste mechanismen verkrijgen de hoogste score op het gebied van privacy. Uitzondering hierop is de RTI, waar de RNB of marktpartijen mogelijk meetwaarden verkrijgen om de effectiviteit van het mechanisme in te kunnen zien. Een andere uitzondering met een hogere mate van gegevensuitwisseling van privacygevoelige data is het voorbeeldmechanisme uit het VK. Hierbij is het verwachte energieconsumptie profiel per apparaat beschikbaar voor de betrokken derde partijen. Voor het Duitse voorbeeld is een mogelijk punt om te noemen de registratie van net-intensieve apparaten, maar dit is in de scoring buiten beschouwing gelaten.

Betaalbaarheid
De ingeschatte implementatiekosten zijn over het algemeen het laagst ingeschat voor de aggregator route via de CPO en het voorbeeldmechanisme uit het VK. Beide mechanismen vereisen voor de RNB enkel investeringen in een systeem waarbij ADR-signalen verstuurd kunnen worden en een inventaris van alle aan te sturen apparaten. De implementatiekosten voor derde partijen zijn voor beide het hoogst, voor het mogelijk maken van het ontvangen van ADR-signalen. Beide versies van GridShield scoren laag op het betaalbaarheidsaspect. De implementatiekosten voor de regionale netbeheerders zijn hier voornamelijk doorslaggevend, vanwege de arbeidsintensieve modificaties die gedaan moeten worden binnen de gewenste middenspanningsruimtes.

Conclusies scoring
Ter conclusie is er geen mechanisme gevonden met de hoogste score op ieder aspect. Er is een vrij grote spreiding van de beoordeling van de opties per beoordelingsaspect. Zoals eerder vermeld heeft ieder mechanisme op minstens één categorie de relatief hoogste score behaald. Er is hiermee geen duidelijk meest wenselijke optie op basis van de beschouwde aspecten. Ook is het niet redelijk om via een opsomming van de scores de mechanismen te evalueren. Er is namelijk geen sprake van een weging van de sub-aspecten. De kwestie van hoe veel een aspect mee zou moeten wegen, of dat het mechanisme op één of meerdere aspecten een minimumscore moet behalen wordt buiten beschouwing gelaten. De scoring van de mechanismen dienen in de context van deze resultaten voornamelijk om het relatieve

verschil tussen de opties per aspect te belichten. Het kiezen van een wenselijk mechanisme voor KV-netbescherming is hiermee impliciet een afweging van de wenselijkheid van de prestaties per beschouwde aspect.

In het volgende hoofdstuk volgt een reflectie op de technische randvoorwaarden en opties voor KV-netbescherming.

6 Advies en reflectie

Dit hoofdstuk biedt een reflectie op de technische invulling van KV-netbescherming. In Paragraaf 6.1 presenteren we de zienswijze van TNO op de technische randvoorwaarden waaraan KV-netbescherming voor kleinverbruikers zou moeten voldoen. Vervolgens schetsen we in Paragraaf 6.2 een technisch voorkeursbeeld (HEMS), waarna Paragraaf 6.3 een mogelijk technisch ontwikkelpad uiteenzet.

Op korte termijn is geen oplossing voor KV-netbescherming voorzien, die technisch breed uitgerold kan worden. Verder moet KV-netbescherming voor afname juridisch ondersteund worden. Omdat het probleem van overbelasting echter dringend is, nemen we in de reflectie ook marktmechanismen mee als een mogelijkheid om stroomstoringen te voorkomen in de komende jaren. Ook op lange termijn blijft marktmechanismen belangrijk als eerste stap, en de technologie kan de basis vormen voor KV-netbescherming. De technische verschillen en implicaties voor een verplichte maatregel (netbescherming) versus een marktmechanisme wordt uitgelegd in Bijlage C.

Gezien de definitie van KV-netbescherming is het uitgangspunt van het advies dat een vermogenskader gecommuniceerd wordt middels een KV-netbeschermingssignaal en dat slimme apparaten door dit signaal nooit direct zullen worden aangestuurd. Het KV-netbeschermingssignaal geeft middels het tijdelijke vermogenskader alleen door binnen welke grenzen KV-aangeslotenen dienen te blijven. Of en hoe (welke apparaten leveren welke bijdrage) een kleinverbruiker daar invulling aan geeft is diens eigen verantwoordelijkheid. Eventuele consequenties voor het niet opvolgen van een KV-netbeschermingssignaal vallen buiten de scope van dit onderzoek. Dit rapport gaat wel nadrukkelijk in op de vraag hoe kleinverbruikers technisch het best ondersteund kunnen worden bij het opvolgen van het KV-netbeschermingssignaal.

6.1 Technische randvoorwaarden voor netbescherming bij kleinverbruikers

In deze paragraaf beschrijven we de zienswijze van TNO met betrekking tot de technische randvoorwaarden waaraan netbescherming bij kleinverbruikers (KV’s) moet voldoen.

- KV'ers moeten technisch in staat worden gesteld om een KV-netbeschermingssignaal te kunnen ontvangen en hier vervolgens automatisch invulling aan te geven, zonder dat daarbij handmatige handelingen nodig zijn.
- Er moeten ten behoeve van KV-netbescherming duidelijke specificaties worden opgesteld, of naar bestaande specificaties/standaarden worden verwezen, voor HEMS’en en apparaten. Daarbij moet het voor KV'ers transparant zijn welke HEMS’en en apparaten aan die specificaties voldoen. Dit kan bijvoorbeeld door (nieuwe) apparaten en HEMS’en die in de NL markt worden verkocht vanaf een bepaalde datum een verplichting op te leggen om die specificaties te implementeren. Een andere manier zou zijn om producten, die aan de specificaties voldoen, te certificeren.
- Een KV'er kan er ook voor kiezen om een verplicht vermogenskader uit te besteden aan bijvoorbeeld een aggregator die aan de technische specificaties voor KV-netbescherming kan voldoen.

- Van een KV'er kan niet redelijkerwijs worden verwacht dat die bestaande apparatuur gereed moet maken (*retrofitten*) voor een KV-netbeschermingssignaal (voor zover dit technisch al mogelijk zou zijn)
  - In het buitenland (bijvoorbeeld Duitsland) wordt een KV'er pas verplicht om aan netbescherming mee te werken, nadat deze apparatuur heeft aangeschaft die voldoet aan bepaalde technische specificaties voor KV-netbescherming. Er is een verplichting dat nieuwe apparatuur die op de markt wordt verkocht deze specificaties geïmplementeerd moet hebben.

6.2 Technische voorkeur: HEMS

De **technisch beste manier** om kleinverbruikers te informeren over verplichtende vermogenskaders bevat volgens onze analyse een **Home Energy Management Systeem (HEMS)**. Dit geeft een passend invulling aan de technische randvoorwaarden. Verder geeft een HEMS mogelijkheid tot coördinatie over apparaten heen, waardoor de impact op comfort voor de gebruiker kleiner is en de effectiviteit hoger. Het is ook een manier om al bestaande apparaten mee te nemen in KV-netbescherming – mits ze de juiste slimme aansturing hebben. Een verdieping van de analyse en afwegingen is beschikbaar in Bijlage B.

Een HEMS kan zowel bestaan in de vorm van een lokaal kastje bij een kleinverbruiker óf een cloud-omgeving, welke op basis van internetprotocol (IP) techniek in staat is om een signaal te ontvangen. Deze technische oplossing is vooral preferent vanwege het feit dat het kleinverbruikers in staat stelt om autonomie te houden over de wijze waarop netgebruik-kaders worden vertaald naar het netgebruik door apparaten achter de aansluiting. Het stelt ook kleinverbruikers in staat om zich te laten ontzorgen door dienstverleners, zoals een aggregator of energieleverancier. Deze dienstverleners ontzorgen (vrijwillig) de kleinverbruiker ook bij optimalisatie achter de meter én het aanbieden van marktgebaseerde flexibiliteits-diensten.

Om voor te bereiden op een mogelijke toekomstige rol van HEMS in KV-netbescherming moet het mee worden genomen in het NTA (Nederlandse Technische Afspraak) traject HEMS. Op deze manier kunnen HEMS'en hier al technisch op voorbereid worden. Voor een uitwerking van de eisen van het NTA traject, zie 7.3.

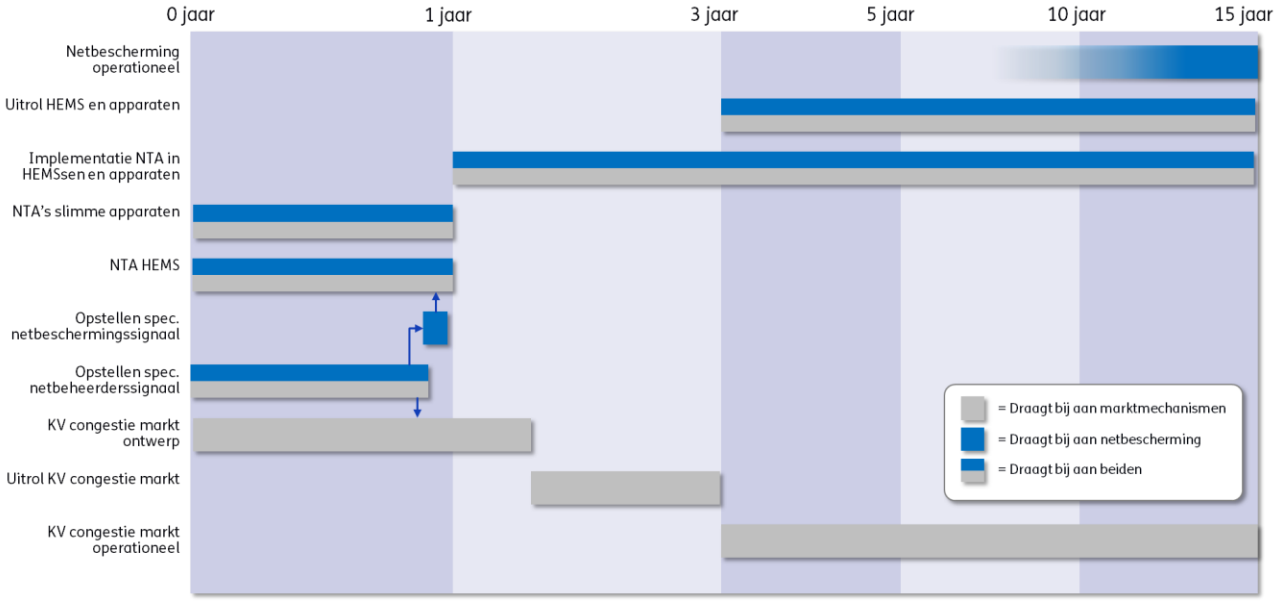
Als model voor een simpele HEMS wordt soms de Duitse Steuerbox genoemd zoals die in § 14a wordt toegepast. Deze Steuerbox zet echter alleen het KV-netbeschermingssignaal rechtstreeks door naar de apparaten (via relais- of digitale sturing) en doet niet aan coördinatie. Voor coördinatie over apparaten heen wordt er in § 14a ook gebruik gemaakt van een EMS (het is overigens wel mogelijk om beide functionaliteiten in één fysiek apparaat te combineren).

6.3 Technisch ontwikkelpad

In deze sectie schetsen we een mogelijk ontwikkelpad voor de technische invulling van KV-netbescherming. Dit is een weergave van de **technische tijdlijn** – daarnaast moet de juridische basis er zijn (niet in scope van dit onderzoek). Om lokale overbelasting te voorkomen is het ook een randvoorwaarde dat de RNB inzichtelijk heeft waar en wanneer de overbelasting optreedt en de afspraken voor het inzetten van KV-netbescherming (de probleemanalyse en het toepassingskader zijn niet in scope van dit onderzoek).

Brede adoptie HEMS en apparaten essentieel
Een brede adoptie van gestandaardiseerde HEMS'en en gestandaardiseerde slimme apparaten is essentieel voor het realiseren van interoperabiliteit. Interoperabiliteit is niet alleen noodzakelijk voor KV-netbescherming, maar ook zeer wenselijk voor de uitrol van marktmechanismen. Op deze manier kan *vendor lock-in* worden voorkomen en kunnen kleinverbruikers makkelijk van aggregator wisselen, ongeacht het merk en het type netintensieve apparaten. De Nederlands Technische Afspraken (NTA's) voor de HEMS, slimme warmtepompen, slimme laadpalen, slimme thuisbatterijen en slimme zonne-omvormers moeten de benodigde interoperabiliteit technisch invullen.

Een brede adoptie kan op verschillende manieren worden bewerkstelligd. Dit kan bijvoorbeeld door (nieuwe) apparaten en HEMS'en die in de NL markt worden verkocht vanaf een bepaalde datum een verplichting op te leggen om de NTA standaarden te implementeren. Een andere manier zou zijn om producten, die aan die standaarden voldoen, te certificeren. Op deze manier wordt het voor de consument transparant welke producten interoperabel zijn.



Figuur 6.1: Technisch ontwikkelpad KV-netbescherming

Figuur 6.1 laat zien welke technische stappen er concreet genomen moeten worden om KV-netbescherming te realiseren. Om ervoor te zorgen dat KV-netbescherming in de toekomst operationeel kan worden ingezet is het noodzakelijk om de eerste 3 jaar een aantal voorbereidende stappen te zetten. Daarnaast blijkt uit het ontwikkelpad dat veel van de stappen zowel bijdragen aan KV-netbescherming als aan marktmechanismen voor congestie.

De stappen zijn hieronder in meer detail beschreven.

6.3.1 Opstellen specificatie netbeheerderssignaal

Voor de communicatie tussen de RNBs en aggregators is het zeer wenselijk om gebruik te maken van een uniform protocol/oplossing. Dit maakt het makkelijker voor aggregators om hun diensten aan de RNB aan te kunnen bieden. Hetzelfde geüniformeerde protocol kan ook als basis dienen voor eventueel toekomstige verplichte KV-netbescherming.

Eén van de belangrijkste taken van dit protocol zal zijn om een vermogenskader te communiceren waarbij aggregators (marktmechanisme) of individuele aansluitingen (netbescherming) gevraagd wordt om dit zo goed mogelijk op te volgen. In het protocol moet ook uitgedrukt kunnen worden voor welke locatie(s) dit vermogenskader gaat gelden.

Daarnaast moeten de netbeheerders een keuze maken voor het technische protocol dat hiervoor als basis zal dienen. Hierbij zal zoveel mogelijk aansluiting bij internationale standaarden moeten worden gezocht. Uit dit onderzoek komt naar voren dat OpenADR en een variant van de RTIv2 voor laagspanning belangrijke kandidaten zijn voor het technische protocol.

Voor zowel het inzetten op een marktmechanisme als voorbereiding op KV-netbescherming moeten de netbeheerders snel duidelijkheid geven over een gestandaardiseerde en eenduidige definitie van locatieafhankelijke vermogenslimieten en de manier waarop deze zullen worden gecommuniceerd.

6.3.2 Opstellen specificatie KV-netbeschermingssignaal

Op basis van het netbeheerderssignaal zal er een specificatie voor het KV-netbeschermingssignaal worden opgesteld. Hierbij is het uitgangspunt dat de verschillen tussen het KV-netbeschermingssignaal en het signaal dat voor congestiemarkten ingezet zal worden, zo minimaal mogelijk zijn.

6.3.3 KV-congestiemarkt ontwerp

Op korte termijn is een **brede uitrol van een technisch geschikt KV-netbeschermings-mechanisme niet mogelijk**. Tegelijkertijd is er veel behoefte aan handelingsperspectief om overbelasting en daarmee stroomstoringen te voorkomen. In maart 2025 heeft CE Delft het advies gegeven dat congestie deels voorkomen kan worden met locatie- en tijdspecifieke vrijwillige maatwerkafspraken [1]. Deze reactieve vorm van netcongestiemanagement is marktgebaseerd, en gaat uit van de vrijwilligheid en mogelijkheid van consumenten om te reageren. In de VK is marktgebaseerde flex een groot succes en wordt daardoor niet nagedacht over een vorm van KV-netbescherming. Essentieel hierin is dat de netbeheerder de behoefte aan congestiediensten duidelijk maakt, zodat de markt hierop kan reageren.

Netbeheerders kunnen in de komende jaren **maximaal inzetten op een vrijwillige markt voor lokale flexibiliteit**, waarbij huishoudens en andere kleinverbruikers beloond worden voor netbewuste gedrag én/of netondersteunend netgebruik. Daarmee communiceren de netbeheerders een lokaal flex-behoefte, en reageren slimme netintensieve apparaten, al dan niet met een HEMS als tussenstap, via een aggregator. De CPO-route om laadpalen aan te sturen (zie sectie 4.6) is hier een goed voorbeeld van. De aggregator rol kan echter ook door andere marktpartijen worden ingevuld zoals bijvoorbeeld een warmtepomp fabrikant die via de cloud signalen stuurt naar de warmtepompen bij aangeslotenen. De signalen naar apparaten van de aggregator mag daarbij via verschillende protocollen/oplossingen plaatsvinden.

Het netbeheerderssignaal dat hierboven is geïntroduceerd zal de basis vormen voor de communicatie tussen de RNB en marktspelers zoals aggregators en CSP’s.

Uiteraard komt er bij het ontwerpen van een congestiemarkt voor kleinverbruikers veel meer kijken dan alleen het technische protocol. Denk hierbij bijvoorbeeld aan marktregels, marktplatformen, toelatingseisen, flexproducten, verdienmodellen, etc. Al deze aspecten zijn

echter buiten scope van dit onderzoek en zullen door de verschillende stakeholders, zoals RNB's, ACM, KGG en marktpartijen, verder uitgewerkt moeten worden.

6.3.4 Uitrol KV-congestiemarkt

De volgende stap is om het congestiemarkt ontwerp daadwerkelijk uit te rollen en alle processen, platformen en protocollen die daarvoor ontworpen zijn te implementeren.

6.3.5 KV-congestiemarkt operationeel

Vanaf het moment dat de KV congestiemarkt operationeel is zal het volume dat hierin omgaat eerst nog beperkt zijn. Deels zit dat in de nog beperkte ontsluitingsmogelijkheden van slimme apparaten, maar het is de verwachting dat dit na verloop van tijd zal verbeteren wanneer steeds meer slimme apparaten de NTA's voor slimme apparaten gaan ondersteunen.

Daarnaast is het de vraag of deelname aan alleen een KV congestiemarkt voldoende oplevert voor aggregators en CSP's om de daarvoor benodigde investeringen te rechtvaardigen. De drempel om tot de KV congestiemarkt toe te treden kan verlaagd worden door de toegang tot deze markt zoveel mogelijk te uniformen en af te stemmen met andere markten en/of diensten, zoals de onbalans markt. Op deze manier wordt het voor marktspelers eenvoudiger om investeringen terug te verdienen.

Tot slot is het belangrijk om op te merken dat **markmechanismen ook op langere termijn even relevant blijven**. Verplichte KV-netbescherming is immers een fallback mechanisme; er zal altijd eerst geprobeerd moeten worden om congestie via de markt op te lossen.

6.3.6 NTA HEMS

In de NTA HEMS, die vanaf januari 2026 zal worden gespecificeerd, moet vastgelegd worden dat HEMS'en de hierboven genoemde specificatie van het KV-netbeschermings-signaal, zoals opgesteld door de netbeheerders, kunnen ondersteunen. Dit moet zowel gelden voor lokale - als cloud gebaseerde HEMS'en.

6.3.7 NTA slimme apparaten

Een belangrijk aspect van de NTA trajecten voor de HEMS en slimme netintensieve apparaten is de communicatie tussen HEMS en apparaten. Hierbij is maximale interoperabiliteit randvoorwaardelijk voor zowel effectieve marktmechanismen als voor KV-netbescherming. Het is van belang dat er afspraken gemaakt worden over de onderliggende (communicatie) protocollen zodat elk HEMS met alle net-intensieve slimme apparaten kan communiceren. Een keuze voor een zeer beperkt aantal open protocollen zal de interoperabiliteit sterk bevorderen.

Voor het maken van deze keuzes is het van belang om ook de ervaringen uit het "Residential Flexibility" project van Elaad en KGG mee te nemen, waarin meerdere van deze protocollen in een open source variant geïmplementeerd gaan worden. Dit kan ook als basis dienen voor verdere certificering van de interoperabiliteit van net-intensieve apparaten

6.3.8 Implementatie NTA's op HEMS en apparaten

Nadat de NTA's voor de HEMS en slimme netintensieve apparaten gepubliceerd zijn, zal het nog enige tijd duren voordat er apparaten op de markt verschijnen die aan de NTA's voldoen.

Fabrikanten hebben die tijd nodig om de NTA's te bestuderen en op hun apparaten te implementeren.

6.3.9 Uitrol HEMS en apparaten

Nadat NTA compatibele HEMS'en en apparaten op de markt verschijnen kunnen deze door kleinverbruikers worden aangeschaft waardoor het aantal HEMS'en en slimme apparaten gestaag zal groeien.

De uitrol kan versneld worden door de aanschaf van NTA compatibele HEMS'en en slimme apparaten te subsidiëren. Er zou zelfs overwogen kunnen worden om fabrikanten te verplichten om aan de NTA's te voldoen. In beide gevallen zal er een certificerings-programma moeten worden opgesteld, zodat transparant gemaakt wordt welke HEMS'en en slimme apparaten aan de eisen van de NTA's voldoen.

6.3.10 KV-netbescherming operationeel

Technisch gezien kan KV-netbescherming worden ingevoerd vanaf het moment dat de eerste NTA compatible HEMS'en en slimme apparaten op de markt verschijnen. Dit zou dan afhankelijk moeten zijn van de aanschaf van nieuwe apparaten die aan de NTA eisen voldoen. Voor de netbeheerders wordt KV-netbescherming echter pas een echt bruikbaar instrument wanneer de uitrol van NTA compatibele HEMS'en en slimme apparaten bij kleinverbruikers een kritische massa bereikt. Om de effectiviteit te beoordelen is verder analyse van het probleem nodig en onderzoek naar de oplossing.

Er zal nog onderzocht moeten worden vanaf welk uitrol percentage er sprake is van deze kritische massa. Zeker is wel dat het nog jaren zal duren voordat dit punt bereikt zal worden. Dit komt onder meer doordat de markt voor slimme apparaten een vervangingsmarkt is. Dit betekent dat oude apparaten pas worden vervangen als ze kapot gaan.

Bovenstaande maakt dat het moeilijk is te zeggen vanaf welk moment KV-netbescherming operationeel zou moeten worden ingevoerd. In Figuur 6.1 is het bijbehorende balkje daarom ook geleidelijk weergegeven.

Naast de oplossingen die in de "opstellen specificatie KV-netbeschermingssignaal" fase al zijn geselecteerd, kan de **NextGen slimme meter** op de lange termijn ook een rol gaan spelen bij het afleveren van het vermogenskader. Hierbij is de verwachting dat het nog zo'n 15 jaar gaat duren voordat de geleidelijke uitrol van de NextGen slimme meter op gang is. Aangezien de NextGen slimme meter is niet in staat om apparaten aan te sturen, zal er bij de inzet van de slimme meter nog steeds een HEMS nodig zijn om te kunnen communiceren met netintensieve apparaten.

7 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport biedt inzichten in de technische opties voor KV-netbescherming: manieren waarop een noodsignaal van de netbeheerder betrouwbaar en geautomatiseerd kan leiden tot vermogensbeperking bij kleinverbruikers. We hebben verschillende technische opties beschreven, gescoord en geanalyseerd. Daarna hebben we technische randvoorwaarden en een technisch mogelijk ontwikkelpad voor KV-netbescherming geschetst. Juridische aspecten, het toepassingskader en de noodzaak voor KV-netbescherming zijn buiten scope van dit onderzoek.

Onze belangrijkste conclusies zijn:
- Geen van de onderzochte technische mechanismen voor KV-netbescherming kan op korte en middellange termijn breed uitgerold worden.
- Een HEMS (Home Energy Management System) is de technisch beste manier om een vermogenskader te verwerken en het verhoogt het comfort en de autonomie.
- Om KV-netbescherming op lange termijn breed toegepast te krijgen, moeten er nu stappen gezet worden in de technische voorbereiding. Netbeheerders moeten eenduidige en verantwoorde vermogenskaders ontwikkelen en de manier bepalen waarop die mogelijk gecommuniceerd kunnen worden aan kleinverbruikers.

De belangrijkste aanbevelingen, waar snel actie op moet komen zijn:
- Netbeheerders moeten duidelijkheid geven over de specificaties van een mogelijk KV-netbeschermingssignaal.
- Zet in op vrijwillige, marktgebaseerde, lokale flexibiliteit om stroomstoringen te voorkomen op zowel korte als lange termijn.
- Stimuleer de adoptie en standaardisatie van HEMS en slimme apparaten.

7.1 Conclusies

Analyse internationaal
Uit de internationale context blijkt dat er veel verschillende opties bestaan voor KV-netbescherming, inclusief opties die momenteel puur zijn gericht op marktwerking en dus geen verplichtend karakter bezitten. De mate van standaardisatie is erg verschillend. De NWA waar in de VS mee wordt gewerkt kent bijvoorbeeld geen enkele standaardisatie, en is enkel een term voor de in de lokale context meest geschikte optie. In het VK is dit een stuk duidelijker gedefinieerd in samenwerking met de BSI.

De verplichte component van KV-netbescherming is in de meeste landen niet duidelijk aanwezig. Een uitzondering hierop is Duitsland, waar via §14a van de Energiewirtschafts-gesetz al rekening gehouden wordt met de verplichting om netintensieve apparaten in de toekomst aan te kunnen sturen.

Ten slotte komt uit de verschillende pilots in de beschouwde landen naar voren dat er onder andere gekeken wordt naar de vrijwillige, marktgerichte inrichtingen voor opties om het net te

ontlasten. In de Nederlandse context bestaan onder andere dynamische prijscontracten, maar lokale markten gericht op laagspanningsnetwerken ontbreken vooralsnog. In sommige landen zoals het VK bestaan er lokale flexibiliteitsmarkten en daarmee ook de mogelijkheid om in de lokale context vrijwillig vermogen aan te bieden als optie om het netwerk te ontlasten. Het is belangrijk om hiermee rekening te houden, gezien dit betekent dat dergelijke markten nog ontworpen moeten worden voor de Nederlandse context.

Gezien de mate van de uitwerking van de mechanismen in het VK en Duitsland zijn deze expliciet meegenomen als opties voor de Nederlandse context.

Technische analyse van KV-netbeschermingsmechanismen
In de analyse van de technische opties hebben we de volgende mechanismen onderzocht: GridShield, Real Time Interface v2, de NextGen slimme meter, het Duitse §14a-model, het Britse PAS 1878/1879-model en de aggregator route. Uit deze scoring valt op te maken dat routes via de HEMS beter scoren. Verder is er geen enkel mechanisme dat het beste scoort op alle beoordeelde aspecten. Elk mechanisme heeft voor- en nadelen. Het kiezen van een geschikt mechanisme voor KV-netbescherming is daarom altijd een afweging tussen de prestaties op de verschillende aspecten. Met de informatie in dit rapport kunnen beslissingsbevoegde partijen keuzes maken in lijn met hun voorkeuren.

Mechanismen die via een HEMS werken scoren beter op comfort en effectiviteit, omdat ze meer autonomie en coördinatie bieden voor de consument. Een HEMS is ook nodig bij communicatie van een KV-netbeschermingssignaal via RTI of de Slimme meter, om de informatie door te zetten naar apparaten, anders moet de consument handmatig ingrijpen. Een HEMS is daarbij de beste technische oplossing omdat het kleinverbruikers in staat stelt om autonomie te houden over de wijze waarop deze netgebruik-kaders worden vertaald naar het netgebruik door apparaten achter de aansluiting. Ook stelt het kleinverbruikers in staat om zich te laten ontzorgen door dienstverleners, zoals een aggregator of energieleverancier. Deze dienstverleners ontzorgen (vrijwillig) de kleinverbruiker, ook bij optimalisatie achter de meter én het aanbieden van marktgebaseerde flexibiliteitsdiensten.

7.2 Aanbevelingen

De komende jaren is een *brede* uitrol van verplichte KV-netbescherming technisch nog niet mogelijk. Ook het juridische kader, en de rollen en verantwoordelijkheden van verschillende partijen moeten uitgewerkt worden. Het advies is daarom om te starten met een vrijwillige flexmarkt waar technisch op kan worden voorgebouwd voor KV-netbescherming. Deze marktmechanismen blijft ook op langere termijn relevant als eerste optie.

Voor zowel het inzetten op een marktmechanisme als voorbereiding op KV-netbescherming moeten de netbeheerders snel duidelijkheid geven over een gestandaardiseerde en eenduidige definitie van locatieafhankelijke vermogenslimieten en de manier waarop deze zullen worden gecommuniceerd.

De beste technische manier om KV-netbescherming te realiseren is via een HEMS, voortbouwend op de technische keten voor marktgebaseerde flex-oplossingen. Het is daarom onze aanbeveling om te beginnen met een vrijwillige markt voor lokale flexibiliteit en daarbij rekening houden met wat er nodig is voor KV-netbescherming. Voor een soepele invoering is het essentieel dat de **technische ketens** voor **marktgebaseerde flex-oplossingen en KV-netbescherming goed op elkaar aansluiten.** In NTA-trajecten moet KV-netbescherming via HEMS expliciet worden meegenomen, zodat systemen en apparaten hier technisch op voorbereid zijn.

7.3 Standaardisatie

Standaardisatie van netintensieve slimme apparaten en HEMS speelt een cruciale rol bij het ontsluiten van energieflexibiliteit voor effectieve marktmechanismen en een toekomstige implementatie van KV-netbescherming. Alleen wanneer er duidelijke standaarden voor het aansturen van flexibiliteit worden afgesproken (en gereguleerd), zal een mate van interoperabiliteit bereikt worden die noodzakelijk is om flexibiliteit op grote schaal te ontsluiten.

Door in standaardisatietrajecten rekening te houden met wat er technisch nodig is voor KV-netbescherming, wordt de mogelijkheid open gehouden om KV-netbescherming op de middellange termijn in te kunnen voeren. Wanneer dit nu niet wordt meegenomen zal het later een veel moeizamer traject worden om KV-netbescherming alsnog te implementeren.

Hieronder worden de concrete stappen beschreven die op het gebied van standaardisatie genomen moeten worden.

Specificatie van KV-netbeschermingssignaal door regionale netbeheerders
De netbeheerders zullen op korte termijn het voortouw moeten nemen om een technische specificatie op te stellen voor het KV-netbeschermingssignaal voor kleinverbruikers. Hierbij is het van belang dat dit in afstemming met stakeholders gebeurt, zoals bijvoorbeeld HEMS-aanbieders en -aggregators. Het ligt zeer voor de hand om de al bestaande Werkgroep Netbescherming van Netbeheer Nederland dit uit te laten voeren.

Uit de analyse van de verschillende KV-netbeschermingsmechanismen komen de volgende protocollen voor dit communicatiekanaal als mogelijke kandidaten voor een KV-netbeschermingssignaal naar voren: OpenADR (zoals gebruikt in het aggregator mechanisme en de PAS 1878), RTI v2 LS (IEC 61850) en GridShield. Hierbij heeft een IP-gebaseerde, internationale standaard sterk de voorkeur.

Daarnaast is het relevant om de ontwikkeling van een Europese CIM-versie van flexactivatie te volgen. Dit vindt nu plaats in IEC 57 WG21; de standaard wordt een Europese versie van IEC 62746-4 en is daarmee een tegenhanger van Amerikaanse initiatieven zoals OpenADR en GridWise.

Tot slot zal de specificatie van het KV-netbeschermingssignaal zoveel mogelijk in lijn moeten zijn met stuursignalen die door de netbeheerders gebruikt gaan worden voor marktgebaseerd congestiemanagement voor kleinverbruikers.

Ondersteuning van KV-netbeschermingssignaal in NTA HEMS
In de NTA HEMS, die vanaf januari 2026 zal worden gespecificeerd, moet vastgelegd worden dat HEMS-systemen de hierboven genoemde specificatie van het KV-netbeschermingssignaal kunnen ondersteunen. Dit moet zowel gelden voor lokale- als cloudgebaseerde HEMS-systemen.

Beperk NTA trajecten niet tot enkel functionele afspraken
Een belangrijk aspect van de NTA trajecten voor de HEMS en slimme netintensieve apparaten is de communicatie tussen HEMS en apparaten. Voor deze communicatie worden er geen specifieke functionele afspraken gemaakt ten behoeve van KV-netbescherming.

Maximale interoperabiliteit is randvoorwaardelijk voor zowel effectieve marktmechanismen als voor KV-netbescherming. Deze wordt niet bereikt wanneer de NTA-trajecten alleen

beperkt blijven tot alleen functionele afspraken. Wanneer er geen afspraken over de onderliggende (communicatie) protocollen worden gemaakt, zal het in de praktijk nog steeds erg lastig zijn om elk HEMS-systeem met alle net-intensieve slimme apparaten te laten werken. Een keuze voor een zeer beperkt aantal open protocollen zal de interoperabiliteit sterk bevorderen.

Voor het maken van deze keuzes is het van belang om ook de ervaringen uit het “Residential Flexibility” project van Elaad/KGG mee te nemen, waarin meerdere van deze protocollen in een open source variant geïmplementeerd gaan worden. Dit kan ook als basis dienen voor verdere certificering van de interoperabiliteit van net-intensieve apparaten

Referenties

[1] CE Delft, „LS-netcongestie door kortetermijn-marktprikkels,” 3 2025 . [Online]. Available: https://www.netbeheernederland.nl/sites/default/files/2025-06/ce_delft_240460_ls-netcongestie_door_kortetermijnmarktprikkels_def.pdf. [Geopend 7 11 2025].

[2] S. Heinen, O. Franz en J. Danzeisen, „Germany’s Paragraph 14a EnWG: A Model for the World to Unleash Flexibility and Ensure Distribution Network Security?,” 26 February 2025. [Online]. Available: https://www.esig.energy/germanys-paragraph-14a-enwg/.

[3] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Smart Meter-Gesetz final beschlossen: Flächendeckender Einsatz intelligenter Stromzähler kommt,” 12 May 2023. [Online]. Available: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/05/20230512-smart-meter-gesetz-final-beschlossen.html.

[4] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, „Smart-Meter-Gateway: Dreh- und Angelpunkt des intelligenten Messsystems,” Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, [Online]. Available: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/smart-meter-gateway_node.html. [Geopend 9 October 2025].

[5] E. Augsten, „Smart Meter ROLLOUT: Staffel 1,” VDE Dialog, 10 January 2025. [Online]. Available: https://dialog.vde.com/de/vde-dialog-ausgaben/2025-04-chips/2025-04-smartmeter#:~:text=In%20der%20vorletzten%20Folge%20der,15%2DProzent%2DMarke%20geknackt.. [Geopend 13 October 2025].

[6] UK Power Networks (Operations) Limited, „Flexibility Services Procurement Statement,” UK Power Networks (Operations) Limited, 31 March 2022. [Online]. Available: https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/2022-07/UKPN%20Electricity%20Distribution%20Flexibility%20Services%20Procurement%20Statement%202022-23.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[7] The British Standards Institution, „PAS 1879:2021 Energy smart appliances - Demand side response operation - Code of practice,” BSI Standards Limited 2021, May 2021. [Online]. Available: https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/en-th/about-bsi/energy-smart-appliances-programme/bsi-pas-1879-2021-energy-smart-appliances-demand-side-response-operation-th.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[8] R. Shutt, „Energy Smart Appliances for Demand Side Response: PAS 1878 and 1879 standards and the Interoperable Demand Side Response (IDSR) programme,” Department for Energy Security and Net Zero, [Online]. Available: https://www.openadr.org/assets/PAS1878_RS_20230912_OpenADR%20Unlocks%20Flexibility%20Throughout%20Europe.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[9] Piclo, „Piclo and Northern Powergrid join forces to accelerate the decarbonisation of the grid,” Piclo, 25 July 2023. [Online]. Available: https://www.piclo.com/press-releases/piclo-and-northern-powergrid-join-forces-to-accelerate-the-decarbonisation-of-the-grid. [Geopend 9 October 2025].

[10] AEMC, „AEMC finalises landmark reform to accelerate smart meter rollout,” AEMC, 28 November 2024. [Online]. Available: https://www.aemc.gov.au/news-centre/media-releases/aemc-finalises-landmark-reform-accelerate-smart-meter-rollout. [Geopend 9 October 2025].

[11] AEMC, „National Electricity Rules, Metering, Metering installation, Metering installation arrangements, Clause 7.8.2,” AEMC, [Online]. Available: https://energy-rules.aemc.gov.au/ner/177/30482. [Geopend 9 October 2025].

[12] H. Saberi en B. Yildiz, „ARENA PLUS ES South Australia Demand Flexibility Trial,” UNSW Sydney, 31 October 2024. [Online]. Available: https://arena.gov.au/assets/2024/11/PLUS-ES-South-Australia-Demand-Flexibility-Trial-Final-Knowledge-Sharing-Report.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[13] U.S. Department of Energy, „National Transmission Needs Study,” U.S. Department of Energy, October 2023. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-12/National%20Transmission%20Needs%20Study%20-%20Final_2023.12.1.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[14] Priyadarshan, C. Crozier, K. Baker en K. Kircher, „Distribution Grids May Be a Barrier To Residential Electrification,” *Electrical Engineering and Systems Science,* 2024.

[15] K. Wasserman, „AMI Load Shedding: Ensuring Power Supply to Critical Customers,” conEdison, 7 February 2023. [Online]. Available: https://content-cdn.sessionboard.com/content/Doq2PIwTuCzZyViwSyQg_Distributech%20Load%20Shed%20Presentation.pdf. [Geopend 13 October 2025].

[16] B. Chew, E. H. Myers, T. Adolf en E. Thomas, „Non-Wires Alternatives: Case Studies from Leading U.S. Projects,” E4 The Future, 1 November 2018. [Online]. Available: https://e4thefuture.org/wp-content/uploads/2018/11/2018-Non-Wires-Alternatives-Report_FINAL.pdf. [Geopend 13 October 2025].

[17] JEPIC, „The Electric Power Industry in Japan 2023,” JEPIC, 2023. [Online]. Available: https://www.jepic.or.jp/en/data/pdf/epijJepic2023.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[18] H. Takahashi, „Assessing the Review of Electricity System Reform: Making Use of Market Mechanisms,” Renewable Energy Institute, 25 March 2025. [Online]. Available: https://www.renewable-ei.org/en/activities/column/REupdate/20250325.php. [Geopend 9 October 2025].

[19] P. Asmus, „Deregulation Drives Virtual Power Plant Expansion in Japan: Extending VPPs in the Asia Pacific Region Part 1,” Navigant Research, 2019. [Online]. Available: https://www.ashb.com/wp-content/uploads/2020/06/IS-2020-53.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[20] Shizen Energy, „Shizen Energy Launches VPP demonstration through a joint platform with retail electricity providers and storage battery manufacturers,” Shizen Energy, 28 October 2022. [Online]. Available: https://www.shizenenergy.net/en/2022/10/28/shizen-energy-launches-vpp-demonstration-through-a-joint-platform-with-retail-electricity-providers-and-storage-battery-manufacturers/. [Geopend 13 October 2025].

[21] Shizen Energy, „Shizen Connect completes one of Japan’s largest VPP demonstrations with EV charging and discharging,” Shizen Energy, 16 February 2024. [Online]. Available: https://www.shizenenergy.net/en/2024/02/16/sc_ev_vpp_demo_complete24/. [Geopend 13 October 2025].

Bijlage A
Uitgebreide scoring maatregelen

Tabel verklaring 1-5 van scores per sub-aspect.

Tabel A.1: Vertaling van de scores per sub-aspect voor de beoordeling van de verschillende maatregelen

Sub-aspect	Score: 1	Score: 2	Score: 3	Score: 4	Score: 5
Consument – comfort	Grote impact				Zo beperkt mogelijk
Consument – autonomie	Geen inspraak				Autonomie bij invulling van opgelegde beperking
Sturen van vraag en/of aanbod elektriciteit	Langzaam, niet veel, en slechts kort				Snel, grote reductie, voor lange duur
Bijdrage aan bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie	Niet geschikt voor verschillende situaties				Kan voor verschillende situaties, zowel lokaal als indirect (cumulatief op MS niveau).
Mogelijkheid voor deelname van uiteenlopende typen net-intensieve apparaten	Enkel één type apparaat				Generiek
Huidige stand van technologische ontwikkeling	TRL 1-2	TRL 3-4	TRL 5-6	TRL 7-8	TRL 9
Potentieel om door te ontwikkelen tot TRL 9	5+ jaar/niet	3+ jaar	2+ jaar	1+ jaar	Minder dan 1 jaar
Schaalbaarheid van implementatie	Lastig schaalbaar				Snel schaalbaar
Complexiteit van implementatie	Significante barrières in de implementatie				Implementatie gaat makkelijk, simpel
Afhankelijkheid van externe partijen tijdens gebruik	Veel/meerdere				Geen
Operationele robuustheid onder wisselende omstandigheden	Grote impact van aanvallen of storingen				Blijft werken in de meeste situaties, bij de meeste gebruikers
Introductie van risico's op het gebied van cybersecurity en netwerkstabiliteit	Introduceert nieuwe kwetsbaarheden				Zeer beperkt extra risico's

Sub-aspect	Score: 1	Score: 2	Score: 3	Score: 4	Score: 5
Omvang van gegevensuitwisseling en implicaties hiervan	Veel privacygevoelige gegevens				Beperkt
Implementatiekosten netbeheerders	Hoog				Laag
Implementatiekosten consumenten	Hoog				Laag
Implementatiekosten derde partijen	Hoog				Laag

Tabel scores
De scoring is een inschatting door TNO gebaseerd op interviews met experts. Het is een relatieve vergelijking tussen de mechanismes, en niet een absoluut cijfer.

Tabel A.2: Geschiktheidsscore per sub-aspect voor de beschouwde maatregelen

Sub-aspect	Aspect	GridShield: apparaat / HEMS	Real Time Interface	Slimme meter	Duitse voorbeeld	VK voorbeeld	Aggregator route: CPO / apparaat / HEMS
Consument – comfort	Impact op comfort	3 / 5	5	5	4	5	3 / 3 / 5
Consument – autonomie	Impact op comfort	1 / 5	5	5	5	5	1 / 1 / 5
Sturen van vraag en/of aanbod elektriciteit	Effectiviteit	4 / 5	5	4	3	2	3 / 3 / 4
Bijdrage aan bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie (ook indirect)	Effectiviteit	2 / 2	5	5	5	5	5 / 5 / 5
Mogelijkheid voor deelname van uiteenlopende typen net-intensieve apparaten	Effectiviteit	3 / 5	5	5	5	4	1 / 5 / 5
Huidige stand van technologische ontwikkeling	Implementatie	3 / 3	3	3	5	4	4 / 2 / 2
Potentieel om door te ontwikkelen tot TRL 9	Implementatie	3 / 3	3	3	5	5	5 / 3 / 3
Schaalbaarheid van implementatie	Implementatie	2 / 2	4	1	4	5	5 / 4 / 3

Sub-aspect	Aspect	GridShield: apparaat / HEMS	Real Time Interface	Slimme meter	Duitse voorbeeld	VK voorbeeld	Aggregator route: CPO / apparaat / HEMS
Complexiteit van implementatie	Implementatie	2 / 3	3	2	2	3	4 / 4 / 4
Afhankelijkheid van externe partijen tijdens gebruik	Implementatie	5 / 5	5	5	5	5	2 / 2 / 2
Operationele robuustheid onder wisselende omstandigheden	Veiligheid	5 / 5	4	4	4	3	3 / 3 / 3
Introductie van risico's op het gebied van cybersecurity en netwerkstabiliteit	Veiligheid	5 / 5	3	3	3	3	2 / 2 / 2
Omvang van gegevensuitwisseling en implicaties hiervan	Privacy	5 / 5	4	5	5	2	5 / 5 / 5
Implementatiekosten netbeheerders	Betaalbaarheid	2 / 2	3	4	2	5	5 / 5 / 5
Implementatiekosten consumenten	Betaalbaarheid	4 / 4	4	4	3	5	5 / 5 / 4
Implementatiekosten derde partijen	Betaalbaarheid	2 / 3	4	5	5	4	4 / 3 / 4

Bijlage B

Verdiepende analyse

B.1 Analyse en afwegingen

De verschillende mechanismes hebben ieder een score verkregen in hoofdstuk 5. Uit deze score valt op te maken dat routes via de HEMS beter scoren. Verder is er niet één duidelijke beste mechanisme voor KV-netbescherming in Nederland. De technische opties onderscheiden zich vaak in hun kenmerken langs tweedelingen. Ook spelen er ongeacht de keuze voor een technische optie andere vragen, die bij de implementatie een rol zullen spelen. Deze paragraaf biedt een reflectie op deze punten.

Technische keuze: limiet op apparaat of aansluiting

Uit de analyse van de bestaande mechanismes blijkt dat er op dit moment nog geen KV-netbeschermingsoplossing voorhanden is die in de Nederlandse context kunnen worden toegepast zonder grote aanpassingen zowel technisch als juridisch. De eerste fundamentele keuze is: sturing op apparaat- of op aansluitniveau. Sturing op aansluitniveau biedt meer keuze en mogelijkheid tot coördinatie tussen apparaten. De implementatie op apparaatniveau kan relatief makkelijker zijn (zoals bij laadpalen), maar heeft ook technische nadelen.

Sturing op aansluitniveau

Sturing op aansluitniveau zal altijd via een HEMS verlopen. De (NextGen) slimme meter die zich ook op aansluitniveau bevindt is niet geschikt om apparaten aan te sturen en is op de langere termijn alleen geschikt om eventueel het stuursignaal door te geven.

Een HEMS is op dit moment echter nog niet klaar om ingezet te gaan worden voor KV-netbescherming. De HEMS markt staat nog in de kinderschoenen en het is ook onduidelijk aan welke eisen een HEMS zou moeten voldoen. Een HEMS moet niet alleen in staat zijn om een stuursignaal van de RNB te kunnen ontvangen, maar moet vervolgens ook de aansturing van de slimme net-intensieve apparaten kunnen coördineren. Ook op dit vlak is er nog veel onduidelijk en bestaan er vele verschillende oplossingen naast elkaar.

Deze problemen zijn gelukkig al wel erkend en worden opgepakt door de verschillende NTA-trajecten (HEMS, slimme warmtepompen, slimme zonne-omvormers en slimme thuisbatterijen) die door KGG en NEN zijn/worden opgezet. Deze trajecten zullen nog wel de nodige tijd kosten, waarna de OEM's ook tijd nodig hebben om de specificaties in hun producten te implementeren. Dit betekent dan ook dat de route via de HEMS op de korte termijn (0-3 jaar) geen optie is voor KV-netbescherming. Op de middellange termijn (3-5 jaar), wanneer de NTA's zijn uitgewerkt en geïmplementeerd is de HEMS route de aangewezen manier om KV-netbescherming te implementeren.

Directe sturing op apparaatniveau

Het grote voordeel van een KV-netbeschermingsmechanisme dat direct op een apparaat werkt, is dat de consument geen extra apparatuur hoeft aan te schaffen. Er zijn echter ook drie belangrijke technische nadelen bij directe sturing op apparaten:

- **Geen standaard oplossingen voor de externe aansturing van apparaten.** Op dit moment zijn er nog geen breed geïmplementeerde standaarden om de flexibiliteit van slimme net-intensieve apparaten aan te sturen. Dit gebrek aan interoperabiliteit is al een uitdagend probleem achter de meter, maar bij directe sturing op apparaatniveau komt daar nog eens bij dat deze sturing veilig door een externe partij, zoals een netbeheerder of een aggregator, moet kunnen plaatsvinden. Bij een aanzienlijk deel van de slimme net-intensieve apparaten is directe externe aansturing simpelweg nog niet mogelijk door een gebrek aan rekenkracht op het apparaat of doordat er alleen ondersteuning is voor lokale en/of onvoldoende beveiligde protocollen zoals Modbus.

  Bij laadpalen is directe externe aansturing wel relatief goed mogelijk doordat het OCPP protocol, waarmee laadpalen extern kunnen worden aangestuurd, breed geadopteerd is. Maar zelfs hier geldt dat een deel van de thuislaadpalen geen OCPP ondersteuning biedt.

  Zolang een aanzienlijk deel van de apparaten nog niet (via gestandaardiseerde protocollen) extern aangestuurd kunnen worden, lijkt verplichte netbescherming voor kleinverbruikers op apparaatniveau technisch niet realistisch.

  Bij apparaten waarbij externe aansturing al wel mogelijk is, gebeurt dit vaak niet middels een gestandaardiseerd protocol, maar door aggregators die integreren met cloud API's van fabrikanten. Dit maakt overigens wel dat deze aggregators een belangrijke rol te spelen hebben in het aanbieden van markt gebaseerde congestiemanagement oplossingen aan de netbeheerders.

- **Lastig om over apparaten heen te coördineren.** Er zal per apparaat een limiet moeten worden vastgesteld. Om de impact voor de gebruiker niet te groot te laten zijn zal een limiet moeten worden gekozen waarbij het apparaat nog op een minimaal niveau kan functioneren. Bij de apparaat variant van de Duitse §14a is de limiet per apparaat vastgesteld op 4,2 kW. Wanneer er op een aansluiting meerdere slimme net-intensieve apparaten actief zijn die op 4,2 kW worden begrensd dan is de totale limiet op die aansluiting alsnog erg ruim. Hoe meer slimme-net intensieve apparaten, hoe minder effectief een KV-netbeschermingsmechanisme in deze opzet zal zijn.

  Daarnaast zal een aangeslotene altijd moeten accepteren dat een apparaat beperkt zal worden, zelfs als er mogelijkheden zijn om het verbruik van dat apparaat te compenseren. Een laadsessie van een EV wordt in deze opzet bijvoorbeeld altijd beperkt, ook als het benodigde vermogen voor het laden door PV opwek of het ontladen van een thuisbatterij geleverd had kunnen worden.

- **Comptabele submeters nodig voor individuele apparaten.** Bij een verplichte KV-netbeschermingsmaatregel moet achteraf kunnen worden vastgesteld of deze is opgevolgd. De enige manier om dit met zekerheid vast te kunnen stellen is om per apparaat een comptabele submeter te installeren of het apparaat de meetgegevens te laten opleveren op een vooraf gecertificeerde manier.

Bovengenoemde nadelen maken dat de aansturing op apparaten voorlopig nog geen realistische optie is voor verplichte KV-netbescherming. Er zal dus (eerst) ingezet moeten worden op aansturing op aansluit niveau.

Wanneer er in de toekomst wel gestandaardiseerde oplossingen zijn voor de externe aansturing van slimme net-intensieve apparaten en ook submetering zou zijn uitgerold, dan

kan er vanuit technisch oogpunt opnieuw naar deze KV-netbeschermingsoptie gekeken worden. Het nadeel dat er via deze optie niet over apparaten heen gecoördineerd kan worden, blijft ook in een dergelijk scenario onverminderd gelden.

Overige afwegingen

Onderstaande overwegingen zijn in onze gesprekken met de verschillende stakeholders naar voren gekomen en kunnen van waarde zijn bij de verdere uitwerking van KV-netbeschermingsmaatregelen.

Communicatie via cloud of lokaal
Cloud-gebaseerde systemen zijn gevoeliger voor storingen, wat een risico vormt voor de betrouwbaarheid van KV-netbescherming. Lokale oplossingen bieden op dit vlak voordelen, en is ook beter voor privacybescherming.

Bij een cloud-gebaseerd systeem moet aandacht besteed worden aan de afhankelijkheid van derde partijen (“Big Tech”), en de relatie met veiligheid en weerbaarheid van het elektriciteitssysteem.

Implementatie in een keer of stapsgewijs?
Er is ook een keuze tussen de implementatie in een keer doen of stapsgewijs. Een cloud-gebaseerde oplossing is beter geschikt voor grootschalig uitrol – wat enerzijds veel tijd kost om goed voor te bereiden en anderzijds gelijk is voor alle gebruikers. Een stapsgewijze uitrol kan toegepast worden in wijken of gebieden (netvlakken) waar het probleem het grootst is.

Een combinatie is ook denkbaar met op korte termijn een cloud-gebaseerde signaal en op lange termijn een signaal via de slimme meter, maar met dezelfde HEMS-interface aan de achterkant.

Privacy en ontwerpkeuzes communicatiemodel
Bij het ontwerpen van het communicatiemodel voor KV-netbescherming speelt privacy een grote rol. Er moet worden overwogen of communicatie éénrichting is of tweerichtingsverkeer vereist. Meer functionaliteit betekent doorgaans dat er meer data wordt uitgewisseld, wat weer leidt tot extra privacyafwegingen. Een technische keuze kan bijvoorbeeld zijn om alleen signalen van de middenspanningsruimte (MSR) te ontvangen bij individuele gebruikers, of juist te kiezen voor communicatie in beide richtingen of via een aggregator.

Hoe ga je controleren of een aansluiting of apparaat heeft gereageerd?
Om te controleren of een aansluiting of apparaat heeft gereageerd op een KV-netbeschermingssignaal, kan gebruik worden gemaakt van de gegevens die door de slimme meter worden geregistreerd. Door deze meetgegevens te analyseren, is het mogelijk om vast te stellen of de betreffende aansluiting daadwerkelijk heeft gereageerd. Bij KV-netbescherming op apparaatniveau is sub-metering noodzakelijk om vast te stellen of het signaal is opgevolgd. Het installeren van submeters leidt tot extra kosten die bij sturing op de aansluiting niet hoeven te worden gemaakt. Onderzoek naar hoe de meetgegevens gebruikt worden voor een (financiële) prikkel voor het al dan niet opvolgen van een KV-netbeschermingssignaal is buiten de scope van dit onderzoek.

Dezelfde techniek voor een marktmechanisme en KV-netbescherming?
Er bestaat een conceptuele keuze tussen technische oplossing voor alléén KV-netbescherming of technische oplossing die zowel marktoplossing en verplichte KV-netbescherming bewerkstelligd. Als KV-netbescherming een allerlaatste maatregel is om

overbelasting te voorkomen kan er een voordeel zijn dat het los staat van alle andere technische oplossingen. Anderzijds wordt geargumenteerd dat er voordelen zijn zoals snellere implementatie als we dezelfde oplossing hebben voor zowel marktsturing als KV-netbescherming.

B.2 “Basis-preventie” vs KV-netbescherming

In de flex-piramide van de LAN vormen communicatie met de gebruikers, en autonoom regelen de basis. Autonoom regelen kan bijvoorbeeld via normeren en standaardisatie van installaties. Deze basis geeft geen zekerheid op het realiseren van de benodigde piekvermindering maar zijn zeker op korte termijn zeer belangrijk om een stroomstoring te voorkomen. Afhankelijk van het effect van de maatregelen op de lagen 1 - 4 zal KV-netbescherming meer of minder worden ingezet.

Eén van die maatregelen die, naast de marktmechanismen, op relatief korte termijn kan worden ingezet is de “basis-preventie”. Deze ‘basis-preventie’ bestaat uit een (‘domme’) default statische (netbewuste) fabrieksinstelling per apparaat. Hierbij worden apparaten ingesteld om tijdens typische piektijden (bijvoorbeeld winterperiode tijdens werkdagen tussen 16 - 21uur) binnen, van tevoren vastgestelde, vermogenskaders te blijven: het apparaat werkt nog wel, maar minder snel. Het normeren van een beperkte vermogensvraag in piektijden wordt ook in andere landen toegepast, zoals bij laadpalen in het Verenigd Koninkrijk [22]. Een dergelijke statische beperking vanuit de fabriek kan overwogen worden voor apparaten als laadpalen en thuisbatterijen, maar is zeker niet geschikt voor alle apparaten. Zo zal de impact op warmtepompen aanzienlijk zijn.

Een stap verder is om deze vermogenskaders niet alleen vooraf in de fabriek te configureren, maar deze day-ahead naar het apparaat te communiceren. Het voordeel hiervan is dat deze day-ahead vermogenskaders beter rekening kunnen houden met de actuele situatie op het net en over het algemeen dus minder restrictief zullen zijn dan de statische kaders. Randvoorwaarde hierbij is uiteraard dat het apparaat op afstand beheerd moet kunnen worden en daarbij deze functionaliteit kan ondersteunen.

Bijlage C

Technische implicaties KV-netbescherming en marktmechanisme

Verplichte KV-netbescherming en marktmechanisme

De scope voor dit onderzoek is specifiek een verplichte KV-netbescherming. Tijdens het onderzoek werd geconstateerd dat de implementatie van een verplicht mechanisme waarschijnlijk een aanlooptijd van meerdere jaren heeft i.v.m. juridische kader in combinatie met technische implementatie. In onze gesprekken met experts werd meerdere keer gezegd dat er grote potentie zit in een vrijwillige marktmechanismen om overbelasting (lokaal) op te lossen. Daarom geven we in dit hoofdstuk een korte reflectie op de technische verschillen tussen verplichte KV-netbescherming en een vrijwillig marktmechanisme. Dit is een eerst reflectie die ondersteuning kan geven aan een meer volledige analyse als vervolgonderzoek.

Tabel C.1: Technische verschillen tussen een marktmechanisme en KV-netbescherming

	Marktmechanisme	Netbescherming
Aansturing	Standaardisatie is wenselijk en werkt versnellend op adoptie. Kan ook op basis van propriëtaire oplossingen.	Geautomatiseerde en gestandaardiseerde oplossingen/interfaces voor de hele keten.
Adoptie	Brede adoptie niet noodzakelijk. Eén aanbieder is voldoende om met een bepaald marktmechanisme te starten.	Brede adoptie is het doel. Elke kleinverbruiker moet in staat worden gesteld om aan een KV-netbeschermingsverplichting te kunnen voldoen. Waarschijnlijk regulering/certificering nodig.
Uniformiteit	Er kunnen meerdere marktmechanismes naast elkaar bestaan.	Eén uniforme oplossing voor alle kleinverbruikers.
Comfort	Alleen impact op comfort met expliciete toestemming van de klant.	Impact op comfort niet uit te sluiten.
Effectiviteit	Onzeker of noodzakelijke reductie opgevolgd wordt.	Noodzakelijke reductie wordt afgedwongen.
Metering	Comptabele metingen niet strikt noodzakelijk. Zou bijvoorbeeld ook op basis van metingen van aanbieder kunnen i.c.m. steekproeven.	Comptabele metingen noodzakelijk om achteraf vast te kunnen stellen of een KV-netbeschermingssignaal door een kleinverbruiker/consument is opgevolgd.

Hieronder worden de technische verschillen tussen marktmechanismes en KV-netbescherming verder toegelicht:

- **Aansturing.** Voor een marktmechanisme is een gestandaardiseerde oplossing niet per se noodzakelijk, maar standaardisatie van marktmechanismes zorgt wel voor meer interoperabiliteit tussen aanbieders. Hierdoor kunnen nieuwe spelers op de markt makkelijker toetreden en zitten klanten minder vast aan een specifieke technische oplossing (lock-in), waardoor zij ook makkelijker van aanbieder kunnen wisselen.

  Voor KV-netbescherming zijn geautomatiseerde en gestandaardiseerde oplossingen noodzakelijk. Een consument moet een stuursignaal van de netbeheerder (al dan niet via een aggregator als tussenstap) volledig geautomatiseerd kunnen ontvangen en mag er vervolgens van uitgaan dat net intensieve slimme apparaten in staat zijn om hier (via een HEMS) invulling aan te geven.

- **Adoptie.** Om te kunnen starten met een bepaald marktmechanisme is er in principe maar één aanbieder nodig. In de praktijk zullen dat er waarschijnlijk meer zijn, zodat de kosten voor implementatie van een oplossing beter te rechtvaardigen zijn.

  Bij verplichte KV-netbescherming moeten kleinverbruikers maximaal gefaciliteerd worden om aan deze verplichting te voldoen. Zij mogen er bij de aanschaf van slimme net intensieve apparaten bijvoorbeeld van uitgaan dat die voldoen aan de eisen van KV-netbescherming. Naar alle waarschijnlijkheid is er een vorm van regulering nodig om ervoor te zorgen dat fabrikanten alleen compatibele apparaten op de markt brengen.

- **Uniformiteit.** Voor marktmechanismen geldt dat er meerdere oplossingen mogelijk zijn, waarbij er waarschijnlijk na verloop van tijd duidelijke voorkeuren in de markt gaan ontstaan.

  Bij een verplichting zal er sprake een uniforme oplossing moeten zijn. Op deze manier worden alle kleinverbruikers op dezelfde manier behandeld en is duidelijk aan welke eisen zij moeten voldoen.

- **Comfort.** Deelname aan een marktmechanisme is uiteraard vrij voor een kleinverbruiker. Mocht een marktmechanisme impact hebben op comfort dan is dat dus altijd met expliciete toestemming van de klant. Vaak zullen aanbieders van marktoplossingen de comfortwensen van de klant ook als uitgangspunt nemen bij de aansturing van apparaten.

  Bij verplichte KV-netbescherming is impact op comfort niet uit te sluiten. Dit komt doordat een KV-netbeschermingevent op onverwachte momenten kan optreden, waarbij simpelweg geen rekening gehouden kan worden met de actuele toestand van de apparaten. Wanneer een apparaat zich dan toevallig al dicht bij een comfort grens bevindt, kan KV-netbescherming ervoor zorgen dat het door deze grens heen zakt.

  In het geval dat de aansturing voor KV-netbescherming via een HEMS verloopt, kan deze de impact op comfort zoveel mogelijk beperken door een vermogenslimiet zo gunstig mogelijk over de beschikbare apparaten te verdelen.

  Tot slot moet worden opgemerkt dat een KV-netbeschermingssignaal nooit mag betekenen dat apparaten “hard” worden aangestuurd zonder een mogelijkheid voor de kleinverbruiker om het signaal te negeren. Via deze route kan dus impact op comfort worden vermeden, maar het niet opvolgen van zo’n signaal zou mogelijk wel tot sancties kunnen leiden.

- **Effectiviteit.** Met een marktmechanisme zijn er situaties mogelijk waar er niet voldoende lokale flex vrijwillig beschikbaar is om een stroomstoring te voorkomen. Dit kan komen door (te) weinig gecontracteerde flex bij marktpartijen op bepaalde plekken, of gebrek aan bereid om de flex op dat moment te ontsluiten. Er is verhoudingsgewijs minder flex beschikbaar in kleinere gebieden. Oftewel, hoe meer lokaal het probleem is, hoe minder effectief een vrijwillige markt is. Door de verplichtende karakter van KV-netbescherming daarentegen wordt de noodzakelijke reductie bereikt.

- **Metering.** Bij een marktmechanisme zal er een afrekening moeten plaatsvinden tussen netbeheerder en aggregator enerzijds en tussen aggregator en consument anderzijds. Dit kan natuurlijk op basis van comptabele meetgegevens van bijvoorbeeld de slimme meter, maar zou ook op basis van apparaat/asset data kunnen.

Bij verplichte KV-netbescherming moet achteraf vastgesteld kunnen worden of een stuursignaal door een kleinverbruiker/consument is opgevolgd. Dit kan alleen op basis van een comptabele meter. In het geval van sturing op de aansluiting voldoet de huidige slimme meter al, maar in het geval van apparaatsturing zullen er eerst comptabele submeters uitgerold moeten worden of apparaten gecertificeerd moeten worden om zelf meetgegevens op te mogen leveren.

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

TNO innovation for life

JANUARI
2026



NETBEWUST RENOVEREN EN ELEKTRIFICEREN

Handelingsperspectief op basis van praktijkdata

COLOFON

Datum
20 januari 2026

Versie
1.4

Auteurs
Simon Verduijn, Marten Witkamp, Nicolas Dickinson,
Petra Izeboud, Zeno Cramwinckel

Vormgeving
Bas van Mourik

Opdrachtgevers
Werkgroep Netbewust Installeren

Opdrachtnemer
Vereniging de BredeStroomversnelling

Partners
Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening,
Ministerie van Klimaat en Groene Groei, Aedes, Stedin, Liander, Techniek NL,
Provincie Utrecht, Provincie Gelderland, Provincie Flevoland,
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Netbeheer Nederland

Deze publicatie is beschikbaar onder de Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Je mag deze publicatie en delen uit deze publicatie kopiëren, delen en aanpassen, zolang je de oorspronkelijke auteur(s) vermeldt, het niet voor commerciële doeleinden gebruikt en eventuele wijzigingen onder dezelfde licentie deelt.

Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening

Ministerie van Klimaat en Groene Groei

aedes

PROVINCIE UTRECHT

STEDIN NET

provincie Gelderland

Liander

PROVINCIE FLEVOLAND

Techniek Nederland

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Netbeheer Nederland

stroom versnelling

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	4
ACHTERGROND	6
DEEL A RAPPORTAGE	7
1. PROBLEEMSTELLING, FOCUS & AANPAK	8
2. DEFINITIES EN ACHTERGROND	13
3. NETBELASTING BESTAANDE BOUW	17
4. MAATREGELEN OM NETBELASTING TE BEPERKEN	23
5. PRESTATIEKADER NETBEWUST RENOVEREN	30
6. CONCLUSIES	35
7. AANBEVELINGEN	40
DEEL B VERANTWOORDING	43
B1. ENERGIETRANSITIE DATASET	44
B2. KLIMAATCORRECTIE	53
B3. MODELLEREN MAATREGELEN NETBELASTING	63
Bijlage 1: Dagprofielen Zomer	65
Bijlage 2: Dagprofielen Winter	66
Bijlage 3: Woningen en warmtebehoefte	67
Bijlage 4: Warmtestrategieën van de Startanalyse 2025	70
Bijlage 5: Geconsulteerde experts	71
Bijlage 6: Afkortingen	72





SAMENVATTING

Aanleiding en doel

Het verduurzamingsproces bij woningcorporaties is een complexe puzzel, waarin technische, sociale, financiële en beleidsmatige belangen voortdurend met elkaar botsen én elkaar nodig hebben. Voor een van de puzzelstukjes is dit rapport opgesteld: toenemende netcongestie in Nederland belemmert steeds vaker de uitvoering van renovatieplannen door woningcorporaties. Het doel van dit rapport is, zoals is afgesproken in de Nationale Prestatie-afspraken 2025-2035, "een leidraad (op te stellen) om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen". Daarbij hoort het geven van inzicht in de huidige netbelasting van verduurzamingsstrategieën en maatregelen om die netbelasting te verlagen.

Dit rapport beoogt met adviezen op basis van praktijkdata het gesprek tussen partijen – met elk hun eigen uitdagingen en randvoorwaarden – te faciliteren en het wederzijds begrip te vergroten, zodat de energietransitie niet vastloopt door een gebrek aan een integrale blik, maar gedragen keuzes mogelijk worden.

De scope van het rapport is primair gericht op all-electric woningen, omdat daarvan de meeste praktijkdata beschikbaar zijn en daar ook de grootste problemen ontstaan. Tegelijkertijd is het een nadrukkelijke wens om in de toekomst ook de werkelijke netbelasting van collectieve systemen (zoals warmtenetten) op basis van monitoringdata inzichtelijk te maken, zodat het handelingsperspectief verder verbreed kan worden.

Netbelasting van woningen met een warmtepomp

De elektrificatie van woningen met gebruik van individuele elektrische warmtepompen (strategie S1 uit de Startanalyse) en elektrisch koken, leidt tot een toename van de netbelasting ten opzichte van verwarmen met aardgas. Uit praktijkdata, geanalyseerd in deze studie, blijkt dat de totale piek afnamevraag van een woning met individuele warmtepomp – gemiddeld over een groep woningen en per 100 m² – naar verwachting 1,7 kW bedraagt in een koud klimaatjaar (1991, met een minimum effectieve dag-gemiddelde temperatuur van -12.3°C), wat overeenkomt met 17 W/m². Klimaatcorrectie laat zien dat de piek in het koude jaar 1991 beperkt hoger lijkt uit te vallen (+3 tot 8%) dan in het gemeten jaar.

De netbelasting is daarmee significant lager dan eerdere verwachtingen van PBL, maar blijft een aandachtspunt voor het elektriciteitsnet, vooral bij grootschalige woningverduurzaming. De woningen in de praktijkdataset hebben een gemiddelde warmtevraag van circa 51 kWh_th/m²/jaar, oftewel ze zijn goed geïsoleerd. Dit is het gemiddelde over alle gemonitorde projecten, waarbij de warmtevraag varieert van 18 tot 126 kWh_th/m²/jaar, afhankelijk van isolatieniveau en woningtype.

Effect en omvang van de onderzochte maatregelen

Er zijn vier relevante maatregelen onderzocht om de netbelasting te beperken:

A Verlagen warmtebehoefte (isolatie, kierdichting, ventilatie):
- Verlaagt de piekbelasting met ca. 10-15%.
- Vraagt een aanzienlijke investering, maar levert ook comfort en lagere energiekosten op.

B Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp (load balancing):
- Verlaagt de piek met ca. 5-10% tijdens de spits.
- Lage kosten, technisch relatief eenvoudig.

C Spitsmijden warmtepomp (slimme sturing):
- Kan de piek tijdens de spits tot 40% verlagen.
- Lage kosten, maar vereist goede afstemming en kan comfort beïnvloeden.
- Nader onderzoek nodig op comfort effecten.

D Kiezen voor bodemwarmtepomp in plaats van lucht-water warmtepomp (hoger rendement tijdens koude dagen):
- Verlaagt de piek met 10-20%.
- Middelmatige tot hoge kosten, lastige inpassing in bestaande bouw.

Het cumulatieve effect van deze maatregelen kan de toename van de netbelasting in een wijk tot 50% beperken ten opzichte van een standaard all-electric aanpak zonder aanvullende maatregelen.

Kosten versus opbrengsten voor gebouweigenaar en netbeheerder

Het belangrijkste bezwaar tegen het toepassen van netbelastingbeperkende maatregelen is dat ze extra geld kosten, terwijl ze voor de gebouweigenaar (woningcorporatie of particulier) op dit moment weinig directe (financiële) opbrengsten opleveren. Dit maakt het voor gebouweigenaren lastig om deze maatregelen grootschalig toe te passen zonder aanvullende financiële prikkels of beleid.

Aanbevelingen

- Structurele monitoring van energiegebruik door woningeigenaren (woningcorporaties) en netbelasting door netbeheerders en daar transparant over communiceren.
- Verdere ontwikkeling en normering van maatregelen zoals spitsmijden.
- Beleidsmatige stimulering om de toepassing van netbewuste maatregelen aantrekkelijker te maken voor gebouweigenaren.

Netbewust renoveren is essentieel om de energietransitie ook ten tijde van netcongestie zoveel mogelijk door te zetten. Praktijkdata tonen aan dat de netbelasting lager is dan eerder gedacht, maar nog steeds zal verduurzaming door middel van elektrificatie veel netcapaciteit vragen. Maatregelen om de netbelasting te beperken zijn technisch mogelijk en effectief, maar vragen om extra investeringen die voor gebouweigenaren nu onvoldoende aantrekkelijk zijn. Structurele monitoring, (beleidsmatige) stimulering en verdere normering zijn nodig om de toepassing van deze maatregelen te versnellen en de maatschappelijke baten te realiseren.

ACHTERGROND

Waarom dit rapport?

In oktober 2024 heeft de werkgroep netbewust installeren, vertegenwoordigd door het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO), aan Stroomversnelling gevraagd om haar kennis en expertise in te zetten voor het opstellen van een rapport over netbewust renoveren. Aanleiding hiervoor is de toenemende netcongestie in diverse regio's, die de uitvoering van renovatie-plannen door woningcorporaties vertraagt of zelfs blokkeert. In de nationale prestatie-afspraken tussen het Rijk en Aedes is daarom afgesproken dat een leidraad opgesteld zou worden om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen. Dat is dit rapport.

De urgentie is met name voelbaar in de FGU-regio (Flevoland, Gelderland en Utrecht), waar de problematiek vroeg om een gezamenlijke aanpak, maar inmiddels speelt netcongestie in vrijwel het hele land. In samenwerking met de genoemde werkgroep – bestaande uit vertegenwoordigers van netbeheer-ders, provincies, belangenverenigingen en de ministeries VRO en Klimaat en Groene Groei (KGG) – is dit rapport tot stand gekomen.

Deze eerste versie biedt een handelingskader voor het netbewust renoveren van woningen in de bestaande gebouwde omgeving. Het doel is om woning-corporaties, lokale overheden en netbeheerders te ondersteunen in het gesprek over netbelasting en congestie. Dit rapport is niet bedoeld als een in steen gebeitelde norm, maar als een hulpmiddel dat meegroeit met nieuwe inzichten en praktijkdata, bijvoorbeeld uit andere warmtestrategieën.

Doorlopen proces

Dit rapport is ontwikkeld in de periode januari – september 2025. In deze periode zijn meerdere werksessies georganiseerd met betrokken partijen, zowel uit de FGU-regio als landelijk actieve partijen. De inhoud is gebaseerd op monitoringsdata, praktijkervaringen, technische analyses en beleidsmatige inzichten. De samenwerking tussen overheden, netbeheerders, corporaties en kennisinstellingen stond hierbij centraal.

DEEL A
RAPPORTAGE

Hier zijn de belangrijkste conclusies en onderbouwing te vinden.
Vanaf pagina 6

DEEL B
VERANTWOORDING

Hier is te lezen hoe tot de conclusies is gekomen.
Vanaf pagina 40

Bericht van de auteurs

Met dit rapport hopen wij bij te dragen aan een constructieve dialoog over de toekomstbestendige renovatie van de bestaande woningvoorraad. Wij nodigen alle betrokken partijen uit om deze eerste versie te gebruiken, aan te vullen en te verrijken met op praktijkdata gebaseerde inzichten en ervaringen.

A RAPPORTAGE

1. PROBLEEMSTELLING, FOCUS & AANPAK

Inleiding

De energietransitie stelt het Nederlandse elektriciteitsnet voor grote uitdagingen. De elektrificatie van de gebouwde omgeving — zoals de overstap van aardgas naar duurzame warmte oplossingen — leidt tot een toenemende vraag naar elektriciteit. Deze ontwikkeling vergroot het risico op netcongestie, ook voor kleinverbruikers. In hoofdstuk 2 staat uitgebreid toegelicht wat onder 'netcongestie' en 'netbelasting' wordt verstaan. In dit document wordt verkend hoe woningen op een duurzame manier gerenoveerd kunnen worden, met specifieke aandacht voor het beperken van de bijdragen van deze woningen aan belasting van het elektriciteitsnet. Door gebruik te maken van bestaande warmtestrategieën en gedetailleerde monitoringsdata wordt inzicht verkregen in de impact van verschillende renovatiekeuzes op het elektranet.

Probleemstelling

De toenemende elektrificatie van de gebouwde omgeving zet het elektriciteitsnet in Nederland onder aanzienlijke druk. Waar netcongestie tot voor kort vooral een uitdaging was voor grootverbruikers, dreigt deze problematiek zich nu ook uit te breiden naar kleinverbruikers. Dit betekent dat de doelstelling voor 2050 – een CO_2-neutrale en aardgasvrije gebouwde omgeving – alleen tijdig en op een betaalbare wijze gerealiseerd kan worden als de netbelasting van woningen met een duurzame warmtevoorziening zoveel mogelijk beperkt blijft.

De centrale vraag voor dit rapport luidt:

Hoe kunnen woningen duurzaam worden gerenoveerd, waarbij de bijdrage van deze woningen aan belasting van het elektriciteitsnet zo beperkt mogelijk blijft?

Daarnaast is natuurlijk nog veel meer nodig voor een CO_2-neutrale en aardgasvrije gebouwde omgeving. Dit rapport beperkt zich tot het kijken naar de netbelasting.

Context

Op dit moment vinden veel activiteiten plaats om de toekomstige netbelasting te verminderen. Veel daarvan valt direct of indirect onder het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) of het Actieplan Netcongestie FGU. Dit rapport netbewust renoveren komt voort uit beiden: de werkgroep netbewust installeren, opdrachtgever voor dit rapport, doet dat om de doelstellingen voor "netefficiënte installaties in de bestaande bouw" te realiseren, die zowel in het LAN als het Actieplan Netcongestie FGU benoemd staan.

Doelgroep

De primaire doelgroep voor dit document bestaat uit woningcorporaties, in het bijzonder de beleidsmedewerkers en projectleiders die verantwoordelijk zijn voor de keuze welke duurzame warmtevoorziening ingezet gaat worden voor een groep woningen. Secundair is dit document ook bedoeld voor lokale overheden (gemeenten) die werken aan warmteprogramma's en uitvoeringsplannen en daardoor betrokken zijn bij lokale planvorming én voor regionale netbeheerders die intensief samenwerken met deze partijen.

Doel

Het doel van dit rapport is, zoals is afgesproken in de Nationale Prestatieafspraken 2025-2035, "een leidraad (op te stellen) om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen". Daarbij hoort het geven van inzicht in de huidige netbelasting van verduurzamingsstrategieën en maatregelen om die netbelasting te verlagen. De manier waarop geprobeerd is om dit te bereiken is door het geven van inzicht in elkaars problematiek en handelingskaders en het ontwikkelen van een gedeelde taal en kennis.

Scope

Deze publicatie richt zich specifiek op de gevolgen van de warmtetransitie in bestaande woningen — de overstap van aardgas naar duurzame alternatieven — en de bijbehorende toename in de vraag naar transportcapaciteit van elektriciteit. Dit gaat over zowel de voorziening voor ruimteverwarming en warm tapwater als over elektrisch koken. De scope van het rapport is primair gericht op all-electric woningen, omdat daarvan de meeste praktijkdata beschikbaar zijn en daar ook de grootste problemen ontstaan. Tegelijkertijd is het een nadrukkelijke wens om in de toekomst ook de werkelijke netbelasting van collectieve systemen (zoals warmtenetten) op basis van monitoringdata inzichtelijk te maken, zodat het handelingsperspectief verder verbreed kan worden.

> Om de impact van deze transitie op het elektriciteitsnet te structureren, is gekozen voor een indeling op basis van de warmtestrategieën uit de PBL Startanalyse (ASA2025, zie bijlage 4). Deze strategieën (S1 t/m S4) vormen het kader voor het inschatten van de netbelasting:
>
> - Referentie: Verwarming op aardgas
> - S1: Individuele elektrische warmtepomp
> - S2: Warmtenet op middentemperatuur (MT)
> - S3: Warmtenet op (zeer) lage temperatuur (ZLT)
> - S4: Klimaatneutraal gas in combinatie met een hybride warmtepomp

Gegeven dat in dit rapport gebruik wordt gemaakt van monitoringdata in plaats van modeldata en dat vooral monitoringdata beschikbaar was van woningen die de S1 strategie hebben gevolgd, betekent dit dat dit rapport met name relevant is daar waar woningcorporaties strategie S1 willen toepassen. Dit betekent niet dat S1 in alle gevallen de beste strategie is. Het kiezen van een strategie vraagt om een breed afwegingskader. Dat valt buiten scope van dit rapport.

In dit rapport wordt inzichtelijk gemaakt welke maatregelen woningcorporaties kunnen toepassen om netbewust of netvriendelijk te verduurzamen. Er wordt geen voorstel gedaan over hoe de meerinvesteringen daarvoor kunnen worden bekostigd. Dit is onderwerp voor verder overleg.

Voor woningcorporaties die strategie S2 t/m S4 willen toepassen en daar willen sturen op een lage netbelasting geeft dit rapport wel aanknopingspunten, maar geen cijfermatige onderbouwing vanwege het ontbreken van toegankelijke monitoringdata. Dat vraagt vervolgonderzoek.

Verder wordt niet expliciet gekeken naar de netbelasting veroorzaakt door zonnepanelen, ook omdat de spitsperiode op het elektriciteitsnet in de winter tussen 17 en 21u ligt, wanneer de zon al onder is. Zonnepanelen kunnen weliswaar leiden tot teruglevercongestie, maar voor netbeheerders is dit type congestie van minder groot belang dan afnamecongestie, omdat de gevolgen minder groot zijn. Indien meer elektriciteit wordt teruggeleverd dan het net aankan, leidt dat tot het afschakelen van de omvormers van individuele huishoudens voordat het hele net uitvalt. Daardoor lopen huishoudens opgewekte stroom mis, maar is er niet direct sprake van een stroomstoring.

De focus ligt op bestaande bouw. Voor nieuwbouw is eind 2025 een Handreiking Netbewuste Energieconcepten verschenen.

Tenslotte wordt niet expliciet gekeken naar de invloed van elektrische mobiliteit op netcongestie. Dit komt doordat het hebben van privé laadpalen in de sociale huursector vrijwel niet voorkomt. In de gebruikte monitoring dataset was geen enkele woning met laadpaal.

Aanpak

In vier lijnen is gewerkt aan meer inzicht en afstemming binnen de werkgroep:

- Definities: gezamenlijk definiëren van de diverse begrippen rond netbelasting en netcongestie;
- Huidige belasting: beeld krijgen van de huidige gemeten netbelasting van aardgasvrije woningen;
- Kansen voor verlaging belasting: inzicht krijgen in hoe de netbelasting verlaagd kan worden;
- Rapportage: samenbrengen van de verschillende lijnen en tot handelingsperspectief komen.

In de afgelopen periode zijn verschillende bijeenkomsten en gesprekken georganiseerd met de betrokken partijen om invulling te geven aan deze vier lijnen. Deze publicatie is de weerslag van die gezamenlijke reis.

Gebruik van monitoringsdata

Waar mogelijk is, zoals gezegd, de inschatting van netbelasting per warmtestrategie verrijkt met monitoringsdata. Indien dergelijke data ontbreken, zijn aannames gebruikt. Dit staat dan vermeld. De beschikbare meetgegevens zijn bewerkt om tot bruikbare inzichten te komen. De belangrijkste bewerkingen betreffen klimaatcorrectie en de analyse van maatregelen die de netbelasting kunnen reduceren. De methodologie hiervan wordt in de verantwoording (Deel B) toegelicht.

Energietransitie Dataset

De Energietransitie Dataset (ETD) vormt een unieke en omvangrijke bron van meetgegevens over de energieprestaties van verduurzaamde woningen in Nederland. Deze dataset is ontwikkeld door Stroomversnelling in samenwerking met onder andere Watch-E en bevat inmiddels meer dan een miljard meetpunten van circa 250 woningen, verdeeld over op moment van schrijven 6 projecten.

De kracht van deze dataset ligt in:

- Schaal en detailniveau: meetdata op 5-minuten niveau over een volledig jaar, niet alleen van de slimme meter maar ook van warmtepomp, zonnepanelen en meer;
- Diversiteit: uiteenlopende woningtypen, installaties en renovatie-concepten;
- Toepasbaarheid: direct bruikbare inzichten voor ontwerp, uitvoering en beleid.

De projecten in de dataset hebben de volgende kenmerken:
In hoofdstuk B1 staat deze dataset uitgebreider toegelicht.

Project	Warmte-behoefte NTA8800	Warmte-opwekker	Ventilatie-systeem	Vloer-oppervlak (GO)	Woning-type
# (aantal woningen)	kWh_th / m^2 / jaar	type	type	m^2	type
1 (n=100)	30	Lucht-water warmtepomp	Type D	115	Rijwoning
2 (n=28)	54	Lucht-water warmtepomp	Type D	87	Rijwoning
3 (n=29)	35	Bodem-warmtepomp	Type D	91	Rijwoning
4 (n=26)	18	Bodem-warmtepomp	Type D	85	Rijwoning
5 (n=25)	33	Lucht-water warmtepomp	Type D	78	Rijwoning
7 (n=50)	126	Lucht-water warmtepomp	Natuurlijk + type C	99	Rijwoning

Tabel 1: Projectkenmerken in de Energietransitie Dataset

Tussen najaar 2024 en april 2025 is intensief gewerkt aan het uitbreiden van de dataset met nieuwe databronnen, waaronder metingen van collectieve warmtebronnen/systemen (S2 en S3). Hoewel dit geleid heeft tot enkele partijen die in principe en onder voorwaarden bereid zijn dat te willen delen, is dit niet tijdig gerealiseerd voor opname in dit onderzoek. In de analysetabellen zijn S2 en S3 wel opgenomen voor het overzicht, maar (nog) niet op basis van meetgegevens ingevuld. Waar mogelijk zijn theoretische aannames gebruikt. Voor vervolgonderzoek is het wenselijk om deze data alsnog te integreren en daarmee een completer overzicht te krijgen. Voor S1 en S4 zijn ook aanvullende databronnen gevonden, die binnen de beschikbare tijd voor dit rapport niet verwerkt konden worden.

Van data naar informatie

Om van ruwe monitoringsdata tot betrouwbare en vergelijkbare inzichten te komen, zijn twee essentiële bewerkingen toegepast: klimaatcorrectie en maatregelensimulatie, in deze volgorde:

1. **Klimaatcorrectie**
   Deze correctie standaardiseert de invloed van weersomstandigheden en seizoensvariaties op het gemeten energieverbruik. Zo wordt bijvoorbeeld het effect van een warme winter gecorrigeerd, waardoor trends over meerdere jaren beter vergelijkbaar zijn. Dit maakt het mogelijk om de worst-case impact op het elektriciteitsnet inzichtelijk te maken.

2. **Maatregelensimulatie**
   Deze bewerking maakt het effect van genomen maatregelen — zoals verbeterde isolatie of gedragsveranderingen — zichtbaar in de data. Hierdoor kan het daadwerkelijke effect van beleidsmaatregelen of technische ingrepen op de netbelasting beter worden geïsoleerd en beoordeeld.

De aangepaste dataset op basis van klimaatcorrectie vormt daarbij het startpunt voor de vervolganalyses naar de potentie van maatregelen om de netbelasting te beperken. In sectie B staat toegelicht hoe dit is gedaan.

De manier waarop met de grote diversiteit van bewonersgedrag is omgegaan is door eisen te stellen aan het aantal woningen met dezelfde aanpak waarvoor monitoringdata beschikbaar moet zijn. Zo is bij elk project van tenminste 25 woningen data beschikbaar, waardoor extremen worden gedempt.

2. DEFINITIES EN ACHTERGROND

Netcongestie

We spreken van netcongestie als de verwachte transportcapaciteit kleiner is dan de verwachte transportbehoefte. Dit kan op een aantal niveaus plaatsvinden:

1. **Hoogspanningsnet**
   Dit net van 110-380 kV wordt beheerd door TenneT. Dit net verbindt regio's met elkaar.

2. **Middenspanningsnet**
   Dit net van 10-50 kV wordt beheerd door de regionale netbeheerders, waaronder Stedin, Liander en Enexis. Tussen het hoogspanningsnet en het middenspanningsnet zitten verdeelstations.

3. **Laagspanningsnet**
   Dit net van 230-400 V wordt ook beheerd door de regionale netbeheerders. Tussen het middenspanningsnet en het laagspanningsnet zitten transformatorhuisjes. Deze zijn zichtbaar in de wijk.

Er is sprake van *acute netcongestie* als de **daadwerkelijke transportbehoefte** groter is dan de beschikbare transportcapaciteit. Dit kan ertoe leiden dat transformatorstations vanuit veiligheid afschakelen of in uitzonderlijke gevallen zekeringen of kabels smelten, waardoor een deel van het net uitvalt.

Op dit moment is het nog nauwelijks voorgekomen dat delen van het net uitvallen door acute netcongestie. Er is vooral sprake van dat de geplande groei van de transportcapaciteit door geplande netuitbreidingen de verwachte groei van de transportvraag niet bij kan houden.

Er zijn veel oorzaken voor de verwachte groei van de transportvraag, waaronder ook elektrificatie van mobiliteit en industriële processen. De focus in dit rapport is op de gebouwde omgeving en de bijdrage daarvan aan de netbelasting op laag-, midden- en hoogspanningsniveau.

Netbelasting

Er is (nog) geen gestandaardiseerde eenheid met bijbehorende definitie waarin "netbelasting" van een woning wordt uitgedrukt. In de praktijk wordt het vaak vertaald naar de benodigde transportcapaciteit op het piekmoment (in MW of kW) die een aansluiting (lees een woning of gebouw) vraagt van het elektriciteitsnet, of naar de mate van druk die een gebruiker legt op bestaande netcapaciteit. Bij woningen lijkt daarbij de $W_{elektrisch}$ per m^2 gebruiksoppervlak een goede indicator. De relatie tussen de netbelasting en het aantal m^2 verliesoppervlak van de woning (= gebruiksoppervlak x compactheid) lijkt nog sterker te zijn, maar er is gekozen om gebruik te maken van het gebruiksoppervlak omdat die relatie ook sterk is en omdat het gebruiksoppervlak op veel meer plekken bekend is en gebruikt wordt. Daarbij wordt ook gekeken naar de netto warmtebehoefte van de gebouwen, waar het verliesoppervlak in verwerkt zit.

Voor dit rapport bleek het noodzakelijk om met grotere precisie te definiëren wat onder netbelasting verstaan wordt.

De definitie van netbelasting die hier is gebruikt, is:

> *Netbelasting is de maximale transportvraag (in dit geval afnamevraag) in Watt$_{elektrisch}$ per vierkante meter gebruiksoppervlak die, bezien over alle tijdsintervallen van 1 uur in een jaar, wordt gevraagd door een groep verbruikers, in dit geval woningen, uitgaande van de effectieve temperatuur in 1991 in De Bilt.*

Prestatieindicatoren

De hiernaast staande definitie voor netbelasting is voor dit rapport geconcretiseerd naar de prestaties op onderstaande twee indicatoren:

Piek vermogensvraag	Het hoogste gezamenlijke afnamevermogen van een groep woningen, gedeeld door het aantal woningen, in Watt$_{elektrisch}$ (ofwel W_e) per m^2 gebruiksoppervlak (uit NTA8800). Dit betreft één interval van 1 uur per jaar. Alle andere 8759 uur in het jaar hebben deze woningen een lager gelijktijdig vermogen. Hierbij is uitgegaan van: › de vermogensvraag van de gehele woning, inclusief huishoudelijk gebruik, standaardverbruik (bijdrage woning aan basislast), exclusief elektrisch laden van de auto, › bij klimaatjaar 1991, › bij een woning met warmtebehoefte die voldoet aan de Standaard voor woningisolatie, › een groep van tenminste 25 woningen die op hetzelfde transformatorhuisje zijn aangesloten. Bij een groter aantal woningen zal de piek beperkt lager zijn.
Piek vermogensvraag tijdens de spits	Hetzelfde als piek vermogensvraag, maar dan tijdens de spitsuren van 17 tot 21 uur. Deze indicator biedt inzicht in de effectiviteit van maatregelen om de piek te verplaatsen.

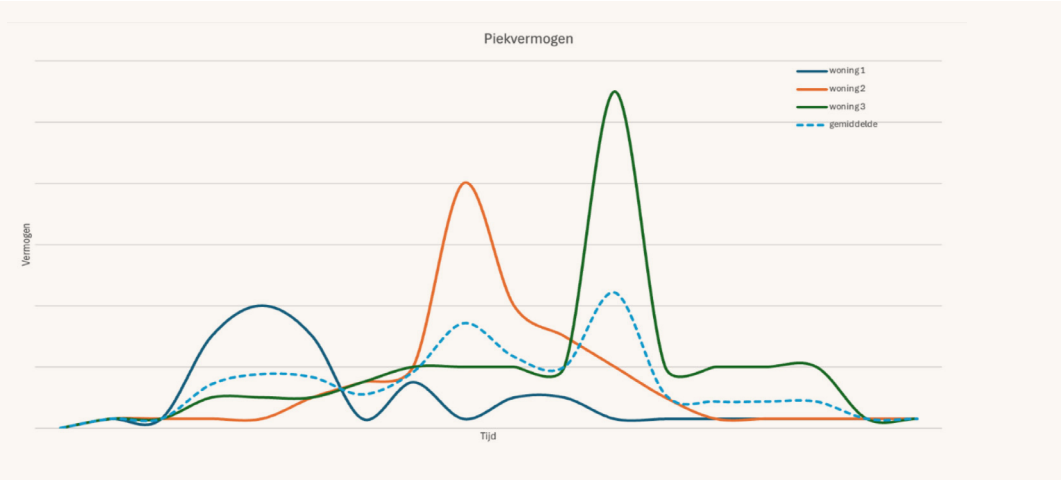
Tabel 2: twee belangrijkste prestatieindicatoren

Gelijktijdigheid

Gelijktijdigheid in het kader van netcongestie verwijst naar de mate waarin verschillende gebruikers of installaties op hetzelfde moment elektriciteit afnemen van of terugleveren aan het elektriciteitsnet. Hoe hoger de gelijktijdigheid, hoe groter de piekbelasting op het elektriciteitsnet, wat kan leiden tot congestieproblemen. In de praktijk betekent dit bijvoorbeeld dat als meerdere woningen in een wijk of buurt gelijktijdig hun elektrische kookplaat of warmtepompen gebruiken, de gezamenlijke belasting op het net tijdelijk de beschikbare capaciteit kan overschrijden.

Gelijktijdigheid wordt gebruikt als een rekenfactor bij het ontwerpen en plannen van netinfrastructuur. Netbeheerders gebruiken gelijktijdigheidsfactoren om in te schatten hoeveel capaciteit daadwerkelijk nodig is, omdat niet alle aangesloten gebruikers op elk moment het maximale vermogen gebruiken. Tegelijkertijd is het beheersen van gelijktijdigheid ook een strategie om netcongestie te verminderen, bijvoorbeeld door middel van flexibiliteitsdiensten, slimme sturing of tijdgebonden contracten die gebruikers stimuleren om hun verbruik te spreiden.

Het gelijktijdig piekvermogen is uiteindelijk het totale gevraagde vermogen van alle verbruikers (woningen) samen, gedeeld door het aantal verbruikers. Dit kan op elk moment van het jaar bepaald worden.



Figuur 1: Relatie tussen de gevraagde vermogens van individuele woningen (dichte lijnen) en het gelijktijdige gevraagde vermogen van de drie woningen gemiddeld (stippellijn).

Tijdsinterval

Monitoringdata is in de Energietransitie Dataset in tijdreeksen verzameld op 5 minuten basis. Wanneer het energieverbruik gemeten wordt in intervallen van 5 minuten, ziet men korte, scherpe pieken in het verbruik — bijvoorbeeld als iemand een waterkoker of oven aanzet. Deze pieken zijn vaak van korte duur. Als diezelfde data geaggregeerd wordt naar een uurgemiddelde (60 minuten), dan worden die korte pieken gemiddeld met lagere verbruiken in de rest van het uur. Daardoor wordt de piek afgevlakt en lijkt het alsof de maximale piek lager is. Andersom geldt dit ook: binnen die gemeten 5 minuten zullen er ook hogere en lagere pieken zitten op secondenniveau. Onderstaande tabel geeft een indicatie van het gevolg van het vergroten van het tijdsinterval waarover netbelasting wordt vastgesteld. De percentages zijn afkomstig uit de Energietransitie Dataset.

Piek op 5 minuten	Piek op 15 minuten	Piek op 60 minuten	Piek op 24 uur
100%	≈10% lagere piek	≈20% lagere piek	≈50% lagere piek

Tabel 3: Relatie tussen de gemeten piek op projectniveau en het tijdsinterval waarover die piek wordt vastgesteld ten opzichte van 5 minuten niveau.

Door het vergroten van het tijdsinterval gaat detail verloren. Dit betekent dat extreme waarden minder zichtbaar worden. Om voldoende inzicht te hebben is na overleg met de netbeheerders gekozen voor een tijdsinterval van 60 minuten. Dit geeft voldoende inzicht zonder dat de korte scherpe pieken een te groot effect (afleidend) hebben. Een belangrijke reden voor deze keuze is dat netcongestie problemen vooral van thermische aard zijn: er vindt oververhitting plaats in kabels en transformatoren."

Warmtebehoefte

Warmtebehoefte is een fundamenteel begrip binnen de NTA 8800, de Nederlandse bepalingsmethode voor de energieprestatie van gebouwen. Daarin wordt warmtebehoefte gedefinieerd als de hoeveelheid warmte die nodig is om een gebouw warm te houden. Deze behoefte wordt bepaald door warmteverliezen via de gebouwschil (zoals muren, ramen en daken), ventilatie- en infiltratieverliezen, en wordt gecorrigeerd voor interne- en zonnewinsten. Kortom, de warmtebehoefte fungeert als een indicator voor de energetische en bouwtechnische kwaliteit van een woning.

In de context van bestaande woningen speelt warmtebehoefte een belangrijke rol bij het bepalen of een woning voldoet aan de Standaard voor woningisolatie, zoals vastgesteld door het Rijk. Deze standaard geeft aan welk isolatieniveau nodig is om een woning 'toekomstklaar' te maken voor een aardgasvrije warmtevoorziening. De warmtebehoefte vormt hierbij een toetsingscriterium: woningen met een te hoge warmtebehoefte voldoen niet aan de Standaard en komen in aanmerking voor aanvullende isolatiemaatregelen. Zo helpt het begrip warmtebehoefte om beleidsmatig richting te geven aan de verduurzaming van de bestaande woningvoorraad.

De warmtebehoefte komt tot stand door een combinatie van maatregelen. Door isolatiemaatregelen, maar ook kierdichting en een duurzaam ventilatiesysteem met warmteterugwinning heeft een groot effect op de uiteindelijke warmtevraag.

3. NETBELASTING BESTAANDE BOUW

Rol van netbelasting bij het kiezen van een warmtestrategie

De warmtestrategieën die PBL heeft opgenomen in de Startanalyse (zie bijlage 4 voor een volledig overzicht) zijn voor veel woningcorporaties het startpunt bij het nadenken over welke strategie te kiezen voor het aardgasvrij maken van hun vastgoed. Bij het maken van een dergelijke keuze speelt een breed afwegingskader wat zich uitspreidt over techniek, financiële en sociaal maatschappelijke argumenten.

De invloed van een warmtestrategie op netcongestie is daarin één van de overwegingen. Gezien de hoge kosten en lange proceduretijden die gemoeid zijn met het vergroten van de capaciteit van het elektriciteitsnet en de beperkingen in aansluitcapaciteit die door netcongestie veroorzaakt worden, is het een belangrijke factor om vroegtijdig inzicht in te hebben.

Belangrijk om te beseffen is dat het elektriciteitsnet in alle warmtestrategieën een uitbreiding van de transportvraag met zich meebrengt, bijvoorbeeld door het omschakelen van koken op aardgas naar elektra. Maar ook door andere factoren zoals de transitie naar elektrisch vervoer.

In dit hoofdstuk wordt netcongestie in de context geplaatst van een warmtestrategie waarbij inzicht wordt gegeven vanuit verschillende bronnen. Met name voor strategie S1 - individuele elektrische warmtepomp, zijn nu twee belangrijke informatiebronnen beschikbaar, de Energietransitie Dataset en Netimpact woningen met warmtepomp (gebaseerd op de Installatiemonitor). De inzichten hieruit geven ook een eerste blik op netbelasting bij strategie S4. Voorlopig zijn er nog geen bronnen met monitoringdata beschikbaar voor warmtestrategieën S2 en S3. De focus van dit onderzoek ligt daarmee op het verlagen van de (toename van) netbelasting bij warmtestrategie S1 en, in mindere mate, S4.

Systeemgrenzen

PBL beschrijft in hoofdlijnen vier warmtestrategieën. Door de bril van netcongestie gekeken valt op dat bij een aantal van die strategieën alleen kleinverbruikersaansluitingen voorkomen, terwijl bij andere strategieën (o.a. S2, S3) ook gebruik gemaakt wordt van grootverbruikersaansluitingen voor het collectieve deel van de energievoorziening. In het geval van een MT warmtenet kan dat een al bestaande aansluiting bij de industrie zijn of een groot WKO-doublet met industriële pompen. Bij het beschrijven van de netbelasting van een warmtestrategie worden niet altijd dezelfde systeemgrenzen gehanteerd. Soms, bijvoorbeeld bij de Startanalyse van PBL, wordt de netbelasting van deze grootverbruikersaansluitingen buiten beschouwing gelaten, zoals in de onderstaande tabel te zien is. Uiteindelijk zorgt het gehele systeem voor een bepaalde netbelasting op woning, buurt, wijk en uiteindelijk MS- en HS-niveau.

Warmtestrategie volgens Startanalyse PBL	Wel meegenomen door PBL (IN SCOPE)	Niet meegenomen door PBL (OUT OF SCOPE)
Referentie (aardgas)	Alle installaties in de woning.	N.v.t.
S1 - Individuele elektrische warmtepomp	Alle installaties in de woning.	N.v.t.
S2 - Warmtenet MT	Alle installaties in de woning.	Grootverbruikersaansluiting van de collectieve oplossing, inclusief pompenergie en bijstook.
S3 - Warmtenet (Z)LT type a, b, e, g (individueel opwaarderen)	Alle installaties in de woning, inclusief een individuele warmtepomp.	Grootverbruikersaansluiting van de collectieve oplossing, inclusief pompenergie.
S3 - Warmtenet (Z)LT type c, d, f, h (collectief opwaarderen)	Alle installaties in de woning.	Grootverbruikersaansluiting van de collectieve oplossing, inclusief pompenergie en bijstook.
S4 - Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp	Alle installaties in de woning.	N.v.t.

Tabel 4: wat binnen en buiten scope valt bij het bepalen van netbelasting bij verschillende warmtestrategieën

Netbelasting uit diverse bronnen

Voor dit rapport is niet alleen gekeken naar monitoringdata in de Energietransitie Dataset. Andere bronnen met relevante informatie op dit vlak zijn de Actualisatie Startanalyse 2025 van PBL en de eerdergenoemde publicatie “Netimpact woningen met warmtepomp” (2025). Daarnaast hebben netbeheerders Stedin en Liander voor dit rapport inzicht gegeven in de netbelasting waar zij vanuit gaan voor hun prognoses. Die zijn in lijn met de in tabel 4 genoemde getallen uit de Installatiemonitor en de Energietransitie Dataset, en significant lager dan waar PBL vanuit gaat. Uit monitoring van het midden- en hoogspanningsnet blijkt dat woningen die koken en verwarmen op aardgas een bijdrage van circa 3 W_e/m^2 leveren aan de basislast. Tabel 5 vat de conclusies van de verschillende bronnen samen.

Warmtestrategie (zie bijlage 4 voor meer details per strategie)	**Startanalyse PBL**	**Netimpact woningen met warmtepomp** Installatiemonitor (BDH)	**Energietransitie Dataset** (Stroomversnelling)
Referentie (aardgas)	1,5 kW	nvt	0,9 kW (inductiekoken)
S1 - Individuele elektrische warmtepomp	3,5 kW	schatting bij -10°C: 2,3 kW schatting bij 100 m2: 1,8 kW	1,6 kW gemeten schatting 1987: 1,9 kW schatting 1991: 1,7 kW
S2 - Warmtenet MT	1,5 kW	nvt	nvt
S3 - Warmtenet (Z)LT individueel opwaarderen	3,5 kW	nvt	nvt
S3 - Warmtenet (Z)LT collectief opwaarderen	1,5 kW	nvt	nvt
S4 - Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp	2 kW	schatting bij -10°C: 1,7 kW schatting bij 100 m2: 1,3 kW	nvt
Toelichting	*Hierbij is rekening gehouden met 50% gelijktijdigheid.*	*Betreft de hele woning. Gebaseerd op slimme meterdata van 6.000 woningen. Bij circa 130 m^2 vloer- en 250 m^2 verliesoppervlak.*	*Betreft de hele woning. Piek vermogensvraag bij 100 m^2 vloeroppervlak, bij tijdsinterval van 1 uur, bij een groep van tenminste 25 woningen. Gebaseerd op meetdata van 300 woningen.*

Tabel 5: overzicht van conclusies uit diverse bronnen aangaande de netbelasting per warmtestrategie

Netbelasting S1 - Individuele elektrische warmtepomp

Een momentopname – één hoogste piek in het jaar – geeft maar beperkte informatie over de netbelasting door het jaar heen. Voor warmtestrategie S1, de individuele elektrische warmtepomp, is veel meer inzicht te geven uit de bijna 300 woningen en 6 projecten in de Energietransitie Dataset (zie hoofdstuk B1). Hiervoor is de monitoringsdata onderzocht en waar nodig bewerkt om tot bruikbare inzichten te komen. Een belangrijke stap is een klimaatcorrectie (omzetting van gemeten jaar, naar een klimaatjaar die door netbeheerders als maatgevend wordt aangehouden in het bepalen van netbelasting).

Invloed van klimaatcorrectie op de hoogste piek

De energieprestaties van de woningen in de dataset zijn gemeten in 2019 en 2023. Middels klimaatcorrectie (zie hoofdstuk B2) is die meetdata gecorrigeerd voor klimaatinvloeden. Daarbij zijn twee jaartallen gebruikt: het zeer conservatieve 1987 en het conservatieve 1991, beiden vanwege de koude winters.

Project	*Piek gemeten*	*Piek 1987*	*Piek 1991*
1	1.5	1.8	1.6
2	1.9	2.3	2.0
3	1.3	1.4	1.4
4	1.4	1.4	1.4
5	1.4	1.8	1.4
7	2.1	2.4	2.2
Alles	**1.6**	**1.9**	**1.7**
		+16%	**+3%**
	Piek vermogensvraag, in kW per 100 m², per uur.		

Tabel 6: invloed van een koude winter op netbelasting

De geringe toename van de hoogste piek in 1991 betekent dat a) de geïnstalleerde warmtepompen ook in een koudere winter meestal voldoende vermogen hebben om de woningen te verwarmen zonder het elektrisch element in te zetten, en b) dat de gelijktijdigheid van de vermogensvraag slechts gedeeltelijk werd veroorzaakt door het gebruik van de warmtepomp.

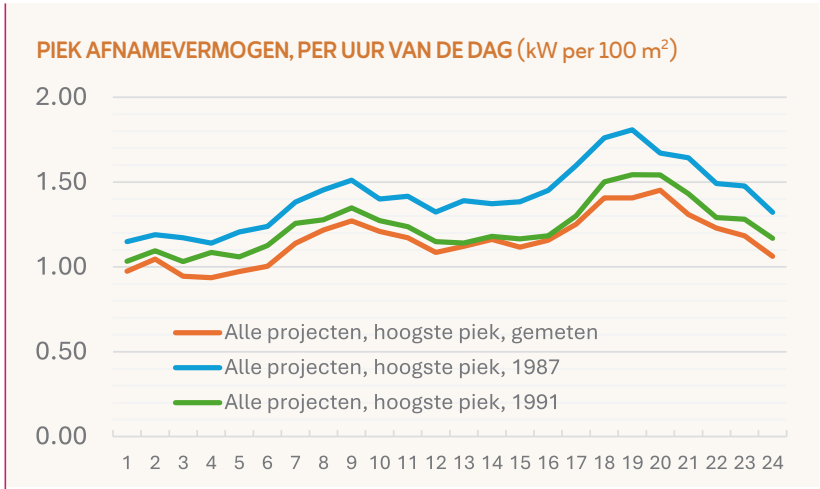
Invloed van klimaatcorrectie op de hoogste piek in de spitsperiode

Naast de hoogste piek in het jaar, is het ook zinvol om te weten wat de hoogste piek is tijdens de spitsuren op het net, van 17 tot 21 uur in de winter.

Project	*Spitspiek gemeten*	*Spitspiek 1987*	*Spitspiek 1991*
1	1.5	1.8	1.6
2	1.9	2.3	2.0
3	1.3	1.4	1.4
4	1.0	1.4	1.3
5	1.4	1.8	1.4
7	2.0	2.4	2.2
Alles	**1.5**	**1.9**	**1.6**
		+23%	**+8%**
	Piek vermogensvraag tijdens de spits, in kW per 100 m², per uur.		

Tabel 7: invloed van een koude winter op netbelasting tijdens spitsuren

Het dagprofiel met uurlijkse pieken [kW] voor alle woningen in de dataset ziet er als volgt uit:



Figuur 2: hoogste piek van het jaar, per uur van de dag

Daaruit is zichtbaar dat de ochtend- en avondspits ook bij de woningen in de Energietransitie Dataset een rol speelt.

Gelijktijdigheid

De gelijktijdigheid van het elektrisch verbruik van de woningen is in de wintermaanden november t/m februari gemiddeld 30%. Tijdens de avondpiek komt die gelijktijdigheid iets hoger uit, namelijk tot net onder de 40%. Daarbij valt op dat project 3, met een bodem warmtepomp (met klein vermogen), en project 7, dat slecht geïsoleerd is, een hogere gelijktijdigheid kennen dan de andere projecten, nameljk rond de 35% tegenover 25%. Bij project 3 komt dat omdat de warmtepompen langer op hetzelfde (lage) vermogen blijven draaien én omdat de tapwaterinstelling slecht is afgesteld: alle warmtepompen in de straat gaan op hetzelfde moment, net na 23u, tapwater maken. Bij project 7 komt de hogere gelijktijdigheid vermoedelijk door de combinatie van een lage buffercapaciteit in het afgiftesysteem en door hoe de warmtepomp aangestuurd wordt, al is dit niet helemaal uit de meetdata af te leiden.

Invloed van elektrisch koken

Een inductiekookplaat kan grote vermogens vragen. De gelijktijdigheid daarvan op HS-niveau is echter volgens netbeheerders niet hoog, Toch zorgt ook de installatie van alleen een inductiekookplaat al voor hogere gelijktijdige pieken bij een groep woningen op LS-niveau dan bij woningen waar nog op aardgas wordt gekookt.

Project	*Referentie: basislast, koken op gas*	*Gemeten piek huishoudelijk gebruik*	*Gemeten piek hele woning (inclusief warmtepomp)*
1	0.3	0.7	1.6
2		1.4	2.0
3		0.8	1.4
4		0.8	1.4
5		0.8	1.4
7		0.9	2.2
Alles	0.3	0.9	1.7
	Piek vermogensvraag, in kW per 100 m², per uur. De inductiekookplaat valt onder het huishoudelijk gebruik.		

Tabel 8: toename van netbelasting door plaatsing kookplaat en warmtepomp

De stap van koken op aardgas naar koken op een inductiekookplaat zorgt dus al voor een toename van de maximale gelijktijdige piek van gemiddeld 0.6 kW. De extra gelijktijdige netbelasting die een warmtepomp dan nog veroorzaakt is gemiddeld 0.8 kW, zoals bovenstaande tabel laat zien. Beide installaties zorgen voor een hogere piek vermogensvraag.

Hoogste piek per woning

Voor het aansluiten van een warmtepomp en een inductiekookplaat wordt vaak netverzwaring aangevraagd, naar een driefase (3x25A) aansluiting. Dit heeft ook de voorkeur van netbeheerders, omdat op die manier het elektriciteitsverbruik beter gebalanceerd kan worden over de verschillende fases. De aanvraag voor een netverzwaring is echter vaak het moment waarop een renovatieproject vertraging oploopt omdat die vanwege gebrek aan uitvoeringscapaciteit niet altijd tijdig kan worden gerealiseerd. Een valide vraag vanuit het perspectief van woningeigenaren is daarom: volstaat een 1x35A aansluiting niet gewoon? Dat wil zeggen: komt het wel eens voor dat alle installaties in de woning tegelijkertijd meer elektriciteit afnemen dan door een 1x35A aansluiting geleverd kan worden, oftewel circa 8 kW? Belangrijk om hierbij aan te stippen is dat er geen woningen met eigen laadpaal in deze dataset zitten en dat het gaat om de vermogensvraag van individuele woningen.

Project	*Hoogste piek vermogensvraag PER WONING*	*Hoe vaak komt de piek boven de 8 kW uit? (in minuten)*
1	12.2	1 per miljoen
2	12.6	1 per 15.000
3	10.2	1 per 100.000
4	11.7	1 per 100.000
5	9.5	1 per 125.000
7	16.2	1 per 1.000
	Hoogst gemeten vermogensvraag van alle woningen gedurende de ruim 100.000 intervallen van 5 minuten per jaar, in kW per 100 m^2 in 1991.	

Tabel 9: hoogste pieken per woning

Zonder maatregelen om de afnamepiek te beperken is bij al deze projecten wel eens een woning die een 3x25A aansluiting nodig heeft. Bij de aanpak van projecten 2 en 7 komt dat het vaakst voor. De momenten waarop dit gebeurt is circa 80% bij lage buitentemperaturen in de winter en 20% op momenten in de herfst of het voorjaar.

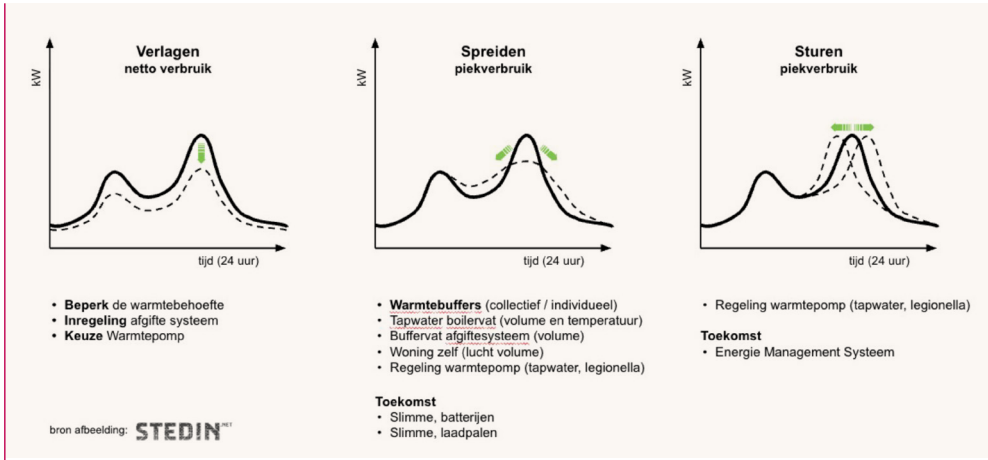
Een belangrijke kanttekening is dat de aansluiting zelf (1x35A of 3x25A) geen wezenlijk verschil uitmaakt voor de bijdrage van een woning aan de netbelasting. Hoe die bijdrage verlaagd kan worden, staat beschreven in het volgende hoofdstuk.

4. MAATREGELEN OM NETBELASTING TE BEPERKEN

Onderzochte maatregelen voor S1

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de netbelasting van renovaties met warmtestrategie S1 (individuele elektrische warmtepomp) kan worden verkleind, is door middel van simulaties geanalyseerd hoe verschillende maatregelen invloed uitoefenen op het energieverbruik van woningen en daarmee op de belasting van het elektriciteitsnet.

De maatregelen die in deze modellering zijn meegenomen, zijn geselecteerd op basis van hun relevantie en toepasbaarheid binnen renovatieprojecten van woningcorporaties. Ze sluiten aan bij de oproep van netbeerders om energiegebruik te 'verlagen, spreiden of sturen'.



Figuur 3: drie mogelijke routes om netbelasting te verlagen (bron: Stedin)

De maatregelen die voor dit rapport zijn onderzocht zijn:

A	**Verlagen warmtebehoefte** (verlagen)	Verbeteren van de thermische kwaliteit van de woningschil tot het niveau van de Standaard. Te bereiken door een combinatie van isoleren, kierdichting en efficiënt ventileren.
B	**Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp** (sturen)	Een vorm van load balancing, namelijk het uitzetten van de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) op het moment dat het huishoudelijk gebruik (inclusief inductie-kookplaat) gedurende 5 minuten meer energie gebruikt dan 3680 W, binnen het dagdeel 17-21u. Dit is een vorm van Home Energy Management Systems (HEMS).
C	**Spitsmijden warmtepomp** (spreiden/sturen)	Het softwarematig verlagen van het maximale gebruik van de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) tijdens de spitstijden op het elektranet (7-11u en 17-21u). Dit is opgesplitst in twee opties: 1) het gebruik van de warmte-pomp beperken tot 50% van het max gebruik of 2) beperken tot 0% van het max gebruik. Dit is ook een vorm van HEMS.
D	**Kiezen voor een bodem warmtepomp** (verlagen)	Het kiezen voor een warmtepomp met bodembron in plaats van een lucht-water warmtepomp. Dit is niet gemodelleerd, maar projecten 3 en 4 hebben een bodem warmtepomp en hebben verder een vergelijkbare aanpak aan projecten 1, 2 en 5, wat een directe vergelijking mogelijk maakt.

Door deze maatregelen te modelleren, ontstaat een beter beeld van de potentiële bijdrage aan het verminderen van netbelasting en het voorkomen van congestie. Dit vormt een belangrijke basis voor het handelingskader dat in dit rapport wordt gepresenteerd.

De manier waarop deze maatregelen zijn gemodelleerd staat in de verantwoording toegelicht.

Niet geanalyseerde maatregelen

- Ondanks een rijke dataset zijn er nog diverse maatregelen die onvoldoende zijn onderzocht of geanalyseerd in de context van efficiënte en flexibele systemen om netcongestie te verminderen. Dat betekent niet dat ze niet effectief kunnen zijn, alleen dat er nog geen cijfermatige conclusies aan verbonden kunnen worden.
- Het effect van het toevoegen van thermische massa, bijvoorbeeld als extra buffercapaciteit in het afgiftesysteem voor inzet tijdens een ontdooicyclus, is niet in kaart gebracht. Dit zou kunnen bijdragen aan het vergroten van de flexibiliteit van de elektriciteitsvraag.
- Het potentieel van LT-afgiftesystemen om de systeemrendementen te verhogen vraagt om nadere analyse.
- Er zijn nog meer manieren van slimme sturing te bedenken dan de twee die zijn onderzocht (B en C), zoals het uitstellen van het laadmoment van het boilervat.
- Een goed ontwerp, correcte installatie en het nauwkeurig inregelen van het verwarmingssysteem kan veel verschil maken. Dit is buiten scope voor dit rapport.
- Er is nog weinig bekend over hoe de keuze voor een specifiek type warmtepomp – zoals het regelbereik, het type koudemiddel of de regelstrategie – het systeemgedrag en -rendement beïnvloedt.
- Een douche-wtw zorgt ervoor dat een warmtepomp minder vaak warm tapwater hoeft te bereiden, wat voor een lagere gelijktijdigheid zou moeten zorgen. Woningen met een douche-wtw zitten niet in de huidige dataset.
- Kiezen voor een hybride warmtepomp kan gezien worden als maatregel om netbelasting te beperken (hoewel het ook strategie S4 is uit de Startanalyse). In de Energietransitie Dataset zitten geen woningen met hybride warmtepomp, waardoor die in dit traject niet onderzocht kon worden met dezelfde methode. Wel zijn inzichten uit de Installatiemonitor meegenomen.
- Tot slot is het verwachte effect van een elektrische batterij niet gemodelleerd. De belangrijkste reden om deze maatregel niet te modelleren is dat de complexiteit van afwegingen vraagt om een uitgebreider onderzoek naar het hoe en waarom dan voor dit rapport mogelijk was. Bijvoorbeeld: wordt de batterij op woningniveau of buurtniveau geplaatst? De software die gebruikt wordt bij batterijen is ook vaak ingesteld om de batterij terug te verdienen en niet om netbelasting te verminderen.

Realisme en uitvoerbaarheid van de gekozen maatregelen

Deze maatregelen sluiten allemaal aan bij de werkwijze van woningcorporaties.
Enige toelichting op het geschatte realisme is:

Maatregel	Wat moet er gebeuren?	Opmerkingen
A Verlagen warmtebehoefte	In de uitvraag moet worden opgenomen dat de woning na renovatie tenminste moet voldoen aan de Standaard voor naoorlogse woningen. *Dit kan tijdens de projectontwikkelings-fase, voor de uitvraag.*	Het renoveren naar een warmtebehoefte conform de Standaard ten opzichte van circa 130 kWh_th / m^2 / jaar (label B) zijn de meerkosten aanzienlijk. Dit is contextafhankelijk, N.B. deze investering biedt ook veel andere voordelen, zoals een lagere energierekening en hoger wooncomfort.
B Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp	Er moet een fysiek apparaat worden geïnstal-leerd in de meterkast dat wordt aangesloten op zowel de warmtepomp als de inductiekookplaat. *Dit gebeurt idealiter bij renovatie, maar het kan vaak ook achteraf.*	Naar verwachting gemiddelde tot lage kosten voor het apparaat. Het goed instellen en laten communiceren met andere apparaten vraagt aandacht. Check of de installatie geschikt is voor een HEMS. N.B. als het apparaat niet goed kan communiceren met de warmtepomp kan de regelmatige harde afschakeling van de warmtepomp ook voor een kortere levensduur en extra onderhoudskosten zorgen!
C Spitsmijden warmtepomp	De instellingen van de warmtepomp moeten worden aangepast. *Dit gebeurt idealiter bij renovatie, maar het kan vaak ook achteraf.*	Soms kan dit op afstand, vaak moet een installateur fysiek bij de warmtepomp kunnen. Kosten van deze ingreep zijn naar verwachting laag. N.B. Het vermogen van de warmtepomp moet voldoende zijn om de woning buiten de spitsuren warm te kunnen krijgen! En het dient niet te leiden tot comfort-problemen. Dit vraagt nader onderzoek.
D Kiezen voor een bodem warmtepomp	In de projectvoorbereiding moet worden opgenomen dat een warmtepomp met bodembron gewenst is. *Dit kan tijdens de projectontwikkelings-fase, voor de uitvraag.*	Ten opzichte van een lucht-water warmtepomp is een bodem warmtepomp (veel) duurder, maar leidt wel tot een lagere energierekening N.B. de inpassing in de bestaande bouw (inclusief tuinen) is vaak uitdagend. Een kansrijke oplossing lijkt een collectief bronnet, waarbij op wijkniveau geïnvesteerd wordt in een bron. Dit vraagt nadere uitwerking.

HEMS

Een Home Energy Management System (HEMS), die een rol speelt bij maatregelen B en C, is een kastje in de woning dat het energieverbruik, de opwekking en opslag in een woning monitort, analyseert en optimaliseert. Het verbindt apparaten zoals zonnepanelen, thuisbatterijen, warmtepompen, laadpalen en huishoudelijke apparatuur met elkaar, zodat ze efficiënt samenwerken. Hierdoor kunnen pieken in stroomverbruik worden voorkomen, kan het energieverbruik worden afgestemd op dynamische stroomprijzen, en kan het zelfverbruik van opgewekte energie worden gemaximaliseerd. Wat betreft standaarden en interoperabiliteit, is er nog geen breed gedragen internationale standaard die volledige compatibiliteit tussen alle HEMS-componenten garandeert. In Nederland werken organisaties aan het verbeteren van interoperabiliteit door het ontwikkelen van open source software en het beperken van het aantal communicatieprotocollen tot een kernset (zoals Modbus en OCPP). Dit moet leiden tot schaalbare, praktische oplossingen die steeds breder toepasbaar zijn. Voor woningcorporaties is maken van een keuze voor een bepaald HEMS systeem mogelijk van strategisch belang. Aspecten als betaalbaarheid van de toekomstige energierekening, dataveiligheid en comfort en gebruiksgemak maken daar dan onderdeel van uit.

Effect van de maatregelen op S1

Effect van maatregelen op de hoogste piek

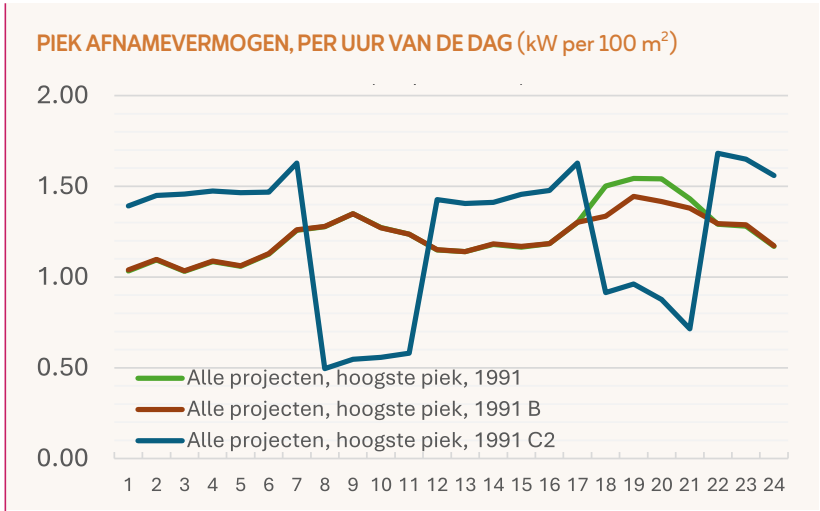
Maatregel A (verlagen warmtebehoefte) is alleen toegepast op project 7, omdat de andere projecten al een lage warmtebehoefte hadden.

Maatregel D is niet gemodelleerd. Het effect daarvan is beoordeeld door projecten met verschillende installatietypen met elkaar te vergelijken. Daarbij is project 7 juist uitgezonderd vanwege de afwijkende warmtebehoefte.

Project	*Hoogste piek na maatregelen*					
	Zonder maatregelen	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*	*D (bodembron)*
1	1.6	n.v.t.	1.4	1.5	1.8	n.v.t.
2	2.0	n.v.t.	1.8	2.0	2.2	n.v.t.
3	1.4	n.v.t.	1.2	1.3	1.2	n.v.t.
4	1.4	n.v.t.	1.4	1.4	1.5	n.v.t.
5	1.4	n.v.t.	1.3	1.4	1.7	n.v.t.
7	2.2	1.9	2.1	2.2	2.5	n.v.t.
Verschil		-11%	-6%	-1%	+9%	-13%
	Piek vermogensvraag in kW per 100 m^2, per uur in 1991.					

Tabel 11: effect van de maatregelen op het piek afnamevermogen

De maatregelen hebben dus beperkte invloed op dé hoogste piek in het jaar. In de data is echter een duidelijke verschuiving te zien in wanneer de pieken optreden. Hieronder is dat gevisualiseerd aan de hand van de uurlijkse pieken [kW] voor alle woningen in de dataset;



Figuur 4: piek afnamevermogen per uur van de dag

Invloed van maatregelen op de hoogste piek in de spitsperiode

Naast de hoogste piek in het jaar, is het ook zinvol om te weten wat de hoogste piek is tijdens de spitsuren op het net, van 17 tot 21 uur in de winter.

Project	*Hoogste piek na maatregelen*					
	Zonder maatregelen	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*	*D (bodembron)*
1	1.6	n.v.t.	1.4	1.5	0.8	n.v.t.
2	2.0	n.v.t.	1.8	2.0	1.5	n.v.t.
3	1.4	n.v.t.	1.2	1.3	0.9	n.v.t.
4	1.3	n.v.t.	1.1	1.3	0.9	n.v.t.
5	1.4	n.v.t.	1.3	1.3	0.9	n.v.t.
7	2.2	1.9	2.1	2.2	1.1	n.v.t.
Verschil		-14%	-8%	-2%	-39%	-18%
	Piek vermogensvraag in kW per 100 m² tijdens de spitsuren van 17 tot 21u.					

Tabel 12: effect van de maatregelen op het piek afnamevermogen tijdens de spits

Daaruit is zichtbaar dat, hoewel de absolute pieken door maatregelen B en C niet of nauwelijks lager worden, ze wel vaker buiten de spitstijden vallen.

Invloed van maatregelen tijdens een nog koudere winter

Hoewel is afgesproken om klimaatjaar 1991 als ijkpunt te nemen voor een zeer koude winter, is ook berekend wat er zou gebeuren als het nóg kouder zou zijn, namelijk in 1987. Hoewel dan de exacte cijfers en percentages zouden verschillen, zijn de soorten effecten hetzelfde.

Hoogste piek per woning

Bij de bemeten woningen komt in elk project wel een woning voor die af en toe meer dan 8 kW gebruikt en dus inderdaad een 3x25A aansluiting nodig zou hebben. Hoe zit dat na toepassen van de netbelastingbeperkende maatregelen?

Project	*Hoogste afnamepiek PER WONING*				
	Zonder maatregelen	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*
1	12.2	nvt	12.1	12.2	12.3
2	12.6	nvt	11.8	11.8	11.8
3	10.2	nvt	9.4	10.2	9.6
4	11.7	nvt	10.2	11.6	10.8
5	9.5	nvt	9.1	10.3	9.4
7	16.2	16.2	15.9	15.7	15.9
Verschil		0%	-5%	-1%	-4%
	Hoogst gemeten vermogensvraag per woning uit de hele dataset, gedurende de ruim 100.000 intervallen van 5 minuten per jaar, in kW per 100 m^2 in 1991.				

Tabel 13: hoogste pieken per woning na toepassing maatregelen

De maatregelen om de netbelasting op wijkniveau te verminderen dragen dus ook, zij het beperkt, bij aan de vermindering van de hoogste pieken op woningniveau. Desondanks zijn er bij elk project nog steeds een aantal momenten in het jaar dat tenminste één van de woningen meer dan 8 kW vraagt en dus een 3x25A aansluiting nodig heeft. Daarbij gaat het, project 7 uitgezonderd, om circa 10 op de 1 miljoen minuten, allemaal bij slechts enkele van de ruim 200 woningen.

Effect op netcongestie bij warmtestrategie S1

Samenvattend zijn de verwachte effecten van de verschillende maatregelen op woningniveau voor de netbelasting van een groep woningen:

Geschat effect van de maatregelen op woningen met een individuele warmtepomp					
Effect op	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*	*D (bodembron)*
Piek vermogensvraag in het jaar	10% lager	5% lager	Geen	10% hoger	10-20% lager
Piek vermogensvraag tijdens de spits	15% lager	10% lager	Geen	40% lager	20% lager
Kosten / moeite	Hoog	Laag	Laag	Laag	Middel
Effect op energierekening	Lager	Geen*	Geen*	Geen*	Lager
Effect op comfort	Positief	Geen	Geen	Geen**	Geen
Aan te raden	**Ja**	**Soms**	**Nee**	**Ja**	**Ja**

Tabel 14: Geschat effect van de maatregelen op woningen met een individuele warmtepomp

* *Uitgaande van een elektriciteits- en transporttarief dat niet gedifferentieerd is op basis van netbelasting.*

** *Hier zit een risico (C2). Een woning die in de winter vier uur lang helemaal niet kan verwarmen zal merkbaar afkoelen. Afhankelijk van de isolatiegraad kan dit om enkele graden gaan. Deze maatregel moet daarom verder worden ontwikkeld. Dit overzicht geeft aan dat er veel potentie zit bij deze maatregel.*

Dat de piek vermogensvraag (buiten de spits) bij maatregel C2 hoger wordt, komt doordat vermogensvraag van tijdens de spits naar buiten de spits wordt verplaatst. Typisch is dan zichtbaar dat net voor en vooral net na de spitsperiode een nieuwe (hogere) piek zichtbaar is, omdat alle warmtepompen dan aan de slag moeten met een afgekoelde woning.

Effect maatregelen op gebiedsniveau

Voor de FGU-regio is uitgerekend wat het cumulatieve effect van gedeeltelijke toepassing van deze maatregelen zou kunnen betekenen voor de voorspelde toename van netbelasting de komende 10 jaar. Daarbij is een inschatting gemaakt van hoe snel renovatieplannen uitgevoerd worden en welke netbelastingbeperkende maatregelen hoe vaak toegepast zullen worden. Daarnaast moet bekend zijn wat het vloeroppervlak van alle betreffende woningen is en welke warmtebehoefte die woningen hebben.

Vertaald naar een generieke wijk of buurt van 1000 woningen die voor 2035 all-electric zou moeten worden is dat bijvoorbeeld, bij isolatie naar de Standaard (maatregel A) en het spitsmijden van de warmtepomp (maatregel C2):

Voorbeelwijk met: 1000 woningen van 100 m^2 met warmtebehoefte rond de 130 kWh_th/m^2/jaar, die binnen 10 jaar all-electric worden	*Verwachte netbelasting tijdens de spits (17-21u) (klimaatjaar 1991)*		
	Totaal nu	*Toename nu-2035*	*Totaal 2035*
Door renovatieplannen	*0.3 MW*	*1.9 MW*	*2.2 MW*
Door renovatieplannen, bij toepassing aanvullende maatregelen	*0.3 MW*	*0.7 MW*	*1.0 MW*

Tabel 15: inschatting toename in netbelasting voor een all-electric woonwijk van 1000 woningen (exclusief mobiliteit)

Hoewel het effect op de verwachte netbelasting tijdens de spits dus aanzienlijk is, gaat het daadwerkelijk toepassen van deze maatregelen niet vanzelf. Dat vereist aanvullend beleid en afspraken.

Effect van de maatregelen op S2 t/m S4

Van de onderzochte maatregelen die aanbevelenswaardig zijn, zijn er twee – C (spitsmijden warmtepomp) en D (bodemwarmtepomp) – die met name relevant zijn voor Warmtestrategie S1, ofwel de individuele elektrische warmtepomp. Deels kunnen die ook relevant zijn voor de S3 varianten b, e, g, waarbij warmte in de woning wordt opgewaardeerd, maar dat is nog niet verder onderzocht vanwege een gebrek aan meetgegevens.

De derde maatregel – A (verlagen warmtebehoefte) – is relevant voor alle warmtestrategieën, van collectieve systemen tot de hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas. Naast positieve effecten op de piekvraag naar warmte, zorgt het ook voor een hoger comfort in woningen en lagere energierekeningen.

Maatregel D, het gebruik maken van een bodembron, biedt aanleiding om na te denken over het collectief toegankelijk maken van bodembronnen voor bestaande woningen. Het individueel organiseren van een bron per woning is vaak inefficiënt en kostbaar, naast de milieutechnische uitdagingen waarbij iedere woning enkele diepe lussen in de bodem krijgt. Een collectieve oplossing, zoals een wijk- of buurtgebonden bodembronnet met een constante temperatuur van circa 15°C, zou hier uitkomst kunnen bieden. Deze aanpak helpt om de piekvraag op woningniveau te dempen. In essentie gaat het om dezelfde techniek, maar met een gedeelde bron, wat schaalvoordelen en een efficiëntere benutting van de ondergrond mogelijk maakt. Deze variant van warmtestrategie S3 vraagt nader onderzoek voor bestaande wijken.

5. PRESTATIEKADER NETBEWUST RENOVEREN

Waarom een prestatiekader?

Op dit moment zijn de gesprekken tussen netbeheerders en gebouweigenaren (waaronder woningcorporaties) vaak lastig. Gebouweigenaren willen graag weten wat ze nog wél kunnen doen. Netbeheerders kijken niet naar het gebouwniveau maar juist naar het netwerk. En daaronder ligt vaak de complexiteit van verschillende (technische) talen en bedrijfsculturen. Het risico is dat daarmee willekeur en stagnatie (of, de andere kant op: een cowboymarkt) ontstaat. Het hier gepresenteerde prestatiekader moet duidelijkheid bieden over definities, realistische prestaties en waar de lat zou moeten liggen over wat een acceptabele netbelasting is. Het gaat om de vertaling tussen wat er op gebouwniveau gebeurt en wat er op het elektriciteitsnet gebeurt.

In dit hoofdstuk maken we de stap van monitoringsdata (de werkelijkheid) naar een voorschrijvend kader dat breder toepasbaar kan zijn. Daarom is gekozen om de eenheid waarin netbewust, netvriendelijk en de huidige aanpak wordt omschreven ten opzichte van de voorgaande hoofdstukken aan te passen, van kW per gestandaardiseerde woning van 100 m^2 naar W_e/m^2.

Netbewust, Netvriendelijk

In samenspraak met belanghebbenden uit de markt zijn drie relevante prestatieniveaus benoemd, die gaan over de netbelasting van de gehele woning:

Niveau	Wat betekent dit?
Huidige aanpak	Netbelasting die vergelijkbaar is met waar de netbeheerders vanuit gaan in hun prognoses. Hier is deskundig gekeken naar de installatie van de warmtepomp, maar zijn geen nadere maatregelen genomen om netbelasting te verlagen.
Netbewust	Netbelasting die lager is dan waar de netbeheerders vanuit gaan in hun prognoses, te behalen door toepassing van kosteneffectieve maatregelen om de netbelasting te verlagen.
Netvriendelijk	Netbelasting die lager is dan waar de netbeheerders vanuit gaan in hun prognoses, te behalen door toepassing van verdergaande maatregelen om de netbelasting te verlagen.

Prestatieindicatoren warmtestrategie S1

De in hoofdstuk twee gedefinieerde prestatie-indicatoren zijn toepasbaar op alle warmtestrategieën. Bij een focus op S1 - woningen met een all-electric warmtepomp - moeten de prestatie-indicatoren verder worden aangescherpt:

Piek vermogens-vraag bij S1	Het hoogste gezamenlijke afnamevermogen van een groep woningen, gedeeld door het aantal woningen, in $Watt_{elektrisch}$ (ofwel W_e) per m^2 gebruiksoppervlak (uit NTA8800). Dit betreft één interval van 1 uur per jaar. Alle andere 8759 uur in het jaar hebben deze woningen een lager gelijktijdig vermogen. Hierbij is uitgegaan van: › een woning met all-electric warmtepomp en elektrisch koken, › inclusief huishoudelijk gebruik, › inclusief standaardverbruik (bijdrage woning aan basislast), › exclusief elektrisch laden van de auto, › bij klimaatjaar 1991, › bij een woning met warmtebehoefte die voldoet aan de Standaard voor woningisolatie, › een groep van tenminste 25 woningen die op hetzelfde transformatorhuisje zijn aangesloten.
Piek vermogens-vraag tijdens de spits bij S1	Hetzelfde als hoogste piek vermogensvraag, maar dan tijdens de spitsuren van 17 tot 21 uur.

Tabel 16: twee belangrijkste prestatieindicatoren, genuanceerd voor S1

Input voor het prestatiekader

Stedin en Liander hebben inzicht gegeven in de netbelasting van een aantal woningtypen waar zij in hun prognoses rekening mee houden. De exacte cijfers zijn verschillend tussen de netbeheerders en kunnen ook locatieafhankelijk zijn. Deze cijfers zitten dicht bij de praktijkcijfers die blijken uit de Energietransitie Dataset. De netbeheerders werken aan grotere transparantie over de cijfers waarmee wordt gerekend, maar kunnen ze op deze plek nog niet delen.

Prestatiekader Netbewust Renoveren

De hoogste piek in het jaar is belangrijk, maar het is ook belangrijk wanneer die piek plaatsvindt. Daarom heeft de piek vermogensvraag tijdens de spitsuren ook een belangrijke plek gekregen bij het beoordelen of een groep woningen netbewust is. Een woning wordt geacht aan een niveau te voldoen als het aan **beide criteria** voldoet. Als een woning op één van de twee criteria lager scoort dan op de andere, krijgt die woning het laagste label.

Niveau	Piek vermogensvraag	Piek vermogensvraag tijdens de spits
Huidige aanpak	> 19 W_e/m^2	> 19 W_e/m^2
Netbewust	≤ 19 W_e/m^2	11 ≤ 19 W_e/m^2
Netvriendelijk	≤ 19 W_e/m^2	≤ 11 W_e/m^2

Tabel 17: prestatiekader netbewust renoveren

De grenswaarden zijn als volgt tot stand gekomen:

- Bij all-electric woningen die niet goed zijn geïsoleerd ligt de piek vermogensvraag vrijwel altijd boven de 19 W_e/m^2. Bij project 7 (met een warmtebehoefte van gemiddeld 126 $kWh_{thermisch}$/m2/jaar) ligt die op 22 W_e/m^2 in de koude winter van 1991. Bij woningen die nog slechter geïsoleerd zijn, zal het nog hoger liggen. Daar is echter geen meetdata voor.

- De 19 W_e/m^2 grens ligt ongeveer op dezelfde hoogte als waar netbeheerders vanuit gaan in hun all-electric prognoses.

- Bij all-electric woningen geïsoleerd naar de Standaard ligt de piek vermogensvraag gemiddeld gezien net onder de 19 W_e/m^2 bij een lucht-water warmtepomp. Het is wenselijk om voor 'netbewust' een niveau te formuleren dat weliswaar meer vraagt dan de huidige standaardaanpak, maar niet onrealistisch duur is, bijvoorbeeld door ook altijd een bodemwarmtepomp (of vergelijkbaar) te vereisen.

- Bij het toepassen van slimme sturing lijkt vooral veel te winnen wat betreft de piek vermogensvraag tijdens de spits.

Van prestatiekader naar een aanpak op woningniveau

Bovenstaand prestatiekader beschrijft de netbelasting van een groep woningen. Gebaseerd op de resultaten uit hoofdstukken 3 en 4 is een schatting gemaakt van hoe dat prestatiekader te vertalen is naar een aanpak op woningniveau. Die vertaling richt zich op drie hoofdkenmerken van een vastgoed verduurzamingsstrategie die rekening houdt met netbelasting:

1. **Warmtebehoefte** van de woning, oftewel het warmteverlies van de woning over een heel jaar, bij een standaard klimaatjaar. Dit kan worden bepaald aan de hand van NTA8800 en wordt berekend voor het energielabel. De warmtebehoefte wordt bepaald door een combinatie van isolatiegraad, ventilatieverliezen en infiltratieverliezen. Hoe lager de warmtebehoefte, des te kleiner is het warmteverlies en dus ook de hoeveelheid warmte die moet worden geleverd om een woning op temperatuur te houden. Dit leidt tot een meetbaar lagere netbelasting. Bij een milde winter is het verschil tussen een woning met hoge of lage warmtebehoefte nog te overzien. Bij een strengere winter wordt dit verschil aanzienlijk groter, zowel wat betreft de hoogste piek als wat betreft de piek tijdens de spits van 17 tot 21 uur.

2. Het toegepaste **installatietype** in de woning, in het bijzonder door het systeemrendement van de warmteopwekker en het afgiftesysteem en de mogelijkheden tot buffering van warmte. Naarmate meer meetdata beschikbaar komen kan op dit vlak beter onderscheid gemaakt worden.

3. Eventueel **toegepaste maatregelen** om netbelasting te beperken, zoals door spreiden of sturen. Dit gaat bijvoorbeeld om het prioriteren van de inductiekookplaat boven de warmtepomp en het beperken van de warmtepomp tijdens de spits (17-21u).

Gezamenlijk leidt dit tot tabel 18.

		MAATREGEL →	A Verlagen warmtebehoefte naar	
		MAATREGEL ↓	***Standaard voor woningisolatie*** (komt ongeveer overeen met <75 kWh_th/m²/jr)	***Label B*** (komt ongeveer overeen met >100 kWh_th/m²/jr)
S1	Lucht-water warmtepomp	Geen	Netbewust	Huidige aanpak
		B prioriteren kookplaat boven warmtepomp	Netbewust	Huidige aanpak
		C spitsmijden warmtepomp	Netvriendelijk	Huidige aanpak
	Bodem warmtepomp (Maatregel D)	Geen	Netbewust	Netbewust
		B prioriteren kookplaat boven warmtepomp	Netbewust	Netbewust
		C spitsmijden warmtepomp	Netvriendelijk	Huidige aanpak
S2	MT Warmtenet	Geen	Nader onderzoek nodig	
S3	(Z)LT Warmtenet - individueel opwaarderen	Geen	Nader onderzoek nodig	
	(Z)LT Warmtenet - collectief opwaarderen	Geen		
S4	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas *	Geen	Netbewust	Netbewust
		B prioriteren kookplaat boven warmtepomp	Nader onderzoek nodig	
		C spitsmijden warmtepomp		

Tabel 18: overzicht van de relatie tussen woning- en installatiekenmerken en de netbelastingprestatie op buurtniveau
** = uitgaande van koken met inductiekookplaat en overschakelen van hybride warmtepomp naar cv-ketel bij -3° C*

Een belangrijke kanttekening bij dit overzicht van de verwachte netbelasting per verduurzamingsstrategie is dat individuele projectkenmerken behoorlijk invloed kunnen uitoefenen op de resulterende netbelasting. Zo kan een warmtebehoefte op papier goed uitpakken, terwijl de luchtdichtheid van een woning in de praktijk tegenvalt. Ook kan een warmtepomp niet goed zijn geïnstalleerd of ingesteld, of kunnen er in een straat bewoners wonen die een hogere thermostaatinstelling hebben dan gemiddeld. Deels is dat al opgevangen door de diversiteit van de woningen in de gebruikte dataset. Het gaat om de best mogelijke schatting die te geven is met de meetdata en andere middelen die op dit moment beschikbaar zijn.

Enkele observaties bij dit overzicht zijn:

- De hoogste gelijktijdige piekvraag van een groep woningen in een jaar is moeilijk om significant te dempen. De enige twee maatregelen die daar echt aan bijdragen zijn A (verlagen warmtebehoefte) – vanwege een lager warmteverlies – en D (bodem warmtepomp in plaats van lucht-water warmtepomp) – vanwege een hogere efficiëntie van de warmtelevering in de winterperiode. Dit zijn beide vrij kostbare maatregelen.

- Het piekvermogen lijkt echter wel makkelijker en goedkoper om te verplaatsen naar momenten buiten de spitsuren op het net. Vooral maatregel C2 (spitsmijden warmtepomp) maakt op dat vlak tot wel 50% verschil. Daar staat tegenover dat de warmte die niet aan de woning kan worden geleverd tijdens die spitsuren wél op andere momenten geproduceerd moet worden. De warmtepomp én het afgiftesysteem moeten daar voldoende vermogen voor hebben.

6. CONCLUSIES

Situatie

Ongeacht de gekozen warmtestrategie (S1 t/m S4), leidt iedere aanpak om woningen van duurzame warmte te voorzien tot een toename van de netbelasting. Dat komt hoofdzakelijk door het opwaarderen van lage temperaturen naar bruikbare temperaturen - of dat nu binnen of buiten de woning gebeurt, en door elektrisch koken. Dit betekent dat het de komende decennia steeds spannend zal blijven of het tempo waarin het elektriciteitsnet uitgebreid wordt het tempo waarin woningen (en andere sectoren) verduurzaamd worden bij kan blijven. Dat betekent ook dat woningcorporaties en netbeheerders voor lange tijd zullen moeten samenwerken: beiden hebben doelstellingen om te behalen en hebben elkaar daarbij nodig.

Dit rapport richt zich primair op het geven van handelingsperspectief aan woningcorporaties voor hoe ze kunnen werken aan hun verduurzamingsdoelstellingen en -afspraken in tijden van netcongestie.

Perspectief voor woningcorporaties

In de huidige praktijk maakt een woningcorporatie eerst een plan, vaak in afstemming met de gemeente en het warmteprogramma in ogenschouw nemend, vraagt vervolgens netverzwaring aan voor een groep woningen, en krijgt dan te horen of en wanneer realisatie mogelijk is. Daarbij doet een netbeheerder in principe twee checks: 1) Is er voldoende capaciteit[1] op de verschillende niveaus van het net? En 2) wanneer zijn de benodigde werkzaamheden uitvoerbaar? Het is daarom deels een planningsvraagstuk. Evengoed kan het jaren duren voordat die benodigde werkzaamheden uitgevoerd kunnen worden. Bij het uitvoeren van deze twee checks houden netbeheerders op dit moment geen rekening met het eventueel voldoen aan het prestatiekader 'netbewust' of 'netvriendelijk'. Dat zou mogelijk wel kunnen volgen uit nader te maken afspraken op landelijk niveau. De vraag is dan ook: wat kunnen partijen in de tussentijd doen? Ook na netuitbreiding zal transportcapaciteit schaarser zijn dan voorheen, daarom blijft effeciënt netgebruik ook in de toekomst belangrijk.

Uit de voorgaande hoofdstukken en de gesprekken die zijn gevoerd voor dit rapport komt een beeld naar voren van wat woningcorporaties kunnen doen:

- Een hoog isolatieniveau, zoals de Standaard voor naoorlogse woningen, levert een belangrijke bijdrage aan netbewust renoveren. Dat is wenselijk om netcongestie te beperken en verkleint de noodzakelijke investeringen in netverzwaring. Daar staat tegenover dat de investering die nodig is om de woning naar dit isolatieniveau te brengen hoog is, terwijl de netbelasting er slechts met 10-15% mee wordt verkleind. Corporaties kunnen deze investering niet terugverdienen via een huurverhoging. Dat betekent dat, om alle woningen naar de Standaard te kunnen isoleren, er extra middelen nodig zijn voor verhuurders om aan deze isolatienorm te kunnen voldoen.

[1] *Bij Liander is het ook mogelijk voor woningcorporaties om op portefeuilleniveau een pre-check op netcapaciteit aan te vragen.*

- Voor woningen met een elektrische kookplaat en (hybride) warmtepomp is vanuit technisch oogpunt niet altijd een driefase (3x25A) aansluiting nodig. Toch willen netbeheerders graag dat dit soort woningen zo'n aansluiting krijgen, vanuit de behoefte om de netbelasting gelijk te kunnen verdelen over de fases.

- Voor alle woningen waar een duurzame warmtevoorziening in de woning waarschijnlijk is (S1 en S4), of waarvoor het aannemelijk is dat er een warmtenet komt met opwaardering van warmte in de woning (varianten van S3), is het eindbeeld daarom dat een driefase aansluiting wenselijk is ten tijde van of voorafgaand aan de vervanging van de installatie. Dat is standaard een 3x25A aansluiting.

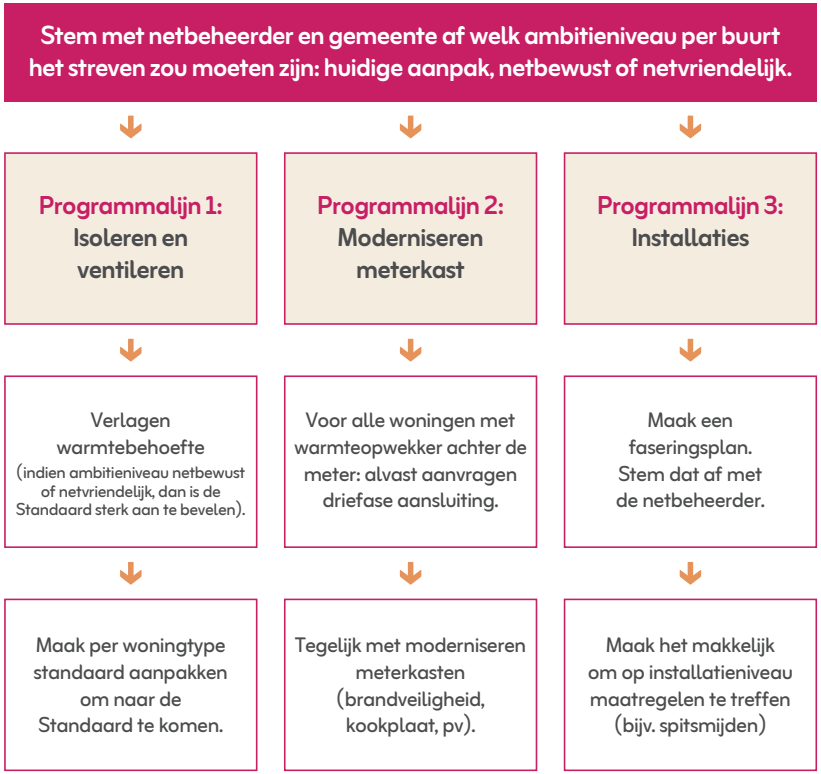
- Zo'n driefase aansluiting geldt als een verzwaring waar de netbeheerder niet altijd op korte termijn akkoord op kan geven, door gebrek aan netcapaciteit, technisch personeel of materialen.

- In het geval dat de cv-ketel in de woning vervangen moet of gaat worden, maar er niet tijdig een driefase aansluiting gerealiseerd kan worden, heeft een woningcorporatie die een duurzamere installatie wil plaatsen een aantal keuzes:
  - een hybride warmtepomp installeren die voldoende heeft aan de huidige aansluiting. Uit een combinatie van de Installatiemonitor en de Energietransitie Dataset is te concluderen dat hybride warmtepompen vermoedelijk een lagere netbelasting hebben in vergelijking met all-electric warmtepompen, vooral bij lage buitentemperaturen. Steeds meer hybride systemen blijven echter ook op koude dagen elektrisch verwarmen, waardoor dit verschil kleiner wordt. De keuze voor hybride of all-electric wordt daarnaast ook niet alleen gemaakt op basis van netbelasting, maar ook op basis van andere factoren;
  - een elektrische warmtepomp installeren die voldoende heeft aan de huidige (1x35A) aansluiting. Dit vraagt – om het doorslaan van de hoofdzekering te voorkomen – in elk geval om isoleren tot het niveau van de Standaard en goede inregeling van warmtepomp en afgiftesysteem en daarnaast, afhankelijk van de grootte van de woning, mogelijk om aanvullende maatregelen om de piek vermogensvraag uit te smeren over de dag.

- In alle gevallen is de aanbeveling om, bij het ontwerpen van renovatie-aanpakken, tenminste het prestatieniveau "netbewust" te ambiëren en, waar mogelijk, het niveau "netvriendelijk". Dit leidt op maatschappelijk niveau tot vermindering van netcongestie, lagere kosten voor de elektriciteitsinfrastructuur en versnellingsmogelijkheden voor toekomstige projecten.

Programmatische aanpak voor woningcorporaties

Een voorstel voor de manier waarop bovenstaande ingrediënten door woningcorporaties geoperationaliseerd kunnen worden is door drie programmalijnen te organiseren. Onderdeel van de drie programmalijnen is het afstemmen met gemeente en de regionale netbeheerder omtrent verduurzamingsplannen. De drie programmalijnen zijn:



Figuur 5: voorstel voor programmatische aanpak woningverduurzaming in gebieden met netcongestie

Programmalijn 1: Isoleren en ventileren

Het verlagen van de warmtebehoefte van woningen, door een combinatie van isoleren, kierdichting en efficiënt ventileren, is kostbaar, maar levert ook veel voordelen op, zoals een lagere energierekening en hoger wooncomfort. Er zijn door Aedes prestatieafspraken over gemaakt met het Rijk en er komen ook aanvullende verplichtingen over vanuit Europa. Ook kan dit onafhankelijk worden uitgevoerd van netverzwaring en heeft het een aantoonbaar effect op de netbelasting zodra de woning is voorzien van een warmtepomp.

Voor een toekomstbestendige keuze lijkt de Standaard voor woningisolatie voor naoorlogse woningen in veel gevallen passend. Voor sommige hoekwoningen zijn de grenswaarden aan de hoge kant (en zou dus beter moeten worden geïsoleerd dan de Standaard voorschrijft) en voor sommige tussenwoningen zouden de grenswaarden iets hoger mogen liggen (en zouden dus wat minder goed mogen worden geïsoleerd dan de Standaard voorschrijft).

In de programmalijn Isoleren en ventileren zou een woningcorporatie één of meerdere aanpakken voor het isoleren van zijn woningvoorraad centraal zetten – al dan niet rekening houdend met de door de gemeente gekozen voorkeursalternatieven per gebied - en dat vervolgens stap voor stap toepassen op de voorraad. Waar relevant, kan dat op projectniveau gecombineerd worden met projecten van programmalijnen 2 en 3.

Programmalijn 2: Moderniseren meterkast

In de programmalijn Moderniseren meterkast wordt getracht om voorspelbaarheid te creëren voor wanneer woningen toegang krijgen tot een moderne meterkast met driefase aansluiting die krachtig genoeg is voor een kookplaat en warmtepomp. Voor alle warmtestrategieën waarbij warmte in de woning wordt opgewaardeerd is zo'n aansluiting uiteindelijk wenselijk.

Onderdeel van deze programmalijn is in elk geval het plaatsen van een moderne meterkast die klaar is voor een driefase aansluiting, het voorbereiden op een kookplaat - inclusief aansluiting in de keuken – en warmtepomp en het aanvragen en uiteindelijk realiseren van de driefase aansluiting. Hierbij dient de verwachte vermogensvraag zo gelijk mogelijk verdeeld te worden over de verschillende fases.

Programmalijn 3: Installaties

In programmalijn Installaties staat het vervangen van installaties centraal, met name de warmteopwekker, de kookvoorziening en eventuele zonnepanelen. Per type installatie maakt de woningcorporatie een afwegingskader voor wanneer welk type wordt ingezet en welke prestatie- en kwaliteitsvereisten dan gelden. Onderdeel van het afwegingskader is hoe om te gaan met de situatie dat een cv-ketel vervangen moet worden maar er nog geen mogelijkheid is de woning aan te sluiten op een driefase aansluiting.

De installaties en de bijbehorende werkzaamheden kunnen op portefeuilleniveau, dat wil zeggen projectoverstijgend, worden ingekocht en beheerd. Op portefeuilleniveau ontstaat zo ook overzicht over de verwachte aantallen installatievervangingen per jaar. Binnen deze programmalijn valt ook de overweging om eisen te stellen aan de stuurbaarheid, bufferingscapaciteit en andere eigenschappen van het verwarmingssysteem die kunnen bijdragen aan een lagere netbelasting, om zo tot het niveau 'netvriendelijk' te kunnen komen.

Structurele monitoring van de installaties wordt sterk aangeraden. Dit is behulpzaam voor beheer en onderhoud, maar is ook input voor optimalisatie van de drie programmalijnen over de tijd.

Perspectief voor gemeenten

Gemeenten zetten onder andere warmteprogramma's en wijkuitvoeringsplannen in om de warmtetransitie binnen de gemeentegrenzen van sturing te voorzien. Een belangrijk onderdeel van die sturing bestaat uit het per buurt aangeven welke voorkeur er vanuit de gemeente is voor een bepaalde infrastructuur voor het voorzien in duurzame warmte. Daarnaast faciliteert de gemeente ook de dialoog tussen de verschillende belanghebbenden, zoals bijvoorbeeld tussen woningcorporaties en netbeheerders. Tegelijkertijd speelt de gemeente een cruciale rol bij alle werkzaamheden rondom de uitbreiding van het elektriciteitsnet, van het organiseren van toegang tot bouwgrond tot het verlenen van vergunningen.

Gemeenten kunnen inzichten uit dit rapport in die processen inzetten door:

- relevante informatie op woningniveau intern op een rij te zetten en beschikbaar te maken voor beleids- en projectvorming. Dit gaat om bijvoorbeeld de warmtebehoefte, de categorie elektrische aansluiting die verblijfsobjecten nu hebben, huidig energieverbruik (eventueel op postcode6-niveau) en de beoogde warmtestrategie;

- per buurt en per jaar een gemeentelijk ambitieniveau te kiezen voor de geambieerde netbelastingprestatie van verduurzaamde woningen (netbewust of netvriendelijk). Het ambitieniveau kan onder andere worden vastgesteld op basis van plaatselijk aanwezige netcapaciteit, de grootte van de woningen, de gemiddelde kwaliteit van de woningschil, en de betalingsbereidheid van de vastgoedeigenaren. Op dit moment is het meest bekend over de netbelastingprestaties van all-electric woningen (warmtestrategie S1). Voor andere warmtestrategieën kunnen die ambitieniveaus daardoor mogelijk pas later worden vastgesteld;

- gemeentelijke beleidsdocumenten en projecten af te stemmen op de gekozen ambitieniveaus voor de netbelastingprestatie en de fasering van beschikbare netcapaciteit;

- te participeren in projecten om integrale all-electric wijken te onderzoeken en ontwikkelen.

7. AANBEVELINGEN

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Voor een stevig draagvlak voor de in dit document beschreven aanpak om netbewust te kunnen renoveren, is aan te bevelen:

- Door monitoring van all-electric en hybride woningen weten we inmiddels veel beter wat de daadwerkelijke netbelasting is. Die ligt een factor 2 lager dan waar PBL vanuit gaat in de Actualisatie van de Startanalyse. Netbeheerders houden in hun prognoses rekening met een netbelasting die meer in lijn is met de resultaten in dit rapport. In vergelijking tot miljardeninvesteringen en haperende of uitvallende netten, is de benodigde investering in monitoring om goede sturingsinformatie te krijgen relatief weinig moeite.

  AANBEVELING: Het is daarom aan te raden om te zorgen voor structurele monitoring van een representatieve steekproef van alle soorten woningen in Nederland die met alle relevante warmtestrategieën zijn uitgevoerd. Naar schatting betreft dit tussen de 5.000 en 25.000 woningen.

- Een verrijking van dit document op twee specifieke onderdelen is wenselijk:
  1) Van de warmtestrategieën uit de Startanalyse waarvoor nu geen monitoringdata beschikbaar was om te analyseren is bekend dat er wel degelijk monitoringdata aanwezig is in het land. Het is waardevol om die ook te kunnen analyseren en de resultaten daarvan toe te voegen aan dit document.
  2) Er zijn meer maatregelen mogelijk voor het verlagen van de netbelasting. Denk bijvoorbeeld aan een buurtbatterij of een energiehub.

  AANBEVELING: Onderzoek of er ook voor de andere hoofdstrategieën (met name S2 en S3) datasets beschikbaar zijn om een rijker en gedifferentieerd beeld te krijgen van de netbelasting van deze strategieën. Neem aanvullende maatregelen mee bij een actualisatie van dit rapport.

- Daarnaast heeft dit document zich vooral gericht op afnamecongestie, vanuit het perspectief dat teruglevering weliswaar met grote piekvermogens gebeurt, maar dat het voor minder problemen op het net zorgt omdat in theorie omvormers van zonnepanelen in woningen automatisch afschakelen bij een te hoog voltage. Vanaf 2027 zijn ook grote veranderingen te verwachten door het afschaffen van saldering.

  AANBEVELING: Overweeg om bij een volgende actualisatie van dit rapport ook terugle vercongestie mee te nemen.

- Een onderwerp dat, gezien de steeds warmere zomers, actueler wordt is de verwachte toekomstige zomerse energievraag door lucht-lucht warmtepompen, oftewel airconditioners. Daar is nu nog geen meetdata van bekend.

  AANBEVELING: Onderzoek of monitoringdata beschikbaar kan komen van woningen met airconditioners en andere koelsystemen.

- Dit rapport beperkt zich tot de relatie tussen een renovatieaanpak op woningniveau en de netbelasting die dat veroorzaakt op wijk- en hoger niveau. Op wijk- en hoger niveau spelen ook andere zaken, zoals laadpalen, utiliteitsbouw en infrastructuur.

  AANBEVELING: Verbindt verschillende onderzoeken en kennisclubs aan elkaar om tot een concreet en realistisch beeld te komen voor hoe een all-electric wijk georganiseerd kan worden, bijvoorbeeld over de vraag hoeveel opslag op wijkniveau nodig is om netvriendelijk te worden.

- De werelden van gebouw en energienetwerk komen samen in de meterkast, waar technische afspraken, vastgelegd in normen (NEN1010) en vanuit de Bbl, leidend zijn voor verdere uitwerking binnen de beide domeinen. De aansluitcapaciteit van een kleinverbruiker (kva) zijn op dit moment gedefinieerd als alles kleiner dan 3x80A. Voor woningen komt dit meestal neer op 1x35A of 3x25A. Gezien de wens van de netbeheerders om alle woningen op termijn naar een 3x25A aansluiting te krijgen neemt de theoretische maximale vermogensvraag per woning op papier toe van circa 8 kW naar 17 kW. Dit is, zoals uit de meetdata blijkt, meestal niet nodig.

  AANBEVELING: Onderzoek of er winst te behalen is door het uitdagen van partijen die op woningniveau actief zijn (installateurs, bouwbedrijven), bijvoorbeeld door ook ruimte te bieden voor andere, kleinere, aansluitvermogens. Zo kunnen in een woning die op bijvoorbeeld 3X16A of zelfs 3X10A is aangesloten andere keuzes gemaakt moeten worden die ertoe leiden dat de afnamevraag van een groep woningen beter over de dag wordt verspreid en de gelijktijdige afnamevraag dus afneemt.

Aanbevelingen voor beleid

Een aantal beleidsmatige aanpassingen die bij zouden kunnen dragen aan het beperken van netcongestie terwijl het renovatietempo en daarmee de klimaatdoelstellingen niet uit het oog worden verloren zijn:

- Voor een voorspelbaar renovatieproces en betrouwbare prognoses van toekomstige netbelasting kan niet alleen worden gevaren op een ex post analyse van gelijksoortige woningen met gelijksoortige installatietypen. De kans is groot dan de te renoveren woningen net op een aantal potentieel belangrijke punten afwijkt van de woningen in de dataset, waardoor de werkelijke netbelasting ook af zal wijken.

  AANBEVELING: Start een proces om tot een bepalingsmethodiek te komen die netbelasting kan voorspellen voor nog te renoveren woningen, vergelijkbaar met (en mogelijk aanvullend op) de NTA8800 voor de energiebalans. Onderdeel van dat proces zou ook moeten zijn om te beschrijven hoe die te ontwikkelen methodiek geijkt wordt op inzichten geleerd of nog te leren van monitoringsdata uit de praktijk.

- Maatregel C2, het spitsmijden van de warmtepomp, lijkt veel bij te kunnen dragen aan een lagere netbelasting op momenten dat het net sneller overbelast dreigt te raken. Deze maatregel kent echter nog open eindjes, zoals vragen rondom wat een acceptabele daling van de binnentemperatuur is, welk vermogen de warmtepomp nog wel mag gebruiken in die spitsuren van 17 tot 21u, hoe het het beste georganiseerd kan worden en meer.

  AANBEVELING: Zet een vervolgtraject uit om maatregel C2 verder marktrijp te maken.

› Het lijkt uitdagend om alle gebouweigenaren te bewegen om vrijwillig netbewust te renoveren, in het bijzonder omdat daar meerkosten tegenover staan ten opzichte van gangbare duurzame renovaties terwijl de baten niet altijd duidelijk zijn. Het is mogelijk makkelijker om specifieke eisen te stellen aan de warmtebehoefte en de manier waarop installaties worden ontworpen en ingeregeld, zodat uiteindelijk woningen in de praktijk vaak 'netbewust' zullen zijn.

AANBEVELING: Onderzoek de mogelijkheden voor normerende maatregelen op apparaatniveau (bijvoorbeeld bij warmtepompen) die bewezen bijdragen aan een lagere netbelasting, zoals het beperken van het elektrische vermogen tijdens de spitsuren van 17 tot 21u.

› Installateurs die een warmtepomp gaan plaatsen maken berekeningen voor het bepalen van het benodigde vermogen van de warmtepomp. Als het een goede installateur is, is een onderdeel hiervan een warmteverliesberekening en afgiftesysteemberekening per te verwarmen vertrek. Risico bij het toepassen van de ISSO 51 norm voor deze berekeningen is dat deze vaak leidt tot overdimensionering van het systeem, door voor alle parameters aan de veilige kant te gaan zitten. Maar niettemin levert het zeer waardevolle informatie op, die nu verloren gaat of belandt in een la bij de installateur. In het Verenigd Koninkrijk is het bijvoorbeeld verplicht om deze informatie te deponeren bij de lokale RVO voor het verkrijgen van de Britse variant op de ISDE-subsidie.

AANBEVELING: Onderzoek de mogelijkheid om het aan RVO aanleveren van de door installateurs gemaakte berekeningen voor het plaatsen van een warmtepomp verplicht te stellen voor het verkrijgen van de ISDE-subsidie.

› Er zijn meerdere redenen voor de hogere netbelasting bij een zeer koude winter, waaronder dat warmtepompen langer aan moeten staan om de woning warm te krijgen, dat er een ontdooicyclus plaats vindt en dat warmtepompen lang niet altijd goed ingeregeld zijn. Eén van de belangrijkste redenen is echter dat elektrische elementen nog steeds vaak worden ingezet voor het geven van een vermogensboost op koude dagen. Die hebben een slecht rendement, waardoor de elektrische vermogensvraag opeens scherp omhoog kan gaan.

AANBEVELING: Onderzoek de mogelijkheid om bij het dimensioneren van warmtepompen eisen te stellen aan de inzet van het elektrisch element, bijvoorbeeld door verplicht te maken dat de warmtepomp in de volledige warmtebehoefte van de woning moet kunnen voorzien bij een bepaalde aanvoertemperatuur, bijvoorbeeld <50° C, bij een bepaald klimaatjaar, bijvoorbeeld 1991 of conform NEN5060, en zonder inzet van een elektrisch element.

› Woningcorporaties moeten veel meterkasten vervangen. Netbeheerders moeten ook in de meterkast zijn om de aansluiting te verzwaren of slimme meters te vervangen. Nu mogen die werkzaamheden niet door dezelfde persoon gedaan worden. In het kader van een tekort aan technisch geschoold personeel en grote maatschappelijke uitdagingen lijkt dit een onnodig zelfbeperkende regel.

AANBEVELING: Onderzoek hoe het mogelijk gemaakt kan worden dat door woningcorporaties - in samenwerking met de regionale netbeheerder - een installateur gezocht wordt die tegelijkertijd een nieuwe meterkast plaatst, de slimme meter vervangt en de aansluiting mag verzegelen.

B

VERANTWOORDING

B1. ENERGIETRANSITIE DATASET

Inleiding

Voor de analyse van de netbelasting van woningen met all-electric warmtepompen is gebruikgemaakt van de Energietransitie Dataset (ETD). Deze dataset is tot stand gekomen met dank aan Watch-e, die monitoring uitvoert bij veel woningen van woningcorporaties. In deze dataset zitten ruim 250 woningen verdeeld over 6 projecten.

Sinds de introductie van de energieprestatievergoeding (EPV) in 2016 worden, met name bij sociale huurwoningen, de energetische prestaties van woningen steeds vaker goed gemonitord. Dit volgt uit de verplichting aan verhuurders die gebruik willen maken van de EPV om huurders jaarlijks inzicht te geven in de daadwerkelijke prestaties van de woning waar zij een extra vergoeding voor betalen. De monitoringapparatuur die nodig is om dat jaarlijkse inzicht te geven kan daarnaast ook ondersteunend zijn bij (preventieve) onderhoudswerkzaamheden, benchmarken van renovatieaanpakken en meer.

Deze context bood een kans voor het in een breder perspectief leren van monitoringdata van al verduurzaamde woningen. Daartoe hebben Stroomversnelling en Watch-e sinds 2024 samengewerkt om monitoringdata te anonimiseren en vervolgens samen te brengen in een dataset voor beleidsdoeleinden. Dit is de ETD geworden. Het doel is om hier ook meer partijen bij te betrekken en gezamenlijk steeds meer te leren over hoe de gebouwde omgeving op de meest verstandige manier aardgasvrij, klimaatvriendelijk en in algemene zin klaar voor 2050 gemaakt kan worden.

Variabelen in de Energietransitie Dataset

De gebouweigenaar kiest welke variabelen worden gemeten. Daardoor wordt over het algemeen niet hetzelfde gemeten in verschillende projecten. Wel is er gelukkig veel overlap, waarbij eigenlijk altijd de slimme meter wordt uitgelezen en daarnaast aparte (MID-kwaliteit) meters worden geïnstalleerd voor de warmtepomp en de zonnepanelen. Daaromheen worden soms nog heel veel andere sensoren of apparaten uitgelezen – denk aan de thermostaat, de warmtepomp of de omvormer – en soms gebeurt dat helemaal niet. In de ETD wordt een ondergrens gesteld aan welke variabelen beschikbaar moeten zijn voor woningen voordat ze kunnen worden opgenomen. Naast meetdata gaat het dan ook over metadata, die iets zegt over de woning, de kwaliteit van de woningschil, de geplaatste installaties en het lokale klimaat. Daarnaast worden overige beschikbaar meetgegevens wel opgenomen in de ETD, voor specifieke studies of het kunnen trainen van een AI-model. In het gebruikte datamodel zitten de inhoudelijke variabelen zoals beschreven in tabel 19 vanaf de volgende pagina. De laatste kolom geeft daarbij aan voor hoeveel van de woningen in de dataset deze variabele beschikbaar is. Op energietransitiedataset.nl staat uitgebreid beschreven op welke wijze met data is omgegaan.

»

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Metadata	ProjectIdBSV	nvt	vaste waarde	code toegekend door Stroomversnelling	100%
Metadata	HuisIdBSV	nvt	vaste waarde	code toegekend door Stroomversnelling	100%
Metadata	Weerstation	nvt	vaste waarde	dichtstbijzijnde KNMI weerstation	100%
Metadata	Oppervlakte	m^2	vaste waarde	Ag, oftewel m^2 gebruiksoppervlak	100%
Metadata	Compactheid	factor	vaste waarde	Als/Ag, oftewel m^2 verliesoppervlak / m^2 gebruiksoppervlak	100%
Metadata	Warmtebehoefte	kWh/m^2/jaar	vaste waarde	kWh_th/m^2/jr, volgens NTA8800	100%
Metadata	Eigenaarschap	nvt	vaste waarde	Kiezen uit: Woningcorporatie, Particulier, Particuliere Verhuur, Overheid, Anders	100%
Metadata	Nieuwheid	nvt	vaste waarde	Kiezen uit: Nieuwbouw, Renovatie	100%
Metadata	Bouwjaar	jaartal	vaste waarde	Oorspronkelijk bouwjaar	100%
Metadata	Renovatiejaar	jaartal	vaste waarde	Jaar van renovatie	100%
Metadata	WoningType	nvt	vaste waarde	Wat voor woningbouw is het? Kiezen: EGW, MGW	100%
Metadata	WoningTypeDetail	nvt	vaste waarde	Wat voor woningbouw is het? Kiezen: Tussenwoning, Hoekwoning, 2-onder-1-kap, Vrijstaand, Portieketage, Galerij, Anders	100%
Metadata	WarmteopwekkerType	nvt	vaste waarde	Merk en productcode van warmteopwekker	90%
Metadata	WarmtepompKoudemiddel	nvt	vaste waarde	Het eventuele gebruikte koudemiddel	90%
Metadata	WarmtepompVermogenTh	kW	vaste waarde	In kW, met één decimaal. Het door de fabrikant in reclame-uitingen vermelde thermische vermogen van de warmtepomp(combinatie).	90%
Metadata	WarmtepompElElement	nvt	vaste waarde	Ja/Nee. Of de warmtepomp (inclusief boilervat/thermische opslag) een elektrisch element heeft, oftewel een booster.	90%
Metadata	WarmtepompElAansluiting	nvt	vaste waarde	Kiezen: 1) 16A, 2)2x16A, 3) Grotere aansluiting. Dit betreft de aansluiting van warmtepomp inclusief boiler/thermische opslag.	90%
Metadata	WarmtepompBron	nvt	vaste waarde	Kiezen: 1) Lucht, 2) Bodem verticaal, 3) Bodem horizontaal, 4), Bronnet, 5) PVT, 6) Anders, 7) Ventilatielucht	100%
Metadata	WarmteopwekkerCategorie	nvt	vaste waarde	Hoe wordt verwarmd? Kiezen: Hybride warmtepomp, Lucht-water warmtepomp, Water-water warmtepomp, Lucht-lucht warmtepomp, Anders	100%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Metadata	Warmteopwekker	nvt	vaste waarde	Hoe wordt verwarmd? Kiezen: Collectief, Individueel	100%
Metadata	BoilervatVolume	liter	vaste waarde	In liter. Volume van het boilervat of volume-equivalent van thermische opslag.	80%
Metadata	AfgiftesysteemCategorie	nvt	vaste waarde	Hoe wordt warmte aan de woning afgegeven? Kiezen: Radiator, LT Radiator, Convector, LT Convector, Vloerverwarming, Lucht, Infrarood, Anders	100%
Metadata	Ventilatiesysteem	nvt	vaste waarde	Hoe wordt geventileerd? Kiezen: Natuurlijke ventilatie, Type C, Type D, Type E	100%
Metadata	Kookinstallatie	nvt	vaste waarde	Hoe wordt gekookt? Kiezen: Gas, Inductie, Anders	100%
Metadata	PVMerk	nvt	vaste waarde	Merk van de geplaatste PV panelen.	80%
Metadata	PVType	nvt	vaste waarde	Producttype van de geplaatste PV panelen; productnummer	20%
Metadata	PVWattpiekPerPaneel	Wp	vaste waarde	Wattpiek per paneel van de geplaatste panelen.	20%
Metadata	EPV	nvt	vaste waarde	Wordt EPV geïnd? Kiezen: EPV 1.0, EPV 2.0 Basis, EPV 2.0 Hoogwaardig, Nee, Niet bekend	100%
Metadata	DakType	nvt	vaste waarde	Wat voor dak? Kiezen: Plat, Zadel of Anders	100%
Metadata Berekend	VerliesOppervlak	m^2	vaste waarde	Compactheid * Oppervlakte	100%
Prestatiedata	ReadingDate		5 minuten	Format: YYYY-MM-DD HH:MM:SS	100%
Prestatiedata	ElektriciteitNetgebruikHoog	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitNetgebruikLaag	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitTerugleveringHoog	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitTerugleveringLaag	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitVermogen	W	5 minuten	W	100%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikWTW	kWh	5 minuten	kWh	80%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikWarmtepomp	kWh	5 minuten	kWh (door losse MID-kwaliteit kWh meter)	100%
Prestatiedata	Elektriciteitsgebruik WarmtepompIntern	kWh	5 minuten	kWh (door interne kWh meter)	40%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikBooster	kWh	5 minuten	kWh (elektrisch element in warmtepomp)	100%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikBoilervat	kWh	5 minuten	kWh (spiraal in boilervat)	100%
Prestatiedata	TemperatuurBoilervat	°C	5 minuten	graden C (sensor in boilervat, vlakbij uitgang)	40%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Prestatiedata	TemperatuurWarmTapwater	°C	5 minuten	graden C (sensor in leiding, vlakbij uitgang boilervat)	30%
Prestatiedata	TemperatuurWoonkamer	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door thermostaat)	40%
Prestatiedata	TemperatuurSetpointWoonkamer	°C	5 minuten	graden C	40%
Prestatiedata	TemperatuurBinnenWTW	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door ventilatiesysteem)	40%
Prestatiedata	TemperatuurBuitenWTW	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door ventilatiesysteem)	40%
Prestatiedata	TemperatuurBuitenWarmtepomp	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door de warmtepomp)	40%
Prestatiedata	TemperatuurAfgifteAanvoer	°C	5 minuten	graden C	40%
Prestatiedata	TemperatuurAfgifteRetour	°C	5 minuten	graden C	40%
Prestatiedata	WarmteproductieWarmtepomp	GJ	5 minuten	GJ (=WarmteproductieRuimteverwarming + WarmteproductieTapwater)	20%
Prestatiedata	WatergebruikWarmtepomp	liter	5 minuten	Debiet, in liter (=WatergebruikWarmTapwater + WatergebruikRuimteverwarming)	40%
Prestatiedata	Mode		5 minuten	0 = idle (stand-by) 1 = warm tapwater 2 = ruimteverwarming 3 = ruimtekoeling 4 = storing 5 = ontdooicyclus 6 = legionellacyclus	40%
Prestatiedata	Zon-opwekMomentaan	kW	5 minuten	kW (momentaan)	100%
Prestatiedata	Zon-opwekTotaal	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	CO_2	ppm	5 minuten	ppm (momentaan)	40%
Prestatiedata	Luchtvochtigheid	%	5 minuten	% relatieve luchtvochtigheid (momentaan)	40%
Prestatiedata	Ventilatiedebiet	m^3 / uur	5 minuten	m^3/uur (momentaan)	40%
Omgevingsdata	Windrichting	graden	1 uur	Windrichting (in graden) gemiddeld over de laatste 10 minuten van het afgelopen uur (360=noord, 90=oost, 180=zuid, 270=west, 0=windstil 990=veranderlijk	100%
Omgevingsdata	WindsnelheidUur	m/s	1 uur	Uurgemiddelde windsnelheid (in 0.1 m/s)	100%
Omgevingsdata	Windsnelheid10min	m/s	1 uur	Windsnelheid (in 0.1 m/s) gemiddeld over de laatste 10 minuten van het afgelopen uur	100%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Omgevingsdata	WindsnelheidMax	m/s	1 uur	Hoogste windstoot (in 0.1 m/s) over het afgelopen uurvak	100%
Omgevingsdata	TemperatuurBuitenWeerstation	°C	1 uur	Temperatuur (in 0.1 graden Celsius) op 1.50 m hoogte tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	TemperatuurBuitenMin6u	°C	1 uur	Minimumtemperatuur (in 0.1 graden Celsius) op 10 cm hoogte in de afgelopen 6 uur	100%
Omgevingsdata	TemperatuurDauwpunt	°C	1 uur	Dauwpuntstemperatuur (in 0.1 graden Celsius) op 1.50 m hoogte tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	ZonDuur	0.1 uren	1 uur	Duur van de zonneschijn (in 0.1 uren) per uurvak, berekend uit globale straling (-1 for <0.05 uur)	100%
Omgevingsdata	ZonStraling	J/cm^2	1 uur	Globale straling (in J/cm^2) per uurvak	100%
Omgevingsdata	NeerslagDuur	0.1 uren	1 uur	Duur van de neerslag (in 0.1 uur) per uurvak	100%
Omgevingsdata	NeerslagHoeveelheid	0.1 mm	1 uur	Uursom van de neerslag (in 0.1 mm) (-1 voor <0.05 mm)	100%
Omgevingsdata	Luchtdruk	0.1 hPa	1 uur	Luchtdruk (in 0.1 hPa) herleid naar zeeniveau, tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Zicht	km	1 uur	Horizontaal zicht tijdens de waarneming (0=minder dan 100m, 1=100-200m, 2=200-300m,..., 49=4900-5000m, 50=5-6km, 56=6-7km, 57=7-8km, ..., 79=29-30km, 80=30-35km, 81=35-40km,..., 89=meer dan 70km)	100%
Omgevingsdata	Bewolking	nvt	1 uur	Bewolking (bedekkingsgraad van de bovenlucht in achtsten), tijdens de waarneming (9=bovenlucht onzichtbaar)	100%
Omgevingsdata	LuchtvochtigheidWeerstation	%	1 uur	Relatieve vochtigheid (in procenten) op 1.50 m hoogte tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Weercode	nvt	1 uur	Weercode (00-99), visueel(WW) of automatisch(WaWa) waargenomen, voor het actuele weer of het weer in het afgelopen uur.	100%
Omgevingsdata	WeercodeWaarneming	nvt	1 uur	Weercode indicator voor de wijze van waarnemen op een bemand of automatisch station (1=bemand gebruikmakend van code uit visuele waarnemingen, 2,3=bemand en weggelaten (geen belangrijk weersverschijnsel, geen gegevens), 4=automatisch en opgenomen (gebruikmakend van code uit visuele waarnemingen), 5,6=automatisch en weggelaten (geen belangrijk weersverschijnsel, geen gegevens), 7=automatisch gebruikmakend van code uit automatische waarnemingen)	100%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Omgevingsdata	Mist	nvt	1 uur	Mist 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Regen	nvt	1 uur	Regen 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Sneeuw	nvt	1 uur	Sneeuw 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Onweer	nvt	1 uur	Onweer 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	IJsvorming	nvt	1 uur	Ijsvorming 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Prestatiedata Berekend	TerugleveringTotaalNetto	kWh	5 minuten	ElektriciteitTerugleveringLaagDiff + ElektriciteitTerugleveringHoogDiff	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaalNetto	kWh	5 minuten	ElektriciteitNetgebruikLaagDiff + ElektriciteitNetgebruikHoogDiff	100%
Prestatiedata Berekend	Netuitwisseling	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikTotaalNetto - TerugleveringTotaalNetto	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaal Warmtepomp	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikWarmtepompDiff + Elektriciteits-gebruikBoosterDiff + ElektriciteitsgebruikBoilervatDiff	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaal Gebouwgebonden	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikTotaalWarmtepomp + Elektriciteits-gebruikWTWDiff + ElektriciteitsgebruikRadiatorDiff	100%
Prestatiedata Berekend	ZonopwekBruto	kWh	5 minuten	Zon-opwekTotaalDiff	100%
Prestatiedata Berekend	Elektriciteitsgebruik Totaal Huishoudelijk	kWh	5 minuten	Netuitwisseling + ZonopwekBruto - Elektriciteitsgebruik TotaalGebouwgebonden	100%
Prestatiedata Berekend	Zelfgebruik	kWh	5 minuten	ZonopwekBruto - TerugleveringTotaalNetto	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaal Bruto	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikTotaalNetto + Zelfgebruik	100%

Tabel 19: beschikbare variabelen in de ETD

Het datamodel blijft zich ontwikkelen naarmate er meer met de data gewerkt wordt.

Woningen in de Energietransitie Dataset

Op moment van schrijven bevinden zich 259 woningen in de ETD, verdeeld over 6 projecten. Kenmerken van deze woningen zijn, in het meetjaar:

Project	**Aantal woningen**	**Warmte-behoefte NTA8800**	**Warmte-opwekker**	**Ventilatie-systeem**	**Vloer-oppervlak** (GO_gemiddeld)	**Woning-type**	**Verbruik warmte-pomp** (per 100 m^2)	**Verbruik huishoudelijk** (per 100 m^2)	**Totaal-verbruik bruto** (per 100 m^2)	**Zonopwek bruto** (per 100 m^2)	**Meetjaar**
#	#	kWh_th / m^2 / jaar	type	type	m^2	type	kWh_e / jaar	kWh_e / jaar	kWh_e / jaar	kWh_e / jaar	jaartal
1	100	30	Lucht-water warmtepomp	Type D	115	Rijwoning	1932	2427	4612	6486	2019
2	28	54	Lucht-water warmtepomp	Type D	87	Rijwoning	2043	2970	5150	6781	2023
3	29	35	Bodem-warmtepomp	Type D	91	Rijwoning	1351	2368	3882	3610	2023
4	26	18	Bodem-warmtepomp	Type D	85	Rijwoning	1640	2412	4192	5683	2023
5	25	33	Lucht-water warmtepomp	Type D	78	Rijwoning	1827	2092	3977	6858	2023
7	50	126	Lucht-water warmtepomp	Natuurlijk + gedeeltelijk type C	99	Rijwoning	2487	2583	5462	5261	2023
TOT / Gem.	259	51			100		1949	2476	4652	5910	

Tabel 20: beschikbare woningen met monitoring- en metadata in de ETD

Project 6 is afgevallen omdat van minder dan 20 woningen goede monitoringdata beschikbaar was. De meetresultaten van alle woningen - waarbij wordt bedoeld de slimme meter data, de warmtepomp en zonnepaneelomvormer meetdata en alle data die daaruit zijn berekend - zijn in de analyse en resultaten lineair genormaliseerd naar een vloeroppervlak van 100 m^2. Het is bekend dat bij kleine of juist grote vloeroppervlakken een lineaire normalisatie niet de beste voorspeller is, maar omdat alle woningen in de dataset tussen de 75 en 125 m^2 liggen, is dit als een acceptabele benadering gezien. Bij alle projecten is de oppervlakte vrijwel gelijk, behalve bij project 7. Daar zitten iets grotere verschillen tussen de woningen, en komt het gemiddelde uit op 99 m^2.

Tijdmeting

Afwijkingen in tijdmeting bij energiemonitoring kunnen optreden door verkeerd ingestelde meetapparatuur, synchronisatieproblemen tussen verschillende metingen, of een gebrek aan een uniforme tijdstandaard, wat leidt tot onbetrouwbare gegevens en inefficiënte analyse. Correcte tijdmeting is essentieel voor het nauwkeurig vaststellen van verbruikspatronen, het detecteren van onnodig energieverbruik en het implementeren van effectieve besparingsmaatregelen. Voor nadere toelichting kijk op energietransitiedataset.nl.

Gelijktijdigheid

Gelijktijdigheid in het kader van netcongestie verwijst naar de mate waarin verschillende gebruikers of installaties op hetzelfde moment elektriciteit afnemen of terugleveren aan het elektriciteitsnet. Hoe hoger de gelijktijdigheid, hoe groter de piekbelasting op het elektriciteitsnet, wat kan leiden tot congestieproblemen. In de praktijk betekent dit bijvoorbeeld dat als meerdere woningen in een wijk of buurt gelijktijdig hun elektrische kookplaat of warmtepompen gebruiken, de gezamenlijke belasting op het net tijdelijk de beschikbare capaciteit kan overschrijden.

Gelijktijdigheid wordt gebruikt als een rekenfactor bij het ontwerpen en plannen van netinfrastructuur. Netbeheerders gebruiken gelijktijdigheidsfactoren om in te schatten hoeveel capaciteit daadwerkelijk nodig is, omdat niet alle aangesloten gebruikers op elk moment het maximale vermogen gebruiken. Tegelijkertijd is het beheersen van gelijktijdigheid ook een strategie om netcongestie te verminderen, bijvoorbeeld door middel van flexibiliteitsdiensten, slimme sturing of tijdgebonden contracten die gebruikers stimuleren om hun verbruik te spreiden.

Bij het begrip gelijktijdigheid wordt vaak gekeken naar de verhouding tussen de verwachte netbelasting en een referentiebelasting, waarbij het totale energiegebruik van de woning – zowel huishoudelijk als voor verwarming – wordt meegenomen. Voor het aandeel verwarming wordt op koude winterdagen doorgaans een hogere gelijktijdigheid aangenomen, terwijl voor elektrisch koken juist een lagere waarde geldt. Op basis van aanvullende aannames, zoals het rendement van warmtepompen, wordt vervolgens een inschatting van de netbelasting gemaakt.

Gelijktijdigheid kan echter ook worden afgeleid uit monitoringsdata. Dan gaat het over de verhouding tussen de gemiddelde netbelasting van een groep woningen, bijvoorbeeld achter een transformatorhuisje, en de theoretisch maximale netbelasting van al die woningen. Die eerste component is bij de woningen in de Energietransitie Dataset gemeten op projectniveau. Voor de bepaling van de tweede component – de theoretisch maximale netbelasting – wordt in de Energietransitie Dataset het gemeten maximale gebruik van de woning met het hoogste verbruik gebruikt. Dit verschilt van moment tot moment in de tijd, dus dit is een fluctuerend maximum.

In de situatie waarbij meetdata beschikbaar is heeft de indicator 'gelijktijdigheid' weinig toegevoegde waarde, want de piek wordt gemeten en daaruit kan een gemiddelde piek over de tijd worden bepaald. Het begrip gelijktijdigheid is nodig als je gaat modelleren en er geen monitoringsdata beschikbaar is.

In dit onderzoek wordt geprobeerd uit de meetdata terug te gaan naar 'gelijktijdigheid' (ter verbetering van modellen). Dan ontstaat het probleem dat het niet duidelijk is welk 'maximum' gekozen moet worden. Als de keuze wordt gemaakt voor 'fluctuerend maximum' dan is de 'gelijktijdigheid' vrij laag. Als de keuze wordt gemaakt voor een vast maximum, is de gelijktijdigheid nog veel lager. Want dit is het maximum van één woning op een bepaald moment in de tijd.

Daarmee geeft de gelijktijdigheid afgeleid vanuit monitoringsdata zicht op de verhouding van de gelijktijdige piekvraag van de groep woningen tot het verbruik van een woning die op dat moment het meest gebruikt. Die gelijktijdigheid kan vervolgens op elk moment van het jaar worden bekeken en al dan niet worden gemiddeld over bepaalde periodes van het jaar die maatgevend zijn (bijvoorbeeld in de winter tussen 17 en 21 uur).

$$Gelijktijdigheid = P_{groep}(t) / max(P_{individueel}(t))$$

waarbij:

- $P_{groep}(t)$ = totale piek vermogensvraag van de groep woningen in tijdsperiode t
- max ($P_{individueel}$ (t)) = hoogste individuele verbruik in tijdsperiode t
- t = de tijdsperiode zelf: t = [t start, t eind]
- t start = beginmoment van de periode
- t eind = eindmoment van de periode

Het gelijktijdig piekvermogen is uiteindelijk het totale gevraagde vermogen van alle woningen samen, gedeeld door het aantal woningen. Dit kan op elk moment van het jaar bepaald worden.

Verwachte woningen in de Energietransitie Dataset

Gedurende de totstandkoming van dit document is gewerkt aan het verkrijgen van aanvullende datasets met monitoringdata. Dat heeft geleid tot een aantal partijen dat heeft aangegeven monitoringdata te hebben en onder voorwaarden bereid te zijn dat te delen. Dit betreft monitoringdata van woningen met aanpakken behorend bij warmtestrategieën S1, S3 en S4 uit de Startanalyse. Daarvan is inmiddels ontvangen:

- Ruim 120 woningen verdeeld over 4 projecten, gemonitord door O-Nexus. Dit betreft appartementen en 2-onder-1-kap woningen met respectievelijk ventilatiewarmtepompen en bodemwarmtepompen (S1 in de Startanalyse).

- Ruim 150 woningen verdeeld over 1 heterogeen project, gemonitord voor het Demonstratieproject Hybride Warmtepompen. Dit betreft verschillende soorten woningen met hybride warmtepompen (S4 in de Startanalyse).

Helaas zijn deze datasets te laat beschikbaar gekomen om ze mee te kunnen nemen bij de analyse voor deze rapportage.

B2. KLIMAATCORRECTIE

Representativiteit klimaat van gebruikte meetdata

De voor de analyse gebruikte meetdata is verzameld in 2019 en 2023. Dit waren jaren waarin geen zeer koude winter optrad. Ondanks klimaatopwarming zullen ook in de toekomst nog af en toe (zeer) koude winters plaatsvinden. Het is daarom een terechte vraag hoe representatief de gemeten data zijn voor het voorspellen van de netbelasting tijdens een zeer koude winter. Om die reden is besloten dat de gemeten data gecorrigeerd moet worden voor klimatologische omstandigheden om er relevante conclusies uit te kunnen trekken. Dit hoofdstuk beschrijft hoe dat gedaan is.

Referentieklimaat

Verschillende partijen hanteren verschillende uitgangspunten als het gaat over welke klimatologische omstandigheden als referentie genomen zouden moeten worden voor het schatten van een 'worst case' energie scenario. Daarbij is het doel om te voorkomen dat het elektriciteitsnet uitvalt juist op het moment dat iedereen dringend behoefte heeft aan warmte, namelijk bij een koudegolf. Met een beetje pech is er op dat moment ook nog sprake van een dunkelflaute, namelijk weinig zon en wind. Weinig zon werkt op twee manieren nadelig, ten eerste omdat de woning geen baat heeft van passieve warmte die de woning in straalt en ten tweede omdat er dan minder lokale duurzame opwek beschikbaar is.

In gesprek met de technische experts van Stedin en Liander is geconcludeerd dat 1991 een voldoende streng klimaatjaar is om een relevant beeld te krijgen van netbelasting in koude omstandigheden. Voor de zoninstraling wordt het jaar aangehouden waarin de metingen zijn verricht, omdat geen volledig dynamisch warmtestromenmodel van de woningen is gemaakt.

Indicator	2023 (tijdens monitoring)	2019 (tijdens monitoring)	NEN5060: 2021	1991 (gekozen als referentiejaar)
Gewogen graaddagen	2437	2648	2799	3177
Jaargemiddelde effectieve temperatuur	8.8 °C (Lokaal)	8.1 °C (Lokaal)	10.5 °C (De Bilt)	7.6 °C (De Bilt)
Laagste daggemiddelde temperatuur	-1.4 °C (Lokaal)	-2.5 °C (Lokaal)	-4,8 °C (De Bilt)	-8.5 °C (De Bilt)
Laagste effectieve daggemiddelde temperatuur	-2.8 °C (Lokaal)	-4.1 °C (Lokaal)	-7,7 °C (De Bilt)	-12.3 °C (De Bilt)
Toelichting	*Projecten 2 t/m 7*	*Project 1*	*Samengesteld jaar. Hier rekent de NTA8800 mee.*	*Inclusief koudegolf*

Tabel 21: overzicht verschillende klimaatjaren

Effectieve temperatuur

Het KNMI publiceert datasets met per weerstation in Nederland uurlijkse meetwaarden die decennia teruggaan. Een belangrijke meetwaarde die voor de berekeningen in dit documenten gebruikt is is de buitentemperatuur. Om echter een betere afspiegeling te krijgen van het effect van de buitentemperatuur op de warmtevraag in de woning is gebruikgemaakt van de effectieve buitentemperatuur. Deze effectieve temperatuur is gelijk aan de gemeten temperatuur gecorrigeerd voor de windsnelheid [2]). Een hogere windsnelheid leidt tot een sneller afkoelende woning.

De formule voor het berekenen van de effectieve temperatuur is als volgt:

$$T_{eff} = T_{gem} - \frac{2}{3} * U_{gem}$$

Waarbij:

- T_{eff} : De effectieve temperatuur (°C)
- T_{gem} : De gemiddeld gemeten temperatuur (°C) over het betreffende tijdsinterval
- U_{gem} : De gemiddeld gemeten windsnelheid (m/s) over het betreffende tijdsinterval

[2] *Wever, Nander. "Effectieve temperatuur en graaddagen." Klimatologie en klimaatscenario's. KNMI publicatie 219 (2008)*

Klimaatcorrectiemethode

Voor de bepaling van netbelasting is het niet alleen belangrijk om te weten hoeveel meer warmte een woning nodig heeft bij een koude winter, maar ook wanneer op de dag die warmte wordt opgewekt en dus elektriciteit wordt gevraagd van het net. Reguliere methoden om meetdata te corrigeren voor een ander klimaat doen daarbij een aantal aannames over:

- Verbruiksprofielen
- Warmteverlies van een aantal voorbeeldwoningen
- Opwekrendementen van de warmteopwekkers
- Gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag

Om een tweetal redenen is besloten om niet bij deze methoden aan te sluiten:

- Een standaardverbruiksprofiel voor een vastgesteld aantal voorbeeldwoningen is wellicht voldoende om een inschatting te maken voor grote aantallen woningen, maar doet onvoldoende recht aan de diversiteit van woningen en bewoners op straatniveau. Dit zou het ook erg moeilijk of zelfs onmogelijk hebben gemaakt om het effect van maatregelen goed door te kunnen rekenen, omdat immers per woning moet worden gekeken wat voor effect een maatregel heeft. Kortom: er was een sterke wens om als startpunt werkelijke data te hebben in plaats van standaarddata. Overigens: voor renovatieprojecten in de praktijk is het juist ook belangrijk te weten wat een bepaalde aanpak betekent voor bewoner X met zijn/haar specifieke verbruiksprofiel.

- Uit de meetdata van de ETD kwamen aanwijzingen dat de aannames over, in het bijzonder, de gelijktijdigheid niet lijken te stroken met de praktijk.

Daarom is voor dit document een nieuwe methode ontwikkeld om meetdata te corrigeren voor klimaat. Die methode kent de volgende stappen, die per stuk verder worden toegelicht:

1. De verschillende **dagen** van het referentie klimaatjaar (1991) zijn **gekoppeld** aan de dagen tijdens het verzamelen van meetdata (2019 en 2023). Ze zijn zo gekoppeld dat ze zo dicht mogelijk bij gemeten data blijven.

2. Per woning is de **'weergevoeligheid'** ofwel 'energy signature' bepaald. Deze weergevoeligheid geeft aan hoeveel meer of minder energie het warmteopwekkend systeem - dat wil zeggen de warmtepomp, inclusief boilervat en elektrisch element - naar verwachting gaat gebruiken bij een andere effectieve buitentemperatuur.

3. Per woning is per dag vastgesteld **hoeveel energie meer of minder** het warmteopwekkend systeem zou moeten gebruiken in 1991 om in hetzelfde gebruikspatroon te kunnen voorzien.

4. Per project-warmtepomp combinatie is vastgesteld welke **vier gebruiksniveaus** mogelijk zijn. Dit zegt iets over of een warmtepomp in standby staat, in normale verwarmingsmodus staat ('laag'), in tapwater- of extra verwarmingsmodus staat ('hoog') of in boostermodus staat ('booster').

5. Per woning wordt de verandering van energiebehoefte per dag voor het warmteopwekkend systeem **een plek gegeven** binnen de 288 intervallen van 5 minuten. De extra benodigde energie per dag wordt op een slimme manier verdeeld over 'partjes' van 5 minuten.

6. Daarmee ontstaat een **nieuwe dataset** met 5-minuten waarden voor de gemeten woningen, alsof het 1991 was ten tijde van meten.

STAP 1. Koppelen van dagen

Om zo dicht mogelijk bij de gemeten data te blijven, worden de dagen van het jaar niet één op één aan elkaar gekoppeld. Een specifieke datum, zoals 25 oktober, kan immers in het ene jaar warm en zonnig zijn, terwijl diezelfde dag in een ander jaar koud en stormachtig is. Een directe koppeling zou dan leiden tot een groot temperatuurverschil (delta-T), wat de nauwkeurigheid van de analyse zou verminderen. In plaats daarvan worden alle dagen binnen een maand — van laag naar hoog — gesorteerd op het 24-uurs gemiddelde van de effectieve buitentemperatuur volgens KNMI-metingen van het dichtstbijzijnde weerstation, zowel voor het meetjaar als voor het referentiejaar 1991. Vervolgens worden de dagen op basis van hun positie in die rangorde aan elkaar gekoppeld. Zo kan het bijvoorbeeld gebeuren dat 25 oktober 2019 wordt gekoppeld aan 19 oktober 1991, omdat beide dagen op dezelfde rangorde staan qua effectieve buitentemperatuur in de maand.

Deze methode wordt per maand toegepast in plaats van per jaar, om rekening te houden met de veranderende zoninstraling gedurende het jaar.

STAP 2. Bepalen van de weergevoeligheid

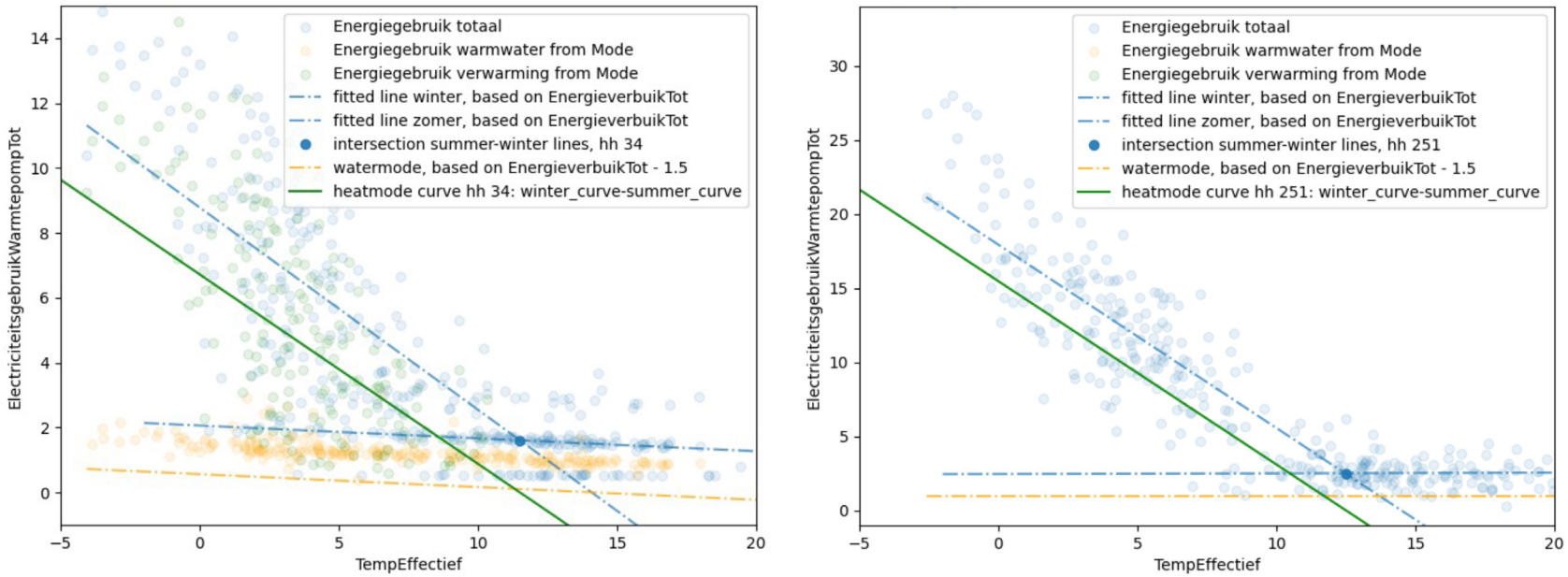
De weergevoeligheid geeft aan hoeveel extra elektriciteit (in kWh) het warmteopwekkingssysteem van een woning nodig heeft per graad Celsius daling van de effectieve buitentemperatuur. Dit geldt voor systemen zoals warmtepompen, boilervaten en elektrische elementen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee trendlijnen:

De weergevoeligheid wordt bepaald door in een grafiek het daadwerkelijke dagelijkse energieverbruik (24 uur) van warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) uit te zetten tegen de effectieve buitentemperatuur. Vervolgens worden twee trendlijnen getrokken:

- Voor temperaturen onder de 13 °C wordt de wintergevoeligheid bepaald via een ‘least squares’-trendlijn. Dit is de trendlijn wanneer de woning verwarmd moet worden. De temperatuur van 13°C is gekozen omdat in bijna alle woningen bij die buitentemperatuur binnen verwarmd wordt.

- Voor temperaturen boven de 13 °C wordt de zomergevoeligheid op dezelfde manier vastgesteld. Dit is de trendlijn wanneer de woning niet of nauwelijks verwarmd hoeft te worden en er praktisch alleen warm tapwater gemaakt wordt. Mogelijk zitten hier ook een aantal dagen in waarop de woning wel verwarmd wordt, wat dan zou leiden tot een zomergevoeligheid die iets hoger is dan de realiteit. Uit de berekeningen blijkt echter dat de zomergevoeligheid erg laag is en dit dus geen probleem lijkt.

Het snijpunt van deze twee lijnen geeft de temperatuur aan waarbij de woning niet langer verwarmd hoeft te worden. Ten voorbeeld de grafieken voor twee willekeurige woningen uit de dataset:



Figuur 6: twee grafieken die de weergevoeligheid van twee woningen schetst

Daarbij zijn vooral de blauwe stippellijnen belangrijk. De groene en gele lijnen zijn gebruikt voor verdere analyse, maar niet doorslaggevend voor de klimaatcorrectie.

Aan de 'koude kant' van de grafiek wordt de wintertrendlijn lineair doorgetrokken. Hierbij wordt niet volledig rekening gehouden met het afnemende rendement (COP) van warmtepompen bij lagere temperaturen. Omdat er onvoldoende data beschikbaar was voor een complexer model, is gekozen voor deze benadering. Wel trekken de lagere COP's op gemeten koude winterdagen de trendlijn aan de linkerkant naar boven, en worden eventuele onnauwkeurigheden verder gecompenseerd in stappen 4 en 5 van de methode, zoals hieronder beschreven.

Van alle woningen is de weergevoeligheid op deze manier vastgesteld.
Per project in de dataset betekent dat gemiddeld:

Project	Weergevoeligheid woning in de zomer	Weergevoeligheid verwarmingplus	Weergevoeligheid woning in de winter	Bron warmtepomp	Warmtebehoefte	Netbelasting – piek vermogensvraag	Netbelasting – piek vermogensvraag tijdens de spits (17-21u)
	kWh / dag / °C (= waterplus)	*kWh / dag / °C*	*kWh / dag / °C (= verwarmingplus + waterplus)*		*kWh_th / m^2 / jaar*	*kW / 100 m^2 in 1991, per uur*	*kW / 100 m^2 in 1991, per uur*
1	0.09	0.70	0.79	Lucht	30	1.6	1.6
2	0.07	0.72	0.79	Lucht	54	2.0	2.0
3	0.01	0.43	0.44	Bodem	35	1.4	1.4
4	0.01	0.45	0.46	Bodem	18	1.4	1.3
5	0.10	0.65	0.75	Lucht	33	1.4	1.4
7	0.09	1.25	1.34	Lucht	126	2.2	2.2
Gem.	0.06	0.70	0.76		51	1.7	1.6

Tabel 22: weergevoeligheid (gemiddeld) per project

De termen ‘waterplus’ en ‘verwarmingplus’ staan hieronder toegelicht.
Voor het leesgemak zijn aan deze tabel ook de conclusies aangaande de netbelasting toegevoegd.

STAP 3. Bepalen nieuwe energiebehoefte

De richtingscoëfficiënten van de twee trendlijnen (zomergevoeligheid en wintergevoeligheid) worden gebruikt om een voorspelling te doen voor het nieuwe energiegebruik tijdens een ander klimaatjaar. Een belangrijk aandachtspunt daarbij is de afstand op de y-as van de gemeten dagwaarde tot de trendlijn, de 'offset'. Deze afstand zegt iets over:

- Zoninstraling;
- Bewonersgedrag (thermostaatinstelling, ramen open, afwezigheid, extra douchen, enzovoorts);
- Rendement van het warmteopwekkend systeem.

Deze afstand is daarom 'meegenomen', dat wil zeggen: de trendlijn voorspelt bijvoorbeeld voor 25 oktober van het gemeten jaar een energiebehoefte van 4 kWh. In de praktijk is daar echter 2 kWh gebruikt. In 1991 was het twee graden kouder, waardoor de voorspelde nieuwe energiebehoefte 5,5 kWh wordt. De energiebehoefte waar dan mee gerekend is is 3,5 kWh. Dezelfde afstand tot de trendlijn blijft behouden. Dit is een benadering die de werkelijkheid nooit helemaal zal voorspellen – bewoners kunnen immers hun gedrag aanpassen aan een andere buitentemperatuur en daarnaast is in de klimaatcorrectie de originele zoninstraling behouden. Toch is deze methode gebruikt, omdat niet precies bekend is wat de offset veroorzaakt en het niet realistisch is dat het werkelijke gebruik de voorsprelde trendlijn precies volgt.

Daarnaast wordt de voorspelde nieuwe energiebehoefte gesplitst in twee delen:

- *waterplus:* het aandeel van de energiebehoefte dat naar verwachting nodig is voor het bereiden van warm tapwater, de legionellacyclus en een basisgebruik dat overeenkomst met de standbymodus;
- *verwarmingplus:* het aandeel van de energiebehoefte dat naar verwachting nodig is voor ruimteverwarming, ontdooicyclus en eventuele ruimtekoeling.

Deze splitsing is van belang voor de stappen 4 en 5.

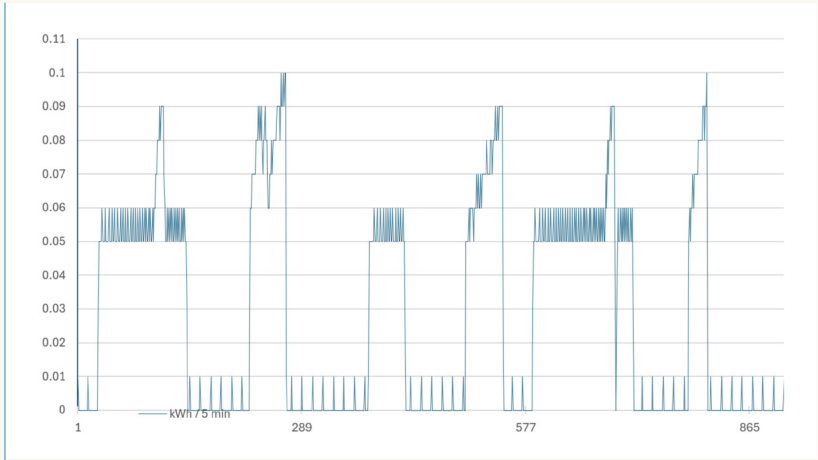
STAP 4. Verbruikniveaus bepalen

Elk warmteopwekkend systeem (warmtepomp, boilervat en elektrisch element) heeft zijn eigen 'vingerafdruk' met verbruikspatronen. Toch gelden voor all-electric systemen met warmtepomp ook een aantal algemene vuistregels:

- Bij **ruimteverwarmingsvraag** draait de warmtepomp meestal voor langere tijd op een relatief laag verbruiksniveau.
- Bij **tapwaterverwarmingsvraag** is de duur korter, maar het verbruik hoger. Er wordt ook meestal een hogere temperatuur geleverd dan voor ruimteverwarming.
- Het **standby-verbruik** ligt volgens de meting rond de 0-100 W. Per 5 minuten wordt er dan 0 tot 0.01 kWh verbruikt.
- Bij **koude winterdagen** liggen de verbruiksniveaus per 5 minuten voor ruimteverwarming en warm tapwater dicht bij elkaar.
- Voor uitzonderlijke gevallen is er een **piekverbruik** waarbij het elektrisch element inschakelt. Dit kan zijn omdat het elektrisch element wordt gebruik voor het legionellaprogramma, omdat de warmtepomp in storing staat terwijl er wel een warmtevraag is of omdat de warmtevraag hoger is dan waar de warmtepomp in regulier bedrijf in kan voorzien.

Een voorbeeld van een dergelijk verbruikspatroon is te zien in figuur 7:

De y-as geeft hier het aantal kWh weer dat per 5 minuten wordt verbruikt, de x-as het aantal intervallen van 5 minuten. Het gaat hier om het verbruikspatroon voor 3 dagen in de winter. Het verbruik tussen 0 en 0.01 is standbyverbruik. Het verbruik tussen 0.05 en 0.06 is voor ruimteverwarming. Het verbruik hoger dan dat is voor warm tapwater en legionella.



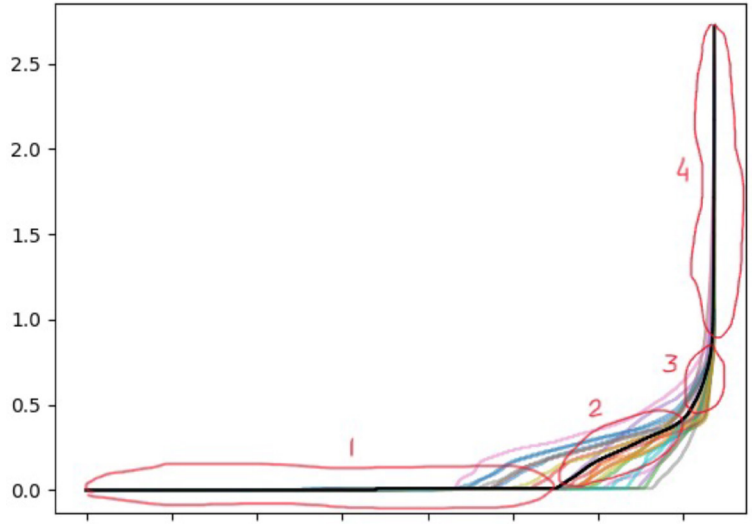
Figuur 7: verbruikspatroon van een warmtepomp gedurende drie dagen (tijdsresolutie 5 minuten)

In bovenstaand verbruikspatroon is het wel duidelijk, maar het is niet altijd met volledige zekerheid vast te stellen welke bedrijfsmodus bij welk moment van de dag hoort, met name omdat a) in de winter de niveaus voor tapwater en verwarming dichter bij elkaar liggen en b) sommige warmtepompen een veel grilliger patroon laten zien dan anderen. Handmatige toewijzing is ondoenlijk (26 miljoen tijdintervals) en machine learning bleek te veel false positives te bevatten en was in het algemeen niet betrouwbaar genoeg. Daarom is op basis van een analyse van elk van de in de dataset aanwezige soorten warmtepomp (i.e. merk en productcode) gekozen voor een indeling in vier niveaus:

1. **Standby**
2. **Laag:** vooral voor ruimteverwarming en -koeling, inclusief ontdooicyclus
3. **Middel:** vooral voor warm tapwater en legionella, ook voor ruimteverwarming op zeer koude dagen
4. **Hoog:** bij inzet elektrisch element (ook wel "booster")

De grenzen van deze vier niveaus zijn per type warmtepomp bepaald op basis van een grafiek zoals hiernaast. De zwarte lijn geeft hierbij de gemiddelden weer. Hierin zijn vier verschillende niveaus te zien, hier omcirkeld en van een cijfer voorzien dat correspondeert met de vier hierboven genoemde niveaus. Elk niveau is vervolgens voorzien van een ondergrens, bovengrens en verbruikswaarde. De verbruikswaarde is hierbij op 75% van de bovengrens gezet, namelijk bij benadering het gemiddelde gebruik binnen een bepaald niveau.

Elke warmtepomp heeft gedurende het meetjaar — zelfs in het relatief warme jaar 2023 — minstens één keer een hoog verbruik gehad (categorie 4). Het maximale verbruik is dus bekend en wordt in deze klimaatcorrectiemethode niet aangepast. Wel zal dit piekverbruik bij een koude winter vaker voorkomen, waardoor het gelijktijdige piekverbruik binnen een groep woningen vermoedelijk toeneemt.



Figuur 8: verbruikscategorieën met bijbehorende vermogensvraag per 5 minuten van een specifiek type warmtepomp

STAP 5. Toewijzen nieuwe energiebehoefte

In stap 3 is vastgesteld hoeveel energie het warmteopwekkingssysteem in 1991 dagelijks nodig zou hebben gehad, met een onderscheid tussen waterplus en verwarmingplus. In stap 4 is bepaald op welke momenten het systeem in het gemeten jaar een standby-, laag-, middel- of hoog verbruik had. In stap 5 worden deze gegevens gecombineerd, zodat alle benodigde energie uit 1991 een passende plek krijgt. Dit gebeurt in de volgende volgorde:

Meer energie nodig voor waterplus:

- Alle 5-minutenintervallen met middel verbruik en met standby verbruik worden toegewezen aan waterplus.
- 5-minutenintervallen met standby verbruik die dicht bij een moment met middel verbruik liggen, worden opgehoogd naar middel verbruik.
- 5-minutenintervallen met laag verbruik die dicht bij een moment met middel verbruik liggen, worden eveneens opgehoogd naar middel verbruik.

Meer energie nodig voor verwarmingplus:

- Alle 5-minutenintervallen met laag of hoog verbruik worden toegewezen aan verwarmingplus.
- Resterende 5-minutenintervallen met standby verbruik die dicht bij een moment met laag verbruik liggen, worden opgehoogd naar laag verbruik. Deze intervallen worden toegewezen aan verwarmingplus.
- 5-minutenintervallen met laag verbruik die dicht bij een moment met middel verbruik liggen, worden opgehoogd naar middel verbruik.
- 5-minutenintervallen met middel verbruik die dicht bij een moment met hoog verbruik liggen, worden opgehoogd naar hoog verbruik. Deze intervallen worden toegewezen aan verwarmingplus.

Onvoldoende capaciteit van de warmtepomp:

- Als na bovenstaande stappen nog steeds energie nodig is die niet kan worden toegewezen, betekent dit dat de woning in 1991 niet op de gewenste temperatuur kon worden gehouden. Dit wordt als zodanig genoteerd.

Minder energie nodig voor waterplus:

- 5-minutenintervallen met middel verbruik worden van buiten naar binnen ingekort, met een ondergrens van standby verbruik.

Minder energie nodig voor verwarmingplus:

- 5-minutenintervallen met hoog verbruik worden verlaagd naar middel verbruik.
- 5-minutenintervallen met middel verbruik worden verlaagd naar laag verbruik.
- 5-minutenintervallen met laag verbruik worden van buiten naar binnen ingekort, met een ondergrens van 0 kWh per dag.

STAP 6. Controle en nieuwe dataset

In elk van de stappen 1 tot en met 5 zijn logicatests uitgevoerd. Is de meetdata van voldoende kwaliteit om goede trendlijnen te schetsen van de weergevoeligheid? Tellen de berekende waarden op volgens verwachting? Kan alle in 1991 voor de warmtepomp benodigde elektriciteit een plekje op de dag krijgen? Lijkt de toename in de jaarverbruiken realistisch?

Tenslotte is het elektrisch verbruik door het warmteopwekkend systeem (warmtepomp en boilervat) opnieuw berekend alsof het 1991 zou zijn geweest tijdens het verzamelen van de meetdata. Hiermee worden ook de andere afhankelijke variabelen opnieuw berekend, zoals het totale bruto en netto energieverbruik van de woning, de teruglevering en het zelfverbruik.

Beperkingen klimaatcorrectiemethode

Elke methode om een klimaatcorrectie toe te passen heeft beperkingen. Het gaat tenslotte om het maken van een model van de werkelijkheid, ook als geprobeerd is om zo dicht mogelijk bij de gemeten werkelijkheid te blijven. De bekende beperkingen van de hier gebruikte methode zijn:

- Het is niet bekend of de gebruikte warmtepompen daadwerkelijk voor langere tijd op een 'hoog' verbruiksniveau (met elektrische elementen) kunnen werken.
- De weergevoeligheidgrafieken zien er voor sommige woningen minder netjes uit, waardoor de voorspellingen voor die woningen niet betrouwbaar zijn. Op projectniveau komen ze overeen met wat voor een woning met de bijbehorende kenmerken verwacht mag worden. Daarnaast is ervoor gekozen om bij woningen waar de weergevoeligheid te extreem afwijkt van 'normaal gedrag' - namelijk waarbij de richtingscoëfficiënten positief zijn terwijl ze negatief moeten zijn - het projectgemiddelde in plaats van het woninggemiddelde te gebruiken om het nieuwe energieverbruik te voorspellen.
- Als er op een dag meer energie nodig was voor ruimteverwarming dan de warmtepomp (inclusief elektrisch element) kon leveren, is het logische gevolg dat de woning afkoelt. Omdat geen thermisch model van de woning is gemaakt, is niet precies bekend hoeveel graden de woning afkoelt of voor hoelang de woning onder de gewenste temperatuur blijft. Dit komt echter praktisch niet voor in deze dataset.

B3. MODELLEREN MAATREGELEN NETBELASTING

A. Verlagen warmtebehoefte

Het grootste gedeelte van de woningen waarvoor meetdata beschikbaar is, zijn al zodanig goed geïsoleerde woningen dat het niet interessant is om te modelleren wat er zou gebeuren met deze woningen als ze nóg beter geïsoleerd zouden worden. Er is één uitzondering, namelijk project 7 met ruim 50 woningen. Voor dit project is berekend wat er zou zijn gebeurd in 1991 als de woning een lagere warmtebehoefte zou hebben gehad. Daartoe is:

- Per dag eerst het gemeten gebruik in 2023 aangepast alsof de woningen een lagere warmtebehoefte zouden hebben gehad. Dat is gedaan met de gemiddelde weergevoeligheid van projecten 1, 2 en 5, in plaats van met die van project 7. Deze projecten 1, 2 en 5 hebben allemaal een lucht-water warmtepomp (net als project 7) en een warmtebehoefte die lager ligt dan de Standaard.
- Daarna de klimaatcorrectie naar 1991 uitgevoerd.

Deze benadering is niet heel precies gericht op een specifieke warmtebehoefte, maar geeft een redelijke indicatie, omdat vooral het verschil veroorzaakt door de verlaging van de warmtebehoefte interessant is, en minder het absolute aantal kW. De onnauwkeurigheid is te duiden als:

- De gemiddelde warmtebehoefte van projecten 1, 2 en 5 ligt lager dan het grensniveau van de Standaard. Hier is desondanks mee gerekend omdat van deze projecten de weergevoeligheid op basis van meetdata is vastgesteld, terwijl die anders op basis van een aanname zou moeten worden bepaald. Dit betekent dat de weergevoeligheid hier ook lager is dan bij woningen die worden geïsoleerd naar het niveau van de Standaard. Dit zorgt vermoedelijk voor een lichte onderschatting van de netbelasting van de beter geïsoleerde variant van project 7 in 1991 ten opzichte van als de woningen naar de Standaard zouden worden geïsoleerd.

B. Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp

Bij alle woningen waarvan meetdata in de ETD zit, is een inductiekookplaat geplaatst. Deze is niet apart bemeten. Wel is het huishoudelijk energieverbruik bekend, waar de inductiekookplaat onder valt. Hier valt echter ook onder: verlichting, wasmachine, droger, vaatwasser, oven, tv, computers, opladers en andere kleine elektronica in huis.

De piekbegrenzing die hier gemodelleerd wordt is een vorm van load balancing: als de 'load' oftewel het energieverbruik van één apparaat te hoog wordt, dan wordt een ander apparaat de mogelijkheid ontnomen om op hetzelfde moment ook energie te verbruiken. Dit balanceren van de vermogensvraag kan heel slim, met communicatie tussen de load balancer en de verschillende apparaten. Dit gebeurt bijvoorbeeld steeds vaker bij laadpalen, waarin een laadpaal niet helemaal wordt afgekapt, maar het vermogen dat de laadpaal mag gebruiken slechts wordt beperkt. Het kan ook minder slim, met een harde afschakeling tussen twee apparaten, waarvan er één preferent is. In de modellering die hier is uitgevoerd geldt:

»

- Er is sprake van een harde afschakeling. Als het huishoudelijk energieverbruik tussen 17 en 21u gedurende 5 minuten hoger is dan 0.7 keer 3680 W, wordt de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) uitgeschakeld. Dit komt gemiddeld over alle woningen (inclusief in de zomer) ongeveer 9 minuten per dag voor.
- Het op die manier door de warmtepomp 'misgelopen' verbruik wordt verplaatst naar andere momenten op de dag, op dezelfde methode als dat bij de klimaatcorrectie gebeurt.

Het huishoudelijk verbruik is veel hoger dan alleen het gebruik door de inductiekookplaat. De verwachting was daarom dat het huishoudelijk gebruik vaak boven de 3680 W zou komen. Daarin is tot op zekere hoogte voorzien door alleen te kijken naar de periode van 17 tot 21u, waarin minder vaak een wasmachine, droger of vaatwasser aan zal staan en vaak gekookt wordt. Maar het gebruik van een oven, grill of waterkoker zou in deze modellering ook kunnen leiden tot het verplaatsen van energieverbruik door de warmtepomp. Uit de meetdata blijkt echter dat het maximum van 3680 W aan huishoudelijk gebruik bij deze woningen bijna nooit wordt overschreden. Vermoedelijk komt dit omdat het sociale huurwoningen betreft met relatief bescheiden kookplaten, maar dat is niet met zekerheid te zeggen.

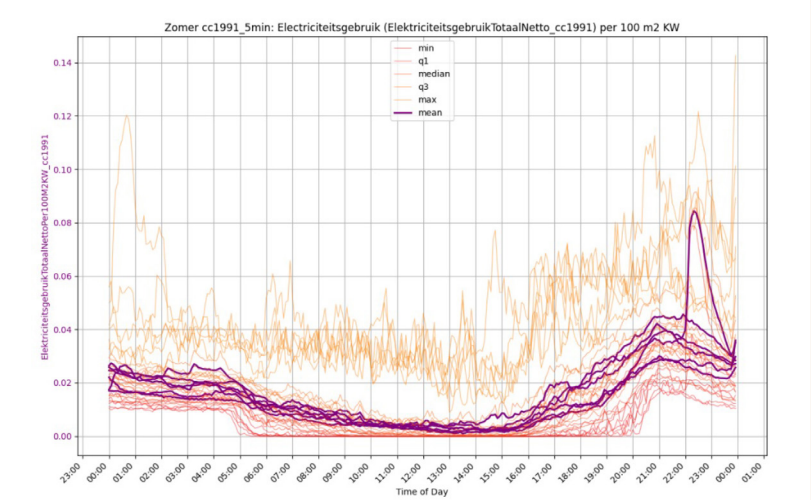
Aan de andere kant kan een kookplaat ook voor zeer korte periodes hoge pieken laten zien, die niet helemaal terug te zien zijn in 5-minuten meetdata omdat de piek precies tussen twee meetmomenten valt. Een dergelijk hoge piek, hoe kort ook, afhankelijk hoe de HEMS wordt ingesteld kan het ertoe leiden dat de warmtepomp tijdelijk wordt uitgeschakeld. Daarom, en ook omdat in de meetdata het huishoudelijk verbruik bijna nooit boven de 3680 W uitkomt, is in de analyse gebruik gemaakt van een correctiefactor van 0.7 op het niveau van 3680 W waarop de warmtepomp wordt afgeschakeld.

C. Spitsmijden warmtepomp

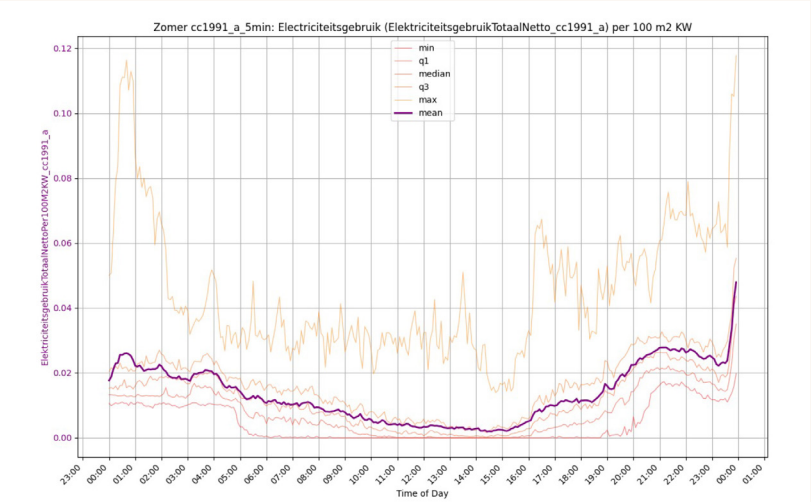
De spitstijden op het elektriciteitsnet zijn 's ochtends van 7-11 uur - deels voor woningen, maar meer nog voor kantoren en industrie - en 's middags van 17-21 uur. Dit blijkt uit metingen van de netbeheerders en is daarnaast ook te zien in de gebruikte dataset. Om te modelleren wat er met de netimpact van de woning zou gebeuren als het elektrisch verbruik van de warmtepomp tijdens deze spitstijden wordt beperkt, is het volgende gemodelleerd:

- Het gebruik van de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) wordt tussen 7-11u en tussen 17-21u beperkt op twee niveaus:
  - 50% van het maximale gebruik van die woning (maatregel C1)
  - De basislast van die woning (maatregel C2)
- Dit is gedaan op woningniveau, hoewel het uiteindelijke effect op buurtniveau wordt bekeken. Dit kan dus niet alleen worden geïnterpreteerd als het aanpassen van de instellingen van warmtepompen die kunnen moduleren naar deze niveaus, maar ook als het op een bepaalde dag wel of niet 'toestaan' van energieverbruik door warmtepompen in de buurt, bijvoorbeeld op basis van het huisnummer.
- Het energieverbruik van de warmtepompen wordt eerst binnen deze spitsuren afgekapt, maar ook gemaximeerd op het gestelde niveau. Dit betekent dat als, bijvoorbeeld, een woning een gedeelte van de spitstijd boven en een gedeelte van de tijd onder het gestelde maximale niveau zit, eerst het energieverbruik wordt verplaatst naar momenten binnen de spits waarop de woning onder het gestelde maximale niveau bleef.
- De rest van de warmtebehoefte waarin de warmtepomp tijdens deze spitsuren niet kan voorzien, wordt buiten de spits alsnog opgewekt. Het energieverbruik daartoe wordt op eenzelfde manier verdeeld als bij de klimaatcorrectie.

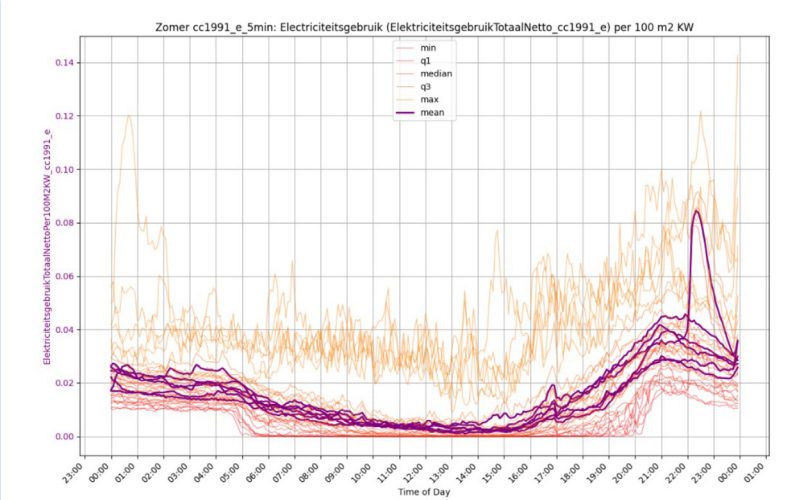
BIJLAGE 1: **DAGPROFIELEN ZOMER**



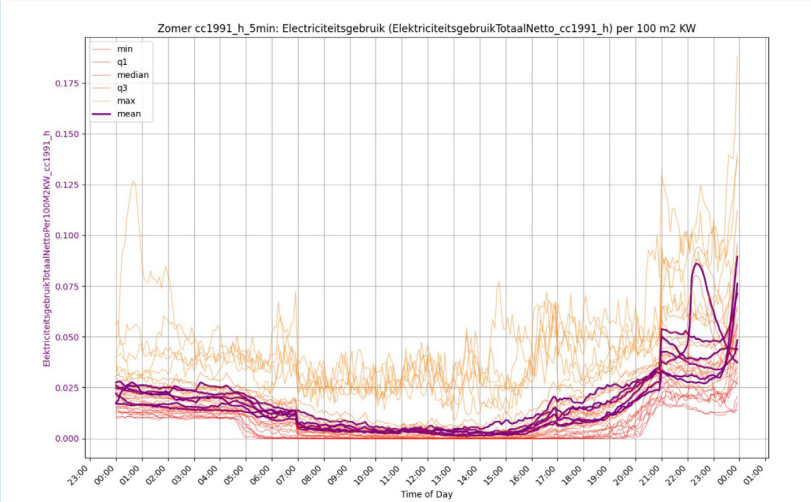
Figuur 9: Elke paarse lijn is één project.



Figuur 10: Maatregel A

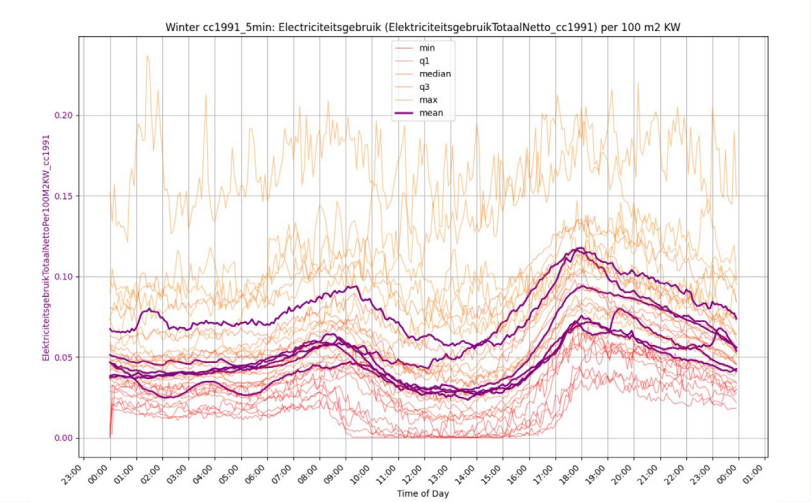


Figuur 11: Maatregel B

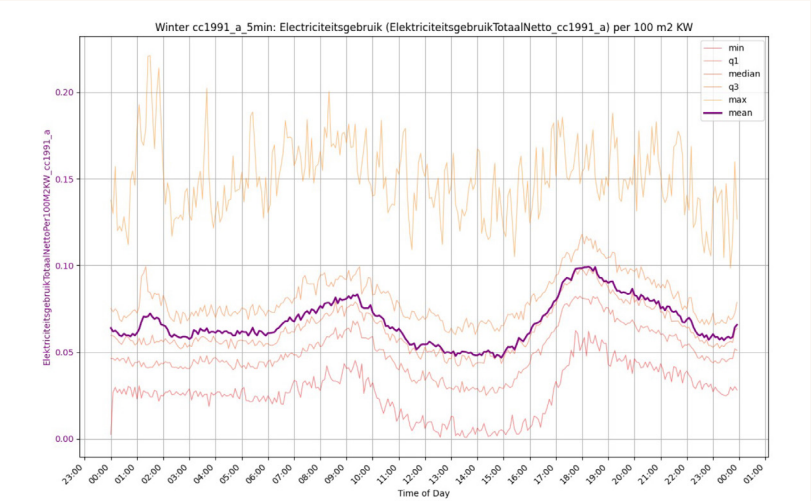


Figuur 12: Maatregel C2

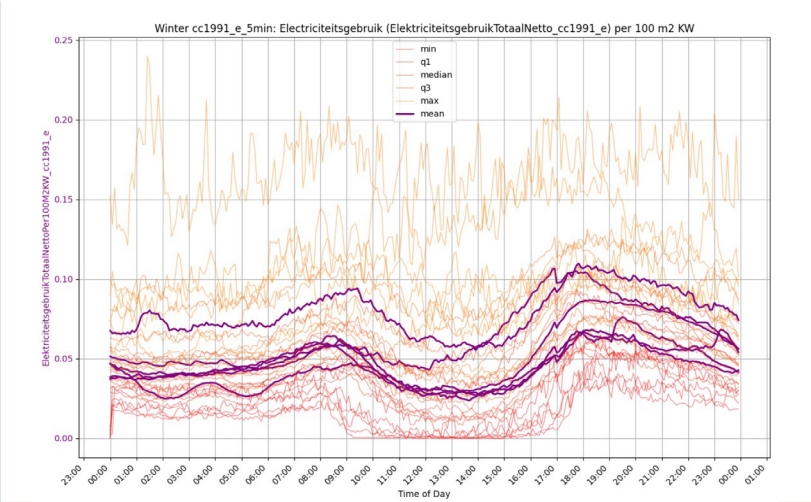
BIJLAGE 2: **DAGPROFIELEN WINTER**



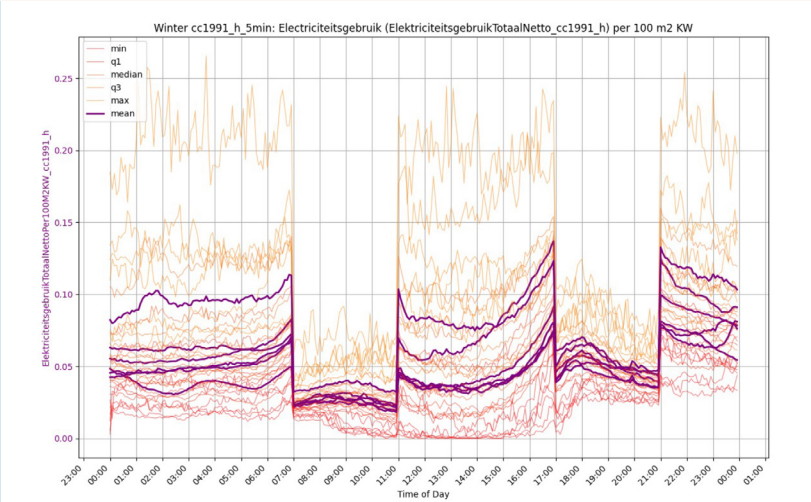
Figuur 13: Elke paarse lijn is één project



Figuur 14: Maatregel A



Figuur 15: Maatregel B



Figuur 16: Maatregel C2

BIJLAGE 3: **WONINGEN EN WARMTEBEHOEFTE**

Concretisering van warmtebehoefte

In dit document wordt veel gebruik gemaakt van de indicator 'warmtebehoefte', omdat daar een breed bekende bepalingsmethodiek voor is (NTA8800) en omdat voor heel veel woningen bekend is wat de huidige warmtebehoefte is. Maar wat betekent een bepaalde warmtebehoefte nu en wat moet er aan een woning gedaan worden om dat te bereiken?

Theorie
Over het algemeen geldt: hoe lager de warmtebehoefte, des te gunstiger het rendement (de coefficient of performance ofwel COP) van een warmteopwekker en des te kleiner het benodigde elektrisch vermogen. Dit heeft directe invloed op de elektriciteitsvraag en daarmee op de netbelasting. De samenhang van warmtebehoefte, afgiftesysteem en warmtepomp zijn uitgebreid én toegankelijk beschreven in de publicatie Strategisch Kiezen van Duurzame Installaties, totstand gekomen in samenwerking met Aedes, Techniek NL, Bouwend Nederland, Onderhoud NL en Stroomversnelling.

Praktijk
Voor twee woningtypen — een standaard rijtjeswoning en een standaard portiekwoning (bouwjaar 1946–1964) — is een analyse uitgevoerd van verschillende verduurzamingspakketten en installaties. De uitgangspunten voor de bouwkundige kenmerken, thermische isolatiewaarden en installaties zijn gebaseerd op de RVO Voorbeeldwoningen. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van de informatie over oppervlakten, Rc-waarden, luchtdichtheid en ventilatiesystemen.

De berekeningen zijn gemaakt in Vabi EPA, waarbij specifiek is gekeken naar de warmtebehoefte en de geschiktheid van de woningen voor toepassing van warmtepompen bij een laag temperatuur afgiftesysteem.

Er zijn drie pakketten samengesteld:

Pakket 1	Pakket 2	Pakket 3
Alleen isolerende maatregelen aan de schil	Isolerende maatregelen, gecombineerd met mechanische ventilatie Type C en kierdichting	Isolerende maatregelen, gecombineerd met balansventilatie met warmteterugwinning (WTW) en kierdichting
› Vloerisolatie Rc 3,5 › Dakisolatie Rc 6,5 › Gevelisolatie/spouwmuurisolatie: • Rc 1,7 (tussenwoning, spouwmuur) • Rc 3,5 (portiekwoning, gevelisolatie) › Vervanging glas door HR++ in bestaande kozijnen	› Alle maatregelen uit pakket 1 › Mechanische ventilatie Type C met CO_2-sturing en zelfregelende roosters › Kierdichting tot Qv10 = 1,0	› Alle maatregelen uit pakket 1 › Balansventilatie Type D met warmteterugwinning › Kierdichting tot Qv10 = 1,0
› Project 7 uit de voor deze studie gebruikte Energietransitie Dataset (zie bijlage B1) is slechter geïsoleerd dan dit niveau.		› Projecten 1, 2, 3, 4 en 5 uit de voor deze studie gebruikte Energietransitie Dataset (zie bijlage B1) voldoen aan dit niveau.

Tabel 23: drie pakketten om de warmtebehoefte te verlagen

Daarmee is gerekend met twee soorten warmtepompsystemen:

› een lucht-water warmtepomp, forfaitair
› een gesloten bodemwarmtepomp, forfaitair

De volgende tabel geeft een overzicht van de toegepaste maatregelen en maatregelpakketten en de indicatieve impact op de warmtebehoefte.

	Warmtebehoefte kWh_thermisch / m^2 / jaar	
	Standaard portiekwoning 1946-1964	**Standaard rijwoning 1946-1964**
Startpunt	171.81	156.20
Pakket 1	100.05 (voldoet niet aan de Standaard)	105.01 (voldoet niet aan de Standaard)
Pakket 2	70.92 (voldoet niet aan de Standaard)	61.65 (voldoet niet aan de Standaard)
Pakket 3	56.67 (voldoet aan de Standaard)	46.81 (voldoet aan de Standaard)

Tabel 24: effectiviteit van de verschillende pakketten om de warmtebehoefte te verlagen

Daaruit is te concluderen:

- Alleen pakket 3, waarin balansventilatie met WTW wordt toegepast, voldoet volledig aan de Standaard warmtebehoefte voor beide woningtypen.
- Pakket 2 komt dicht in de buurt van de Standaard en kan, afhankelijk van de compactheid van de woning, voldoende zijn, maar blijft zonder aanvullende maatregelen meestal tekortschieten. Wel is Type C ventilatie in principe toepasbaar, mits voorzien van CO_2-sturing en zelfregelende roosters (ZR-roosters) om ventilatieverliezen sterk te beperken. Ook is het dan cruciaal dat de dakisolatie daadwerkelijk wordt opgewaardeerd tot een Rc-waarde van circa 6,5. Wanneer een dak slechts tot Rc 3,5 wordt geïsoleerd, zoals gebruikelijk bij renovatie, zal de warmtebehoefte in combinatie met Type C ventilatie te hoog blijven.
- Alleen schilisolatie zonder verdere optimalisatie van ventilatie en kierdichting biedt onvoldoende reductie van de warmtebehoefte.

BIJLAGE 4: WARMTESTRATEGIEËN VAN DE STARTANALYSE 2025

In de Actualisatie van de Startanalyse (ASA) van voorjaar 2025 wordt rekening gehouden met de volgende warmtestrategieën:

Strategie-code	Omschrijving strategie	Variant-code	Schil-label	Omschrijving variant
S1	Individuele elektrische warmtepomp	S1a	B+	Luchtwarmtepomp
		S1b	B+	Bodemwarmtepomp
S2	Warmtenet met MT of HT warmtebron	S2a	B+	MT-restwarmte
		S2b	B+	MT-geothermie potentie contour
		S2c	B+	MT-geothermie overal
		S2d	D+	MT-restwarmte
		S2e	D+	MT-geothermie potentie contour
		S2f	D+	MT-geothermie overal
S3	Warmtenet met (Z)LT warmtebron	S3a	B+	Restwarmte, bron 15-30 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3b	B+	WKO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3c	B+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
		S3d	B+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 50 °C, booster voor tapwater
		S3e	B+	WKO + TEO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3f	D+	Restwarmte, bron 15-30 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
		S3g	D+	WKO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3h	D+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
S4	Individuele hybride warmtepomp	S4a	B+	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas
		S4b	D+	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas

Tabel 25: de verschillende warmtestrategieën en strategievarianten waar PBL rekening mee houdt in hun analyses (bron: tabel 1 uit de Actualisatie Startanalyse (2025)

BIJLAGE 5: **GECONSULTEERDE EXPERTS**

Bij de totstandkoming van dit document is gebruik gemaakt van inbreng van de volgende experts:

Andy van der Velde	Liander
Bert Elkhuizen	Innax
Casper van Mourik	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Cassandra Post	Liander
Dennis Vollenga	Liander
Felix van Gemen	Huisfluisteraar
Frank Agterberg	Vereniging Warmtepompen
Frank Klinckenberg	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Harry van der Voorn	Provincie Gelderland
Hester Dijkstra	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Ivo Opstelten	PIAF Wonen
Joost Molenaar	Provincie Flevoland
Joris Pouw	Stedin
Joris Westhof	Liander
Jorrit Hoekstra	Provincie Flevoland
Maarten Hommelberg	BDH Advies
Margriet de Groot	Provincie Utrecht
Martijn van Elburg	RVO
Michiel van Gorp	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Morris Verlinden	Aedes
Niels Sijpheer	Sijpheer Energie
Noelle Peters Sengers	Provincie Utrecht
Rachel Marty	Liander
Robbert van der Wal	Stedin
Roelof Schuitema	RVO
Roos de Kok	Liander
Susanne van de Pest	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Thijs Poiesz	BDH Advies
Thomas Piessens	Techniek Nederland
Titus Oosterkamp	Stedin
Tjalling de Vries	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Tom van Aalten	RVO
Valeska Blok	Stedin

BIJLAGE 6: **AFKORTINGEN**

A	Ampère
ASA	Actualisatie van de Startanalyse (PBL, 2025)
COP	Coefficient of Performance (rendement)
EPV	Energieprestatievergoeding
ETD	Energietransitie Dataset
FGU	Flevoland, Gelderland, Utrecht
GJ	Gigajoule
HS	Hoogspanning
HT	Hoge temperatuur (80-90 °C)
ISDE	Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing
KGG	Ministerie voor Klimaat en Groene Groei
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
kton	kiloton
kV	kilovolt
kWh	kilowattuur
kWh_e	kilowattuur (elektrisch)
kWh_th	kilowattuur (thermisch)
LT	Lage temperatuur (40-50 °C)
m^2	vierkante meters
MID	Measuring Instruments Directive (kwaliteitskader voor sensoren)
MS	Middenspanning
Mt	Megaton
MT	Midden temperatuur (70-75 °C)
MW	Megawatt
MWh	Megawattuur
NPLW	Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PVT	Photovoltaïsch-Thermisch (elektrisch en thermische zonnepanelen)
Qv10	Luchtdichtheid bij een drukverschil van 10 pascal tussen binnen en buiten
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
SDE(++)	Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie
V	Volt
VRO	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
VVE	Vereniging van Eigenaren
W	Watt
WKO	Warmte- en Koudeopslag
WTW	Warmteterugwinning (meestal betreffende een ventilatiesysteem)
ZLT	Zeer lage temperatuur (tot 35 °C)



Witteveen + Bos



Ecologische beoordeling van de aanleg van de energie-infrastructuur en verduurzaming

Analyse van de 143 habitattypen met de hoogste depositie

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

17 maart 2026

Project	Ecologische beoordeling van de aanleg van de energie-infrastructuur en verduurzaming
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Document	Analyse van de 143 habitattypen met de hoogste depositie
Status	Definitief 02
Datum	17 maart 2026
Referentie	148252/26-004.140
Beschikbaarheid	Nodig
Integriteit	Beschermd
Vertrouwelijkheid	Publiek
Projectcode	148252
Projectleider	PhD W. Gotje MSc
Projectdirecteur	Drs. L.G. Turlings
Auteur(s)	PhD W. Gotje MSc
Gecontroleerd door	R. van Deelen MSc
Goedgekeurd door	PhD W. Gotje MSc
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Tekst- en datamining van (delen van) dit document, evenals enige verwerking of reproductie ervan door middel van kunstmatige intelligentie technologieën is uitdrukkelijk niet toegestaan, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Dit document (of delen ervan) mag niet worden verveelvoudigd en/of anderszins worden gebruikt op enigerlei wijze voor het trainen van kunstmatige intelligentie technologieën, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1 SAMENVATTING 5

2 SUMMARY 9

3 INLEIDING 13

4 ACHTERGRONDINFORMATIE EFFECTEN STIKSTOFDEPOSITIE 15

4.1 Algemene informatie over stikstof in kringlopen 15

4.2 Algemene informatie over effecten van een overmaat aan stikstof 17

4.3 Ecologische effecten van geringe stikstofdepositie en beoordeling 18

4.3.1 Directe schade 18
4.3.2 Vermesting 18
4.3.3 Verzuring 20
4.3.4 Chemische samenstelling 22

4.4 Conclusie effecten van stikstofdepositietoename 23

4.5 Conclusie ten behoeve van het voorliggende onderzoek 23

5 AANPAK ONDERZOEK 25

5.1 Selectie van te onderzoeken habitattypen 25

5.2 Uitleg tabel met resultaten 29

6 BEOORDELING GESELECTEERDE HABITATTYPEN 30

6.1 Uitkomsten analyse 30

6.1.1 Uitgangspunt maximale depositie 30
6.1.2 Uitganspunt mediane depositie 31
6.1.3 Cumulatie en verduurzaming 31

7 KWALITEIT VAN DE DATA UIT DE NATUURDOELANALYSES, GEBIEDSANALYSES, NATURA 2000-BEHEERPLANNEN 33

8 CONCLUSIES 34

8.1 Conclusies aanleg van de energie-infrastructuur 34
8.2 Conclusies verduurzaming 35

9 LITERATUUR 36

Laatste pagina 38

Bijlage(n)

Aantal pagina's

I Overzicht opgezochte data en beoordeling 1
II Rapport analyse fase 2 101
III Kaartbeelden kans op effecten op grond van maximale depositie 12
IV Kaartbeelden kans op effecten op grond van maximale depositie 6

1

SAMENVATTING

De energietransitie vereist de aanleg van nieuwe energie-infrastructuur. De aanlegfase veroorzaakt tijdelijk extra stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden. Zodra de infrastructuur operationeel is, maakt deze verduurzaming van onder andere de industrie mogelijk, wat leidt tot een structurele afname van stikstofemissies. De centrale vraag in dit onderzoek is of de tijdelijke toename van stikstofdepositie door aanleg van energie-infrastructuur leidt tot afname van de kwaliteit of oppervlakte van stikstofgevoelige habitattypen en of kan leiden tot een snelle verslechtering door overschrijding van eventuele tipping points, ondanks de latere structurele afname. Tevens is gevraagd of de latere structurele afname van stikstofdepositie door de verduurzaamde industrie bijdraagt aan de Natura 2000-instandhoudingsdoelstelling van habitattypen in Nederland. Het voorliggende rapport vormt de afronding van het totale onderzoek en richt zich op een brede analyse van alle relevante habitattypen.

In het voorafgaande OSES 3.0 onderzoek (Witteveen+Bos, 2025a) is de stikstofdepositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur en de verduurzaming van de industrie met behulp van de AERIUS-calculator vastgesteld. Uit dit databestand zijn ten behoeve van dit rapport 143 stikstofgevoelige habitattypen in 35 Natura 2000-gebieden geselecteerd voor verdere analyse. De selectie betreft alle met stikstof (naderend) overbelaste habitattypen met een depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar in Nederland als gevolg van de aanleg van nieuwe energie-infrastructuur. De beoordeling is uitgevoerd op basis van depositieberekeningen (AERIUS, OSES 3.0), literatuur (natuurdoelanalyses, gebiedsanalyse, Natura 2000-beheerplannen, adviezen van de ecologische autoriteit over de natuurdoelanalyses) en een speciaal opgestelde beslisboom met nadruk op de huidige kwaliteit van habitattypen en de trend daarin, een knelpuntenanalyse (stikstofdepositie, buffering/verdroging, verzuring) en gevoeligheid voor het overschrijden van tipping points. Voor alle onderzochte habitattypen is de Kritische Depositie Waarde overschreden.

Er is bewust gekozen voor een worst-case benadering. Uitgangspunten zijn dat alle tijdelijke deposities door de aanleg van de energie-infrastructuur in één jaar plaatsvinden en dat de hieruit volgende reducties door verduurzaming pas in tweede instantie optreden. De beoordeling vindt plaats op basis van maximale én mediane depositiebijdragen tijdens de aanleg van de energie-infrastructuur. De analyse richt zich alleen op effecten via verzuring; vermesting wordt op basis van een algemene kwantitatieve onderbouwing als minder bepalend beoordeeld bij de onderzochte depositieniveaus.

De tijdelijke stikstofbijdrage door de aanleg van de energie-infrastructuur in het algemeen bedraagt voor de meeste habitattypen in Nederland tussen 0,01 en 1 mol N/ha/jaar. Dit is zeer klein in verhouding tot de bestaande achtergronddepositie (350–3.700 mol N/ha/jaar), natuurlijke jaarlijkse variaties en de totale stikstofflux in ecosystemen. Uit algemene ecologische onderbouwing blijkt dat bijdragen ≤ 1 mol N/ha/jaar geen meetbare verandering veroorzaken in plantengroei of soortensamenstelling, dat tijdelijke kleine bijdragen niet leiden tot relevante vermesting, dat verzuring vooral relevant kan worden in zeer kwetsbare, zwakgebufferde systemen en dat tipping points vooral het resultaat zijn van langdurige accumulatie en minder van geringe tijdelijke bijdragen. Habitattypen met deze lage depositiebijdragen zijn niet meegenomen in de analyse van de 143 habitattypen.

Als wordt uitgegaan van de maximale depositie in habitattypen dan blijkt dat van de 143 onderzochte habitattypen er in 23 habitattypen een grote kans is op het optreden van negatieve effecten op de kwaliteit van habitattypen, in 24 habitattypen een kleine kans optreedt en in 96 habitattypen geen relevante kans

optreedt. De risicogroep betreft voornamelijk zwakgebufferde vennen, overgangs- en trilvenen, heischrale graslanden, vochtige duinvalleien. Kenmerkend voor deze habitattypen is hun gevoeligheid voor verzuring en beperkte buffering.

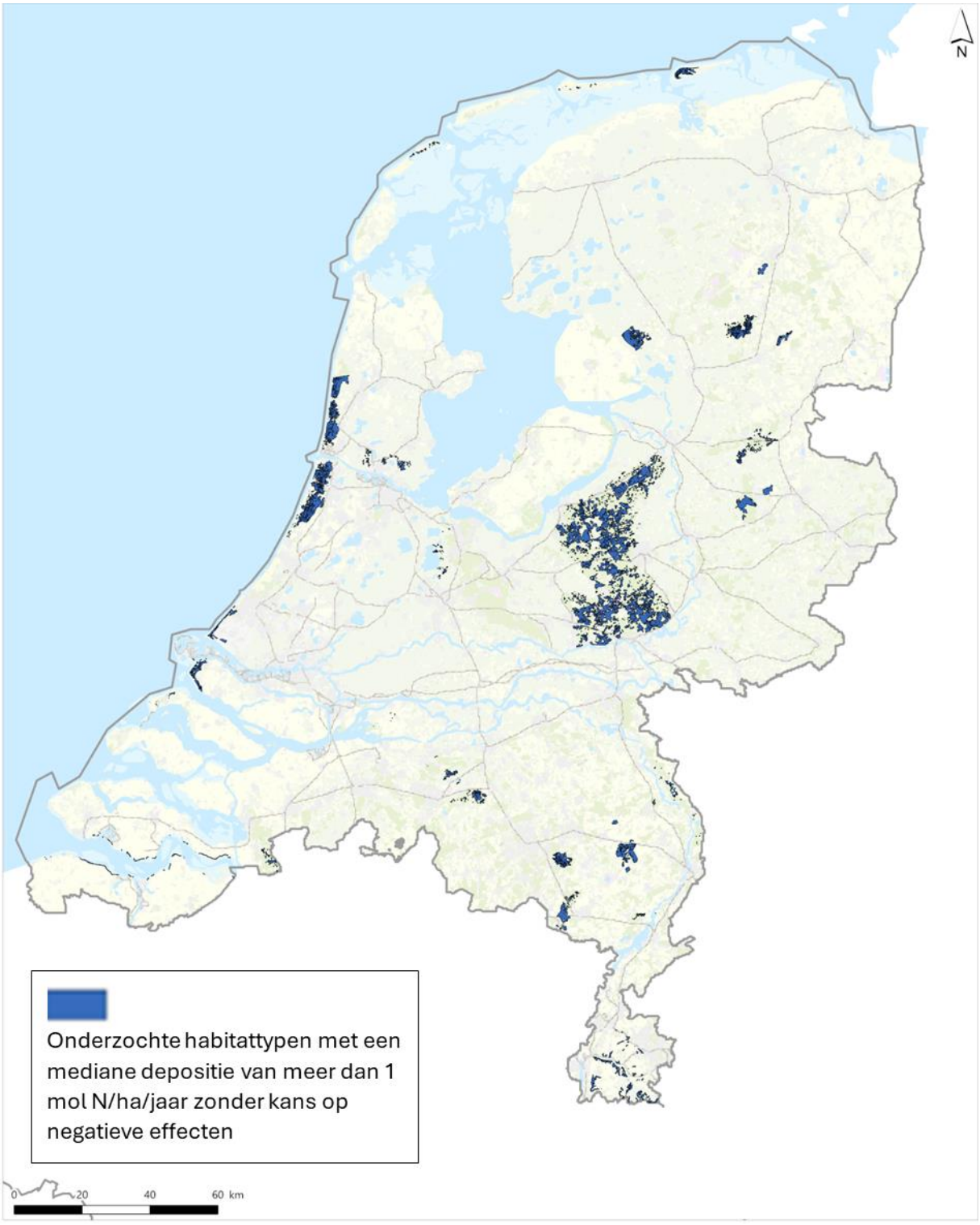
Wanneer wordt gekeken naar de mediane (meer representatieve) depositiewaarde dan is er slechts 1 habitattype met een grote kans op negatieve effecten op de kwaliteit van habitattypen, zijn er 6 habitattypen met een kleine kans op negatieve effecten en geldt voor alle overige habitattypen dat het risico verwaarloosbaar is. Dit toont aan dat de maximale berekende depositiebijdrages niet representatief zijn voor de depositiebijdrage op habitatsniveau.

De aanleg van nieuwe energie-infrastructuur is randvoorwaardelijk voor verduurzaming van de industrie. De structurele emissiereductie (cumulatieve emissiereductie) door industriële verduurzaming is integraal meegewogen. Van de 143 habitattypen geldt voor 91 habitattypen dat er sprake is van netto afname van stikstofdepositie (aanleg + verduurzaming samen), dat er in 37 habitattypen sprake is van een tijdelijke toename door de aanleg van de energie-infrastructuur, gevolgd door reductie door de verduurzaming. Er is in dit geval wel sprake van een restdepositie. Daarnaast is er in vijftien habitattypen geen afname door de verduurzaming berekend (door de modeltechnische beperking >25 km van de AERIUS-Calculator). Voor die gebieden is dus alleen een depositiebijdrage berekend voor de aanleg van de energie-infrastructuur. In de meeste gebieden is de structurele afname zeer klein (een paar mol N/ha/jaar) in verhouding tot de achtergronddepositie (meestal meer dan 2000 mol N/ha/jaar). In enkele gebieden bedraagt de structurele afname meer dan 100 mol N/ha/jaar, wat weliswaar nog altijd veel minder is dan de achtergronddepositie, maar op langere termijn wel perspectief biedt op stabilisatie van de achteruitgang van de kwaliteit of beperkte verbetering.

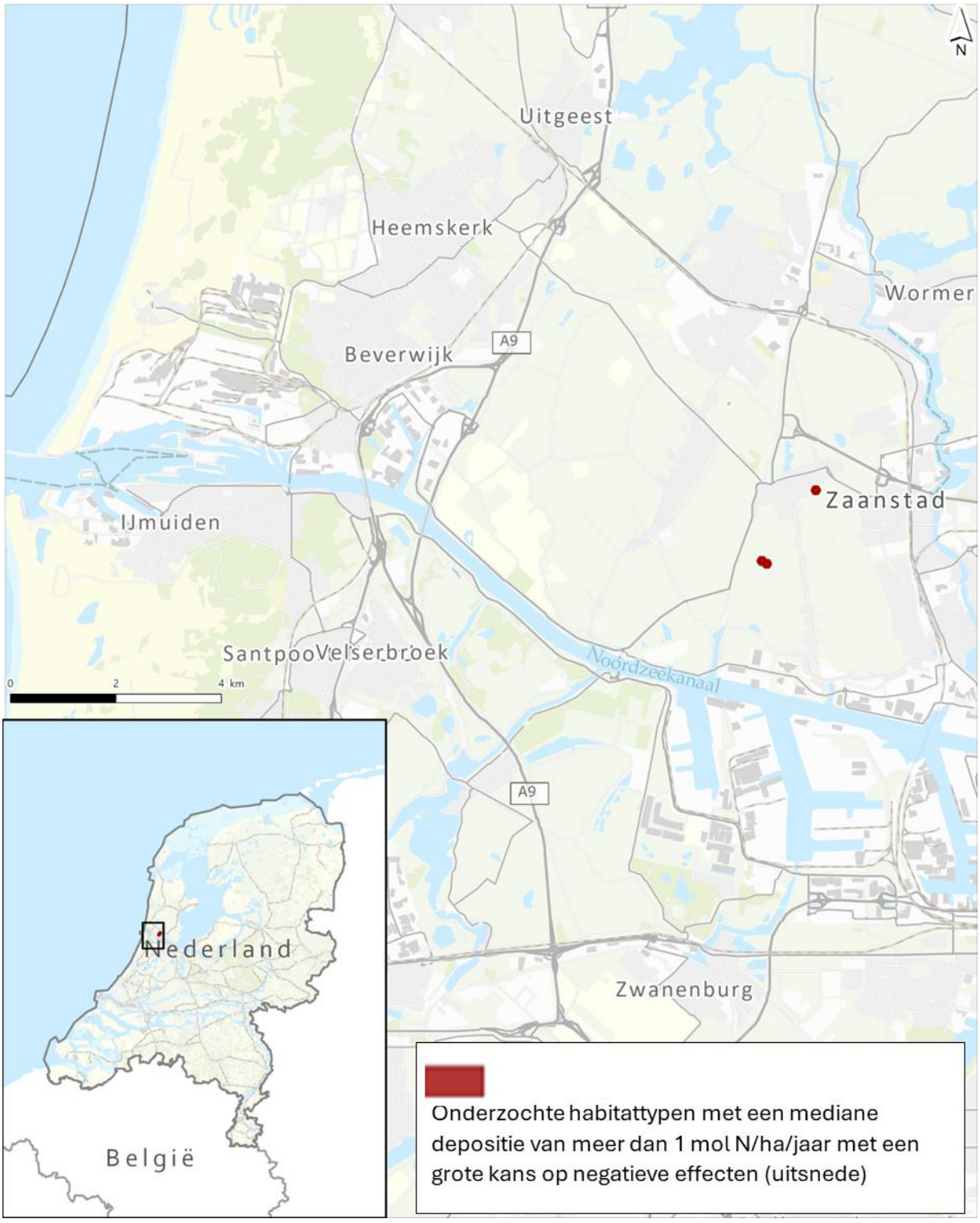
Verder is tijdens het opzoeken van de benodigde gegevens in de literatuur opgevallen dat veel belangrijke gegevens, die nodig zijn om een goed onderbouwde beoordeling te kunnen geven, ontbreken. Tijdens de analyse is vastgesteld dat de Natuurdoelanalyses sterk variëren in kwaliteit en detailniveau, dat de gebruikte terminologie en beoordelingssystematiek niet uniform zijn en dat een kwantitatieve onderbouwing van de kwaliteit en de trends daarin vaak ontbreekt. Dit leidt tot interpretatieverschillen en onderstreept de noodzaak van standaardisatie en betere monitoring.

Samenvattend worden de volgende conclusies getrokken:
- de tijdelijke stikstofdepositie door aanleg van energie-infrastructuur leidt in het overgrote deel van de onderzochte habitattypen niet tot negatieve ecologische effecten (zie Afbeelding 1.1);
- alleen in een beperkte groep reeds kwetsbare habitattypen kan een risico op verslechtering niet op voorhand worden uitgesloten;
- de structurele emissiereductie door verduurzaming van de industrie leidt in het merendeel van de gevallen tot een netto afname van stikstofdepositie;
- de energietransitie heeft per saldo een neutraal tot licht positief effect op de stikstofbalans;
- er is geen generieke ecologische belemmering voor energie-infrastructuurprojecten;
- risico's zijn beperkt en geconcentreerd in specifieke kwetsbare habitattypen (zie Afbeelding 1.2);
- verdere besluitvorming kan zich richten op gerichte verdieping in deze beperkte risicogroep.

Afbeelding 1.1 Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar zonder kans op een negatief effect



Afbeelding 1.2 Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Noord-Holland)



2

SUMMARY

The energy transition requires the construction of new energy infrastructure. The construction phase temporarily causes additional nitrogen deposition in Natura 2000 areas. Once the infrastructure becomes operational, it enables the sustainability transition of sectors such as industry, which leads to a structural reduction in nitrogen emissions.

The central question of this study is whether the temporary increase in nitrogen deposition resulting from the construction of energy infrastructure leads to the deterioration of nitrogen-sensitive habitat types and whether this could result in rapid degradation through the exceeding of potential tipping points, despite the later structural decrease. In addition, the study examines whether the later structural reduction in nitrogen deposition due to the sustainability transition in industry contributes to the Natura 2000 conservation objectives for habitat types in the Netherlands.
This report represents the completion of the overall study and focuses on a broad analysis of all relevant habitat types.

In the preceding OSES 3.0 study (Witteveen+Bos, 2025a), nitrogen deposition resulting from the construction of energy infrastructure and the sustainability transition of industry was calculated using the AERIUS Calculator. From this dataset, 143 nitrogen-sensitive habitat types in 35 Natura 2000 areas were selected for further analysis for the purposes of this report. The selection includes all habitat types in the Netherlands that are (approaching) nitrogen overload and that receive a deposition contribution of more than 1 mol N/ha/year as a result of the construction of new energy infrastructure.

The assessment was carried out based on deposition calculations (AERIUS, OSES 3.0), literature (nature target analyses, area analyses, Natura 2000 management plans, and recommendations from the Ecological Authority regarding the nature target analyses), and a specially developed decision tree. This decision tree emphasizes the current quality of habitat types and trends in that quality, a bottleneck analysis (nitrogen deposition, buffering/desiccation, acidification), and the sensitivity to exceeding tipping points. For all investigated habitat types, the Critical Deposition Value has been exceeded.

A deliberate choice was made to apply a worst-case approach. The assumptions are that all temporary deposition from the construction of energy infrastructure occurs within a single year and that the resulting reductions due to industrial sustainability measures occur only afterwards. The assessment is therefore based on both maximum and median deposition contributions during the construction phase of the energy infrastructure. The analysis focuses solely on effects via acidification; eutrophication is considered less decisive at the investigated deposition levels based on a general quantitative justification.

The temporary nitrogen contribution from construction of the energy-infrastructure generally amounts to between 0.01 and 1 mol N/ha/year for most habitat types in the Netherlands. This is very small compared with the existing background deposition (350–3,700 mol N/ha/year), natural annual variations, and the total nitrogen flux within ecosystems. The accompanying general ecological justification shows that contributions of ≤ 1 mol N/ha/year do not cause measurable changes in plant growth or species composition, that small temporary contributions do not lead to relevant eutrophication, that acidification may mainly become relevant in very vulnerable and weakly buffered systems, and that tipping points are primarily the result of long-term accumulation rather than small temporary contributions. Habitat types with these low deposition contributions were therefore not included in the analysis of the 143 habitat types.

When the maximum deposition values in habitat types are considered, the results show that out of the 143 investigated habitat types there is a high probability of negative effects on habitat quality in 23 habitat types, a small probability in 24 habitat types, and no relevant probability in 96 habitat types. The risk group mainly consists of weakly buffered fens, transition mires and quaking bogs, species-rich Nardus grasslands, and humid dune slacks. These habitat types are characterized by their sensitivity to acidification and their limited buffering capacity.

When the median (more representative) deposition value is considered, only one habitat type shows a high probability of negative effects on habitat quality, six habitat types show a small probability of negative effects, and for all other habitat types the risk is negligible. This demonstrates that the maximum calculated deposition contributions are not representative of deposition at the habitat level.

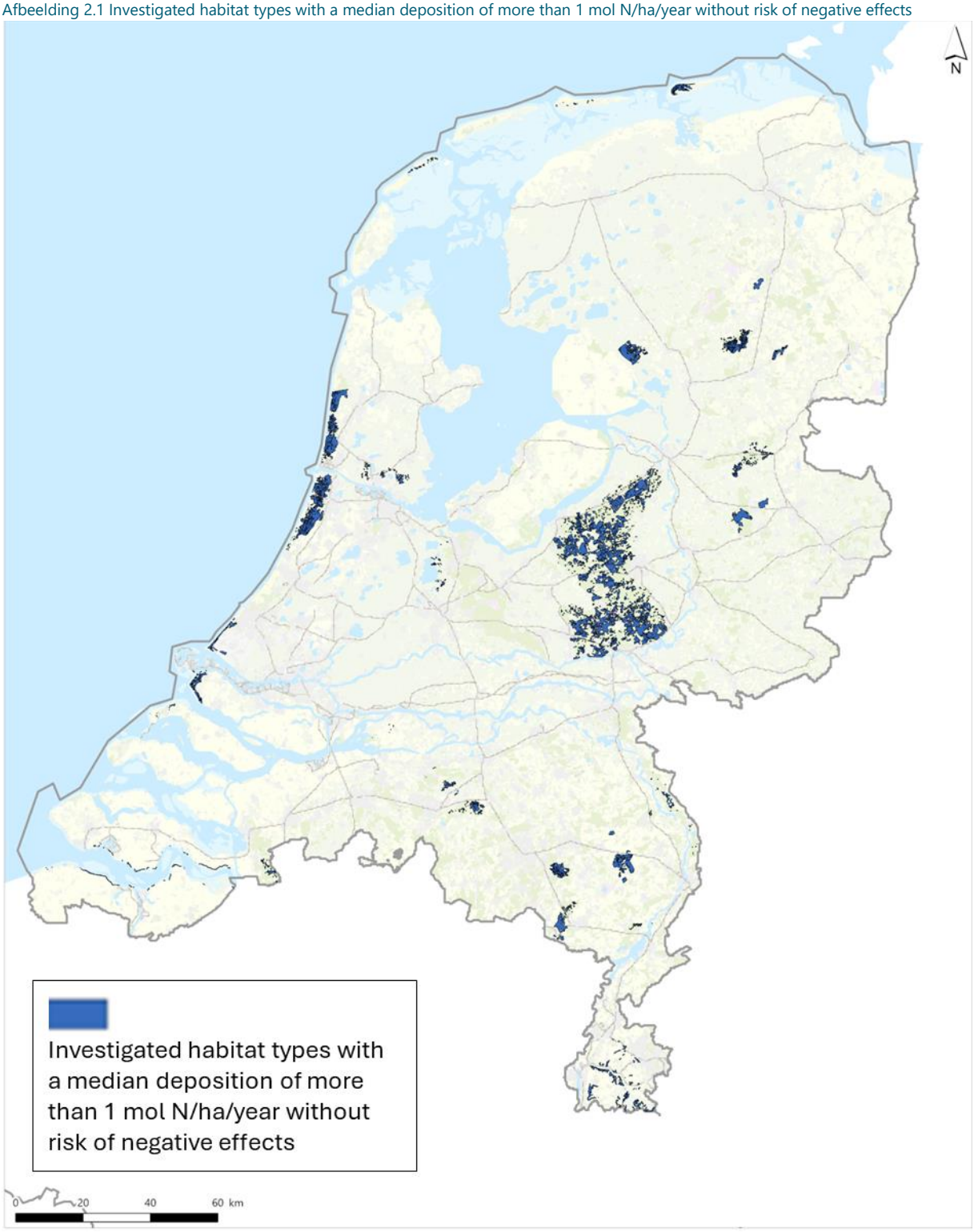
The construction of new energy infrastructure is a prerequisite for the sustainability transition of industry. The structural emission reduction (cumulative emission reduction) resulting from industrial sustainability measures has been fully included in the analysis. Of the 143 habitat types, 91 show a net decrease in nitrogen deposition (construction and sustainability combined). In 37 habitat types there is a temporary increase due to the construction of energy infrastructure followed by a reduction due to industrial sustainability measures. In these cases, however, a residual deposition remains. In addition, for fifteen habitat types no reduction due to sustainability measures was calculated (due to the modelling limitation of the AERIUS Calculator beyond 25 km). For these areas, only the deposition contribution from the construction of energy infrastructure was calculated.

In most areas the structural decrease is very small (a few mol N/ha/year) compared with background deposition (usually more than 2000 mol N/ha/year). In some areas the structural decrease exceeds 100 mol N/ha/year. Although this is still much smaller than the background deposition, it may offer prospects in the longer term for stabilizing the decline in habitat quality or for limited improvement.

Furthermore, during the literature review it was observed that many important data required to provide a well-substantiated assessment are missing. During the analysis it was found that Nature Target Analyses vary greatly in quality and level of detail, that the terminology and assessment methodology used are not uniform, and that a quantitative substantiation of habitat quality and trends is often lacking. This leads to differences in interpretation and highlights the need for standardization and improved monitoring.

In summary, the following conclusions are drawn:
- temporary nitrogen deposition from the construction of energy infrastructure does not lead to negative ecological effects in the vast majority of the investigated habitat types (see figure Afbeelding 2.1);
- only in a limited group of already vulnerable habitat types can a risk of deterioration not be excluded in advance;
- the structural emission reductions resulting from the sustainability transition of industry lead in most cases to a net decrease in nitrogen deposition;
- overall, the energy transition has a neutral to slightly positive effect on the nitrogen balance;
- there is no generic ecological barrier to energy infrastructure projects;
- risks are limited and concentrated in specific vulnerable habitat types (see figure Afbeelding 2.2);
- further decision-making can focus on targeted in-depth analysis of this limited risk group.

Afbeelding 2.1 Investigated habitat types with a median deposition of more than 1 mol N/ha/year without risk of negative effects



Afbeelding 2.2 Investigated habitat types with a median deposition of more than 1 mol N/ha/year with a high probability of negative effects (excerpt)



3

INLEIDING

Uit onderzoek in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (hierna: 'EZK'), blijkt dat de energietransitie resulteert in een afname van de stikstofemissie door de verduurzaming van de industrie na aanleg van de energie-infrastructuur. Deze relatie is in beeld gebracht in het project Onderzoek Samenhang Energietransitie & Stikstof in de industrie (hierna: OSES 3.0) (Witteveen+Bos, 2025a) en voorgaande studies. In OSES 3.0 is de depositieverandering vastgesteld gedurende een proces van elf jaar, waarin de aanleg van de energie-infrastructuur en een verduurzaming van de industrie plaatsvindt. Daarbij is er worst-case van uitgegaan dat de emissie van de aanleg van de energie-infrastructuur in zijn geheel in het eerste jaar zal plaatsvinden. Vervolgens vindt de verduurzaming plaats gedurende 10 jaar met als gevolg een afname van emissies vanuit de industrie. De aanleg van de energie-infrastructuur en de verduurzaming samen worden in dit project beschouwd als 'de energie-infrastructuurprojecten'.

Het OSES 3.0 rapport laat zien dat er door de aanleg van de energie-infrastructuur in alle aanwezige 125 stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden in Nederland, dus zonder rekening te houden met de verduurzaming (en daarmee vermeden emissies), worst-case sprake is van een tijdelijke maar vaak niet te verwaarlozen toename aan stikstofdepositie door de aanleg van de energie-infrastructuur. De verduurzaming van de industrie, die kan plaatsvinden zodra de energie-infrastructuur gerealiseerd is, leidt in de meeste gevallen juist tot een permanente netto afname op diverse Natura 2000-gebieden (door vermeden emissies ten opzichte van de huidige situatie). De achtergronddepositiewaarde (ADW) wordt in die gevallen permanent verlaagd.

In de huidige opdracht is aan Witteveen+Bos in combinatie met TAUW en SWECO Nederland gevraagd om de ecologische impact van de in OSES 3.0 beschreven ontwikkeling in de stikstofemissie en -depositie te duiden als onderdeel van een nadere verkenning naar de potentie van nationale routes voor stikstofvergunningverlening voor energie-infrastructuurprojecten en verduurzaming van industrie.

Het doel van de opdracht is om vast te stellen of er kans is op behoud, verslechtering dan wel verbetering van de kwaliteit van habitattypen en leefgebieden. De analyse is een ecologische inschatting van de gevolgen van de voorgestelde maatregelen. Het is dus een ecologische beoordeling die informatie geeft voor de inzet om eventuele passende of instandhoudingsmaatregelen te treffen[1]. Daarmee wijkt het af van de gebruikelijke beoordelingen in het kader van toestemmingverlening zoals de voortoets en passende beoordeling in het kader van de Omgevingswet. Er kunnen daarom ook geen conclusies worden verbonden aan het resultaat ten aanzien van de vergunbaarheid van haalbare nationale routes voor stikstofvergunningverlening voor energie-infrastructuurprojecten en verduurzaming van industrie én individuele energie-infrastructuurprojecten en/of verduurzamingsactiviteiten van bedrijven.

Een belangrijk aspect is of er door de tijdelijke verhoging van de stikstofdepositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur tipping points worden overschreden, die ertoe leiden dat er sprake kan zijn van versnelde structurele negatieve effecten op voor stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden. In die situaties doet het immers minder ter zake dat er nadien een permanente vermindering van de (achtergrond) depositie plaatsvindt. Daarom wordt zowel het tijdelijke als het permanente effect van de stikstofdepositie

[1] Maatregelen als bedoeld in artikel 6, eerste en tweede lid, van de Habitatrichtlijn

beschouwd, dus de effecten van de depositie tijdens de aanleg en de blijvende effecten van de depositie van alle energie-infrastructuurprojecten samen (dus van de aanleg+ de verduurzaming).

In eerste instantie (fase 1 en fase 2 van het huidige onderzoek) zijn de 25 meest kwetsbare habitattypen onderzocht (zie bijlage II). Dat heeft een rapport opgeleverd met uitgebreide beschrijvingen van de kwaliteit van deze habitattypen, van de knelpunten in het behalen van een goede ecologische toestand en een beoordeling van de effecten). Op grond van dit rapport is samen met de opdrachtgever besloten om in het vervolg van de studie (fase 3) de 143 meest beïnvloede habitattypen uit de OSES 3.0 studie nader te beoordelen. Het voorliggende rapport is daarvan het resultaat.

4

ACHTERGRONDINFORMATIE EFFECTEN STIKSTOFDEPOSITIE

4.1 Algemene informatie over stikstof in kringlopen

Stikstof in ecosystemen en de globale effecten van verhoogde stikstof beschikbaarheid

De stikstofcyclus

De atmosfeer bestaat voor 78 % uit ongebonden stikstof (N^2). Deze ongebonden vorm van stikstof is op zichzelf niet schadelijk voor ecosystemen, aangezien stikstof alleen in gebonden vorm, in de vorm van stikstofverbindingen, door organismen kan worden opgenomen. In de atmosfeer komen twee soorten stikstofverbindingen voor: stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). Atmosferische stikstofdepositie is het neerslaan van deze stikstofverbindingen uit de atmosfeer op een oppervlak. NO_x en NH_3 kunnen omgezet worden in de nutriënten nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+). NH_4^+ kan via nitrificatie ook worden omgezet in NO_3^-. Planten nemen NO_3^- via de wortels op en zetten het om in plantaardig materiaal. Dieren eten plantaardig materiaal met stikstof erin en zetten het om in dierlijk materiaal. De resten en/of uitwerpselen van planten en dieren met de stikstof daarin worden afgebroken (decompositie) tot NH_4^+ en zo komt stikstof weer beschikbaar voor planten. Naast atmosferische depositie komt stikstof ook in de bodem door stikstoffixatie door specifieke planten, en stikstof kan aangevoerd worden via grond- of oppervlaktewater en natuurlijke bemesting (uitwerpselen van dieren). Stikstof verdwijnt uit een ecosysteem door denitrificatie door bacteriën, uitspoeling of oogst (Niel, 1996).

Gebonden stikstof (in het vervolg als 'stikstof' aangeduid) wordt dus opgenomen door planten en is essentieel voor de groei. Het speelt dus een cruciale rol in ecosystemen. Van nature komt stikstof in lage hoeveelheden voor en zijn veel plantensoorten aangepast aan arme nutriëntenomstandigheden, zoals heide en veel kruiden. In stikstof arme omstandigheden worden deze plantensoorten niet verdrongen door snelgroeiende en stikstoftolerante soorten zoals grassen, bramen en brandnetels.

Effecten van verhoogde stikstof beschikbaarheid

Menselijke activiteiten voegen extra stikstof in gebonden vorm toe aan ecosystemen. Hierna worden verschillende effecten van verhoogde stikstof beschreven (Bobbink & Lamers, 1999):

1 **directe schade:** bij zeer hoge luchtconcentraties kan NO_x directe schade aan korstmossen, planten en bomen veroorzaken. Bij zeer hoge concentraties van NH_3 kan bladschade optreden (bruine of zwarte vlekken). Ook kan als gevolg van hoge concentraties van deze stoffen in de lucht een hoge concentratie NH_4^+ in de bodem optreden, wat schadelijk kan zijn voor planten en dieren. Deze problematiek speelde in 1970 - 1980. Sinds 1980 is de achtergronddepositie echter aanzienlijk lager is en is ook de uitstoot van zwaveldioxide aanzienlijk lager, waardoor directe toxiciteit (bijna) niet meer aan de orde is (hooguit direct naast een bron met zeer veel emissie);
2 **vermesting**: wanneer extra stikstofdepositie terecht komt in een (semi)natuurlijk systeem, dan zal deze stikstof via bodem en water worden opgenomen door planten en in eerste instantie meer groei veroorzaken. Echter naarmate er meer stikstof in het systeem terecht komt (accumulatie) dan zullen karakteristieke soorten die gewend zijn aan omstandigheden met weinig stikstof verdrongen worden door stikstofminnende soorten. Dit proces wordt vermesting genoemd;
3 **verzuring**: de atmosferische stikstofverbindingen NO_x en NH_3 kunnen op zichzelf of na reactie met waterdeeltjes (zoals mist, wolken of regen) in de bodem H^+ ionen afgeven. H^+ ionen zijn zuur. Stikstofdepositie kan daardoor een verzurende werking hebben. Dit is een langetermijnproces. De mate

waarin verzuring optreedt is sterk afhankelijk van de buffercapaciteit van de bodem. De buffercapaciteit van de bodem is het vermogen van de bodem om verzurende stoffen te neutraliseren, wat afhangt van in de bodem aanwezige stoffen zoals kalk, mineralen, humus, en aluminium- en ijzeroxiden. Sommige bodems hebben veel buffercapaciteit (zoals kleibodems), terwijl sommige bodems weinig buffercapaciteit hebben (zoals zandbodems). Naarmate verzuring langer optreedt, neemt de buffercapaciteit van de bodem af. Verzuring vindt reeds van nature plaats, maar kan (zeer sterk) versneld worden door de toevoer van zure of verzurende stoffen uit de atmosfeer. Juist in bodems met geen tot weinig buffercapaciteit kan het verzurende effect 'ineens' optreden bij een overmaat aan stikstof; dit wordt ook wel een omslagpunt (tipping point) genoemd. Wanneer stikstofdepositie in een systeem terechtkomt kan het verzuring veroorzaken, wat leidt tot een afname van de buffercapaciteit, verhoogde uitspoeling van kationen (onder andere calcium, magnesium of kalium), verhoogde concentraties van toxische metalen (met name aluminium) en veranderingen in de verhouding tussen NO_3^- en NH_4^+in de bodem. Als dit gebeurt kunnen karakteristieke plantensoorten verdrongen worden door plantensoorten die meer resistent zijn tegen deze omstandigheden;

4 **chemische samenstelling**: een toename van stikstof kan zorgen voor een verandering van de chemische samenstelling van het plantenmateriaal, toegenomen gevoeligheid van planten voor vorst- of droogteschade, schimmels en bacteriën, en het kan (door een verhoogd stikstofgehalte in de bladeren of wortels) zorgen voor meer vraatschade door dieren. Dieren die dit plantenmateriaal eten kunnen negatieve gevolgen daarvan ondervinden. Door een veranderde nutriëntenbalans heeft het materiaal bijvoorbeeld minder mineralen, meer koolhydraten en andere concentraties secundaire plantenmetabolieten.

Een overmaat aan stikstof kan dus vermesting en verzuring veroorzaken. Vermesting en verzuring zijn processen die onderling met elkaar in verband staan, en tegelijkertijd kunnen optreden. Bekend is dat verzuring vegetaties gevoeliger maakt voor de effecten van vermesting. Dit komt doordat door verzuring de buffercapaciteit van een bodem afneemt waardoor stikstof gemakkelijker wordt opgenomen door planten. De effecten versterken elkaar dan dus. Hierdoor kan de vegetatiesamenstelling sneller veranderen, en kunnen karakteristieke soorten sneller verdwijnen. In zuurgevoelige habitattypen kan verzuring optreden, waardoor stoffen zoals calcium en kalium in oplossing komen, vervolgens uitspoelen en in verminderde mate beschikbaar zijn in de bodem voor planten. Ook daardoor kunnen karakteristieke plantensoorten verdwijnen, en kan de voedingswaarde van aanwezige planten veranderen. Door het verdwijnen van soorten verandert de samenstelling van de vegetaties (en dus ook van eventuele habitattypen), en nemen de soortenrijkdom en kwaliteit van de habitattypen af. Dit kan ook gevolgen hebben voor diersoorten die leefgebied hebben in die vegetaties.

Fluxen in stikstofkringloop

In de natuurlijke stikstofkringloop van ecosystemen circuleren grote hoeveelheden stikstof door bodem, atmosfeer en organismen. Een basiswaarde bij het beoordelen van de effecten van stikstofdepositie door een activiteit is de atmosferische ADW). De ADW is de totale hoeveelheid stikstofoxiden en ammoniak die neerslaat op een gebied, afkomstig van alle emissiebronnen in de directe omgeving en ver daarbuiten. Natuurlijke achtergronddeposities van stikstof liggen rond de 70 - 360 mol N/ha/jaar (1 - 5 kg N/ha/jaar) (Jaspers et al., 2020). In Nederland komt een dergelijke natuurlijke situatie echter niet meer voor. De achtergronddepositie is als gevolg van menselijke activiteiten sterk toegenomen en varieerde in Nederland in 2024 tussen de ca. 350 en 3.700 mol N/ha/jaar (5 - 52 kg N/ha/jaar) (Marra e.a., 2025). De achtergronddepositie wordt weergegeven in AERIUS als een gemiddelde over meerdere jaren. Als gevolg van meteorologische variaties varieert de gemiddelde achtergronddepositie jaarlijks met 5 tot 10 % (zie 'Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2015 van het RIVM'). Dit komt bij een achtergronddepositie tussen de 350 - 3.700 mol N/ha/jaar neer op een fluctuatie van 17,5 - 370 mol N/ha/jaar.

Deze hoeveelheden stikstof komen jaar na jaar, in natuurgebieden terecht. Een deel van deze stikstof verdwijnt door eerder genoemde processen uit het ecosysteem (denitrificatie door bacteriën, uitspoeling of oogst), een ander deel accumuleert in het ecosysteem en kan beschikbaar komen voor planten. Stikstofdepositietoenames van nieuwe activiteiten, plannen en projecten liggen veelal tussen de 0,01 en 1 mol N/ha/jaar; dit staat gelijk aan 0,00014 (0,14 gram) tot 0,014 kg (14 gram) N/ha/jaar. Ten opzichte van de actuele ADW's (tussen 350 en 3.700 mol N/ha/jaar) is duidelijk dat deze toenames van stikstofdepositie

van een andere ordegrootte zijn. Zo is een hoeveelheid van 0,01 mol N/ha/jaar minimaal 0,00027 en maximaal 0,0029 % van de ADW, en een hoeveelheid van 1 mol N/ha/jaar minimaal 0,027 en maximaal 0,29 % van de ADW. De bijdrages van de activiteiten zijn extreem klein ten opzichte van de bestaande ADW, en ook ten opzichte van de natuurlijke variaties in de ADW van jaar tot jaar.

4.2 Algemene informatie over effecten van een overmaat aan stikstof

Vermesting en de Kritische Depositiewaarde (KDW)

Zoals in voorgaande paragraaf is geïllustreerd, kan atmosferische stikstofdepositie tot verzuring en vermesting van stikstofgevoelige habitattypen en leefgebieden leiden. Dit kan gebeuren wanneer de ADW boven de Kritische Depositiewaarde (KDW) komt. De KDW is 'de grens waarboven het risico niet kan worden uitgesloten dat de kwaliteit van het habitattype significant wordt aangetast als gevolg van de verzurende en/of vermestende invloed van atmosferische depositie' (Van Dobben e.a., 2012). Er zijn voor verschillende habitattypen KDW's vastgesteld. In Van Dobben e.a. 2012 zijn de KDW's afgeleid uit modelstudies in combinatie met stikstofadditie-experimenten en observationele stikstofgradiëntstudies in ruimte en tijd, en dit onderzoek is in Wamelink e.a. (2023) geactualiseerd. De KDW's voor Nederlandse stikstofgevoelige habitattypen liggen tussen 400 (zoals gevoelige vennen, hoogveen of duinen) en 2.400 mol N/ha/jaar (slikkige oevers of ruigten en zomen). Boven 2.400 mol N/ha/jaar zijn habitattypen minder of niet stikstof gevoelig.

De KDW's zijn vastgesteld in hele kilogrammen stikstof per hectare per jaar (1kg N/ha/jaar), waarbij afronding is gebruikt. De op hele kilogrammen stikstof per hectare per jaar afgeronde KDW's zijn vervolgens omgerekend naar mol per hectare per jaar, en deze zijn ook weer afgerond naar hele molen (1 kg N/ha/jaar = ca. 71 mol N/ha/jaar). Door de afronding is geen sprake van een exacte nauwkeurigheid. Veel stikstof waardes van activiteiten liggen tussen de 0,01 tot 1 mol N/ha/jaar; dit staat gelijk aan 0,00014 (0,14 gram) tot 0,014 kg (14 gram) N/ha/jaar.

De KDW is geen toetswaarde voor tijdelijke gevolgen, maar heeft betrekking op langdurige stikstofdepositie en de accumulatie daarvan in het systeem (Van Dobben, 2020). Een overschrijding van de KDW betekent niet per definitie dat aantasting van het habitattype plaatsvindt, alleen dat het risico daarop niet kan worden uitgesloten. Ook bij overschrijding van de KDW door atmosferische stikstofdepositie is het namelijk mogelijk om habitattypen en leefgebieden duurzaam in stand te houden. Naast stikstofdepositie zijn er namelijk andere factoren die van (grote) invloed zijn op de ontwikkeling en instandhouding van habitattypen en leefgebieden, zoals limitatie van andere nutriënten zoals fosfaat, standplaatscondities, ontwikkelingsfase, dynamiek, hydrologie, waterkwaliteit en beheer.

Verzuring

De volgende informatie is afkomstig van Compendium voor de leefomgeving: 'de trendlijnen laten zien dat de zuurgraad (pH) van de bodem landelijk daalt (de bodem verzuurt) in alle ecosystemen. Wanneer de bodem in natuurgebieden verzuurt, kunnen allerlei plantensoorten uit dat gebied verdwijnen omdat de condities voor hen ongeschikt zijn geworden. In ongeveer een tiende van het totaal areaal natuur zijn de milieucondities in termen van zuurgraad niet goed. 'Landelijke berekeningen van de pH sinds 1967 laten een daling van de pH zien van soms meer dan een pH eenheid, bijvoorbeeld op de Veluwe'.

Voor veel habitattypen zijn pH-indicatoren gepubliceerd gebaseerd op indicatieve waarden van de soortensamenstelling (Natura 2000-profieldocumenten). Veel plantensoorten hebben een behoorlijke tolerantie voor veranderingen in de bodem pH, waardoor bij veranderingen in de pH geen wijziging in plantengroei, concurrentie en soortensamenstelling optreedt in een habitattype. Droge heide en droge bossen zoals oude eikenbossen groeien van nature in de wat zuurdere milieus, met als onderste range een pH van vier. Als, door verzuring door stikstofdepositie de bodem pH afneemt tot onder de waarde van vier, dan kan er een negatief effect zijn op de groeisnelheid, de concurrentiepositie en uiteindelijk de soortensamenstelling van het habitattype. Mogelijk komt er toxisch aluminium vrij. Als de individuen doodgaan, of weggeconcurreerd worden door andere algemenere soorten, dan kan het zijn dat het habitattype zoveel kwaliteitskenmerken verliest dat het niet meer voldoet en het oppervlak afneemt.

4.3 Ecologische effecten van geringe stikstofdepositie en beoordeling

In de voorgaande paragrafen is algemene informatie gegeven over de natuurlijke stikstofkringloop, de mogelijke effecten van een toename van stikstof daarin, de variaties in achtergronddepositie en de natuurlijke fluxen van stikstof in kringlopen. Daarnaast is toegelicht dat de effecten van stikstoftoenames bij projecten afhangen van de ADW en de KDW, maar ook van andere factoren zoals limitatie van andere nutriënten zoals fosfaat, standplaatscondities, ontwikkelingsfase, dynamiek, hydrologie en beheer. De beoordeling van de effecten van geringe stikstofdepositie als gevolg van nieuwe activiteiten vindt plaats op basis van een integratie van al deze informatie.

Hierna volgt een generieke beoordeling van de toename in stikstofdepositie door activiteiten, die boven op de stikstof vanuit de ADW in ecosystemen (en de habitattypen daarin) terecht komt. Hiervoor wordt nagegaan wat de effecten zijn via de hiervoor toegelichte vier processen (directe schade, vermesting, verzuring en chemische samenstelling).

4.3.1 Directe schade

Bij zeer hoge luchtconcentraties kunnen NO_x en NH_3 directe schade aan korstmossen, planten en bomen veroorzaken. Ook kan daardoor NH4+ in hoge concentraties in de bodem ontstaan, die schadelijke gevolgen kunnen hebben op planten en dieren. Deze problematiek speelde in 1970 - 1980. Maar nu de ADW aanzienlijk lager is (en ook uitstoot van zwaveldioxide (zure regen) aanzienlijk lager is), is dit effect (bijna) niet meer aan de orde (Bobbink, 2021)). Hooguit kan dit direct naast een bron met zeer veel emissie. Op dit soort uitzonderingen na (die in een specifieke beoordeling wel aan de orde zouden komen) geldt dat directe schade aan planten en dieren (en dus ook habitattypen en/of leefgebieden) niet zal optreden.

4.3.2 Vermesting

AERIUS Calculator berekent hoeveel extra stikstofdepositie een activiteit per jaar veroorzaakt. Het is van belang of de bijdrage optreedt in een situatie waar de ADW hoger is dan de KDW van de aanwezige habitattypen (overbelast), of waar de KDW tot 70 mol wordt benaderd (naderend overbelast)[1]. De naderend overbelaste situatie wordt meegenomen omdat dit een indicatie is dat een habitattype dicht bij het punt komt waar de KDW overschreden wordt. In die situaties kan namelijk (zie definitie KDW in paragraaf 4.2) het risico op significante aantasting van de kwaliteit van een habitattype niet enkel met een berekening uitgesloten worden.

In geval van een berekende waarde is er dus al sprake van een (naderende) overbelasting van de KDW. In Nederland houdt dit voornamelijk in dat het ecosysteem (en ook habitattype of leefgebied) zich al in de situatie bevindt waar langdurig veel stikstof beschikbaar is en is geweest, en accumulatie van stikstof heeft plaatsgevonden. De vraag die hier beantwoord moet worden is of voor wat betreft vermesting de bijdrage van de activiteit ervoor zal zorgen dat karakteristieke soorten worden weggeconcurreerd door relatief snelgroeiende soorten. Hierdoor kan een ecosysteem (of habitat of leefgebied) namelijk in kwaliteit verminderen, met mogelijk uiteindelijk afname van (kwalificerend) oppervlak tot gevolg (afname oppervlak).

Om te bepalen of er vermindering is van kwaliteit of uiteindelijk afname van oppervlak is het nodig om te begrijpen hoeveel groei een bepaalde stikstoftoename van een activiteit kan veroorzaken. Is de groei van een individuele plant door een bepaalde stikstoftoename groot, dan is de kans aanwezig dat de plant een andere plant kan wegconcurreren. Is die groei (zeer) klein, dan is de kans nihil dat de stikstofbijdrage van een activiteit een verandering in concurrentie kan veroorzaken en zo kan zorgen voor een verandering in soortensamenstelling. Daarbij geldt ook nog dat niet alle stikstoftoename ten goede komt aan plantengroei. Net als in paragraaf 4.1 is beschreven, is het niet zo dat de groei van een plant altijd volledig afhankelijk is

[1] Deze marge van 70 mol/ha/jaar is mede ingebouwd om onder meer cumulatie met reeds vergunde, maar nog niet uitgevoerde projecten op te vangen.

van de beschikbaarheid en hoeveelheid van stikstofdepositie. Ook andere factoren kunnen ook van invloed zijn, zoals fosfaatbeperking. Voor dit voorbeeld gaan we er 'worstcase' echter vanuit dat de groei volledig en enkel van stikstof afhankelijk is. Hierna een illustratief rekenvoorbeeld uitgewerkt.

Illustratief rekenvoorbeeld geringe depositie en vermesting

Omdat stikstof een essentieel element is voor de groei van planten, is het van belang inzicht te hebben hoeveel groei een bepaalde bijdrage kan veroorzaken. Hiervoor is een rekenvoorbeeld uitgewerkt:

- een depositie van 1 mol N/ha/jaar komt overeen met ca. 14 gram N/ha/jaar;
- de biomassaproductie van natuurlijke oligotrofe tot eutrofe habitattypen loopt uiteen van 1.000 tot 6.000 kg droge stof/ha/jaar (Runhaar et al, 2009);
- het drooggewicht van planten bestaat gemiddeld voor 1,5 % uit stikstof, maar er zijn variaties tussen plantensoorten; bij houtachtige planten is het gemiddelde 0,5 % en bij peulvruchten is dit gemiddeld 5,0 %[1]. Voor de biomassaproductie van een natuurlijk habitattype (1.000 tot 6.000 kg droge stof/ha/jaar) is met gemiddeld 1,5 % stikstof dus 15 - 90 kg N/ha/jaar nodig. Dit komt overeen met ca. 1.075 - 6.400 mol N/ha/jaar. Dit is de hoeveelheid stikstof die nodig is om het habitattype in de 'normale' staat te (onder)houden. De benodigde hoeveelheid stikstof betreft de totale aanvoer van stikstof, dus ook vanuit andere bronnen dan atmosferische depositie zoals grond- en oppervlaktewater, nalevering uit de bodem, decompositie van organische materiaal en natuurlijke bemesting (via dieren of vee dat ingezet wordt bij natuurlijke begrazing). Voor dit rekenvoorbeeld negeren we deze andere bronnen echter en beschouwen we als 'worst-case' dat alles stikstof die nodig is voor biomassaproductie afkomstig is van atmosferische depositie;
- een depositie van 1 mol/ha/jaar komt dus overeen met ca. 0,017 % tot 0,1 % van de jaarlijks benodigde hoeveelheid stikstof voor het (onder)houden van de bestaande planten en samenstelling van planten in natuurlijke habitattypen. Deze extra hoeveelheid is op zichzelf zo klein dat het uitgesloten is dat daardoor een meetbare verandering optreedt in de groeisnelheid van individuele planten. En als er geen verandering optreedt in de individuele groeisnelheid, en daarmee de concurrentiepositie van plantensoorten onderling, zal ook de plantensamenstelling niet wijzigen. Karakteristieke plantensoorten zullen door deze depositie (of lagere waarden) niet verdwijnen.

Een geringe toename van de depositie van 0,01 tot 1 mol N/ha/jaar voor één jaar leidt volgens het uitgewerkte voorbeeld, waarbij geen andere factoren die de groei (kunnen) beperken aan de orde zijn, dus niet tot een veranderde plantensamenstelling of het verdwijnen van karakteristieke soorten. Omdat de plantensamenstelling en de aanwezigheid van karakteristieke soorten de kwaliteit van een habitattype bepalen, volgt daaruit dat door een eenmalige geringe toename van stikstofdepositie de kwaliteit van habitattypen en/of leefgebied niet afneemt. Ook het oppervlak zal dan niet afnemen door verlies van te veel kwaliteit waardoor het habitattype niet meer zou kwalificeren. Dit proces (de vermestende invloed van een geringe toename) staat feitelijk los van de huidige kwaliteit van het betrokken habitattype en/of de instandhoudingsdoelstelling.

Dit geldt ook als de stikstoftoename enkele jaren plaatsvindt. Net als in de vorige alinea beschreven zal de bijdrage op zichzelf en ook na enkele jaren niet zorgen voor veranderingen in plantengroei, of veranderingen in concurrentie of veranderingen in soortensamenstelling veroorzaken. De bijdrage is daar niet langdurig genoeg voor.

Bij een permanente toename van stikstofdepositie als gevolg van een nieuwe activiteit kan op termijn wel een effect optreden. Bij een permanente depositiebijdrage kan stikstof accumuleren in het ecosysteem, bijvoorbeeld in een grotere hoeveelheid biomassa levend plantenmateriaal of opslag van dood plantenmateriaal). Een bijdrage van 0,01 respectievelijk 0,1 mol N/ha/jaar telt in 30 jaar op tot 0,3 mol respectievelijk 3 mol N/ha. Vergelijken met de totale stikstofbelasting van de achtergronddepositie in 30 jaar tussen 21.000 mol N/ha en 120.000 mol N/ha, is deze met zichzelf gecumuleerde bijdrage verwaarloosbaar en zal, mede gebaseerd op de eerdere beoordeling, ook gecumuleerd met zichzelf, geen individueel meetbare of merkbare veranderingen veroorzaken in groeisnelheid, concurrentie of plantensamenstelling. Er zal daarmee geen afname plaatsvinden van de kwaliteit of het oppervlak van een vegetatie of habitattype. In

[1] Waarom heeft een plant stikstof nodig - www.nutrinorm.nl

werkelijkheid zal de accumulatie van stikstof zelfs een lagere waarde betreffen, omdat niet alle stikstof in het systeem aanwezig blijft; er kan stikstof via (grond)water uitspoelen en/of vervluchtigen door denitrificatie. De bijdrage aan de totale stikstofbelasting is daarmee in werkelijkheid nog minder groot.

Een geringe tijdelijke bijdrage van 0,01 tot 1 mol N/ha/jaar voor enkele jaren, of een geringe permanente bijdrage van 0,01 tot 0,1 mol N/ha/jaar leidt door vermesting op zichzelf niet tot meetbare of merkbare veranderingen in de kwaliteitskenmerken van habitattypen en/of leefgebieden. Een aantasting van de natuurlijke kenmerken van het relevante Natura 2000-gebied is daardoor uitgesloten.

4.3.3 Verzuring

Waar de voorgaande alinea's vooral de effecten van vermesting door stikstof(depositie) beschrijven, kan stikstofdepositie ook via verzuring van invloed zijn op habitattypen en leefgebieden. Het proces van verzuring verloopt in de meeste ecosystemen geleidelijk. Zoals in paragraaf 2.1 is beschreven, is verzuring van een ecosysteem een lange termijn proces dat ook van nature plaatsvindt. Verzuring en uitloging van de bodem treden van nature op, maar overmatige stikstofdepositie kan het proces van verzuring versnellen en daarmee ook van invloed zijn op de kwaliteit van habitattypen en leefgebieden.

Ecosystemen en bodems met voldoende bufferend vermogen
In de meeste bodems van ecosystemen is voldoende bufferend vermogen aanwezig. Vaak wordt het bufferend vermogen regelmatig aangevuld, bijvoorbeeld via basenrijke kwel, in de vorm van een basenrijk kleilaagje dat in een uiterwaard achterblijft na een overstroming of door verstuiving met kalkhoudend zand. In de gevallen waar voldoende bufferend vermogen aanwezig is zal de verzurende werking van een tijdelijke en/of een permanente toename van stikstofdepositie van 0,01 tot 1 mol N/ha/jaar op zichzelf geen merkbare invloed op de bodem pH hebben. Deze bijdrage is daar te onbeduidend voor omdat de aanvulling van het buffersysteem groter is dan de zuur-lading van de depositie. Doordat er geen verandering is in de bodem pH is er geen verandering van groeisnelheid, van concurrerend vermogen en zal geen verandering in soortensamenstelling optreden. De kwaliteit of het oppervlak van een habitattype wordt niet aangetast.

Ecosystemen en bodems met weinig of geen bufferend vermogen
Echter, er zijn enkele ecosystemen in Nederland waar de bodem weinig of geen buffercapaciteit meer heeft of waar heel droge standplaatsen aanwezig zijn, zoals stuifzanden, droge heiden of kalkarme grijze duinen. Bij gebrek aan bufferend vermogen kan een plotselinge verandering in zuurgraad optreden (een tipping point), omdat alle zuur-lading uit de depositie in het bodemvocht doorwerkt. Voornamelijk aquatische en van nature zwak gebufferde terrestrische systemen zijn vatbaar voor het bereiken van een dergelijk tipping point. In deze ecosystemen is de aanvoer van bufferende stoffen namelijk gering of geheel ontbrekend, waardoor deze systemen afhankelijk zijn van de bestaande buffercapaciteit. Er zijn plantensoorten met specifieke standplaatsvereisten die aangepast zijn aan een dergelijke basenarme omgeving, deze zijn vaak weinig of niet tolerant voor verzuring van de bodem. Vaak zijn dit ook de plantensoorten die deel uitmaken van vegetatietypen die kwalificerend zijn voor een goede kwaliteit. Als dergelijke planten negatieve effecten ondervinden van verzuring, door een lagere groeisnelheid en in concurrentie met andere soorten verliezen, dan kan de kwaliteit van een habitattype worden aangetast. Als de individuen doodgaan, of weggeconcurreerd worden door andere algemenere soorten, dan kan het zijn dat het habitattype zoveel kwaliteitskenmerken verliest dat het niet meer voldoet en het oppervlak afneemt.

Verzuring kan ook een probleem veroorzaken als de bodem pH onder de 4,5 komt. Dan kan gebonden aluminium vrijkomen, wat schadelijk is voor planten omdat het de zeer fijne haarwortels aantast. Daardoor kan een plant veel minder effectief water en voedsel opnemen. Als de pH na een korte tijd weer boven de 4,5 komt (bijvoorbeeld door aanvulling van buffering), dan ontstaan nieuwe haarwortels, en is de kans klein dat er veranderingen zijn in de groeisnelheid, concurrentiepositie en soortensamenstelling van een vegetatie. Echter als de blootstelling aan aluminium langer duurt kunnen er wel negatieve gevolgen zijn voor de groeisnelheid, concurrentiepositie en soortensamenstelling van een vegetatie. Hierdoor kan de kwaliteit van habitattypen afnemen. In het ergste geval gaan plantenindividuen dood door aluminium-toxiciteit en kan

door te veel afname van de kwaliteitskenmerken van een habitattype het oppervlak met een goede kwaliteit afnemen binnen het habitattype.

Beoordeling effecten verzuring

Of verzuring optreedt hangt dus af van meerdere factoren, waaronder het bodemtype, de huidige pH, aanvoer van bufferende stoffen en uitloging. In het hierna gegeven illustratieve rekenvoorbeeld wordt een versimpelde 'worstcase' gegeven van de verzurende effecten van geringe depositie.

Illustratief rekenvoorbeeld geringe depositie en verzuring

Door een geringe stikstoftoename neemt de hoeveelheid H^+-ionen in de bodem toe per hectare. Hoeveel verzuring dat tot gevolg heeft, hangt sterk af van het bodemtype (mate van bufferende werking), hoeveelheid vocht (zandgronden zijn relatief droog en veen is relatief nat) en de huidige pH van de bodem. Het volgende illustratieve voorbeeld heeft betrekking op een niet gebufferd bodemtype bestaande uit droge zandgrond met een bodemvochtpercentage van 5 % (bij een 5 cm dikke bodem 0,0025 m^3 bodemvocht, oftewel 2,5 L).

Disclaimer: Er wordt bij dit rekenvoorbeeld gewerkt stikstofdepositie door NO_x, die hoofdzakelijk afkomstig zijn van verbrandingsprocessen van industrie, elektriciteit en verkeer. Bij dergelijke processen komt ook NH_3 vrij, maar dat is maar heel weinig in vergelijking met de hoeveelheid NO_x. NH_3 komt met name vrij door processen in de agrarische sector, zoals landbouw en veeteelt. Daar is dit rekenvoorbeeld niet relevant voor.

Voor NO_x geldt dat maximaal één mol H^+ wordt geproduceerd (zie onderstaande formules) (Kos e.a., 2024).

$H_2O + 2\ NO_2 \rightarrow HNO_3 + HNO_2$ (vorming salpeter- en salpeterigzuur)
$2\ HNO_2 \rightarrow NO_2 + NO + H_2O$ (ontleding salpeterigzuur)
$NO + O_2 \rightarrow NO_2$ (oxidatie stikstofmonoxide)
$HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

Wanneer er 0,01 mol NOx/ha/jaar op de bodem terechtkomt, leidt dat dus tot 0,01 mol H^+/ha/jaar, wat gelijk is aan 0,000001 mol H^+/m^2/jaar. Bij beschouwing van de hoeveelheid vocht in de bodem komt dat neer op 0,000001 mol H^+/2,5 L = 0,0000004 mol H^+/L. Bij een bodem met pH 4 is er al 0,0001 mol H^+/L aan H^+ aanwezig. Wanneer daar 0,0000004 mol H^+ bij komt, is er nu dus 0,0001004 mol H^+/L in de bodem aanwezig. Met de algemene formule ($pH = -\log[H_3O^+]$) komt de nieuwe pH dan uit op: $pH = -\log[0,0001004] = 3,998$.

Een eenmalige, tijdelijke depositie van 0,01 mol NOx/ha/jaar leidt dus tot een theoretische verandering van pH 4 naar pH 3,998. Dit levert in de praktijk echter geen meetbaar of merkbaar verschil op in de groeisnelheid en concurrentiepositie van planten, en daarmee op de soortensamenstelling.

Bij een hogere eenmalige bijdrage van 1,0 mol N/ha/jaar wordt dus 0,00004 mol $H^+/L/m^2$ toegevoegd en komt het totaal op 0,00014 mol H+ uit. Dat zou dan de pH van 4 naar 3,85 brengen. Bij een bijdrage van 0,5 mol N/ha/jaar wordt dus 0,00002 mol $H^+/L/m^2$ toegevoegd en komt het totaal dus uit op 0,00012 mol H+ uit. Dat zou dan de pH van 4 naar bijna 3,92 brengen. Zowel bij het toevoegen van 1 mol N/ha/jaar als 0,5 mol N/ha/jaar is er aldus sprake van een hele kleine daling van de pH.

In het geval van een geringe, permanente depositie neemt de hoeveelheid H^+-ionen logischerwijs verder toe. Als dezelfde bijdrage (0,01 mol H^+/ha/jaar) 30 jaar lang op de bodem terecht komt, levert dit in totaal 0,00003 mol H^+/m^2. Bij beschouwing van de hoeveelheid vocht in de bodem, komt dit neer op 0,00003 mol H^+/2,5 L = 0,000012 mol H^+/L. De hoeveelheid H^+ in de bodem verandert nu dus van 0,0001 mol H^+/L naar 0,000112 mol H^+/L. Met de algemene formule ($pH = -\log[H_3O^+]$) komt de nieuwe pH dan uit op: $pH = -\log[0,000112] = 3,951$. Ook dit levert in de praktijk echter geen meetbaar of merkbaar verschil op in de groeisnelheid en concurrentiepositie van planten, en daarmee op de soortensamenstelling.

Deze berekening gaat uit van een worstcase scenario, waarbij er geen enkele buffering optreedt. In de praktijk is dit echter eigenlijk nooit het geval, aangezien er zelfs in een schrale zandbodem altijd wel enige mate van buffering plaatsvindt. Bovendien is er gerekend met slechts de bovenste 5 cm van de bodem.

Wanneer wordt beschouwd dat er in Nederland gemiddeld 850 mm regen per m^2 valt (wat neerkomt op 850 L/m^2/jaar), betekent dit dat de hoeveelheid zuur in de bodem zeer sterk verdund wordt en uitspoelt naar de diepere lagen van de bodem. In de praktijk levert ook de geringe, permanente depositiebijdrage daardoor geen significante wijziging van de pH van de bodem op.

In een versimpelde worst-case situatie heeft een tijdelijke stikstofbijdrage van 0,01 mol N/ha/jaar zowel in theorie als in de praktijk geen meetbare of merkbare verandering tot gevolg. Als die bijdrage voor de duur van dertig jaar doorgezet wordt, en de bijdrage met zichzelf accumuleert, zal de bodem pH zowel in theorie als in de praktijk ook niet (meetbaar) dalen. Bij een grotere zuurbelasting kan echter wel een theoretische verlaging van de pH optreden (bijvoorbeeld van 4 naar 3,85 bij een permanente bijdrage van 0,02 mol/ha/jaar). In de beschreven bodem, zonder aanvoer van bufferende stoffen, wat vrij onwaarschijnlijk is, kan dan niet uitgesloten worden dat dit een verandering oplevert in de groeisnelheid en concurrentiepositie van planten, met mogelijk wijzigingen in de vegetatiesamenstelling tot gevolg. In minder verzuringsgevoelige habitattypen waar nog wel buffering aanwezig is, of aangevoerd wordt, is geen sprake van het optreden van veranderingen in de bodem pH door verzuring.

Zoals hiervoor weergegeven kan een geringe bijdrage in theorie het bereiken van een tipping point versnellen. Maar in de voorgaande tekst is onderbouwd dat een tijdelijke bijdrage tot 0,3 mol N in totaal, of een permanente bijdrage tot 0,01 mol N/ha/jaar zelfs in de meest gevoelige habitattypen niet leidt tot veranderingen in groeisnelheid, concurrentiepositie of vegetatiesamenstelling. Significante gevolgen van deze beschreven bijdrages worden uitgesloten. Bij een eenmalige depositie van 1 mol N/ha/jaar is de daling van de pH nog altijd zo gering dat alleen er alleen kans is op grote negatieve effecten in habitattypen, waar sprake is van een risico op het overschrijden van tipping points en tegelijkertijd sprake is van gebrek aan buffering. In de praktijk is het bereiken van een tipping point nooit te herleiden tot een geringe bijdrage. Een tipping point treedt alleen lokaal op, en zou ook zonder de bijdrage bereikt worden als gevolg van langdurige overbelasting door stikstofdepositie. Een tipping point wordt nooit gelijktijdig op grote oppervlakten bereikt, omdat het bereiken ervan ondanks dat ‘punt’ anders doet vermoeden, een geleidelijk proces is dat door lokale processen wordt gestuurd. Vanwege de natuurlijke ruimtelijke variatie in abiotische omstandigheden binnen een gebied kan een geringe stikstofdepositietoename dus hooguit bijdragen aan het lokaal (in termen van enkele m^2) bereiken van een tipping point. Ten tweede is de achtergronddepositie vele malen bepalender in het al dan niet bereiken van een tipping point. Hoewel een geringe stikstofdepositietoename het bereiken van een omslagpunt kan versnellen, zou een omslagpunt toch wel bereikt worden als gevolg van accumulatie van de langdurige hoeveelheid verzurende effecten van stikstofdepositie. De beschreven geringe tijdelijke en/of permanente stikstofdepositietoename is in de praktijk dan niet de bepalende factor.

4.3.4 Chemische samenstelling

Uit onderzoek van Vogels et al. (2022) blijkt dat door langdurige accumulatie van stikstof andere nutriënten(verhoudingen) veranderen en ook chemische verbindingen waarin stikstof vastgelegd wordt veranderen. Dit effect is het sterkst bij de depositie van NH_4^+. Vaak wordt een systeem fosfor gelimiteerd en hierdoor kunnen negatieve gevolgen ontstaan voor bijvoorbeeld sommige insecten. Hierbij is sprake van een kantelpunt. Gespecialiseerde insecten die slechts één soort waardplant benutten, zijn daardoor gevoelig voor veranderingen in voedselkwaliteit en kunnen bovendien niet overstappen op een andere soort waardplant. Waar de kantelpunten liggen is nog onvoldoende bekend, en uit het onderzoek (Vogels et al., 2022) blijkt dat nog niet bekend is of de KDW op dit vlak aangescherpt moet worden.

Als de depositie voornamelijk bestaat uit NOx, en bij de geringe bijdrage die hier beoordeeld zijn, dan is het met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid uit te sluiten dat de bijdrage op zichzelf zorgt voor negatieve effecten als gevolg van een veranderde chemische samenstelling.

4.4 Conclusie effecten van stikstofdepositietoename

In algemene zin is bekend dat de kwaliteit van een habitattype of leefgebied kan afnemen als de stikstofdepositie toeneemt boven de KDW. De belangrijkste processen die ten grondslag liggen aan de afnemende kwaliteit zijn vermesting en verzuring. Vermesting en verzuring leiden tot een toename van groei van stikstofminnende plantensoorten en het veranderen van de verhouding in de aanwezigheid van individuele plantensoorten. Accumulatie van stikstof in de bodem door langdurige overbelasting is van invloed op de mate waarin sprake is van kwaliteitsverlies. Het (al dan niet) optreden van kwaliteitsverlies wordt daarnaast beïnvloed door het bufferend vermogen van de bodem, de aan- en afwezigheid van (andere) voedingsstoffen in de bodem, en andere gebieds- en habitattypenspecifieke factoren, zoals de aanwezige dynamiek en hydrologische omstandigheden. Deze omstandigheden worden in de gebiedsspecifieke beoordeling betrokken.

Hooguit direct naast een bron met zeer veel emissie zou directe schade aan korstmossen/planten en bomen kunnen optreden. Op dit soort uitzonderingen na (die in een specifieke beoordeling wel aan de orde zouden komen) geldt dat directe schade aan planten en dieren (en dus ook habitattypen en/of leefgebieden) niet zal optreden door de energietransitie. Uit de bovenstaande analyse blijkt dat een geringe tijdelijke bijdrage van 0,01 tot 1 mol N/ha/jaar voor enkele jaren, of een geringe permanente bijdrage van 0,01 tot 0,1 mol N/ha/jaar leidt door vermesting op zichzelf niet tot veranderingen in groeisnelheid, concurrentiepositie of vegetatiesamenstelling. Het leidt niet tot meetbare of merkbare veranderingen in de kwaliteitskenmerken van habitattypen en/of leefgebieden. Uit de beoordeling blijkt eveneens dat een tijdelijke geringe bijdrage tot 0,3 mol N in totaal, of een permanente bijdrage tot 0,01 mol N/ha/jaar op zichzelf zelfs in de meest gevoelige habitattypen niet leidt tot veranderingen in groeisnelheid, concurrentiepositie of vegetatiesamenstelling. Tot slot is beredeneerd dat bij een eenmalige depositiebijdrage tot 1 mol N/ha/jaar de daling van de pH nog altijd zo gering is dat er alleen kans is op structurele negatieve effecten in habitattypen waar sprake is van een risico op het overschrijden van tipping points en tegelijkertijd sprake is van gebrek aan buffering. Daarom zijn deposities onder de 1 mol N/ha/jaar voorlopig niet beoordeeld.

Ook via verzuring leiden dergelijke bijdrages niet tot meetbare en merkbare veranderingen in de kwaliteitskenmerken van habitattypen en/of leefgebieden. Daarnaast is ten opzichte van de totale stikstofbalans in een ecosysteem een dergelijke projectbijdrage verwaarloosbaar en niet te onderscheiden. Als de depositie voornamelijk bestaat uit NO_x, en bestaat uit de geringe bijdrage die hier behandeld zijn, dan is het met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid uit te sluiten dat de bijdrage op zichzelf zorgt voor negatieve effecten als gevolg van een veranderde chemische samenstelling. Een aantasting van de natuurlijke kenmerken van het relevante Natura 2000-gebied is daardoor uitgesloten. Eenmalige bijdragen van meer dan 1 mol N/ha/jaar kunnen daarentegen dus wel leiden tot een significante daling van de pH in de bodem met gevolgen voor de kwaliteit van habitattypen. Met name in habitattypen waar droogte naast stikstofdepositie een probleem vormt, kan dan een tipping point optreden met als gevolg een schadelijk verzuring.

4.5 Conclusie ten behoeve van het voorliggende onderzoek

Voor de analyse in dit onderzoek is een selectie gemaakt van te analyseren habitattypen. Daarvoor is op grond van bovenstaande conclusies uitgegaan van een eenmalige depositie van 1 mol N/ha/jaar (zie paragraaf 4.3.3 en 4.5). Voorafgaand is immers al berekend dat bij een hoge eenmalige bijdrage van 1,0 mol N/ha/jaar de pH hooguit van 4 naar 3,85 kan dalen. Bij het toevoegen van maximaal 1 mol N/ha/jaar is er dus sprake van een relatief kleine daling van de pH. Deze daling treedt hooguit op als er geen sprake is van buffering en/of verdunning van de verzurende ionen in de bodem, wat niet aannemelijk is. Dit speelt dus hooguit als er sprake is van te droge omstandigheden en het wegvallen van kwel. Daarom zijn deposities onder de 1 mol N/ha/jaar voorlopig niet beoordeeld.

Er kan daarom vanuit worden gegaan dat het hanteren van de 1 mol ondergrens voor effecten een worst-case benadering is voor het inschatten van de kans op het verslechteren van de kwaliteit van habitattypen via verzuring door een eenmalige depositie in combinatie met risico's op het overschrijden van tipping

points en een gebrek aan buffering. Alle beschouwde habitattypen uit de OSES 3.0 studie met maximale deposities boven 1 mol N/ha/jaar worden daarom in de voorliggende studie onderzocht en tegen het licht gehouden met betrekking tot de mate van buffering en gevoeligheid ten aanzien van het overschrijden van tipping points. Het gaat om de depositie bij aanleg van de energie-infrastructuur. Deze worden in de voorliggende studie allemaal binnen het eerste jaar aanleg van de energie-infrastructuur gerealiseerd en worden derhalve ook als eenmalige deposities behandeld in de studie.

Verwacht wordt dat dergelijke deposities belangrijker zijn ten aanzien van verzuring dan ten aanzien van vermesting. Een eenmalige hogere depositie dan 1 mol N/ha/jaar zal niet direct leiden tot een sterke permanente eutrofiering (zie paragraaf 4.3.2), waardoor er hoe dan ook hooguit sprake is van een tijdelijk omkeerbaar effect op de vermesting. Mede omdat in de meeste gebieden de verduurzaming uiteindelijk ook zal leiden tot een afname van de achtergronddepositie, wordt verwacht dat de energietransitie als geheel op enige termijn niet tot wezenlijke eutrofiering van habitattypen zal leiden. Vermestende effecten door de aanleg van de energie infrastructuur komen in dit rapport dan ook niet aan bod.

5

AANPAK ONDERZOEK

5.1 Selectie van te onderzoeken habitattypen

In het onderzoek zijn in eerste instantie de 25 meest kwetsbare habitattypen (zoals wegens gevoeligheid voor het overschrijden van tipping points) uit de 123 stikstof gevoelige Natura 2000-gebieden uit de OSES 3.0 studie onderzocht (fase 2, zie bijlage II). Er heeft op basis van een uitgebreide literatuurstudie een gedetailleerde analyse plaatsgevonden van de effecten op die 25 habitattypen aan de hand van gegevens over de huidige kwaliteit en trends daarin en de knelpunten in het behalen van een goede kwaliteit. Op grond daarvan zijn de risico's ingeschat voor het al dan niet behalen van de (instandhoudings)doelstellingen van die 25 habitattypen.

Op grond van de analyse van deze 25 habitattypen is het volgende vastgesteld ten aanzien het vervolg van het project:

- het is weinig zinvol voor het vervolg van de studie om opnieuw een uitgebreide met tekst onderbouwde analyse op te stellen, zoals in Witteveen+Bos (2025b) heeft plaatsgevonden. Het voorzetten van de aanpak met zulke gedetailleerde beschrijvingen zorgt ervoor dat maar een beperkt aandeel van risicovolle habitattypen kunnen worden besproken in het vervolg van de studie. Het is echter belangrijk om alle resultaten van het OSES 3.0 project te betrekken bij het huidige onderzoek voor een volledig beeld van de problematiek;
- het is belangrijk om inzicht te krijgen in de spreiding van de depositie over de beïnvloede habitattypen, omdat de gebruikte maximale waarde vrijwel altijd ver buiten het grootse deel van de waarden in een specifiek habitattype ligt. Het gaat bijna altijd om een hexagoon met een veel hogere depositie dan de rest van de hexagonen (lees: hectares of oppervlak) binnen het habitattype.

Uitgaande van bovenstaande bevindingen worden voor het vervolg van de studie de volgende analyses uitgevoerd:

- er wordt een overzichtstabel opgesteld met deposities en gegevens over de kwaliteit van habitattypen en knelpunten in het behalen van een goede kwaliteit voor een nieuwe selectie van habitattypen uit de OSES3.0 gegevens;
- er wordt geen uitgebreide toelichting op of beschrijving van de ingevulde waarden in de tabel gegeven;
- leefgebieden van soorten worden niet onderzocht;
- alle relevante informatie komt voornamelijk uit de Natuurdoelanalyses, als meest recente bron. In sommige gevallen is ook gekeken naar de relevante Gebiedsanalyses, Natura 2000-beheerplannen en adviezen van de Ecologische Autoriteit;
- de selectie ten behoeve van het huidige onderzoek betreft alle habitattypen die voldoen aan de volgende criteria:
  - de habitattypen zijn (naderend) overbelast (belasting is hoger dan de KDW -70 mol);
  - er vindt tijdens de aanleg een maximale depositie plaats van meer dan 1 mol N/ha/jaar;
  - na depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur is meer dan 25 % van alle hexagonen van een habitattype (naderend) overbelast;
- uitgaande van bovengenoemde criteria blijven uit het OSES 3.0 bestand 143 habitattypen in 35 Natura 2000-gebieden over, waarvan er in Witteveen+Bos (2025b) al 24 in detail zijn beschouwd, die ook met de huidige beoordeling worden meegenomen;

- effecten van de aanleg van de energie-infrastructuur en verduurzaming worden via een daarvoor opgesteld beslisboom beoordeeld (zie afbeelding 5.1);
- voor de habitattypen wordt de statistische spreiding en mediane waarde van de depositiedata over de habitattypen per Natura 2000-gebied bepaald middels een nieuwe bewerking van de AERIUS data uit de OSES 3.0 studie. De mediane depositie is de maximale depositie op de helft van het oppervlak van een habitattype. Dus een mediaan van 0,5 betekent dat op de helft van een habitattype minder dan 0,5 mol N/ha/jaar valt en op de andere helft meer dan die 0,5 mol N/ha/jaar. Een depositie van 0,5 wordt in de beslisboom gebruikt om te bepalen of er risico is op een negatief effect of niet. Als de mediaan gelijk of lager is dan 0,5 is het risico verwaarloosbaar klein, hoewel niet volledig uitgesloten. Gebruik van de mediane depositie levert een realistischer beeld van de spreiding van de deposities binnen de habitattypen dan de maximale deposities;
- er worden twee scenario's beoordeeld aan de hand van de opgestelde tabel:
  - aan de hand van de maximale deposities (zoals in Witteveen+Bos, 2025b);
  - aan de hand van de mediane deposities (naar aanleiding van de nieuwe berekeningen);
- primair uitgangspunt blijft dat alle deposities plaatsvinden in één jaar, bij de start van de aanleg van de energie-infrastructuur. Dit is dus een worst-case benadering, omdat in de praktijk de werkzaamheden aan het aan te leggen hoogspanningsnet over meerdere jaren verspreid zal worden;
- om een beeld te krijgen van een minder worst-case benadering wordt ook kort aangegeven wat er met de deposities gebeurt als de stikstofuitstoot van de aanleg van de energie-infrastructuur over meerdere jaren verspreid op de Natura 2000-gebieden zou neerkomen;
- de situatie na alleen de aanleg en de situatie na aanleg inclusief vijf jaar verduurzaming worden beoordeeld.

Voor beoordeling van alle 143 habitattypen is de onderstaande beslisboom gebruikt (afbeelding 5.1), dus ook voor de 24 habitattypen die al in detail zijn beoordeeld zie Bijlage II), zodat een congruent beeld van de beoordeling ontstaat.

Stap 1:
- de eerste stap in de beslisboom levert bij gebruik van de maximale depositiewaarden altijd een 'ja' op, omdat immers alle habitattypen met een depositie van ten minste 1 mol N/ha/jaar zijn geselecteerd. Bij gebruik van de mediaan vallen wel diverse habitattypen af in stap 1 omdat de mediaan vaak lager ligt dan 1 mol N/ha/jaar. Als dat niet het geval is wordt stap 2 doorlopen.

Stap 2:
- in de volgende stap wordt de huidige kwaliteit beschouwd. Als die op dit moment voldoende is, dan wordt verwacht dat de kwaliteit bij de beschouwde deposities niet zover zal verslechteren dat tijdens de uitvoering van de verduurzamingsmaatregelen het behalen van de instandhoudingsdoelen in gevaar zal komen. Er is ook dan dus ook geen kans op negatieve effecten. Als de kwaliteit onvoldoende is wordt de beslisboom vervolgd naar stap 3.

Stap 3:
- in de derde stap wordt onderzocht of stikstofdepositie een knelpunt vormt in het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat stikstofdepositie altijd primair het knelpunt is voor het onderzochte habitattypen, hoewel dat zeker niet altijd het geval is. Vaak is stikstof wel één van de knelpunten, maar niet het belangrijkste. Deze stap is dus een worst-case benadering. Als stikstofdepositie geen knelpunt is, dan is er ook geen kans op negatieve effecten door stikstofdepositie. Als stikstofdepositie wel een knelpunt is dan wordt vervolgd naar stap 4.

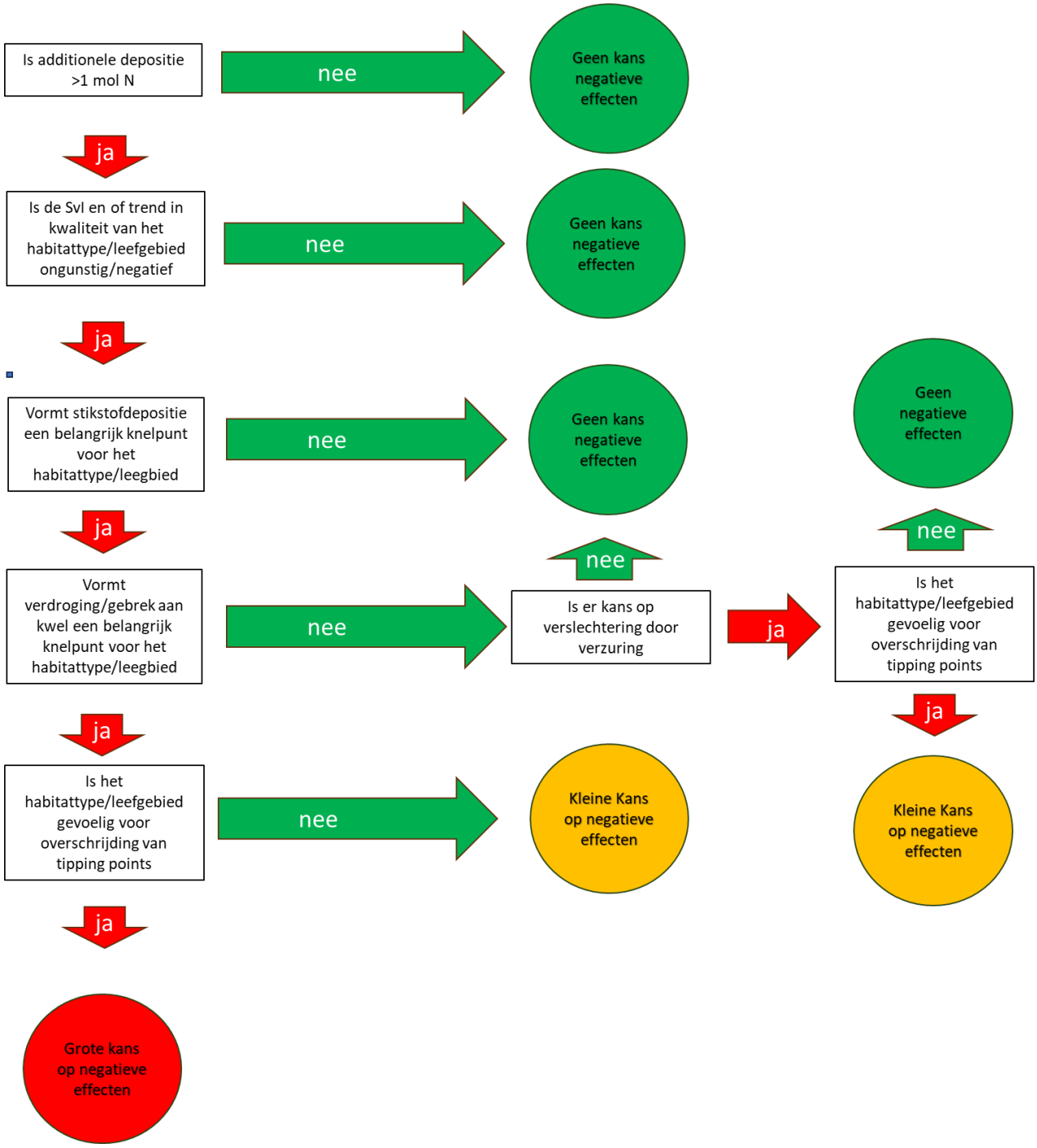
Stap 4:
- als stikstofdepositie wel een knelpunt is dan komt dat vooral tot uitdrukking in habitattypen die leiden onder verdroging, omdat er dan minder sprake is van buffering of van verdunning van verzurende ionen door grondwater. Als verdroging of gebrek aan kwel/buffering een knelpunt vormt wordt verder gegaan naar stap 5 in de beslisboom. Als verdroging of gebrek aan kwel geen rol speelt als knelpunt, dan wordt onderzocht of verzuring hoe dan ook een knelpunt kan zijn. Als verzuring ook geen knelpunt is dan is er ook geen kans op negatieve effecten. Als verzuring wel een knelpunt is dan is er alleen sprake van een kleine kans op negatieve effecten als het betreffende habitattypen ook nog gevoelig is voor het

overschrijden van tipping points, waarbij dat de verzuring zo hoog wordt dat er wel meer kans is op permanente gevolgen. Overigens wordt de kans dat dit dan werkelijk gebeurt als minimaal ingeschat, omdat er in de praktijk nog buffering met basen en verdunning door kwel- en regenwater van verzurende ionen zal plaatsvinden. Kortom, ook deze stap is dus een worst-case benadering. Als er geen kans is op het overschrijden van tipping points is er ook geen kans op negatieve effecten.

Stap 5:
- in de laatste stap wordt onderscheid gemaakt voor de gevoeligheid van habitattypen voor het overschrijden van tipping points. Als een habitat daar gevoelig voor is, dan wordt dat geïnterpreteerd als een grote kans op een negatief effect. Als er een habitat daar niet gevoelig voor is dan wordt dat geïnterpreteerd als een kleine kans op een negatief effect.

De beslisboom is daarmee zo opgesteld dat het om een worst-case beoordeling gaat.

Afbeelding 5.1 Beslisboom ten behoeve van beoordelen effecten



5.2 Uitleg tabel met resultaten

Waarden in tabel

In de tabel (zie bijlage I) worden de volgende zaken gepresenteerd:

- naam Natura 2000-gebied;
- nummer habitattype;
- naam habitattype;
- instandhoudingsdoelstelling kwaliteit;
- instandhoudingsdoelstelling oppervlak;
- Kritische Depositie Waarde (KDW);
- Achtergrond Depositie Waarde (ADW)+ maximale additionele depositie;
- aantal hexagonen (hectaren) met additionele depositie door de aanleg van de infrastructuur;
- verdeling depositie over hexagonen met depositie (p5, p25, mediaan, p75, p95, max);
- de cumulatie van de depositie tijdens de aanleg met de afname van de depositie onder invloed van de verduurzaming;
- kwaliteit toestand habitattype (huidige toestand van en trend in de 4 kwaliteitselementen);
- knelpunten ten aanzien van het behalen van een goede kwaliteit (stikstofdepositie, grondwater/kwel, verzuring);
- gevoeligheid op het overschrijden van tipping points (ja/nee) (Goderie en Vertegaal, 2020);
- kans op effecten op basis van maximale additionele depositie (geen, kleine, grote);
- kans op effecten op basis van mediane additionele depositie (geen, kleine, grote);
- oordeel saldo cumulatieve depositie aanleg+verduurzaming met als invulling:
  - rest depositie (netto wel afname, maar minder dan de depositie bij aanleg);
  - gelijke depositie na verduurzaming als bij de aanleg;
  - negatief saldo na verduurzaming (netto afname tot onder depositie van de aanleg).

Bepaling huidige kwaliteit en trend kwaliteit

De huidige kwaliteit van de habitattypen en de trend daarin zijn uit de Natuurdoelanalyses, Gebiedsanalyses, Natura 2000-beheerplannen en adviezen van de ecologische autoriteit verkregen. Er is gekeken naar informatie over de vier kwaliteitselementen: vegetatietypen, abiotische randvoorwaarden, typische soorten en goede structuur en functie. Als er een totaal oordeel is gegeven dan is dat ook opgenomen in de tabel. De aangetroffen terminologie is nogal verschillend per Natura 2000-gebied en per habitattype. Er werden uiteenlopende beschrijvingen gegeven variërend van goed, matig/goed, matig, onvoldoende, slecht, toereikend, ontoereikend, etc. De terminologie voor de huidige toestand is door ons in eerste instantie geüniformeerd naar: slecht, matig/goed, goed, onbekend. De trend kan zijn: positief, stabiel, negatief of onbekend.

Vervolgens zijn de huidige toestand en de trend verder doorvertaald naar: voldoende of onvoldoende. Het oordeel is als voldoende beschouwd:

- als de beschreven indicatoren allemaal minimaal als matig/goed, goed, stabiel en/of positief zijn beschreven, of;
- als de beschreven totaalconclusies over de huidige kwaliteit minimaal als matig/goed en/of stabiel zijn beschreven.

In alle andere gevallen zijn de bevindingen doorvertaald naar onvoldoende kwaliteit. Dus als er geen totaal conclusie is gegeven over de huidige kwaliteit en/of de trend en één van de 4 kwaliteitselementen zijn als slecht beschreven in de Natuurdoelanalyse, dan wordt het oordeel in onze interpretatie als onvoldoende beschreven. Dat geldt ook als in de Natuurdoelanalyse het totaalbeeld van de huidige situatie als slecht is beschreven.

Bepaling knelpunten

Alle knelpunten voor het behalen van een goede kwaliteit zijn opgezocht in de relevante Natuurdoelanalyses. Vervolgens is in de tabel alleen aangegeven of stikstofdepositie, droogte/kwel/waterhuishouding, en/of verzuring een probleem is, omdat dit de meeste bepalende factoren zijn in de beoordeling (zie beslisboom).

6

BEOORDELING GESELECTEERDE HABITATTYPEN

6.1 Uitkomsten analyse

De tabel met de resultaten van de AERIUS calculator, de opgezochte gegevens en de beoordeling van de depositie zijn weergegeven in bijlage I. Een grafisch beeld van de resultaten is weergegeven in Bijlage III.

6.1.1 Uitgangspunt maximale depositie

De eerste beoordeling is gedaan aan de hand van de maximale depositie in de habitattypen, vergelijkbaar met de beoordeling van de eerste 25 habitattypen (zie Bijlage II). Het gaat dus om de beoordeling van het hexagoon met de hoogste depositie. Omdat in de andere hexagonen meestal een (veel) lagere depositie optreedt, is deze beoordeling worst-case.

Uitgaande van de maximale depositie is sprake van een grote kans op negatieve effecten voor:
- Brabantse Wal:
  - H3130, Zwakgebufferde vennen;
- Duinen Goeree & Kwade Hoek:
  - H2190Aom, Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen;
- Duinen Schiermonnikoog:
  - H2130C, Grijze duinen(heischraal);
- Dwingelderveld:
  - H3130, Zwakgebufferde vennen;
- Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske:
  - H7140B, Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden);
- Kampina & Oisterwijkse Vennen:
  - ZGH3130, zwakgebufferde vennen;
- Loonse en Drunense Duinen:
  - H3130, Zwakgebufferde vennen;
- Naardermeer:
  - H3130, Zwakgebufferde vennen;
- Noordhollands Duinreservaat:
  - H2130C, Grijze duinen (heischraal);
- Oostelijke Vechtplassen:
  - H7140A, Overgangs - en trilvenen (trilvenen);
  - H7140B, Overgangs - en trilvenen (veenmosrietlanden);
- Polder Westzaan:
  - H7140B, Overgangs - en trilvenen (veenmosrietlanden);
  - ZGH7140B, Overgangs - en trilvenen (veenmosrietlanden);
- Solleveld & Kapittelduinen:
  - H2190Aom, Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen;
- Strabrechtse Heide & Beuven:
  - H3130, Zwakgebufferde vennen;

- Veluwe:
  - ZGH3130, Zwakgebufferde vennen;
  - ZGH6230dka, Heischrale graslanden, droog kalkarm;
- Voornes Duin:
  - H2130C, Grijze duinen (heischraal);
  - H2190Aom, Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen;
- Weerribben:
  - H7140B, Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden);
  - ZGH7140B, Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden);
- Weerter- en Budelerbergen & Ringselven:
  - H3130, Zwakgebufferde vennen.

Het gaat derhalve om 18 van de 143 geselecteerde (zoekgebieden van) habitattypen, in totaal 23 habitattypen als de zoekgebieden als losse habitattypen worden beschouwd. Deze zijn allemaal gevoelig voor het overschrijden van tipping points (Goderie en Vertegaal, 2020). Verder zijn er nog 24 habitattypen waar een kleine kans is op negatieve effecten. Voor geen van deze 24 habitattypen is er een kans op het overschrijden van tipping points. In 101 gevallen is er geen kans op negatieve effecten. Een grafisch beeld van deze conclusies is weer gegeven in afbeelding Bijlage III.

6.1.2 Uitganspunt mediane depositie

Uitgaande van de mediaan is er alleen voor het zoekgebied ZGH7140B, Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) in Polder Westzaan een grote kans op negatieve effecten vastgesteld. Het gaat hier om een gebied waar een vermoeden is het betreffende habitattype voorkomt. Voor dit gebied speelt de slechte waterkwaliteit momenteel de belangrijkste rol in het niet halen van een goede toestand. Daar is echter verder niet naar gekeken in dit project.

Verder is voor nog 6 habitattypen vastgesteld dat er sprake is van een kleine kans op negatieve effecten. Vier van deze habitattypen liggen in het Leudal in midden Limburg. Verder betreft het een habitattype in het Mantingerbos in Drenthe en een habitattype in Kampina & Oisterwijkse Vennen.

Een grafisch beeld van deze conclusies is weer gegeven in Bijlage IV.

6.1.3 Cumulatie en verduurzaming

In cumulatie een netto afname

Van de 143 habitattypen leidt in 91 habitattypen de verduurzaming uiteindelijk netto in cumulatie tot een negatieve depositie (cumulatie: depositie project = aanleg + verduurzaming). Kortom, de afname van de stikstofdepositie door de verduurzaming is daar groter dan de aanvankelijke depositie door de aanleg van de energie infrastructuur. Dit geldt ook voor 18 van de 23 habitattypen met een grote kans op negatieve effecten door het overschrijden van tipping points.

In cumulatie een restdepositie na verduurzaming

Naast de 91 habitattypen met een netto afname van de aanleg + verduurzaming zijn er nog 37 habitattypen waar geldt dat de verduurzaming tot minder reductie leidt dan de aanvankelijke depositie in de aanlegfase. Er is dus sprake van een projectgebonden restdepositie. Dat neemt niet weg dat er in deze habitattypen wel degelijk sprake is van een permanente reductie van de achtergronddepositie als gevolg van de verduurzaming.

In cumulatie een depositie die gelijk is aan de depositie van de aanleg

In 15 habitattypen vindt er wel depositie plaats tijdens de aanleg van de energie-infrastructuur, maar is er geen sprake van een afname van de depositie door de verduurzaming. Dit zijn gebieden die verder dan 25 kilometer van de energieclusters liggen die gebruikt zijn om de afname van de depositie door de

verduurzaming te berekenen met AERIUS. AERIUS rekent namelijk niet verder dan 25 kilometer, waardoor er dus ook geen afname berekend is voor die gebieden. Het gaat om de Weerribben, Maasduinen, Duinen Schiermonnikoog en Duinen Ameland.

Cumulatieve effecten op habitattypen met risico's op overschrijden van tipping points

Van de habitattypen met een grote kans op het overschrijden van tipping points (zie Goderie en Vertegaal, 2020) geldt voor Naardermeer (H3130), Strabrechtse Heide & Beuven (H3130), Veluwe (ZGH3130) en Weerribben (H7140B en ZGH7140B) dat er geen sprake is van een netto afname van de aanleg + verduurzaming.

Kansen op verbetering van habitattypen

In alle gebieden waar er een netto afname is vastgesteld door aanleg + verduurzaming liggen er in theorie kansen voor verbetering van de toestand, indien stikstofdepositie een knelpunt vormt in het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen. Immers, er is ook na afloop van het project permanent sprake van een reductie van de achtergronddepositie. Dat geldt voor de meeste gebieden die beschouwd zijn.

De afname bedraagt echter over het algemeen echter maar enkele mol N/ha/jaar, die weliswaar ook na afloop van het OSES project nog doorgaat door een daling van de ADW, maar zeer laag is in vergelijking met de ADW van meestal meer dan 2.000 mol N/ha/jaar voor de onderzochte habitattypen. De positieve effecten zijn daarom zeer beperkt, mede omdat de KDW van de habitattypen in alle gevallen nog steeds flink wordt overschreden. Alleen in Kennemerland-Zuid, Noordhollands Duinreservaat, Polder Westzaan en Voornes Duin is een relatief grote netto afname van meer dan 100 mol N/hectare vastgesteld 'tijdens de verduurzaming'. Ook na de verduurzaming zal daar nog sprake zijn van een verlaagde depositie omdat de energieclusters na verduurzaming nog steeds minder stikstof uitstoten. Voor deze gebieden zijn de kansen op verbetering groter, hoewel ook daar de KDW nog steeds flink overschreden blijft.

7

KWALITEIT VAN DE DATA UIT DE NATUURDOELANALYSES, GEBIEDSANALYSES, NATURA 2000-BEHEERPLANNEN

Bij het opzoeken van alle gegevens over de huidige kwaliteit van de aanwezige habitattypen in Natura 2000-gebieden en de trend is het volgende opgevallen aan de beschikbare informatie uit de Natuurdoelanalyses:

- van het grootste deel van de vier kwaliteitselementen (vegetatietypen, abiotische randvoorwaarden, typische soorten, goede structuur en functie) ontbreekt informatie;
- er wordt in veel gevallen geen conclusie gegeven over de kwaliteit en trend in kwaliteit van alle kwaliteitselementen samen;
- de gebruikte terminologie voor de beschrijving van de kwaliteit en de trend varieert enorm per Natura 2000-gebied en per habitattype. Er wordt geen uniforme terminologie gebruikt die geldig is voor alle gebieden of habitattypen in Nederland;
- de Natuurdoelanalyses verschillen enorm van opzet en detailniveau;
- de toestand en trend worden eigenlijk nooit gekwantificeerd.

Het gevolg van bovenstaande is het gebruik van de Natuurdoelanalyses, die de belangrijkste recente bron van informatie zouden moeten zijn, voor gebruik in een project als het huidige, door een adviseur moeten worden geïnterpreteerd en bewerkt. Ook bij het openstellen van voortoetsen en passende beoordelingen is dat een probleem. Dat brengt hoe dan ook onzekerheden met zich mee. Het grote gebrek aan voldoende (kwantitatieve) gegevens vormt wat dat betreft een reëel probleem. Aangeraden wordt dan ook om voor de Natuurdoelanalyses in een vervolgfase een uniforme aanpak te hanteren voor alle Natura 2000-gebieden en via een standaard methode te beoordelen, waarbij er voldoende monitoringdata beschikbaar zijn om tot een goed oordeel te kunnen komen.

8

CONCLUSIES

8.1 Conclusies aanleg van de energie-infrastructuur

Er zijn in de analyse 143 (zoekgebieden van) habitattypen beoordeeld. Het betreft habitattypen uit het OSES3.0 bestand met een maximale depositie van meer dan 1 mol N/ha/jaar. In de tabel uit bijlage I en de afbeeldingen in de bijlage III en IV zijn alle bevindingen en de beoordelingen samengevat.

Er is in het project uitgegaan van een worst-case benadering waarin alle depositie in één keer in het eerste jaar van aanleg van de energie-infrastructuur optreedt en waarin alle reducties geheel in het laatste jaar (in één jaar) plaatsvinden. Dit uitgangspunt is gehanteerd om te voorkomen dat een verschuiving in de planning van de realisatie van een of meerdere projecten ertoe leidt dat de conclusies van dit onderzoek onder druk staan. Het is nu namelijk niet op voorhand aan te geven wanneer de aanleg zal plaatsvinden. Daarmee is het een worst-case benadering met als doel om dit onderzoek robuuster te maken.

Ook is alle verwachte depositiereductie in de 'stikstofdeken' (dus op meer dan 25 km van het emissiepunt) buiten beschouwing gelaten. Het onderzoek is daarmee een belangrijk hulpmiddel bij het ecologisch objectief beoordelen van OSES/nationale routes voor stikstofvergunningverlening voor energie-infrastructuurprojecten en verduurzaming van industrie.

Conclusies uitgaande van de maximale deposities

Uitgaande van de maximale depositie in elk habitattype, is er in 23 habitattypen sprake van grote risico's op negatieve effecten van de aanleg van de energie-infrastructuur op de kwaliteit van het habitattype (zie afbeelding 7 tot en met 12 in Bijlage III). Dit betreft habitattypen die gevoelig zijn voor het overschrijden van tipping points onder invloed van verzuring door de stikstofdepositie en waar tevens sprake is van slechte buffering door verdroging en/of verminderde buffering. In 24 habitattypen is er sprake van kleine risico's (zie afbeelding 3 tot en met 6 in Bijlage III). Het gaat dan om habitattypen die wel gevoelig zijn voor verslechtering onder in vloed van verzuring maar waar nog wel sprake is van buffering.

Effecten op habitattypen zullen in vervolgstudies verder moeten worden onderzocht middels een projectgerichte voortoets en mogelijk een passende beoordeling.

Conclusies uitgaande van de mediane deposities

Als de mediane deposities worden gebruik bij de beoordeling, dan blijkt dat er nog maar 1 habitattype is waar een grote kans is op negatieve effecten (Polder Westzaan)(zie afbeelding 5 en 6 in Bijlage IV) en zes habitattypen met een kleine kans op negatieve effecten (voornamelijk in het Limburgse Leudal))(zie afbeelding 3 en 4 in Bijlage IV). In Polder Westzaan kan sprake zijn van overschrijden van een tipping point wat tot een verdere verslechtering van de toestand kan leiden. Echter is bekend uit de Natuurdoelanalyse dat daar vooral de slechte waterkwaliteit een probleem is en niet de stikstofdepositie. Algemeen geldt dat het beoordelen van de effecten op grond van de mediane deposities een veel minder negatief beeld geeft dan op grond van de maximale deposities het geval is.

Conclusies ten aanzien van het overschrijden van tipping points

Gelet op het feit dat de aanleg van de energie-infrastructuur verspreid over meerdere jaren plaatsvindt en dat positieve effecten van de verduurzaming al langzaam maar zeker zullen beginnen op te treden vóór het

berekende moment, zal de werkelijke depositiebijdrage per jaar en de "netto depositiebijdrage" wezenlijk lager zijn dan waar nu vanuit is gegaan. Daardoor is de kans dat tipping points daadwerkelijk overschreden worden door OSES/nationale routes voor stikstofvergunningverlening voor energie-infrastructuurprojecten en verduurzaming van industrie klein.

Zoals is aangegeven, kan een geringe, tijdelijke bijdrage in theorie het bereiken van een tipping point wel versnellen. Zolang dat niet kan worden uitgesloten, wordt de kans op het overschrijden van een tipping point dan ook beoordeeld als een kans op het optreden van een negatief effect. In de praktijk is het bereiken van een tipping point echter vrijwel nooit te herleiden tot een geringe, tijdelijke bijdrage, treedt een tipping point alleen lokaal op, en zou het tipping point ook zonder de bijdrage bereikt worden als gevolg van langdurige overbelasting door stikstofdepositie. Een tipping point wordt nooit gelijktijdig op grote oppervlakten bereikt, omdat het bereiken ervan ondanks dat 'punt' anders doet vermoeden, een geleidelijk proces is dat door lokale processen wordt gestuurd. Vanwege de natuurlijke ruimtelijke variatie in abiotische omstandigheden binnen een gebied kan een geringe, tijdelijke stikstofdepositietoename dus hooguit bijdragen aan het lokaal (in termen van enkele m^2) bereiken van een tipping point. Daarnaast is de achtergronddepositie vele malen bepalender in het al dan niet bereiken van een tipping point.

8.2 Conclusies verduurzaming

De voorgestelde verduurzaming levert vervolgens in veel gevallen netto (depositie aanleg+afname depositie door verduurzaming) een afname van de depositie op. Dat biedt in theorie kansen voor herstel van habitattypen daar waar stikstofdepositie ook een echt probleem vormt bij het bereiken van een goede kwaliteit van habitattypen. Echter gaat het om een zeer geringe afname in relatie tot de huidige achtergrondbelasting op de onderzochte habitattypen van meestal meer dan 2.000 mol N/ha/jaar.

In diverse gevallen is stikstofdepositie geen (hoofdzakelijk) knelpunt, waardoor een afname van de stikstofdepositie niet direct leidt tot herstel van habitattypen. In 52 van de 143 habitattypen is er geen sprake van een netto afname van de depositie als gevolg van potentiële nationale routes voor stikstofvergunningverlening voor energie-infrastructuurprojecten en verduurzaming van industrie (dat wil zeggen depositie van de aanleg van de energie-infrastructuur minus de afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming > 0). In die gevallen kan voor de route zelf dus niet worden geconcludeerd dat er positieve effecten mogelijk zijn, omdat er een sprake is van een restdepositie.

Het programma, dat doorloopt tot 2035, leidt tot een permanente depositiedaling, die verdisconteerd wordt in de achtergronddepositie. De depositiedaling dankzij het programma is vrijwel altijd minder dan enkele molen N/ha/jaar. Dat is te gering om een directe, zichtbare verbetering van de kwaliteit van habitattypen te veroorzaken. Daarvoor is een breder pakket met meer en andere natuurmaatregelen nodig, met ook buiten de industriesector. Een overschrijding van de kritische depositiewaarde is overigens voor geen enkel habitattype 'goed', want stikstof is, ook als het niet het voornaamste knelpunt is, vaak wel een drukfactor. Dus elke verlaging van de achtergronddepositie is in die zin positief. Het is evident dat een substantiële versnelling van de verlaging van de ADW alleen mogelijk is met een landelijke aanpak van alle emissiebronnen die de hoge ADW veroorzaken.

9

LITERATUUR

Arts, G. H. P., Brouwer, E., & Smits, N. A. C. (2012). Herstelstrategie H3130: zwakgebufferde vennen. Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitattypen Natura 2000. Deel, 2, 347-364.

Beije, H.M., Haperen, A.M.M. van, Huiskes, H.P.J., Schotsman, N. & Smits, N.A.C. (2008) Herstelstrategie H2180C: Duinbossen (binnenduinrand).

Bobbink, R. (2021). Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-20.135.21.35.

Bobbink, R., Ashmore, M., Braun, S., Flückiger, W., & Van den Wyngaert, I. J. (2003). Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. Empirical critical loads for nitrogen, 43-170.

CBS, PBL, RIVM, WUR, Stikstofdepositie 1990-2018. (2019), www.clo.nl.

Everts, F.E., Jongman, M., Pranger, D.P., Tolman, M.E. & Vries, N.P.J. de (2018). Vegetatie- en plantensoortenkartering en florakartering Dwingelderveld 2017. EGG consult in opdracht van Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer.

Franken, F., Linden, J. van der & Gool., G. van (2022). Monitoring biodiversiteit Groote Meer e.o. 2021. provincie Noord-Brabant.

Goderie R. en K. Vertegaal (2020), Achtergrondnotitie actualiseren Stikstof. EffectvoorspellingsModel (SEM 3.1).

Heil, G. W., & Diemont, W. H. (1983). Raised nutrient levels change heathland into grassland. Vegetatio, 53(2), 113-120.

Jaspers, H., Nijn, N. DE, Dorsman, E., Van Veen, P. (2020) Passende beoordeling stikstofeffecten dijkversterking Gorinchem-Waardenburg.

Kellner, O., & Redbo-Torstensson, P. (1995). Effects of elevated nitrogen deposition on the field-layer vegetation in coniferous forests. Ecological Bulletins, 227-237.

Kos, G., Kleijberg, R. en Koolstra, B. (2024). Handreiking kleine en tijdelijke stikstofdeposities - Bouwstenen voor ecologische beoordeling voor tijdelijke projecten en activiteiten: versie 2024 Rijkswaterstaat. UWPYHEN5MH7N-1614667007-68:3.0.

Lee, J. A., & Caporn, S. J. M. (1998). Ecological effects of atmospheric reactive nitrogen deposition on semi-natural terrestrial ecosystems. The New Phytologist, 139(1), 127-134.

Marra, W A, Hazelhorst, S B, de Jongh, L A, e.a. (2025). Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden 2025. DOI 10.21945/RIVM-2025-0021. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.

Neil, A. (1996). Biology. 4th edition. Benjamin/Cummings Pub. Co.

Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Näsholm, T., & Ericson, L. (2005). Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests: implications for the nitrogen critical load. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 34(1), 20-24.

Payne, R. J., Dise, N. B., Stevens, C. J., Gowing, D. J., BEGIN partners, Duprè, C., & Muller, S. (2013). Impact of nitrogen deposition at the species level. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(3), 984-987.

Power, S. A., Ashmore, M. R., Cousins, D. A., & Ainsworth, N. (1995). Long term effects of enhanced nitrogen deposition on a lowland dry heath in southern Britain. Water, Air, and Soil Pollution, 85(3), 1701-1706.

Redbo-Torstensson, P. (1994). The demographic consequences of nitrogen fertilization of a population of sundew, Drosera rotundifolia. Acta Botanica Neerlandica, 43(2), 175-188.

Runhaar, H., Jalink, M.H. , Hunneman, H., Witte, J.P.M. en Hennekens, S.M. (2009). Ecologische vereisten habitattypen. KWR 09-018.

Smits, N. A. C., & Kooijman, A. M. (2012). Herstelstrategie H2130C: Grijze duinen (heischraal).

Smits, N.A.C., Adams, A.S., Bal, D. , en Beije, H.M. (2014). Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats. Alterra Wageningen UR & programmadirectie Natura 2000 van het Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

Smits, N. A. C., Beije, H. M. e.a. (2014). Herstelstrategie H4030 Droge heiden. Ministerie van Economische Zaken.

Smits, N. A. C., Melman, D., & Arens, S. M. (2014). Herstelstrategie H2120: Witte duinen.

Smits, N.A.C., Aptroot, A., Nijssen, M., Riksen, M.J.P.M., Sparrius, L.B. & Dobben, H.F. van (2012) Herstelstrategie H2330: Zandverstuivingen.

Sparrius, L. B., Kooijman, A. M., & Sevink, J. (2013). Response of inland dune vegetation to increased nitrogen and phosphorus levels. Applied Vegetation Science, 16(1), 40-50.

Ten Harkel Matthijs, J., & van der Meulen, F. (1996). Impact of grazing and atmospheric nitrogen deposition on the vegetation of dry coastal dune grasslands. Journal of Vegetation Science, 7(3), 445-452.

Van Dobben, H., Bobbink, R., Bal, D. en Van Hinsberg, A. (2012). Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Alterra-Rapport 2397. Alterra, Wageningen-UR.

Van Dobben, H. F., Barendregt, A., Smits, N. A. C., van 't Veer, R., van Wirdum, G., Lamers, L. P. M., & de Vries, H. H. (2016). Herstelstrategie H7140B: Overgangs-en trilvenen (Veenmosrietlanden).

Van Dobben, H.F. (2020). 39. Effecten van stikstofdepositie op de natuur en de rol van de kritische depositiewaarde.

Velders, G. (2018). 'Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2015 | RIVM'. https://www.rivm.nl/publicaties/grootschalige-concentratie-en-depositiekaarten-nederland-rapportage-2015.

Vogels, J., van de Waal, D., Burg, A. van den, Wallis de Vries, M. , Nijssen, M. en Bobbink, R. (2022). 'Stikstof verandert voedselkwaliteit van planten'. De Levende Natuur, november 2022.

Wamelink, W., van Dobben, H., van der Zee, F., van Hinsberg, A., & Bobbink, R. (2023). Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000: Herziening

2023. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3272). Wageningen Environmental Research. https://doi.org/10.18174/633179.

Witteveen+Bos (2025a). OSES 2025. Onderzoek Samenhang energietransitie & stikstof in de industrie 2025.

Witteveen+Bos (2025b). Ecologische Beoordeling Programmma SEI. Analyse Fase 2.

Bijlage(n)

BIJLAGE: OVERZICHT OPGEZOCHTE DATA EN BEOORDELING

Bijlage I Overzicht opgezochte data en beoordeling

Natura2000 - gebied	Habitattype	Habitatnaam	Instandhoudingsdoelen					Verdeling depositie							Kwaliteit	Knelpunten			Tipping point?	Kans op negatieve effecten bij:		Cumulatie (2035)
			kwaliteit	oppervlak	KDW	ADW+max	Aantal hexagonen	p5	p25	p50	p75	p95	max	cum (2035)		stikstofdepositie	grondwater	verzuring		Maximale depo	Mediane depo	
Biesbosch	H91E0B	Vochtige alluviale bossen (essen-iepenbossen)	>	>	2000	2.296,73	11	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	1,88	-9,03	onvoldoende			x		geen	geen	negatief saldo
Boschhuizerbergen	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	>	714	2.317,35	20	0,80	0,86	0,92	1,01	1,04	1,07	1,04	onvoldoende	x		x		geen	geen	rest depositie
Boschhuizerbergen	H2330	Zandverstuivingen	>	>	714	2.286,62	39	0,74	0,79	0,89	1,01	1,27	1,36	1,21	onvoldoende	x		x		geen	geen	rest depositie
Boschhuizerbergen	H5130	Jeneverbesstruwelen	>	=	1071	2.330,08	45	0,74	0,80	0,89	1,03	1,27	1,33	0,85	onvoldoende	x		x		geen	geen	rest depositie
Brabantse Wal	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	>	714	2.724,58	218	0,46	0,56	0,72	0,84	1,08	1,22	-1,40	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Brabantse Wal	H3130	Zwakgebufferde vennen	>	>	500	2.555,73	42	0,42	0,55	0,82	0,89	1,12	1,21	-1,81	onvoldoende	x	x	x	j	grote	geen	negatief saldo
Brabantse Wal	H3160	Zure vennen	>	=	714	2.580,99	35	0,45	0,66	0,86	1,05	1,14	1,18	-2,03	voldoende	x	x			geen	geen	negatief saldo
Brabantse Wal	H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	>	>	1071	2.614,74	69	0,44	0,58	0,70	0,89	1,04	1,18	-1,81	voldoende	x	x			geen	geen	negatief saldo
Brabantse Wal	H4030	Droge heiden	>	>	714	2.865,65	97	0,56	0,76	0,86	0,99	1,26	1,36	-1,40	voldoende	x	x			geen	geen	negatief saldo
Brabantse Wal	H7150	Pioniervegetaties met snavelbiezen	=	=	1071	2.169,54	17	0,69	0,77	0,84	1,02	1,14	1,19	-2,31	voldoende	x	x			geen	geen	negatief saldo
Deurnsche Peel & Mariapeel	H4030	Droge heiden	=	=	714	1.519,92	11	0,57	0,61	1,19	1,27	1,37	1,39	0,19	onvoldoende	x				geen	geen	rest depositie
Deurnsche Peel & Mariapeel	H7110A	Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap)	>	>	500	1.402,78	1	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	-0,20	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Deurnsche Peel & Mariapeel	H7120ah	Herstellende hoogvenen, actief hoogveen	>	=(<)	500	2.665,65	2257	0,50	0,60	0,76	1,11	2,50	15,59	14,80	onvoldoende	x	x			kleine	geen	rest depositie
Deurnsche Peel & Mariapeel	ZGH7120ah	Herstellende hoogvenen, actief hoogveen	>	= (<)	500	2.201,11	248	0,52	0,60	0,69	0,81	1,66	2,95	2,30	onvoldoende	x	x			kleine	geen	rest depositie
Duinen Ameland	H2180Ao	Duinbossen (droog), overig	=	=	1071	1.557,81	66	0,01	0,05	0,06	0,11	0,13	1,27	1,27	onvoldoende	x				geen	geen	gelijk
Duinen Goeree & Kwade Hoek	H2190Aom	Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen	>	>	1000	1.310,67	55	0,12	0,14	0,20	0,21	0,23	1,06	-5,81	onvoldoende		x		j	geen	geen	negatief saldo
Duinen Schiermonnikoog	H2130B	Grijze duinen (kalkarm)	>	>	929	2.007,56	510	0,22	0,25	0,26	0,30	0,43	3,43	3,43	onvoldoende	x				geen	geen	gelijk
Duinen Schiermonnikoog	H2130C	Grijze duinen (heischraal)	>	>	786	1.894,07	138	0,21	0,23	0,25	0,28	0,37	2,66	2,66	voldoende	x			j	geen	geen	gelijk
Duinen Schiermonnikoog	H2180A	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	=	>	1071	2.007,56	403	0,23	0,26	0,29	0,38	0,51	3,43	3,43	onvoldoende	x				geen	geen	gelijk
Duinen Schiermonnikoog	H2190A	Vochtige duinvalleien (open water)	>	=	1000	1.144,69	44	0,21	0,23	0,24	0,27	0,32	2,29	2,29	onvoldoende		x			geen	geen	gelijk
Duinen Schiermonnikoog	H2190C	Vochtige duinvalleien (ontkalkt)	=	=	1071	1.781,46	30	0,20	0,24	0,27	0,37	0,44	3,10	3,10	onvoldoende					geen	geen	gelijk
Duinen Schiermonnikoog	H6410	Blauwgraslanden	=	>	786	1.781,46	52	0,22	0,23	0,27	0,35	0,42	3,14	3,14	voldoende	x				geen	geen	gelijk
Duinen Vlieland	H2180Abe	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	>	>	1071	1.276,56	25	0,03	0,16	0,31	0,59	2,16	5,93	5,93	onvoldoende	x				geen	geen	gelijk
Duinen Vlieland	ZGH2180Abe	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	>	>	1071	1.274,22	23	0,02	0,14	0,30	0,50	0,87	1,09	1,09	onvoldoende	x				geen	geen	gelijk
Dwingelderveld	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	=	714	2.183,53	326	0,28	0,35	0,53	0,75	0,94	1,20	-1,33	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H2320	Binnenlandse kraaiheibegroeiingen	>	=	1071	2.184,95	496	0,21	0,23	0,25	0,58	0,87	1,18	-1,16	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H3130	Zwakgebufferde vennen	=	= (<)	500	1.999,06	295	0,22	0,24	0,30	0,44	0,81	1,10	-1,38	onvoldoende	x	x		j	grote	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H3160	Zure vennen	>	>	714	2.002,52	281	0,20	0,24	0,30	0,45	0,83	1,09	-1,11	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	>	>	1071	2.184,95	1383	0,21	0,24	0,27	0,33	0,66	1,10	-1,16	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H4030	Droge heiden	>	=	714	2.183,53	1617	0,21	0,24	0,28	0,37	0,73	1,21	-1,16	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H5130	Jeneverbesstruwelen	>	=	1071	2.097,90	98	0,32	0,48	0,66	0,78	0,94	1,12	-1,33	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H6230	Heischrale graslanden	=	>	714	2.063,01	392	0,22	0,25	0,30	0,40	0,76	1,02	-1,44	onvoldoende	x		x		geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H7110B	Actieve hoogvenen (heideveentjes)	>	>	714	2.147,17	213	0,21	0,29	0,41	0,66	0,85	1,09	-1,22	voldoende	x	x			geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H7120	Herstellende hoogvenen	>	= (<)	500	2.095,11	103	0,30	0,33	0,37	0,47	0,68	1,05	-2,08	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	H9190	Oude eikenbossen	>	>	1071	2.579,35	75	0,33	0,47	0,61	0,95	1,24	1,32	-1,63	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Dwingelderveld	L4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	nvt	nvt	1071	2.154,05	322	0,21	0,24	0,27	0,44	0,80	1,09	-1,32	onvoldoende					geen	geen	negatief saldo
Geleenbeekdal	H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)	>	>	1857	2.396,32	105	0,22	0,33	0,41	0,53	1,50	1,76	-12,86	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Geuldal	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	=	1071	2.154,57	801	0,06	0,10	0,18	0,39	1,03	8,27	-4,55	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Geuldal	H9160B	Eiken-haagbeukenbossen (heuvelland)	>	=	1429	2.982,20	1327	0,04	0,08	0,13	0,26	0,55	9,19	-2,94	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	=	>	500	1.582,36	537	0,36	0,41	0,45	0,51	0,74	1,23	-20,23	onvoldoende	x			j	geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	>	714	2.157,52	79	0,40	0,61	0,71	0,82	1,03	1,19	-3,57	onvoldoende	x		x		geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	H2330	Zandverstuivingen	>	>	714	1.582,89	3	0,97	0,99	1,00	1,02	1,03	1,03	-4,63	onvoldoende					geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	H3160	Zure vennen	>	= (<)	714	2.219,97	207	0,38	0,45	0,59	0,78	0,92	1,09	-3,34	voldoende	x	x			geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	>	>	1071	1.994,13	237	0,38	0,44	0,51	0,73	1,66	2,51	-2,68	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	H4030	Droge heiden	>	>	714	1.994,13	393	0,38	0,44	0,50	0,58	0,71	1,77	-3,44	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	L4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	nvt	nvt	1071	1.522,35	8	1,27	1,33	1,42	1,48	1,61	1,66	-3,08	onvoldoende	x	x			kleine	kleine	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	L4030	Droge heiden	nvt	nvt	714	2.294,74	447	0,40	0,45	0,51	0,65	1,10	2,51	-3,01	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	ZGH2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	>	714	1.935,07	31	0,62	0,66	0,73	0,79	1,14	1,28	-3,57	onvoldoende	x		x		geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	ZGH3130	Zwakgebufferde vennen	>	>	500	2.114,39	48	0,30	0,39	0,43	0,53	1,00	1,09	-3,56	onvoldoende	x			j	geen	geen	negatief saldo
Kampina & Oisterwijkse Vennen	ZGH91D0	Hoogveenbossen	=	=	1786	2.016,63	30	0,46	0,51	0,55	0,69	0,86	1,63	-3,80	onvoldoende					geen	geen	negatief saldo
Kennemerland-Zuid	H2130B	Grijze duinen (kalkarm)	>	=	929	2.665,99	3439	0,24	0,30	0,45	0,79	2,46	8,14	0,15	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Kennemerland-Zuid	H2180A	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	=	=	1071	2.708,42	1561	0,28	0,54	0,80	1,29	2,69	8,44	0,17	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Kennemerland-Zuid	H2180Abe	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	=	=	1071	1.820,20	131	0,45	0,73	1,11	1,53	2,68	6,73	-72,70	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Kennemerland-Zuid	H2180Ao	Duinbossen (droog), overig	=	=	1071	2.708,42	2127	0,25	0,31	0,45	0,77	3,28	9,09	-38,63	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Kennemerland-Zuid	H2190C	Vochtige duinvalleien (ontkalkt)	=	=	1071	1.209,30	21	0,34	0,40	0,53	0,63	1,36	2,13	-58,19	voldoende					geen	geen	negatief saldo
Kennemerland-Zuid	ZGH2180Ao	Duinbossen (droog), overig	=	=	1071	1.740,49	68	0,77	1,11	1,58	2,74	4,76	8,14	-112,15	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Leudal	H6410	Blauwgraslanden	=	=	786	1.917,78	2	1,07	1,10	1,13	1,17	1,20	1,21	-6,95	onvoldoende	x	x			kleine	kleine	negatief saldo
Leudal	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	=	1071	2.166,87	93	0,81	1,12	1,21	1,27	1,41	1,55	-4,23	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Leudal	H9160A	Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden)	=	>	1429	2.166,87	35	1,02	1,19	1,24	1,31	1,35	1,37	-4,21	onvoldoende	x	x			kleine	kleine	negatief saldo
Leudal	H9190	Oude eikenbossen	=	=	1071	2.110,63	6	1,16	1,18	1,22	1,29	1,31	1,32	-7,25	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Leudal	H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)	>	>	1857	2.177,57	98	0,94	1,15	1,23	1,30	1,45	3,26	-3,73	onvoldoende	x	x			kleine	kleine	negatief saldo
Leudal	ZGH9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	=	1071	2.045,76	25	1,01	1,15	1,22	1,27	3,09	4,01	-3,73	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Leudal	ZGH9160A	Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden)	=	>	1429	2.137,32	4	1,12	1,17	1,25	1,30	1,30	1,31	-6,17	onvoldoende	x	x			kleine	kleine	negatief saldo
Leudal	ZGH9190	Oude eikenbossen	>	>	1071	2.145,38	41	0,83	1,13	1,28	1,33	1,35	1,38	-6,12	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	H3130	Zwakgebufferde vennen	=	=	500	2.167,73	44	0,29	0,36	0,83	1,34	1,76	2,02	-3,78	onvoldoende	x	x	x	j	grote	geen	negatief saldo
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	=	1071	2.174,91	109	0,48	0,54	0,59	0,70	0,86	1,17	-7,49	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	H9160A	Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden)	>	>	1429	2.216,47	115	0,51	0,60	0,72	0,85	1,05	1,17	-8,13	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)	>	>	1857	2.237,62	184	0,49	0,57	0,63	0,74	1,03	1,20	-7,25	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Maasduinen	H2330	Zandverstuivingen	>	>	714	2.656,77	357	0,27	0,31	0,35	0,45	0,77	2,78	2,78	onvoldoende	x		x		geen	geen	gelijk
Maasduinen	H9190	Oude eikenbossen	=	=	1071	2.290,04	35	0,23	0,25	0,35	0,42	1,27	1,53	1,53	onvoldoende	x				geen	geen	gelijk
Mantingerbos	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	=	=	1071	2.305,63	32	0,81	0,95	1,05	1,44	1,52	1,75	-6,13	onvoldoende	x	x			kleine	kleine	negatief saldo
Mantingerzand	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	=	714	2.182,92	102	0,64	0,66	0,72	0,78	0,99	1,35	-4,41	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Mantingerzand	H2330	Zandverstuivingen	>	=	714	1.762,06	73	0,64	0,66	0,73	0,79	0,98	1,17	-4,41	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Mantingerzand	H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	>	>	1071	1.875,82	99	0,57	0,62	0,64	0,68	1,00	1,28	-4,27	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Mantingerzand	H4030	Droge heiden	>	>	714	1.892,83	404	0,58	0,62	0,64	0,67	0,86	1,29	-4,20	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Mantingerzand	H5130	Jeneverbesstruwelen	>	=	1071	1.856,58	61	0,65	0,68	0,74	0,79	1,08	1,35	-4,63	onvoldoende	x	x	x		kleine	geen	negatief saldo
Mantingerzand	H7150	Pioniervegetaties met snavelbiezen	>	>	1071	1.861,12	34	0,60	0,63	0,66	0,74	1,02	1,26	-4,74	onvoldoende	x	x			kleine	geen	negatief saldo
Mantingerzand	H9190	Oude eikenbossen	>	=	1071	1.856,58	15	0,79	0,81	0,94	1,14	1,27	1,35	-5,58	onvoldoende	x	x	x		kleine	geen	negatief saldo
Naardermeer	H3130	Zwakgebufferde vennen	=	=	500	1.762,72	9	0,42	0,47	0,61	1,01	1,13	1,14	0,60	onvoldoende	x	x	x	j	grote	geen	rest depositie
Noordhollands Duinreservaat	H2130B	Grijze duinen (kalkarm)	>	>	929	2.099,75	2309	0,10	0,12	0,17	0,24	0,51	2,53	-48,22	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Noordhollands Duinreservaat	H2130C	Grijze duinen (heischraal)	>	>	786	1.618,20	142	0,09	0,11	0,14	0,18	0,27	1,68	-58,91	voldoende	x	x		j	geen	geen	negatief saldo
Noordhollands Duinreservaat	H2140A	Duinheiden met kraaihei (vochtig)	>	=	857	1.628,58	108	0,08	0,09	0,12	0,16	0,27	1,54	-50,33	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Noordhollands Duinreservaat	H2140B	Duinheiden met kraaihei (droog)	=	=	857	1.882,87	645	0,09	0,10	0,12	0,17	0,23	1,10	-48,22	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Noordhollands Duinreservaat	H2150	Duinheiden met struikhei	=	=	857	1.802,34	47	0,14	0,17	0,18	0,20	0,26	1,43	-57,03	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Noordhollands Duinreservaat	H2180A	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	=	=	1071	2.862,74	2637	0,10	0,16	0,25	0,51	0,67	2,83	-54,05	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Noordhollands Duinreservaat	ZGH2180A	Duinbossen (droog), berken-eikenbos	=	=	1071	1.562,68	22	0,24	0,31	0,38	0,46	0,50	2,17	-341,67	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Oostelijke Vechtplassen	H7140A	Overgangs- en trilvenen (trilvenen)	>	>	1214	1.721,74	140	0,15	0,17	0,21	0,25	0,34	1,10	0,34	onvoldoende		x		j	geen	geen	rest depositie
Oostelijke Vechtplassen	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	>	>	500	1.628,34	205	0,16	0,22	0,27	0,32	0,46	1,10	0,53	voldoende	x	x	x	j	geen	geen	rest depositie
Polder Westzaan	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	=	=	500	1.876,35	218	0,42	0,46	0,56	0,78	1,54	2,47	-106,17	onvoldoende	x	x	x	j	grote	geen	negatief saldo
Polder Westzaan	ZGH7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	=	=	500	1.037,42	3	0,72	1,29	2,01	2,07	2,12	2,32	-118,64	onvoldoende	x	x	x	j	grote	grote	negatief saldo
Sallandse Heuvelrug	H4030	Droge heiden	>	>	714	2.690,42	1361	0,18	0,21	0,23	0,28	0,54	1,54	0,97	onvoldoende	x				geen	geen	rest depositie
Sallandse Heuvelrug	H5130	Jeneverbesstruwelen	>	=	1071	1.847,79	63	0,17	0,18	0,27	0,35	0,53	1,20	0,97	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Savelsbos	H6110	Pionierbegroeiingen op rotsbodem	>	>	1429	1.647,47	2	1,31	1,42	1,56	1,70	1,81	1,84	-14,45	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Savelsbos	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	=	1071	2.138,53	127	0,34	0,55	0,74	1,02	1,56	2,02	-13,19	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Savelsbos	H9160B	Eiken-haagbeukenbossen (heuvelland)	>	=	1429	2.138,53	364	0,22	0,43	0,71	1,00	1,56	2,42	-9,71	onvoldoende	x		x		geen	geen	negatief saldo
Solleveld & Kapittelduinen	H2130A	Grijze duinen (kalkrijk)	>	>	1071	1.739,90	159	0,48	0,52	0,66	1,08	1,24	1,98	-41,24	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Solleveld & Kapittelduinen	H2180Ao	Duinbossen (droog), overig	>	=	1071	2.417,06	181	0,50	0,55	0,65	0,93	1,37	2,03	-48,08	onvoldoende			x		geen	geen	negatief saldo
Solleveld & Kapittelduinen	H2180C	Duinbossen (binnenduinrand)	>	=	1786	2.501,16	169	0,57	1,09	1,28	1,37	1,62	2,40	-60,19	onvoldoende			x		geen	geen	negatief saldo
Solleveld & Kapittelduinen	H2190Aom	Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen	=	=	1000	1.036,04	6	0,72	0,74	0,76	0,79	0,81	1,04	-61,33	voldoende		x		j	geen	geen	negatief saldo
Solleveld & Kapittelduinen	ZGH2130A	Grijze duinen (kalkrijk)	>	>	1071	1.397,04	44	0,53	1,03	1,08	1,16	1,28	1,73	-47,55	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Strabrechtse Heide & Beuven	H3130	Zwakgebufferde vennen	>	=	500	1.739,39	145	0,38	0,44	0,52	0,63	0,99	7,28	3,97	onvoldoende	x	x	x	j	grote	geen	rest depositie
Strabrechtse Heide & Beuven	H3160	Zure vennen	=	=	714	2.143,68	236	0,37	0,44	0,49	0,64	0,97	2,09	-0,18	onvoldoende		x			geen	geen	negatief saldo
Strabrechtse Heide & Beuven	H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	>	=	1071	2.143,68	867	0,39	0,46	0,55	0,75	1,59	5,47	2,52	voldoende	x	x			geen	geen	rest depositie
Strabrechtse Heide & Beuven	H4030	Droge heiden	=	=	714	2.043,44	1174	0,38	0,45	0,53	0,70	2,05	8,60	5,48	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Strabrechtse Heide & Beuven	H7150	Pioniervegetaties met snavelbiezen	=	=	1071	1.444,66	228	0,45	0,51	0,57	0,69	1,97	6,96	4,55	voldoende					geen	geen	rest depositie
Swalmdal	H6120	Stroomdalgraslanden	>	>	1286	1.501,70	3	2,57	3,29	4,19	5,17	5,96	6,15	-2,77	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Vecht- en Beneden-Reggegebied	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	>	714	2.187,00	307	0,20	0,25	0,33	0,41	0,77	1,19	0,69	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Vecht- en Beneden-Reggegebied	H4030	Droge heiden	>	>	714	2.184,27	537	0,24	0,35	0,47	0,63	0,89	1,79	1,38	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Vecht- en Beneden-Reggegebied	H5130	Jeneverbesstruwelen	>	=	1071	2.184,27	425	0,20	0,30	0,44	0,58	0,77	1,11	0,65	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Vecht- en Beneden-Reggegebied	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	=	=	1071	2.160,92	302	0,22	0,28	0,37	0,45	0,57	1,12	0,45	voldoende	x	x	x		geen	geen	rest depositie
Vecht- en Beneden-Reggegebied	H9190	Oude eikenbossen	>	>	1071	2.538,40	87	0,28	0,35	0,40	0,45	0,51	1,12	0,45	voldoende	x				geen	geen	rest depositie
Veluwe	H2310	Stuifzandheiden met struikhei	>	>	714	2.520,30	4583	0,01	0,03	0,06	0,10	0,20	2,01	0,40	onvoldoende	x	x			kleine	geen	rest depositie
Veluwe	H3160	Zure vennen	>	=	714	2.574,82	155	0,01	0,02	0,04	0,05	0,14	2,50	0,23	onvoldoende	x	x			kleine	geen	rest depositie
Veluwe	H4030	Droge heiden	>	>	714	3.348,30	17795	0,01	0,02	0,05	0,08	0,21	3,31	1,15	onvoldoende	x				geen	geen	rest depositie
Veluwe	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	>	1071	3.232,83	12963	0,03	0,06	0,09	0,20	0,53	2,90	2,27	voldoende	x	x			geen	geen	rest depositie
Veluwe	H9190	Oude eikenbossen	>	>	1071	2.853,57	3531	0,03	0,07	0,11	0,18	0,49	3,15	0,39	onvoldoende	x	x			kleine	geen	rest depositie
Veluwe	ZGH3130	Zwakgebufferde vennen	=	=	500	2.098,51	126	0,01	0,04	0,07	0,12	0,30	1,62	0,32	onvoldoende	x	x		j	grote	geen	rest depositie
Veluwe	ZGH4030	Droge heiden	>	>	714	2.180,93	625	0,01	0,02	0,05	0,07	0,19	1,52	0,81	onvoldoende	x				geen	geen	rest depositie
Veluwe	ZGH6230dka	Heischrale graslanden, droog kalkarm	>	>	714	3.348,30	851	0,01	0,03	0,06	0,09	0,18	1,26	1,18	voldoende	x	x		j	geen	geen	rest depositie
Veluwe	ZGH9120	Beuken-eikenbossen met hulst	>	>	1071	2.422,72	583	0,02	0,04	0,07	0,11	0,35	1,75	1,66	voldoende	x	x			geen	geen	rest depositie
Veluwe	ZGH9190	Oude eikenbossen	>	>	1071	2.437,26	269	0,02	0,08	0,13	0,27	0,64	2,98	0,31	onvoldoende	x	x			kleine	geen	rest depositie
Voornes Duin	H2130A	Grijze duinen (kalkrijk)	>	>	1071	2.115,47	503	0,36	0,47	0,62	1,11	1,59	3,30	-37,89	voldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Voornes Duin	H2130B	Grijze duinen (kalkarm)	>	>	929	1.677,71	1	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	2,12	-102,79	voldoende					geen	geen	negatief saldo
Voornes Duin	H2130C	Grijze duinen (heischraal)	>	>	786	1.491,89	49	0,37	0,60	0,66	0,71	0,91	2,16	-46,89	onvoldoende				j	geen	geen	negatief saldo
Voornes Duin	H2180Ao	Duinbossen (droog), overig	>	= (<)	1071	2.119,45	225	0,38	0,50	0,63	1,01	1,29	2,81	-50,22	onvoldoende	x				geen	geen	negatief saldo
Voornes Duin	H2180C	Duinbossen (binnenduinrand)	=	= (<)	1786	2.214,39	255	0,45	0,89	1,13	1,41	1,86	3,22	-53,09	onvoldoende					geen	geen	negatief saldo
Voornes Duin	H2190Aom	Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen	=	=	1000	1.843,68	60	0,31	0,59	0,96	1,24	1,52	2,70	-38,89	onvoldoende	x	x		j	grote	geen	negatief saldo
Voornes Duin	ZGH2130B	Grijze duinen (kalkarm)	>	>	929	1.621,23	5	1,04	1,06	1,06	1,08	1,14	2,19	-96,40	voldoende					geen	geen	negatief saldo
Weerribben	H4010B	Vochtige heiden (laagveengebied)	>	=	500	1.838,03	1420	0,10	0,13	0,16

BIJLAGE: RESULTATEN STUDIE FASE 2

Witteveen + Bos



Ecologische Beoordeling OSES 3.0 gegevens

Analyse Fase 2

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

21 januari 2026

Project	Ecologische Beoordeling OSES 3.0 gegevens
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Document	Analyse Fase 2
Status	Definitief
Datum	21 januari 2026
Referentie	148252/26-000.872
Beschikbaarheid	A2
Integriteit	I1
Vertrouwelijkheid	Publiek
Projectcode	148252
Projectleider	PhD W. Gotje MSc
Projectdirecteur	Drs. L.G. Turlings
Auteur(s)	PhD W. Gotje MSc
Gecontroleerd door	R. Deelen MSc
Goedgekeurd door	PhD W. Gotje MSc
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Tekst- en datamining van (delen van) dit document, evenals enige verwerking of reproductie ervan door middel van kunstmatige intelligentie technologieën is uitdrukkelijk niet toegestaan, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Dit document (of delen ervan) mag niet worden verveelvoudigd en/of anderszins worden gebruikt op enigerlei wijze voor het trainen van kunstmatige intelligentie technologieën, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 7

2 SELECTIE VAN TE ONDERZOEKEN HABITATTYPEN IN FASE 2 8

3 AANPAK BEOORDELING IN FASE 2 12

3.1 Beschrijving toestand habitattypen 12

3.2 Beoordeling toestand habitattypen 12

4 ACHTERGRONDINFORMATIE EFFECTEN STIKSTOFDEPOSITIE 17

5 SPECIFIEKE BEOORDELINGEN FASE 2 18

5.1 Brabantse Wal 18

5.1.1 Boxplots Brabantse Wal 18
5.1.2 H3130 Zwakgebufferde vennen 19

5.2 Deurnsche Peel & Mariapeel 21

5.2.1 Boxplots Deurnsche Peel & Mariapeel 21
5.2.2 H7110A Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap) 22
5.2.3 H7120ah Herstellende hoogvenen, actief hoogveen 25

5.3 Duinen Schiermonnikoog 27

5.3.1 Boxplots Schiermonnikoog 27
5.3.2 H2130C Grijze duinen (heischraal) 28

5.4 Dwingelderveld 31

5.4.1 Boxplots Dwingelderveld 31
5.4.2 H3130 Zwakgebufferde vennen 32
5.4.3 H4030 Droge heiden 34

5.5 Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske 36

5.5.1 Boxplots Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske 36
5.5.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) 37

5.6 Kennemerland-Zuid 40

5.6.1 Boxplots Kennemerland-Zuid 40
5.6.2 H2130B Grijze duinen (kalkarm) 40
5.6.3 H2180C Duinbossen (binnenduinrand) 43

5.7 Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen 45

5.7.1 Boxplots Loonse en Drunende Duinen &Leemputten 45

5.7.2 H3130 Zwakgebufferde vennen 46
5.8 Maasduinen 48
5.8.1 Boxplots Maasduinen 48
5.8.2 H2330 Zandverstuivingen 49
5.9 Naardermeer 52
5.9.1 Boxplots Naardermeer 52
5.9.2 H3130 Zwakgebufferde vennen 52
5.10 Noordhollands Duinreservaat 54
5.10.1 Boxplots Noordhollands Duinreservaat 54
5.10.2 H2130C Grijze duinen (heischraal) 55
5.11 Oostelijke Vechtplassen 57
5.11.1 Boxplots Oostelijke Vechtplassen 57
5.11.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) 58
5.12 Polder Westzaan 60
5.12.1 Boxplots Polder Westzaan 60
5.12.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) 61
5.13 Sallandse Heuvelrug 63
5.13.1 Boxplots Sallandse Heuvelrug 63
5.13.2 H4030 Droge heiden 64
5.14 Solleveld & Kapittelduinen 66
5.14.1 Boxplots Solleveld &Kapittelduinen 66
5.14.2 H2180C Duinbossen (binnenduinrand) 67
5.15 Strabrechtse Heide & Beuven 69
5.15.1 Boxplots Strabrechtse Heide & Beuven 69
5.15.2 H3130 Zwakgebufferde vennen 70
5.16 Vecht- en Beneden-Reggegebied 72
5.16.1 Boxplots Vecht- en Beneden-Reggegebied 72
5.16.2 H4030 Droge heiden 72
5.17 Veluwe 74
5.17.1 Boxplots Veluwe 74
5.17.2 H4030 Droge heiden 75
5.18 Voornes Duin 77
5.18.1 Boxplots Voornes Duin 77
5.18.2 H2130C Grijze duinen (heischraal) 78
5.18.3 H2190Aom Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen 80
5.19 Weerribben 83
5.19.1 Boxplots Weerribben 83
5.19.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) 83
5.20 Weerter- en Budelerbergen & Ringselven 85
5.20.1 Boxplots Weerter- en Budelerbergen &Ringselven 85
5.20.2 H3130 Zwakgebufferde vennen 86
5.21 Witterveld 88

5.21.1 Boxplots Witterveld 88
5.21.2 H7120ah Herstellende hoogvenen, actief hoogveen 89

6 CONCLUSIES 92

7 ADVIES VOOR VERVOLG IN FASE 3 96

8 LITERATUUR 98

Laatste pagina 101

Bijlage(n) **Aantal pagina's**

-

1

INLEIDING

Uit onderzoek in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (hierna: 'EZK), blijkt dat de energietransitie resulteert in een afname van de stikstofemissie door de verduurzaming van de industrie na realisatie van energie-infrastructuur. Deze relatie is in beeld gebracht in het project Onderzoek Samenhang Energietransitie & Stikstof in de industrie (hierna: OSES 3.0) (Witteveen+Bos, 2025) en voorgaande studies. In de voorliggende opdracht is gevraagd om de ecologische impact van de in OSES 3.0 beschreven ontwikkeling in de stikstofemissie en -depositie te duiden. De nadruk in de opdracht ligt op het bepalen van de ecologische effecten op habitattypen en leefgebieden van soorten in Natura 2000-gebieden door de berekende tijdelijke stikstofdepositietoenames als gevolg van de energie-infrastructuurprojecten, afgezet tegen de berekende permanente afnames van de stikstofdepositie door verduurzaming van industrie. De berekeningen uit OSES3.0 vormen hiervoor dus de basis.

Aan Witteveen+Bos, in samenwerking met Bureau TAUW en SWECO Nederland, is gevraag om deze studie uit te voeren.

Het project is opgedeeld in drie fasen:
- fase 1: selectie van de te onderzoeken 25 habitattypen in fase 2 en opstellen plan van aanpak;
- fase 2: analyse geselecteerde 25 habitattypen met als resultaat een Proof of Concept van de methode en de bruikbaarheid van de afname van de emissie door de verduurzaming als Passende Maatregel voor de aanleg van de energie-infrastructuur;
- fase 3: analyse van nog extra habitattypen en eindconclusie.

Deze bijlage betreft de rapportage van fase 1 en fase 2.

2

SELECTIE VAN TE ONDERZOEKEN HABITATTYPEN IN FASE 2

De OSES 3.0 data zijn bewerkt ten behoeve van het selecteren van de eerste 25 habitattypen die in fase 2 worden onderzocht. Leefgebieden worden in deze fase buiten beschouwing gelaten. Daartoe zijn de data geclassificeerd als volgt:

- hoogte van tijdelijke 'eenmalige' depositie door aanleg van de infrastructuur in mol N/ha/jaar. De indeling is arbitrair en vooral gekozen om onderscheid te maken tussen de verschillende berekende situaties:
  - <0,1 lage depositie;
  - 0,1 - 0,5 relatief lage depositie;
  - 0,5 - 1 relatief hoge depositie;
  - 1 - 2 hoge depositie;
  - >twee zeer hoge deposities;
- gevolg van verduurzaming:
  - geen afname van de depositie door de verduurzaming/geen afname van de ADW;
  - wel afname van depositie door de verduurzaming, maar minder dan de depositie als gevolg van de aanleg/dus wel een zekere afname van de ADW;
  - netto afname van de depositie als gevolg van de aanleg plus de verduurzaming/afname van de ADW;
- huidige overbelasting van het habitattype:
  - zwaar overbelast (>1,5 keer de KDW)[1];
  - (naderend) overbelast (< 1,5 keer de KDW - KDW - 70 mol);
  - niet overbelast.

Daarnaast is uit de SEM studie[2] een lijst gepubliceerd die aangeeft voor welke habitattypen het bereiken van een tipping point mogelijk is, bijvoorbeeld omdat een lage zuurgraad ervoor gaat zorgen dat het milieu irreversibel ongeschikt wordt voor een goede ontwikkeling van een habitat of leefgebied. Belangrijk is dus of de depositie van de aanleg van het project zodanig groot is dat herstel niet meer kan optreden, ook niet door de verduurzaming. Er worden dus ook diverse habitattypen uitgekozen met dit soort tipping points, met vooral hoge deposities, zowel zonder afname van de depositie door de verduurzaming als met een afname door de verduurzaming. Tot slot zal door de verduurzaming in een groot deel van de Natura 2000-gebieden sprake zijn van een netto afname van de stikstofdepositie (aanleg-verduurzaming=permanente afname) en ook van een afname van het aantal overbelaste hexagonen. Ook van deze habitattypen worden diverse uitgekozen.

In fase 2 worden alleen de volgende habitattypen onderzocht:

- zwaar overbelaste habitattypen (>1,5 x KDW);
- habitattypen met een depositie door de aanleg van de infrastructuur >1 mol N/ha/jaar.

De habitattypen die aan deze selectiecriteria voldoen staan hierna in een lijst.

Binnen deze selectie zijn er habitattypen geselecteerd waar geen afname van de depositie plaatsvindt, waar deels een afname van de depositie plaatsvindt en waar een netto afname verwacht wordt door verduurzaming.

[1] De keuze van 1,5 keer de KDW is vrij arbitrair.

[2] Achtergrondnotitie actualiseren Stikstof Effectvoorspellings Model (SEM 3.1).

Binnen die selectie zijn in eerste instantie habitattypen uitgekozen met:
- een grote kans op een tipping point;
- die de Opdrachtgever als urgent heeft aangegeven;
- waarbij er sprake is van een duidelijke afname van het aantal overbelaste hexagonen;
- waarbij duidelijk een netto afname van de depositie (afname) wordt verwacht en;
- enkele habitattypen met een zeer hoge berekende depositie.

Hieronder worden (in rood/vet) de geselecteerde habitattypen onderbouwd.

Zwaar overbelaste habitattypen- depositie >1 mol N/ha/jaar - geen afname:
- duinen Ameland (drie habitattypen):
  - relatief lage deposities ten opzichte van andere gebieden (rond 1 mol N/ha/jaar);
- duinen Schiermonnikoog (zes habitattypen):
  - deposities rond 3,25 mol N/ha/jaar;
  - **H2130C (uiterst gevoelig met tipping point);**
- maasduinen (een habitat, twee leefgebieden):
  - **H2330 (matige kwaliteit, trend negatief);**
- Veluwe (een leefgebied):
  - 3,71 mol N/ha/jaar;
- weerribben (vijf habitattypen):
  - deposities van 3 tot 5,5 mol N/ha/jaar;
  - **H7140B (uiterst gevoelig met tipping point).**

Zwaar overbelaste habitattypen - depositie >1 mol N/ha/jaar - rest depositie:
- Boschhuizerbergen (drie habitattypen):
  - lage netto depositie < 1,21;
  - geen bijzonderheden;
- Deurnse Peel & Mariapeel (drie habitattypen, een leefgebied):
  - lg04 geselecteerd door OG;
  - **H7120ah zeer hoge toenames 15,59/14,80 mol N/ha/jaar);**
- Kennemerland-Zuid (vijf habitattypen):
  - alleen lage restwaarde en duidelijk minder overbelaste hexagonen;
  - grote afname oppervlak overbelast meest habitattypen;
  - **H2130B, grote afname oppervlak overbelast;**
  - **H2180C, grote afname oppervlak overbelast;**
- Naardermeer (een habitat):
  - **H3130 =uiterst gevoelig met tipping point;**
- Oostelijke Vechtplassen (een habitat):
  - **H7140B =uiterst gevoelig met tipping point;**
- Oosterschelde (drie habitattypen):
  - hoge deposities en restwaarden, wel lichte afname overbelaste hexagonen;
- Rijntakken (een habitat, twee Leefgebieden):
  - lage restdeposities, toename niet overbelaste hexagonen;
- Sallandse heuvelrug (een habitat):
  - lage restwaarde;
  - **H4030, als urgent beschouwd door opdrachtgever en leefgebied van Korhoen;**
- Strabrechtse Heide & Beuven (drie habitattypen):
  - hoge restwaarden;
  - **H3130 =uiterst gevoelig met tipping point, hoge restwaarde;**
- Vecht- en Beneden-Reggegebied (vijf habitattypen):
  - lage restwaarden;
  - **H4030 als urgent beschouwd door opdrachtgever, hoge restwaarde;**
- Veluwe (zeven habitattypen, drie leefgebieden):
  - relatief lage restwaarden voor alle habitattypen en leefgebieden;
  - **H4030, matige kwaliteit, rest depositie>1 mol N/ha/jaar;**
- Westerschelde (twee habitattypen):

  - zeer lage restwaarden;
- Wierdense Veld (een habitat):
  - zeer lage restwaarden;
- Witterveld (een habitat):
  - **H7120ah, zeer hoge toenames (18,85/16,86 mol N/ha/jaar).**

Zwaar overbelaste habitattypen - depositie >1 mol N/ha/jaar - afname na verduurzaming:
- Biesbosch (een leefgebied):
  - <21 % overbelast, sterke afname;
- Brabantse Wal (zes habitattypen, vijf leefgebieden):
  - **H3130 = uiterst gevoelig met tipping point;**
- Deurnsche Peel & Mariapeel (een habitat):
  - lichte afname, slechte kwaliteit, trend kwaliteit negatief;
  - **H7110A, geselecteerd door opdrachtgever wegens urgentie;**
- Dwingelderveld (dertien habitattypen, drie leefgebieden):
  - **H3130 = uiterst gevoelig met tipping point;**
  - **H4030, negatieve trend kwaliteit;**
- Geuldal (twee habitattypen):
  - goede afname;
  - H9160B afname oppervlak overbelast;
- Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (een habitat):
  - **H7140B = uiterst gevoelig met tipping point;**
- Kampina & Oisterwijkse Vennen (zeven habitattypen, twee leefgebieden):
  - allen relatief lage depositie en grote afname;
- Kennemerland-Zuid (vier habitattypen):
  - allen relatief lage depositie en grote afname;
  - grote afname oppervlak overbelast;
- Leudal (zes habitattypen):
  - allen relatief lage depositie en grote afname;
- Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen (drie habitattypen):
  - **H3130 = uiterst gevoelig met tipping point;**
  - andere twee relatief lage depositie en grote afname;
- Mantingerbos (een habitat):
  - relatief lage depositie en grote afname;
- Mantingerzand (zeven habitattypen):
  - allen relatief lage depositie en grote afname;
- Noordhollands Duinreservaat (tien habitattypen, een leefgebied):
  - relatief hoge afname van depositie;
  - grote afname van oppervlak overbelast;
  - **H2130C = uiterst gevoelig met tipping point;**
- Polder Westzaan (twee habitattypen):
  - **(ZG)H7140B = uiterst gevoelig met tipping point, geselecteerd door opdrachtgever wegens urgentie;**
  - zeer sterke afname van depositie;
- Savelsbos (een habitat):
  - relatief lage depositie en grote afname;
- Solleveld & Kapittelduinen (twee habitattypen):
  - allen relatief lage depositie en grote afname;
  - **H2130A als urgent beschouwd door opdrachtgever;**
- Strabrechtse Heide & Beuven (een habitat):
  - relatief lage depositie en grote afname;
- Voornes Duin (zes habitattypen, een leefgebied):
  - allen relatief lage depositie en grote afname;
  - **H2130C= uiterst gevoelig met tipping point;**
  - **H2190Ao = zeer gevoelig met tipping point;**
- Weerter- en Budelerbergen & Ringselven (drie habitattypen, drie leefgebieden):

  - overal paar mol afname, geen grote toename door infrastructuur;
  - **H3130 = uiterst gevoelig met tipping point;**
- Westerschelde & Saeftinghe (twee habitattypen):
  - overal paar mol afname, geen grote toename door aanleg infrastructuur.

3

AANPAK BEOORDELING IN FASE 2

3.1 Beschrijving toestand habitattypen

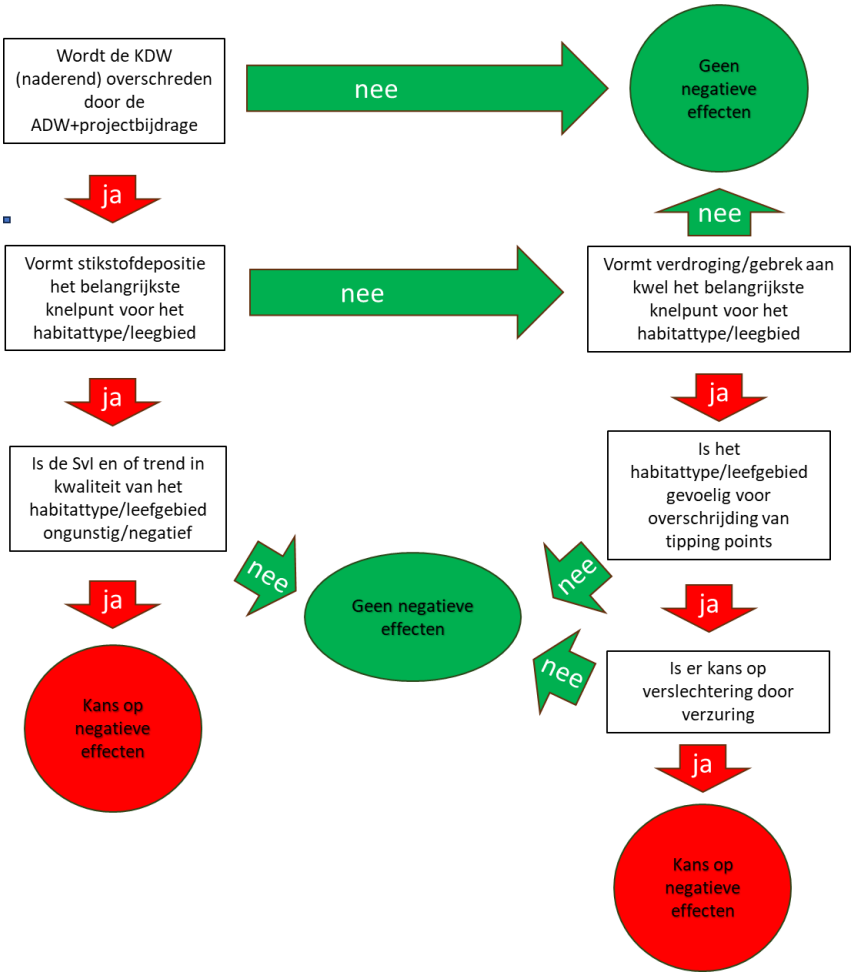
In eerste instantie worden per geselecteerd habitattype de volgende gegevens op een rijtje gezet aan de hand van AERIUS Monitor, Gebiedsanalyses, Natuurdoelanalyses, Natura 2000 - beheerplannen en Adviezen van de Ecologische Autoriteit:

- KDW;
- maximale depositie door aanleg infrastructuur;
- maximale afname depositie door verduurzaming;
- instandhoudingsdoelstelling;
- algemene beschrijving habitattype;
- algemene beschrijving rol verzuring en vermesting binnen het habitattype;
- voorkomen en kwaliteit in Natura 2000-gebied;
- mate van overbelasting in Natura 2000-gebied;
- aandeel overbelast oppervlak in Natura 2000-gebied;
- sturende factoren en knelpunten toestand in Natura 2000-gebied;
- gevoeligheid ten aanzien van drempelwaarden.

3.2 Beoordeling toestand habitattypen

Vervolgens wordt onderstaande beslisboom doorlopen, zie afbeelding 3.1.

Afbeelding 3.1 Beslisboom Fase 2



Voor alle habitattypen wordt een beoordeling uitgevoerd aan de hand van:
- hoogte van de depositie;
- invloed van de hoogte van de depositie op de zuurgraad en vermesting en daarmee op de kwaliteit;
- mate van overbelasting;
- percentage oppervlak overbelaste hexagonen;
- de knelpunten voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen;
- kans op tipping point (zie uitleg in hoofdstuk 4).

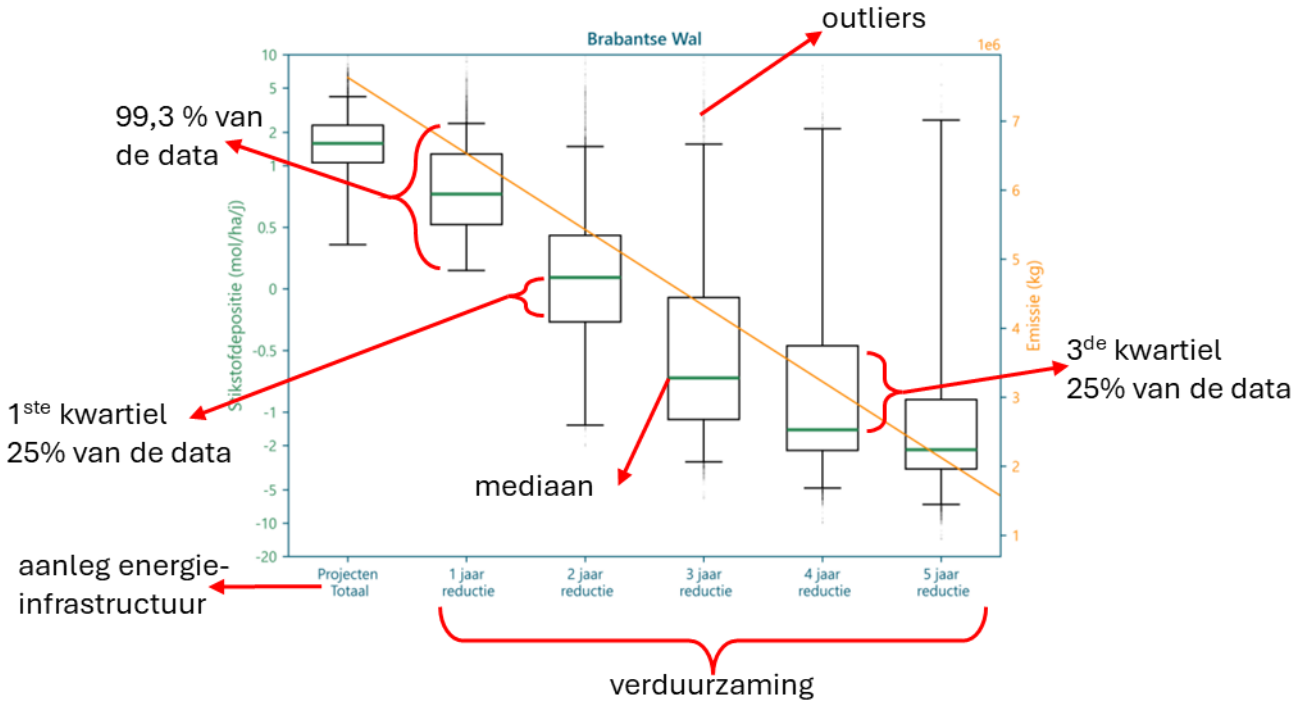
Begrenzing in het toepassingsbereik van AERIUS

AERIUS hanteert in het kader van toestemmingsverlening voor individuele bronnen en projecten een maximale rekenafstand van 25 km tot emissiebronnen. Deze begrenzing van het toepassingsbereik botst enigszins met het doel van dit onderzoek; het in beeld brengen van een landelijke ontwikkeling. In materiele zin betekent de maximale rekenafstand voor onderhavig onderzoek dat een landelijke afname van deposities door vermeden emissies van de industrie niet altijd zichtbaar is.

In sommige situaties treedt er naar waarschijnlijkheid een rekenkundige toename van depositie op, die niet verwacht zou worden op basis van de verwachte omvangrijke emissieafnames. Deze toename ontstaat in bepaalde gebieden omdat er geen ruimtelijke overlap is met delen van Natura 2000-gebieden die zich op meer dan 25 km van industrieclusters bevinden, terwijl er binnen een straal van 25 km wel energie-infrastructuur wordt aangelegd. Om deze effecten enigszins te duiden zijn in dit onderzoek naast de landkaarten ook boxplots getoond. Het doel van de boxplot is om in één oogopslag de spreiding in resultaten en de verhouding tussen de emissies en de deposities weer te geven.

In de tekst na de afbeelding wordt een toelichting gegeven op de informatie uit de afbeelding.

Afbeelding 3.2 Voorbeeld van een boxplot uit de OSES3.0 studie (deposities in mol N/ha/ja; Emissies zijn totaal emissies door verduurzaamde industrie per jaar)



De projecten in de OSES 3.0 studie betreffen energie-infrastructuurprojecten die noodzakelijk zijn voor de energietransitie in de industrie uit onder andere het MIEK (Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat). Er is aldus een ondubbelzinnig en onlosmakelijk verband tussen energie-infrastructuur en de verduurzaming van de industrie. Zo worden er leidingen en kabels aangelegd voor transport van hernieuwbare energiedragers (c.q. waterstof, CO_2, elektriciteit). Bedrijven schakelen over op deze hernieuwbare energiedragers, waardoor het gebruik van fossiele energie (c.q. aardgas en elektriciteit uit fossiele energiebronnen) afneemt. Waar deze energie-infrastructuur wordt aangelegd is grotendeels bekend. Omdat de locaties van projecten bekend zijn kan vervolgens de stikstofdepositie worden berekend.

De aanleg van de infrastructuur en de verduurzamingsmaatregelen samen worden in het OSES3.0 project gezien als een programma (zogenaamde energie-infrastructuurprojecten). Deze energie-infrastructuurprojecten zijn als Projecten Totaal in bovenstaande grafiek weergegeven. Projecten totaal betreft dus alle projecten die nodig zijn voor de energietransitie en die in de periode 2025-2035 moeten worden uitgevoerd en die neerslag hebben op dit specifieke natuurgebied. De weergegeven afname vindt plaats in de jaren 2030 tot en met 2034. Omdat momenteel niet bekend is wanneer de projecten worden uitgevoerd is er worse case uitgegaan vanuit gegaan dat deze projecten allemaal in het eerste jaar worden uitgevoerd (2025).

De depositie van alle projecten (Projecten Totaal) is in het bovenstaande voorbeeld te zien in de eerste linker boxplot. In bovenstaand voorbeeld is er dus sprake van een eenmalige depositie door de aanleg van 4,5 mol N/ha/jaar tot 0,4 mol N/ha/jaar, met uitschieters tot ver boven 5 mol N/ha/jaar (boxplot Projecten totaal). 50 % van de (naderend) overbelaste hexagonen hebben een depositie tussen 1 en ca. 2,1 mol N/ha/jaar en de mediaan ligt rond 1,7 mol N/ha/jaar.

Na aanleg van de energie-infrastructuur worden projecten in de industrieclusters mogelijk gemaakt (verduurzamings-maatregelen) die tot een afname van stikstofemissie leiden. De gele lijn in het

bovenstaande voorbeeld laat de emissieafname zien die het gevolg is van de verwachte verduurzamingsmaatregelen, in dit geval dus een afname van de emissie van ca. 7.700.000 kilogram N naar ca. 1.600.000 kg N. Het gaat om afname van emissies vanuit clusters van energie-infrastructuurprojecten (tijdelijke toename van emissies door aanleg van infrastructuur gevolgd door een daling door de daaraan gekoppelde verduurzamingsmaatregelen) waarvan vaststaat dat die leiden tot een depositie op minimaal een (naderend) overbelast hexagoon in een bepaald Natura 2000-gebied.

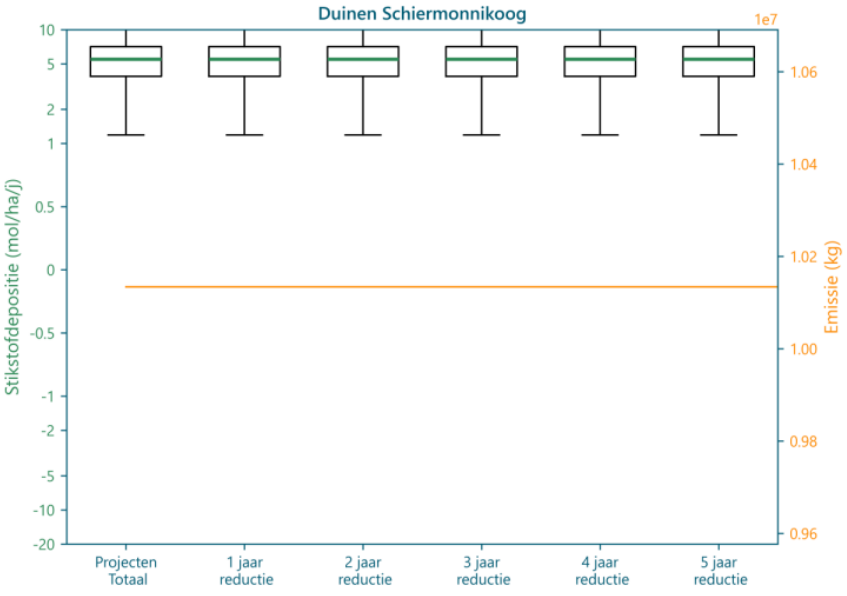
De daadwerkelijke berekende afname van de deposities bij aanleg door de verduurzaming staan in de rechter een boxplots. Het is een som van de aanvankelijke depositie door de aanleg en de afname van de depositie als gevolg van vermeden emissies. Het bovenstaande voorbeeld laat zien dat er na vijf jaar vermeden emissie op het overgrote deel van de hexagonen sprake is van een netto afname van de stikstofdepositie. Het grootste deel (>75 %) van de boxplots (vijf jaar afname) laat immers een depositie van minder dan 0 mol N/ha/jaar zien.

In het bovenstaande geval kan dus worden geconcludeerd dat de energietransitie leidt tot een afname van de depositie op het overgrote deel van het Natura 2000-gebied, waarbij al in het derde jaar van verduurzaming sprake is van een netto afname van de depositie op bijna 75 % van de (naderend) overbelaste hexagonen (boxplot drie jaar afname). Tevens kan geconcludeerd worden dat er sprake is van een structurele afname van de ADW. Immers, er is sprake van een afname van de depositie in de boxplots.

Voor een deel van de Natura 2000-gebieden is geen afname van de depositie berekend (zie onderstaand voorbeeld). Dit kan verschillende oorzaken hebben.

In het onderstaande voorbeeld is wel een eenmalige depositie door de energie-infrastructuurprojecten berekend (in dit geval tussen ca. 1,2 en 10 mol N/ha/jaar) maar geven de vijf rechter boxplots geen netto afname van de depositie weer. De emissiecurve is horizontaal, wat aantoont dat er ook geen afname van de emissies van het energiecluster binnen 25 km vanaf het Natura 2000-gebied wordt verwacht. Er is in dit geval dus ook geen sprake van een afname van de ADW.

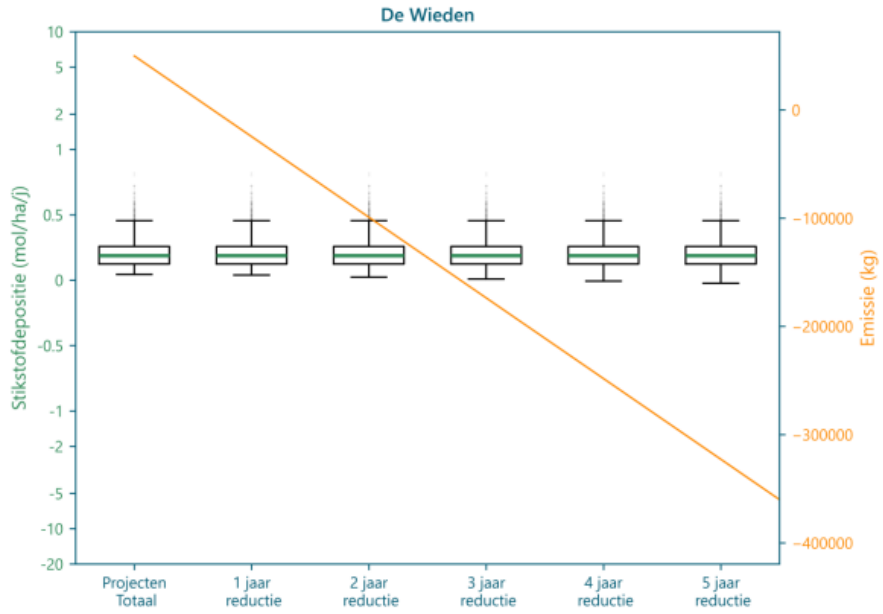
Afbeelding 3.3 Voorbeeld met gelijkblijvende depositie op een Natura 2000-gebied maar zonder afnemende emissies



In het volgende voorbeeld lijkt er ook geen sprake te zijn van een netto afname van de depositie na aanleg van de energie-infrastructuur, maar vindt er desondanks wel een afname plaats van de emissie door verduurzaming. In dit specifieke geval is er echter wel degelijk sprake van depositie vanaf een energieproject op minimaal een (naderend) overbelast hexagoon, maar de afname vindt plaats op zo weinig hexagonen dat

die niet in de boxplots waarneembaar is. Van dit specifieke gebied kan worden verwacht dat een groot deel van de hexagonen verder dan 25 km van de energieclusters ligt en dat AERIUS daarom geen afname van de depositie kan berekenen. Het is echter wel aannemelijk dat er net als in de rest van het Natura 2000-gebied sprake kan zijn van een afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming. Hoewel het dus niet blijkt uit de boxplots, mag wel worden verwacht dat er sprake is van een afname van de ADW, maar AERIUS kan dat dus niet berekenen.

Afbeelding 3.4 Voorbeeld met gelijkblijvende depositie op een Natura 2000-gebied maar met afnemende emissies



4

ACHTERGRONDINFORMATIE EFFECTEN STIKSTOFDEPOSITIE

Voor de inhoud van dit hoofdstuk wordt de lezer verwezen naar hoofdstuk 4 van het hoofdrapport.

5

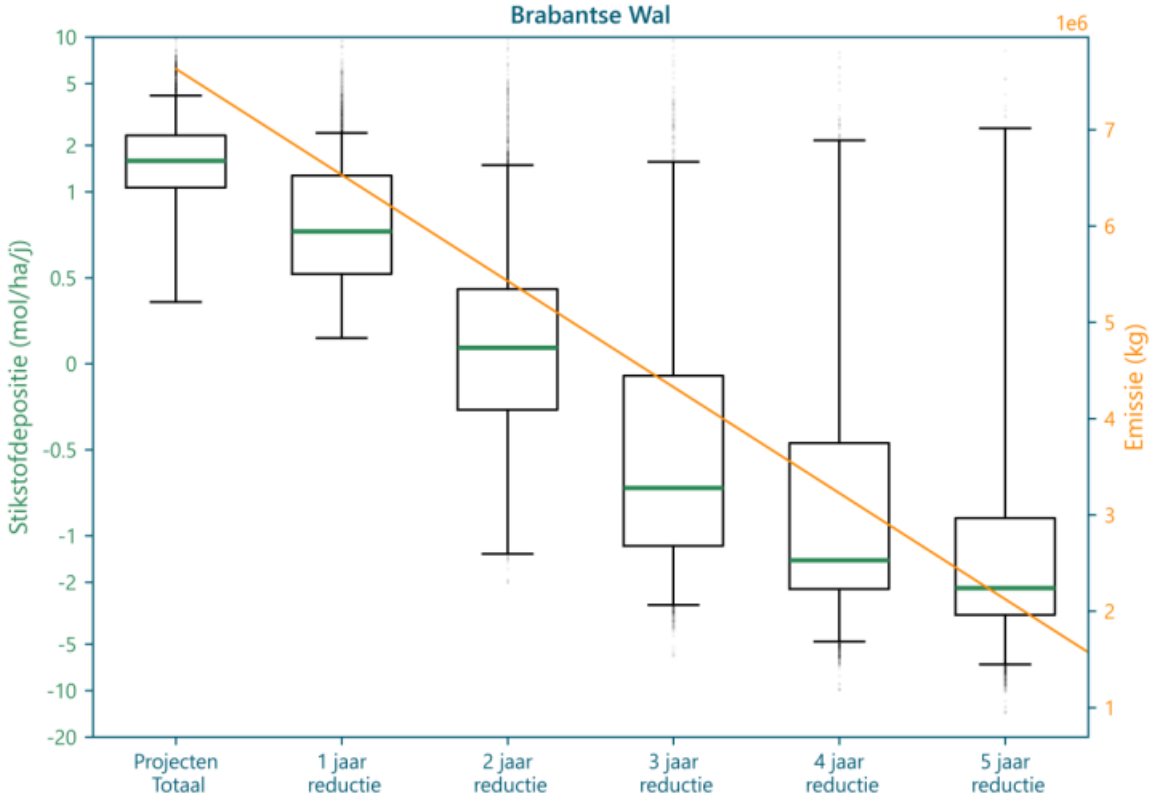
SPECIFIEKE BEOORDELINGEN FASE 2

5.1 Brabantse Wal

5.1.1 Boxplots Brabantse Wal

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,36 mol N/ha/jaar en 4,19 mol N/ha/jaar. Op 50 % van de (naderend) overbelaste hexagonen komt 1,06 tot 2,31 mol N/ha/jaar stikstof neer. De mediane waarde bedraagt 1,58 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na drie jaar leidt tot een netto afname van de depositie. Na vijf jaar is dit het geval voor het merendeel van de (naderend) overbelaste hexagonen (>75 % van de hexagonen).

Afbeelding 5.1 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Brabantse Wal



5.1.2 H3130 Zwakgebufferde vennen

Tabel 5.1 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	2.555,73	1,21	-1,81	>	>

Tabel 5.2 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	12,76	12,76	12,76	12,76	12,76
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H3130

Dit habitattype betreft begroeiingen van zwakgebufferde vennen, waartoe de vennen inclusief de oeverzones en venlaagtes behoren. Het onderscheid met de zeer zwak gebufferde vennen van habitattype H3110 is dat die vennen een lager gehalte aan bicarbonaat hebben. H3130 is zeer arm aan voedingsstoffen, waarbij anorganisch stikstof en fosfaat limiterend zijn voor de plantengroei. De productie van deze systemen is daardoor zeer gering en successie verloopt zeer langzaam. Kenmerkend voor H3130 is het grote aantal soorten, waaronder veel pioniersoorten van kale oevers en open water. De leefgemeenschappen van deze vensystemen vertonen een grote variatie binnen een klein oppervlak door het voorkomen van allerlei milieuverschillen en gradiënten binnen het systeem. De standplaatscondities variëren onder andere van zeer voedselarm tot voedselarm, van aquatisch tot vochtig en van langdurig tot zeer kortstondig overstroomd (Ministerie van LNV, profieldocument H3130, 2008).

Verzuring en vermesting in H3130

Als de pH in zwakgebufferde vennen onder de 4,5 komt door verzuringsprocessen, dan zullen de zacht-water planten verdwijnen door oeverwoekering en op den duur zullen alle waterplanten verdwijnen als gevolg van koolstoflimitatie. Daarbij zijn in zwak gebufferde vennen anorganisch stikstof en fosfaat limiterend voor plantengroei. De atmosferische depositie van stikstof leidt tot aanrijking van de vennen, waardoor soorten die ammonium en/of nitraat benutten sneller gaan groeien. De effecten van stikstofdepositie werken door op de Vogel- en Habitatrichtlijnsoorten (VHR) en/of typische diersoorten via een afname van voortplantingsgelegenheid, afname kwaliteit van voedselplanten, fysiologische problemen en de afname van prooibeschikbaarheid (Arts, Brouwer, en Smits 2012).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H3130

Habitat 3130 is een uiterst gevoelig type ten aanzien van stikstofdepositie. Belangrijk is dat door de additionele depositie de zuurgraad niet gedurende langere tijd onder 4,5 pH komt, omdat er risico's zijn op het overschrijden van een tipping point (zie ook hierboven).

Voorkomen en kwaliteit H3130 in Brabantse Wal

Het habitattype Zwakgebufferde vennen komt voor in het Groote Meer (Voormeer) en ook in Leemputten, Bronven en Ranonkelven (provincie Noord-Brabant, 2018). De huidige totaaloppervlakte is 13 ha (geactualiseerde T0 habitattypenkaart). Bij de monitoring in 2021 is het oppervlak echter weer wat afgenomen tot 8,95 ha (Franken et al., 2022). In AERIUS wordt een oppervlak van 12,71 ha aangegeven. De trend in omvang is negatief. Al lijkt afname de laatste jaren te stabiliseren maar het verschil met 2008 (eerste jaar van kartering en daarmee uitgangspunt voor referentiesituatie) is groot. Toen was er 25 ha aanwezig in de omgeving van het Groote Meer (Franken et al., 2022).

De kwaliteit van Groote Meer (Voormeer), Leemputten en Ranonkelven is overwegend matig tot ontoereikend. De kwaliteit van het Achtermeer is slecht. De kwaliteit staat onder druk door droogte en te lage grondwaterstand. Voor dit habitattype geldt een sense of urgency voor de wateropgave. De trend was lange tijd negatief door afname van soorten en vegetaties in De Groote en Kleine Meer. In de jaren '90 was na herstelmaatregelen (verwijdering slib en vegetatie) in het Voormeer (westelijk deel van de Groote Meer) een tijdelijke opleving merkbaar in de vegetatie van het ven. De langdurige trend is echter negatief. (provincie Noord-Brabant, 2018).

Voor wat betreft de vegetatie geldt dat bij voldoende water in de vennen soorten voorkomen als oeverkruid, moerashertshooi, gesteeld glaskroos, witte waterranonkel en pilvaren. Door lage grondwaterstanden gaat de kwaliteit van de vegetatie op diverse locaties achteruit (Franken et al, 2022). In de loop van de jaren schommelt het aantal aanwezige typische soorten rond 60 %, waardoor er geen sprake is van een duidelijke trend.

De verspreiding en kwaliteit van het habitattype hangt samen met verschillende abiotische factoren: ophoping regenwater, aanvoer grondwater uit basenrijkere bodemlagen, geleidelijke opeenhoping van organische stof, optreden van schijnwaterspiegels, vroegtijdige droogval van het gebied, minimale kwelstromen, overbelasting door stikstof met gevolgen voor vermesting en verzuring. Omdat er sprake is van verdroging en ophoping van slib voldoet het habitattype niet aan de kenmerken van goede structuur en functie (provincie Noord-Brabant, 2018).

Sturende factoren in H3130 in Brabantse Wal

Belangrijkste sturende factoren zijn de waterhuishouding, met verdroging en afname van kwel als gevolg. Hierdoor is er mogelijk een afname geweest van buffering en een toename van de gevoeligheid voor verzuring onder invloed van stikstofdepositie. Overige knelpunten zijn instroom van voedselrijk water, ophoping van slib en de aanwezigheid van exoten.

Beoordeling H3130 in Brabantse Wal

Knelpunten

Overmatige stikstofdepositie is een belangrijk knelpunt, maar verdroging en afname van kwel zijn de belangrijkste knelpunten voor het behalen van de doelstellingen voor de kwaliteit van het habitattype. Het habitattype is gevoelig voor het overschrijden van tipping points. Door de verdroging en ontbreken van buffering kan de stikstofdepositie leiden tot verzuring, waardoor het tipping point overschreden kan worden.

Kwaliteit en trend

De huidige kwaliteit is niet toereikend en de trend is negatief.

Stikstofbelasting

100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,21 mol N/ha/jaar. Stikstofdepositie is zelf niet het belangrijkste knelpunt, maar omdat er sprake is van verdroging en verminderde kwel kan de tijdelijke stikstofdepositietoename wel leiden tot extra verzuring en het overschrijden van een tipping point. Hoewel de huidige zuurgraad van het milieu niet bekend is, zijn de kenmerken van goede structuur en functie als onvoldoende beschreven. Op grond hiervan wordt gesteld dat een negatief effect door de aanleg van de energie-infrastructuurprojecten niet kan worden uitgesloten dat de stikstofgevoelige waardevolle vegetatie verdwijnt en dat daarmee de kwaliteit permanent zal verslechteren.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype. Tevens kan er sprake van zijn dat door het overschrijden van een tipping point de kwaliteit van het habitattype permanent achteruitgaat.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming

Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 1,81 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Stikstof is niet het belangrijkste knelpunt in het behalen van de doelstellingen. Het is de verdroging van het milieu die primair verantwoordelijk is voor de slechte kwaliteit waardoor negatieve effecten van stikstofdepositie tot uitdrukking kunnen komen. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben maar draagt wel positief bij aan de daling van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, maar er zal wel sprake zijn van een daling van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied

De boxplots laten verder zien dat als geheel sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die leiden tot een duidelijke netto afname van de stikstofdepositie. Deze netto afname is al na drie jaar vermeden emissies groter is dan de depositie als gevolg van de aanleg van de infrastructuur. Op het habitattype is er door alle energie-infrastructuurprojecten samen na vijf jaar sprake van een netto afname van de depositie.

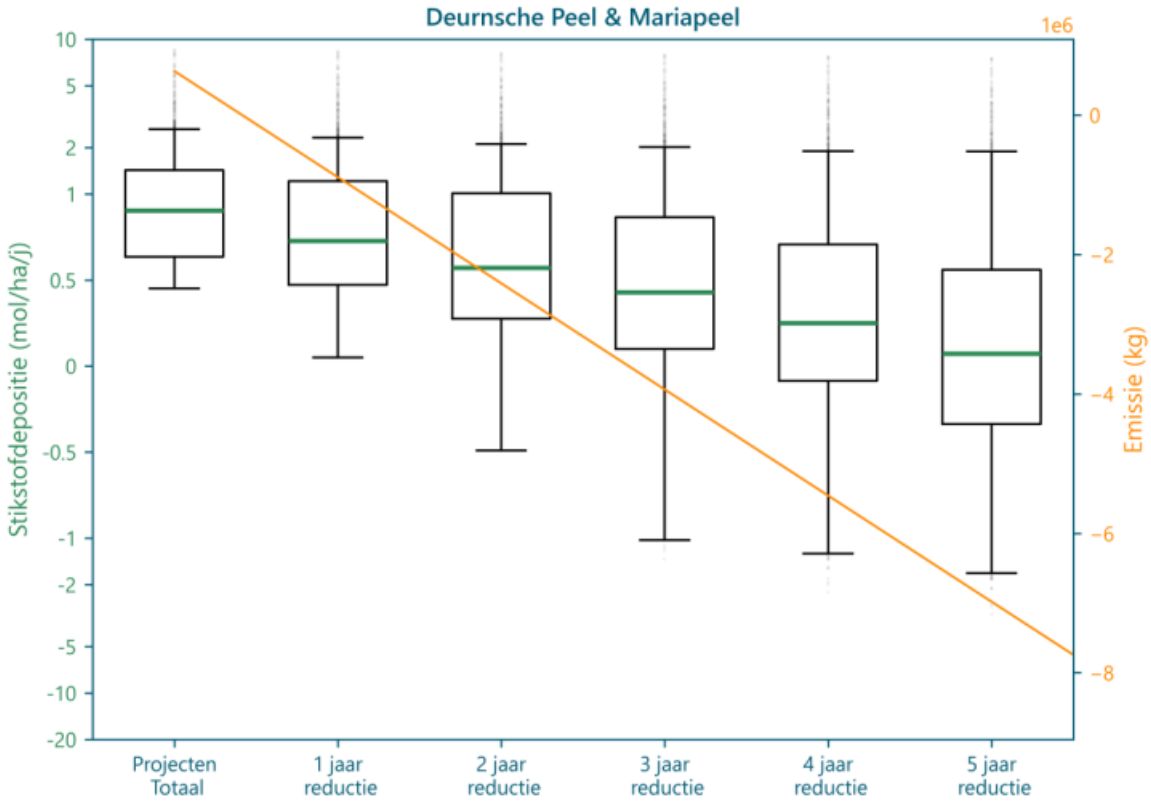
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.2 Deurnsche Peel & Mariapeel

5.2.1 Boxplots Deurnsche Peel & Mariapeel

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,45 mol N/ha/jaar en iets minder dan 2,62 mol N/ha/jaar. Op 50 % van de overbelaste hexagonen komt 0,63 tot 1,43 mol N/ha/jaar stikstof neer. De mediaan bedraagt 0,90 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die in vijf jaar tijd op iets minder dan de helft van de (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg alle energie-infrastructuurprojecten samen. Op de overige hexagonen is er sprake van een lichte netto afname.

Afbeelding 5.2 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Deurnse Peel & Mariapeel



5.2.2 H7110A Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap)

Tabel 5.3 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.402,78	1,18	-0,20	>	>

Tabel 5.4 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7110A

Het habitattype actieve hoogvenen betreft hoogveensystemen waar sprake is van een goed functionerende toplaag (acrotelm) met actieve hoogveenvorming. Actieve hoogveenvorming houdt in dat de door veenmossen gedomineerde vegetatie meer organisch materiaal vormt dan er wordt afgebroken. Het levende hoogveen houdt veel regenwater vast en in het natte, zure hoogveenmilieu verteren afgestorven plantendelen heel erg langzaam, waardoor deze ophopen. Het systeem groeit dus omhoog en houdt als een spons water vast. Kenmerkend zijn dominantie van veenmossen, een microreliëf met tot ca. 50 cm hoge

bulten en slenken en permanent hoge waterstanden. De veenmossen domineren zowel in de slenken als op de bulten. De bulten vallen extra op doordat ze meestal zijn getooid met een begroeiing van dwergstruiken zoals gewone dophei (*Erica tetralix*) of struikhei (*Calluna vulgaris*). De begroeiingen van de bulten maken deel uit van het verbond Oxycocco-Ericion, die van de slenken worden tot het *Rhynchosporion* gerekend. De ecologische omstandigheden veranderen langs de laag-hoog gradiënt van het open water, via de natte slenken en veenmostapijten naar de hoge bulten. In sommige hoogvenen is het onderscheid tussen slenken en bulten minder uitgesproken. Van de bultbewonende dwergstruiken kan vooral kleine veenbes (*Oxycoccus palustris*) ver omlaag doordringen tot in de slenken, terwijl een in beginsel slenkbewonende plant als de witte snavelbies (*Rhynchospora alba*) tot hoog in de bulten weet stand te houden. Een actief hoogveen onderscheidt zich van een aangetast hoogveen (habitattype H7120), doordat er een goed functionerende veenmoslaag aanwezig is (de acrotelm) die ervoor zorgt dat het hoogveensysteem functioneert. De veenmoslaag draagt sterk bij aan de stabiliteit van de waterhuishouding. De actieve hoogvenen van het habitattype kunnen voorkomen op landschapsschaal of op kleinere schaal. Een compleet levend hoogveen is een groot systeem met een stabiele waterhuishouding in een hoogveenlandschap. Hoogvenen hebben een markante lensvorm met aan de randen vaak een zogenoemde lagg-zone met open water, die de overgang vormt met het omringende minerale landschap. Op overgangen naar laagveen, meren of rivieren kunnen van nature broekbossen of tril- of overgangsvenen (H7140) voorkomen, of natte schraallanden wanneer de zone als hooiland wordt gebruikt. Naast het patroon van bulten en slenken kan het hoogveensysteem gekenmerkt worden door dystrofe, dat wil zeggen door humuszuren gekleurde poelen (meerstallen) en complexe patronen van geulen en laagten die water vanuit de hoogveenkern afvoeren naar de rand van het systeem. Op kleinere schaal komt actief hoogveen voor in laagten in het heidelandschap, als heideveentjes en hellingveentjes. Bij veen langs hellingen spreekt men ook van 'rheotroof hoogveen'. Beide soorten van veentjes vertonen doorgaans de structuur van bulten en slenken. Een lensvorm en lagg-zones ontbreken echter. Tenslotte komt hoogveenontwikkeling voor in het laagveenlandschap, maar voorlopig alleen in de vorm van vochtige heide (H4010B). Mogelijk vormt zich hieruit op lange termijn actief hoogveen (H7110). We spreken van H7110A (hoogveenlandschap) als de kern uitsluitend door regenwater wordt gevoed en door het vasthouden van dat regenwater in het veen een hogere grondwaterspiegel heeft dan zijn omgeving, en er veenvorming optreedt. Hiervoor is het noodzakelijk dat weinig (< 40 mm/jaar) of geen wegzijging naar de ondergrond optreedt en dat ondanks verschillen in neerslag en verdamping de grondwaterstand ten opzichte van het veenoppervlak weinig fluctueert. Actief hoogveen komt als hoogveenlandschap (subtype A) alleen nog voor in de kernen van grotere hoogveenrestanten, die verder grotendeels tot Herstellende hoogvenen (H7120) behoren. Van oorsprong zijn dit uitgestrekte lenshoogvenen geweest die door ontwatering en vervening thans sterk zijn gedegradeerd. Het essentiële verschil tussen Actieve en Herstellende hoogvenen is de aanwezigheid van een acrotelm: daar waar een actief-veenvormende toplaag aanwezig is, is sprake van H7110_A. Actueel is er nog geen sprake van actieve hoogveenvorming op landschapsschaal (ondanks de naam van het subtype): de landschapsschaal is nog alleen aanwezig in de vorm van het omringende habitattype Herstellende hoogvenen.

Verzuring en vermesting in H7110A

De effecten van stikstofdepositie op dit habitattype resulteren voornamelijk in vermesting. Verzuring speelt een ondergeschikte rol, vooral omdat de aanwezigheid van lagg-zones en overgangsvenen in Nederland beperkt is. Vermesting leidt tot een toename van stikstofminnende soorten ten koste van minder concurrentiekrachtige soorten. Dit kan de vegetatie verstoren, met als gevolg een afname in soortenrijkdom. In het hoogveenlandschap kunnen veranderingen in plantensoorten en de kwaliteit van plantenmateriaal optreden door de afname van mineralen en de toename van stikstof. Tevens is de gevoeligheid van veenmossen, zoals waterveenmos, voor parasitaire schimmels groter bij hogere stikstofconcentraties (Limpens et al. 2003b).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7110A

Dit habitattype is blijkens de SEM studie niet gevoelig voor overschrijding van irreversibele tipping points. Achteruitgang van kwaliteit is een geleidelijk proces in dit habitattype.

Voorkomen en kwaliteit H7110A in Deurnsche Peel & Mariapeel

In de Deurnsche Peel & Mariapeel is volgens de vigerende habitattypenkaart 0,02 ha van dit habitattype aanwezig in een complex van enkele veenputten in de Mariapeel. Uit recent vegetatieonderzoek blijkt dat de

momenteel aanwezige vegetaties vanwege de zeer geringe omvang op basis van het minimale oppervlakte criteria niet meer kwalificeren als dit habitattype (Jansen, in prep, zie 5.2.2.4)

De vegetatiekundige kwaliteit van het habitattype H7110A* Actieve hoogvenen in de Deurnsche Peel & Mariapeel was volgens de PAS-gebiedsanalyse goed (RVO, 2017). Er is geen onderbouwing gegeven van deze kwaliteitsbeoordeling. In het profieldocument is een groot aantal vegetatietypen genoemd die van het habitattype deel uit kunnen maken. Het habitattype is echter beperkt tot locaties waar actieve hoogveenvorming plaatsvindt en dus een acrotelm aanwezig is. In het Natura 2000-gebied Deurnsche Peel & Mariapeel was dit op een zeer beperkte oppervlakte aan de orde. Een kwaliteitsbeoordeling op basis van vegetatiekundige kenmerken van al deze vegetatietypen is daarom niet zinvol. In 2012 is in deelgebied Mariaveen op één locatie actief hoogveen vastgesteld. Deze locatie bevond zich in een gebied met kleine veenputjes aan de oostzijde van het Mariaveen. Het oppervlak dat deze vegetatie daar inneemt, was (iets) groter dan het minimumvereiste oppervlak, 100 m2, wat een criterium is voor de aanwezigheid van het habitattype. In 2021 is in alle Nederlandse hoogveengebieden een herhalingskartering van actieve hoogvenen uitgevoerd (Jansen, in prep). Bij deze kartering in de Deurnsche Peel & Mariapeel zijn geen vegetaties van actief hoogveen meer aangetroffen die voldoende oppervlakte hadden om te kwalificeren als habitattype H7110A. De locatie waar in 2012 actief hoogveen aanwezig was voldoet niet meer aan de criteria. Het habitattype is daarom niet meer aanwezig in het gebied, maar over kleine oppervlaktes komen nog wel bultvormende vegetaties voor. De kwaliteit van het habitattype H7110A* op basis van typische soorten is niet goed vast te stellen. Waarschijnlijk is die kwaliteit voor diersoorten zeer beperkt vanwege de zeer geringe oppervlakte, waarmee de kwaliteit uiteindelijk als slecht is beoordeeld. Door het ontbreken van recente informatie over de zuurgraad en voedselrijkdom is het niet mogelijk om vast te stellen of er binnen het habitattype voldaan wordt alle abiotische randvoorwaarden. In de huidige situatie is het habitattype niet meer aanwezig, zeer waarschijnlijk omdat het gebied in de zomerperiode (veel) te droog is. Hierom is het eindoordeel voor abiotische randvoorwaarden slecht. Voor wat betreft overige kenmerken van goede structuur en functie geldt dat ten aanzien van functionele omvang het habitattype niet voldoet aan de eis. De vereiste waterstanden voor initiatie van veenvorming worden ‘s winters wel gehaald, maar in het voorjaar en in de zomer zakt de waterstand te ver weg. Het eindoordeel voor structuur en functie is slecht (Jansen, in prep).

Sturende factoren in H7110A in Deurnsche Peel & Mariapeel

Sturende factoren zijn met name de waterhuishouding (stabiele eigen grondwaterstand) en mate van vermesting onder invloed van stikstofdepositie of aanvoer van voedselrijk water.

Beoordeling H7110A in Deurnsche Peel & Mariapeel

Knelpunten

Stikstof is een belangrijk knelpunt met name via vermesting. De afwezigheid van een stabiele eigen lokale grondwaterstand en de aanvoer van voedingsstoffen via inlaat water vormen echter het belangrijkste knelpunt voor het behalen van de doelstellingen voor de kwaliteit van het habitattype. Het habitat komt ook alleen op een heel klein oppervlak voor.

Kwaliteit en trend

De huidige kwaliteit is niet toereikend en de trend is ook niet positief.

Stikstofbelasting

100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,18 mol N/ha/jaar. Een dergelijke depositie kan in het aller slechtste geval leiden tot een daling van de pH met enkele tienden (zie berekeningen in hoofdstuk 4), maar verzuring is geen knelpunten voor dit habitattype. Effecten van stikstofdepositie door vermesting treedt pas op bij veel hogere deposities (zie hoofdstuk 4). De extra stikstof door de depositie is te gering om permanente verslechtering van de kwaliteit van het habitattype te veroorzaken.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Alle energie-infrastructuurprojecten samen leiden na vijf jaar verduurzaming tot daarnaast tot een netto afname van de depositie van 0,20 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Er is echter wel sprake van een blijvende netto afname. Stikstof is wel een belangrijk knelpunt via vermesting in het behalen van de doelstellingen, maar de slechte waterhuishouding is het belangrijkste knelpunt. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben maar draagt wel positief bij aan de daling van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, maar er zal wel sprake zijn van een daling van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat als geheel sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die leiden tot een afname van de stikstofdepositie in de loop van vijf jaar. Op het habitattype is er door alle energie-infrastructuurprojecten samen na vijf jaar sprake van een netto afname van de depositie.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.2.3 H7120ah Herstellende hoogvenen, actief hoogveen

Tabel 5.5 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	2.665,65	15,59	14,80	=	=

Tabel 5.6 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	1.130,89	1.130,89	1.130,89	1.130,89	1.130,89
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7120ah
Dit habitattype betreft hoogveenrestanten waar - in ieder geval ten dele - nog een veenpakket aanwezig is en hoogveenherstel gaande is of tenminste naar verwachting mogelijk is. Naar de kleur is de veenbodem (voor zover aanwezig) te beschrijven als zwartveen of witveen. Witveen is lichter gekleurd omdat deze veenbodem in geringere mate is gehumificeerd. Het biedt een betere uitgangssituatie voor het herstel dan zwartveen. Vaak zijn hoogveenrestanten ten dele tot op de zandbodem afgegraven, maar onder bepaalde omstandigheden kan ook dan nog sprake zijn van ‘herstellende hoogvenen’. Het type H7120 heeft

betrekking op herstellende hoogvenen op landschapsschaal. Het omvat (een deel van) de volgende elementen: hoogveenbulten, hoogveenslenken en veenputten met veenmos, zure wateren, heidevegetaties, vergraste veenbodems, struwelen en bossen. Het doel van hoogveenherstel is te komen tot hoogveenkernen die met een goed functionerende acrotelm (bestaande uit veenmosbegroeiingen) een stabiele waterstand kunnen handhaven. Voor zover hiervan sprake is, voldoet het habitattype aan de definitie van het habitattype actieve hoogvenen (H7110A). 'herstellende hoogvenen' is dus het enige habitattype waarvan het in principe steeds de bedoeling is dat het ten dele vervangen wordt door een andere habitattype, namelijk 'actieve hoogvenen' (Ministerie van LNV, Profieldocument H7120, 2008).

Verzuring en vermesting in H7120ah

In Herstellende hoogvenen (H7120ah) ontbreken gradiënten naar (zwak) gebufferde omstandigheden vrijwel geheel. Hierdoor speelt verzuring als gevolg van stikstofdepositie nauwelijks een rol. De effecten van vermesting door stikstofdepositie zijn daarentegen wel groot. Bij een toename van stikstofdepositie kan de veenmosvegetatie niet meer al het stikstof vastleggen, waardoor het beschikbaar komt voor vaatplanten. Deze gaan sneller groeien en maken meer biomassa aan, waardoor er minder licht doordringt tot het veenmosoppervlakte. Hierdoor neemt veenmosgroei af. Voor het leefgebied van Vogel- en Habitatrichtlijnsoorten (VHR) en/of typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie doorwerken via een koeler en vochtiger microklimaat, afname van voortplantingsgelegenheid, afname van kwantiteit en kwaliteit van voedselplanten, fysiologische problemen en de afname van prooibeschikbaarheid (A.J.M. Jansen et al, 2014).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7120ah

Dit habitattype is blijkens de SEM studie niet gevoelig voor overschrijding van irreversibele tipping points. Achteruitgang van kwaliteit is een geleidelijk proces in dit habitattype.

Voorkomen en kwaliteit H7120ah in Deurnsche Peel & Mariapeel

Het habitattype Herstellende hoogvenen (H7120ah) komt verspreid door het hele gebied voor. In totaal beslaat het habitattype ongeveer 1.131 ha binnen het Natura-2000 gebied. Het grootste deel van dit oppervlak ligt in de deelgebieden Deurnsche Peel en Mariapeel. Hier komt respectievelijk 455,40 en 459,09 ha van het habitattype voor. In het deelgebied Heitrakse Peel & Het Zinkske komt 104,57 ha van het habitattype voor en in deelgebied De Bult komt 103,31 ha van het habitattype voor. Het kleinste oppervlak ligt in deelgebied Grauwveen: 8,51 ha. Daarnaast is er ook 42,5 ha zoekgebied voor het habitattype aanwezig. Dit zoekgebied ligt ook vooral in de deelgebieden Deurnsche Peel en Mariapeel. Over de trend in oppervlak is weinig te zeggen, doordat een T1 habitattypenkaart ontbreekt. Op basis van de in 2018 uitgevoerde vegetatiekartering blijkt dat de kwaliteit van het habitattype op basis van vegetatie overwegend matig is: 1039,83 ha van het habitattype wordt als matig beoordeeld. 21,30 ha van het habitattype is goed tot matig en 34,42 ha van het habitattype is als goed beoordeeld. Wanneer de vegetatiekartering van 2018 wordt vergeleken met de kartering van 2005, blijkt dat er een afnemende trend in kwaliteit van de vegetatie is. De aanwezigheid van typische soorten is het hoogst in deelgebied Mariapeel, waar tien van de zestien aangewezen typische soorten voorkomen. Het eindoordeel voor de aanwezigheid van typische soorten is goed. Wat betreft abiotische randvoorwaarden wordt niet aan alle voorwaarden voldaan. Alleen aan zuurgraad en overstromingstolerantie wordt voldaan, aan alle andere voorwaarden niet. De beoordeling van abiotische randvoorwaarden is daarom slecht (provincie Noord-Brabant, 2023a).

Sturende factoren in H7120ah in Deurnsche Peel & Mariapeel

De instandhoudingsdoelstellingen voor Herstellende hoogvenen (H7120ah) zijn behoud van oppervlakte en verbetering van de kwaliteit. Wel mag er oppervlakte verloren gaan ten gunste van de ontwikkeling van actieve hoogvenen (H7110A). De belangrijkste knelpunten voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen zijn stikstofdepositie, verdroging, een gebrek aan verbinding en samenhang en de aanwezigheid van exoten.

Stikstofdepositie leidt in het habitattype tot vermesting. Door een hogere nutriëntenbeschikbaarheid kan vergrassing, opslag van berken en een versnelling van de successie plaatsvinden, zeker als tegelijk ook sprake is van verdroging. Op veel delen in het gebied zijn de fluctuaties in grondwaterstanden erg groot, waardoor delen van het habitattype verdrogen. Vooral in de zomer (maar ook daarbuiten) zakt het grondwaterpeil vaak erg ver weg. Stabiele grondwaterstanden zijn wel een voorwaarde voor de vorming van

hoogveen. Ook ontbreken hydrologische bufferzones die water in het gebied vast kunnen houden. Er is verder onvoldoende samenhang tussen de gebieden. Hierdoor is migratie van (typische) soorten nauwelijks mogelijk. Het laatste knelpunt is de aanwezigheid van exoten (provincie Noord-Brabant, 2023a).

Beoordeling H7120ah in Deurnsche Peel & Mariapeel

Knelpunten
Stikstof is een belangrijk knelpunt met name via vermesting. De vorming van een stabiele eigen lokale grondwaterstanden vormt echter ook een zeer belangrijk knelpunt voor het behalen van de doelstellingen voor de kwaliteit van het habitattype. Het type komt vooral op allerlei plekken in kleine oppervlakken voor.

Kwaliteit en trend
De huidige kwaliteit is niet toereikend, hoewel er lokaal ook sprake is van een positieve trend en goed toestand.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 15,59 mol N/ha/jaar met kans op negatieve effecten via vermesting. Teveel aan stikstofdepositie is een belangrijk knelpunt via vermesting, terwijl de huidige kwaliteit ook niet goed is.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is nog steeds sprake van een netto depositie van 14,80 mol N/ha/jaar. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is wel sprake van een afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat als geheel sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die leiden tot een afname van de stikstofdepositie in de loop van vijf jaar. Op het habitattype is er door alle energie-infrastructuurprojecten samen na vijf jaar sprake van een geringe netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

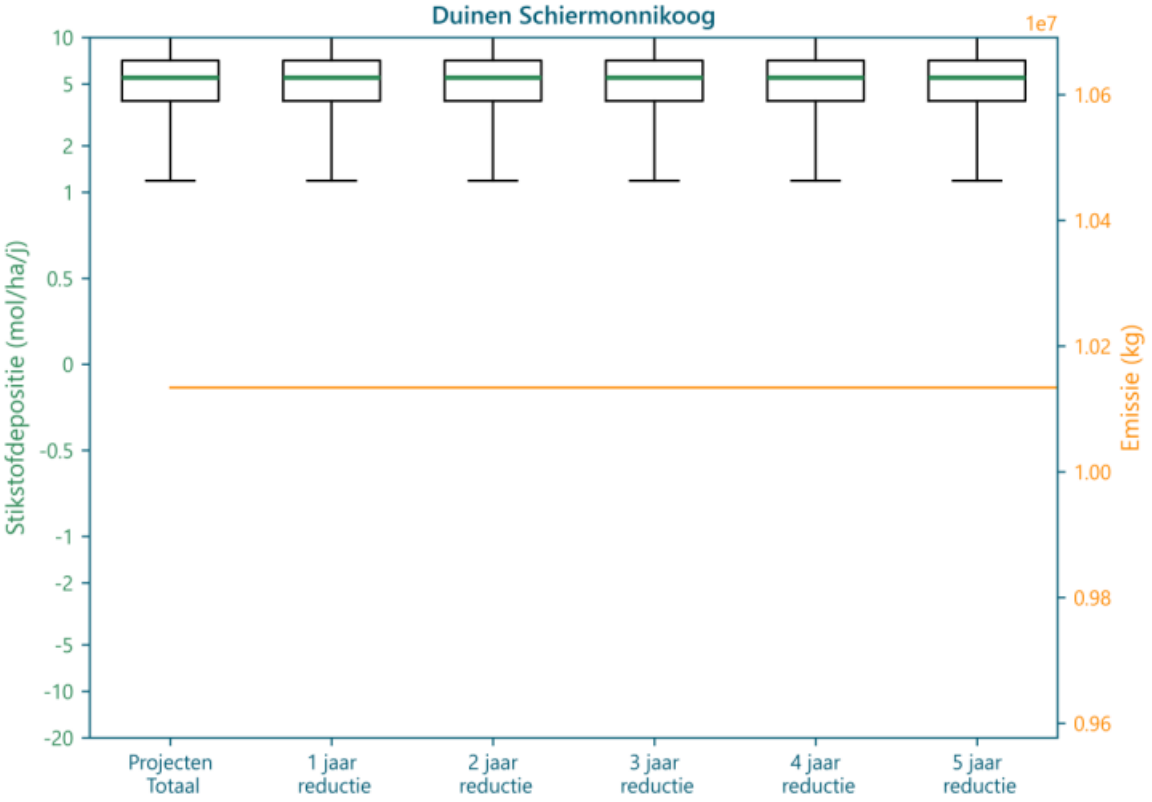
5.3 Duinen Schiermonnikoog

5.3.1 Boxplots Schiermonnikoog

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 1,18 mol N/ha/jaar en 11,90 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 3,89 tot 7,09 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 5,50 mol N/ha/jaar. Er vindt echter geen afname van emissies plaats door de verduurzaming, dus er is alleen sprake

van deze eenmalige depositie op het Natura 2000-gebied als geheel tijdens de aanleg van de energie-infrastructuur.

Afbeelding 5.3 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Duinen Schiermonnikoog



5.3.2 H2130C Grijze duinen (heischraal)

Tabel 5.7 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
786	1.894,07	2,66	2,66	>	>

Tabel 5.8 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	21,36	21,35	21,35	21,35	21,35
percentage		99,98	99,98	100,00	99,98

Algemene beschrijving H2130C

Het habitattype grijze duinen betreft de min of meer droge graslanden van het duingebied (en vergelijkbare plaatsen in aangrenzende delen van het kustgebied). Het gaat hierbij om soortenrijke begroeiingen met

dominantie van laagblijvende grassen, kruiden, mossen en/of korstmossen. Vermengd met deze begroeiingen kunnen kruidenrijke zoombegroeiingen en graslanden met dominantie van de dwergstruik duinroos voorkomen. Grijze duinen ontstaan achter de zeereep op plekken waar de door de wind veroorzaakte dynamiek voldoende laag is voor het ontstaan van gesloten begroeiingen met kruiden en mossen. Door de bodemvorming ontstaat een zogenoemde 'C-horizont' met een grijze kleur, vandaar de naam van het habitattype. Dynamiek in de vorm van lichte overstuiving, hellingprocessen (dynamiek door neerslag) en begrazing door konijnen zorgt van nature voor de instandhouding van het type. Vanwege de positieve invloed van verstuiving, worden ook stuifplekken binnen graslandcomplexen tot het habitattype gerekend. De ecologische variatie van het habitattype is groot, wat samenhangt met onder andere het kalkgehalte (in de toplaag van de bodem) en de dikte van de humuslaag. Op grond hiervan worden drie subtypen onderscheiden. De overgangen tussen de subtypen zijn echter gradueel en de subtypen vormen daarbij complexen of een opeenvolging van zones. Het subtype Grijze duinen (heischraal) omvat duingraslanden op bodems die humeuzer en vochtiger zijn dan die van subtypen A en B. Vaak gaat het om smalle overgangen van die droge graslanden naar natte duinvalleivegetaties (H2190) of vochtige tot natte heischrale graslanden (H6230). gaat het om smalle overgangen van die droge graslanden naar natte duinvalleivegetaties (H2190) of vochtige tot natte heischrale graslanden (H6230).

Verzuring en vermesting in H2130C

Het kalkarme deel van het heischrale subtype heeft van nature een lage pH, desalniettemin kan verzuring optreden. Verzuring leidt tot veranderingen in nutriëntenbeschikbaarheid. Door verzuring van de bodem komt meer aluminium beschikbaar wat negatieve (toxische) gevolgen kan hebben op het voorkomen van karakteristieke soorten, maar waarschijnlijk is de invloed in de grijze duinen relatief beperkt. Vermesting kan leiden tot een toename van hoge grassen in kalkarme duinen, in kalkrijke duinen leidt het waarschijnlijk voornamelijk tot versnelling van dit proces. Voor het leefgebied van VHR en/of typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie doorwerken via een koeler en vochtiger microklimaat, een afname van de kwantiteit en kwaliteit van voedselplanten en bloemdichtheid en een afname van prooibeschikbaarheid (Smits & Kooijman, 2012).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2130C

Habitat 2130C is volgens de SEM studie een uiterst gevoelig type ten aanzien van verzuring door stikstofdepositie. Belangrijk is dat door de additionele depositie de zuurgraad niet gedurende langere tijd onder 4 pH komt, omdat er risico's zijn op het overschrijden van een tipping point en mogelijk tot toxische omstandigheden in de bodem kunnen ontstaan (zie ook hierboven).

Voorkomen en kwaliteit H2130C in Duinen Schiermonnikoog

Het habitattype komt voor bij het Groenglop, de Kooiduinen en bij de Hertenbosvallei. Volgens de T0-kartering is er in totaal 10,6 ha aanwezig. Tijdens de meest recente vegetatiekartering die is vertaald naar een habitattypenkaart is binnen het Natura 2000-gebied Duinen Schiermonnikoog 21,8 ha aan heischrale grijze duinen aangetroffen. De beoordeling gaat van deze oppervlakte uit. De uitbreiding van het habitattype vindt voornamelijk plaats in het Groenglop. De vegetatiekundige kwaliteit is gedeeltelijk goed en gedeeltelijk matig. De abiotische kwaliteit van het habitattype is onbekend omdat er grotendeels geen resultaten uit de Iteratio-analyse zijn gekomen. De resultaten zijn bekend voor ongeveer een kwart van de oppervlakte. Deze resultaten laten voornamelijk een optimale zuurgraad en vochttoestand zien, maar een te voedselrijke bodem. Dertien van de veertien typische soorten zijn sinds 2012 waargenomen binnen deelgebied Boscomplex. Binnen deelgebied Westerduinen zijn twaalf typische soorten waargenomen en in deelgebied Oosterkwelder zijn tien typische soorten waargenomen. Het habitattype heeft een goede kwaliteit voor typische soorten. De kwaliteit op basis van overige kenmerken van een goede structuur en functie is onbekend. De kwaliteit van het habitattype wordt beoordeeld als matig tot goed. Voor zover bekend zijn er geen aanwijzingen voor achteruitgang van de kwaliteit, of er sprake is van een algehele verbetering is niet bekend (provincie Fryslân 2023b).

Sturende factoren in H2130C in Duinen Schiermonnikoog

Knelpunten voor het habitattype Grijze duinen (alle subtypen) (H2130) in Duinen Schiermonnikoog zijn vermesting, verzuring, ziekte onder konijnen, gebrek aan dynamiek in de zeereep en invasieve exoten. Het belangrijkste knelpunt is vermesting. Door de hoge voedselrijkdom verruigt het gebied met duinriet en zandzegge. Daarnaast is verzuring ook een mogelijk knelpunt, maar op dit moment zijn er voor zover

bekend geen duidelijke aanwijzingen voor verzuring in de Grijze duinen. Het derde knelpunt is ziekte in de konijnenpopulatie. Konijnen zijn een belangrijk onderdeel van het ecosysteem. Zij grazen de vegetatie kort en graven holen, waardoor lokaal kalkrijker zand naar de oppervlakte wordt gebracht. Daarnaast zijn de holen ook van belang voor de tapuit. De konijnenpopulatie op Schiermonnikoog is al jaren veel te klein en lijkt zich niet te herstellen. Hiermee is momenteel een belangrijke schakel in het ecosysteem van de duinen afwezig. Het vierde knelpunt is het gebrek aan dynamiek. Dit lijkt een reden voor de afname of zelfs het verdwijnen van het habitattype. De zeereep op Schiermonnikoog lijkt minder dynamisch dan op de andere Waddeneilanden, waardoor er minder instuiving is van kalkrijk zand en verjonging van de duinen veel minder tot niet plaatsvindt. Het laatste knelpunt zijn invasieve exoten. Overwoekering van de rimpelroos en Amerikaanse vogelkers vormt een bedreiging voor het habitattype. Het is afhankelijk van de mate waarin er wordt ingezet op de bestrijding of dit knelpunt in de toekomst een grotere rol gaat spelen voor het habitattype (provincie Fryslân 2023b).

De maatregelen die genomen gaan worden om de kwaliteit van het habitattype te verbeteren bestaan uit plaggen, begrazen, maaien, opslag verwijderen, herstellen van de wind- en/of waterdynamiek en het verminderen van stikstofdepositie (provincie Fryslân 2023b).

In de heischrale grijze duinen is verruiging met duinriet en zandzegge in mindere mate aan de orde dan in de kalkarme grijze duinen. Ook in de heischrale grijze duinen lijkt beheer echter noodzakelijk voor behoud van het habitattype, omdat ze anders vergrassen en verruigen (provincie Fryslân 2023b)."

Beoordeling H2130C in Duinen Schiermonnikoog

Knelpunten
Stikstof is een belangrijk knelpunt met name via vermesting, maar minder door verzuring. De vermesting leidt tot vergrassing, mede door de afwezigheid van voldoende konijnen.

Kwaliteit en trend
De huidige kwaliteit is matig tot goed. De trend in de kwaliteit is stabiel dan wel onbekend.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 2,66 mol N/ha/jaar. Er is al sprake is van een zwaar overbelast habitat, wat vooral leidt tot vermesting. De extra stikstof door de depositie is te gering om permanente verslechtering van de kwaliteit van het habitattype te veroorzaken. De vermesting leidt tot vergrassing door de afwezigheid van voldoende konijnen. Een groot probleem is daarmee niet de vermesting maar het ontbreken van de konijnen die de gevolgen van vermesting moeten tegengaan.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na vijf jaar vermeden emissies bedraagt de netto depositie nog steeds 2,66 mol N/ha/jaar, omdat er door de verduurzaming geen afname van de depositie wordt verwacht. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is geen sprake van een afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied

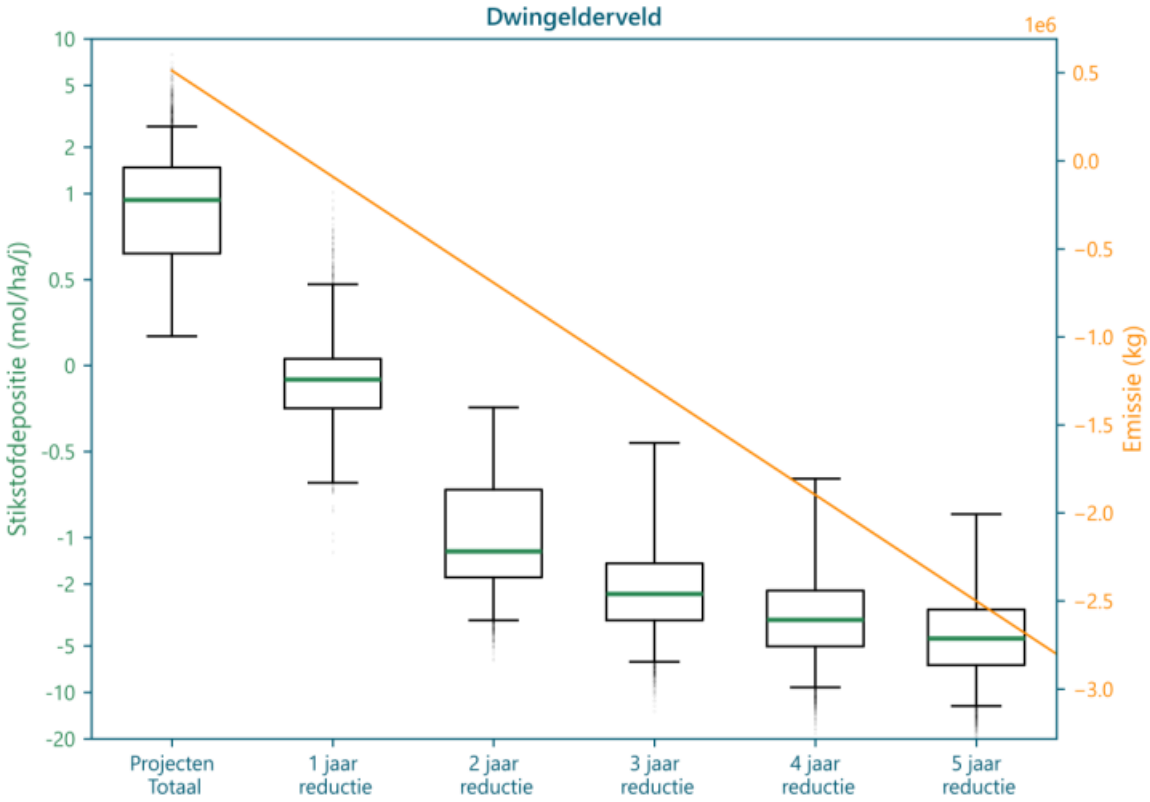
De boxplots laten geen afname van de emissies zien en er is dus ook geen sprake van verbeterde condities door de verduurzaming op het Natura 2000-gebied als geheel. Er is ook geen sprake van een afname van de ADW als gevolg van de verduurzaming.

5.4 Dwingelderveld

5.4.1 Boxplots Dwingelderveld

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,17 mol N/ha/jaar en 2,71 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,65 tot 1,48 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,96 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op meer dan 75 % van de hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie door de energie-infrastructuurprojecten. Na vijf jaar is dit het geval voor alle hexagonen (100 % van de hexagonen).

Afbeelding 5.4 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Dwingelderveld



5.4.2 H3130 Zwakgebufferde vennen

Tabel 5.9 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.999,06	1,10	-1,38	=	=(<)

Tabel 5.10 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73
percentage		100	100	100	100

Algemene beschrijving H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Verzuring en vermesting in H3130
Zie Brabantse wal (zie paragraaf 5.1.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Voorkomen en kwaliteit H3130 in Dwingelderveld
Het habitattype komt voor in een klein, laaggelegen gebied ten noorden van Drostenveen, waar door plaggen de noodzakelijke bodemomstandigheden zijn gecreëerd, inclusief grotendeels onbegroeide zandgrond met wisselende waterstanden. Momenteel blijven de oppervlakte en kwaliteit stabiel. Dit habitattype komt ook voor in de randzone van een herstelde laagte nabij Koelevaartsveen. Het ontbreken van een geschikte habitattypekaart voor de referentiesituatie bemoeilijkt de analyse van de ontwikkeling van de vennen in het gebied. De nieuwste vegetatiekartering uit 2018 wijst op een verschuiving in de classificatie van deze vennen, wat de analyse van vegetatieontwikkeling binnen deze habitattypen vergeleken met andere bemoeilijkt. Deze verschuiving kan ontstaan door ontwikkelingen in het veld (positief of negatief) of door verschillen in waarneming en interpretatie van de kaarten. Hoewel de analyse van de oorzaak en een passende classificatie van de vennen naar habitattype gaande is, is deze ten tijde van het opstellen van de natuurdoelanalyse (2023) niet voltooid.

Dit habitattype beslaat een klein gebied van 0,35 ha in een slenk waar geplagd is plaatsgevonden en waar regelmatig inundatie voorkomt, waardoor de bodem vrijwel onbegroeid blijft. Door het ontbreken van kalkrijk kwel verandert het habitattype geleidelijk in H3160 Zure vennen. Alleen op basis van de aanwezigheid van typische soorten wordt de kwaliteit als matig beschouwd (natuurdoelanalyse, 2023). De trend voor zowel oppervlakte als kwaliteit is stabiel was stabiel tien jaar geleden (provincie Drenthe, 2017).

Sturende factoren in H3130 in Dwingelderveld
De afwezigheid van aanvoer van basenrijk grondwater vormt het belangrijkste knelpunt, hierdoor verandert het habitattype op termijn in het habitattype H3160 Zure vennen. Daarnaast is de stikstofdepositie te hoog om het habitattype in stand te houden zonder het uitvoeren van intensief herstelbeheer (provincie Drenthe, 2017). Stikstofdepositie in dit habitattype leidt tot versnelde successie en het terugbrengen van de stikstofdepositie is dan ook van belang voor het habitattype.

Beoordeling H3130 in Dwingelderveld

Knelpunten
Stikstofdepositie speelt een rol, het habitat is over het algemeen ook gevoelig voor het overschrijden van tipping points, maar stikstofdepositie is niet het belangrijkste knelpunt voor dit habitattype in Dwingelderveld. Het belangrijkste knelpunt is het ontbreken aan toevoer van kalkrijk kwel. Als dit op orde is, zal de invloed van stikstofdepositie beperkter zijn en zullen de effecten van de geringe tijdelijke projectgebonden stikstofdepositie beperkt zijn.

Kwaliteit en trend
Het habitattype heeft een matige kwaliteit met een stabiele trend voor kwaliteit en oppervlakte.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
Er is sprake van een toename van stikstofdepositie van 1,10 mol/N/ha/jaar tijdens de aanleg van de energie-infrastructuur. Indien herstel van kwel niet gerealiseerd wordt, verandert het habitattype in de loop der tijd in het habitattype H3160 Zure vennen. Op dit moment is de afwezigheid van kwel vooral het grote probleem. Stikstofdepositie is zelf niet het belangrijkste maar omdat er sprake is van verdroging en verminderde kwel kan de tijdelijke stikstofdepositietoename wel leiden tot extra verzuring en het overschrijden van een tipping point. Op grond hiervan wordt gesteld dat een negatief effect door de aanleg van de energie-infrastructuurprojecten niet kan worden uitgesloten met als mogelijk gevolg dat de gevoelige waardevolle vegetatie verdwijnt en dat daarmee de kwaliteit permanent zal verslechteren.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype. Tevens kan er sprake van zijn dat door het overschrijden van een tipping point de kwaliteit en het areaal van het habitattype permanent achteruit gaan.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 1,38 mol N/ha/jaar. Het grootste probleem is het gebrek aan kwel waardoor stikstofdepositie tot negatieve effecten leidt. Er is wel sprake van een netto afname maar stikstof is dus niet het belangrijkste knelpunt in het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben maar draagt wel positief bij aan de daling van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, maar er zal wel sprake zijn van een daling van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies Hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.4.3 H4030 Droge heiden

Tabel 5.11 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
714	2.183,53	1,21	-1,16	>	=

Tabel 5.12 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(naderend) overbelast	(naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	453,67	453,67	453,67	453,67	453,67
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H4030

Droge heide omvat zowel heiden, struwelen en kleine open zandige plekken als grazige vegetaties op basenarme zand- en leemgronden. Het beheertype komt voor op de drogere delen van de hogere zandgronden, met name in midden Nederland en soms op rivierduinen. De vegetatie wordt gekenmerkt door dwergstruiken, struikheide is meestal de dominante soort. Droge heiden zijn in Nederland meestal ontstaan op uitgeputte bodems. Door het rooien van bomen, het plaggen of begrazen van de heide, zijn eeuwenlang mineralen afgevoerd. De heiden werden door runderen of schapen begraasd, waardoor het landschap open bleef (Ministerie van LNV, Profieldocument H4030, 2008).

Verzuring en vermesting in H4030

De bodems onder droge heiden zijn van nature zuur van karakter en zij zijn verder verzuurd onder invloed van stikstofdepositie. Dit houdt niet in dat daarmee het habitattype verdwijnt, maar het kan wel zorgen voor achteruitgang in kenmerkende vegetaties en/of typische soorten. De meeste typische soorten voor het habitattype zijn vaatplanten, welke gevoelig zijn voor verzuring en/of voor het hoge gehalte van ammonium en/of aluminium als gevolg van de depositie. De kenmerkende vegetatietypen zijn alle gebonden aan zeer voedselarme omstandigheden, zodat het habitattype gevoelig is voor vermesting. Verhoogde depositie leidt tot versnelde groei van struikheide en een sterke concurrentiepositie voor grassen. De Vogel- en/of Habitatrichtlijnsoorten (VHR) en/of typische diersoorten worden beïnvloed door de stikstofdepositie door een koeler en vochtiger microklimaat, afname van voortplantingshabitat, afname van de kwaliteit en kwantiteit van voedselplanten en de afname van prooibeschikbaarheid (Smits et al, 2014).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H4030

Dit habitattype is blijkens de SEM-studie niet gevoelig voor overschrijding van irreversibele tipping points. Achteruitgang van kwaliteit is een geleidelijk proces in dit habitattype.

Voorkomen en kwaliteit H4030 in Dwingelderveld

Het habitattype komt met een oppervlakte van ca. 453 ha voor in het Natura 2000-gebied. Dit habitattype komt vooral voor op de ruggen van de slenksystemen, in mozaïek met binnenlandse kraaiheibegroeiingen (H2320). In het beheerplan (2016) en de gebiedsanalyse (2017) is geen analyse opgenomen of aan al ecologische vereisten wordt voldaan. Op basis van evaluatie van de vegetatiekarteringen in het kader van evaluatie van de beheerplannen lijkt het niet aannemelijk dat er aan de ecologische vereisten voor dit habitattype wordt voldaan. Door intensief herstelbeheer is de kwaliteit relatief goed, geïnterpreteerd als ‘goed tot matig’. Dit habitattype heeft betrekking op droge heiden op voedselarme en kalkarme, zure zandondergrond. Op basis van de vegetatiekartering lijkt het habitattype ten opzichte van de

referentiesituatie te zijn uitgebreid. Omdat er nog geen passende T0 en T1 kaart is vastgesteld was deze ontwikkeling nog niet in cijfers uit te drukken in de laatste natuurdoelanalyse (2023).

De vergrassing is teruggedrongen en de opslag van bomen en struiken gering. Enkel de terugkeer van kritische soorten laat nog op zich wachten en is het aandeel open zand met (korst)mossen en kruiden is laag. Het habitattype laat over het algemeen een positieve trend zien voor kwaliteit en oppervlakte als gevolg van het intensieve herstelbeheer. Enkel de soortenrijkdom blijft nog achter (provincie Drenthe, 2017). Hoewel de gebiedsanalyse-30 (2017) aangeeft dat de vergrassing is teruggedrongen en dat het enkel wachten is tot kritische soorten terugkeren, geeft de natuurdoelanalyse (2023) aan dat dit niet meer het geval is. Er is zichtbare vergrassing en een negatieve trend van typische soorten (natuurdoelanalyse, 2023).

Sturende factoren in H4030 in Dwingelderveld

In het Dwingelderveld is doorlopend sprake van te hoge stikstofdepositie. Uit het Meetnet Ammoniak in natuurgebieden (MAN) van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) blijkt dat de jaargemiddelde ammoniakconcentraties vanaf 2018 ineens fors hoger waren. In 2020 waren deze waardes licht gedaald ten opzichte van 2019, maar de trend ten opzichte van 2006 is nog steeds stijgend. Vergrassing met pijpenstrootje is een belangrijk en aanhoudend knelpunt. Sterk vergraste droge heiden komen verspreid over het hele gebied voor en zijn de afgelopen periode licht toegenomen, al zijn er grote lokale verschillen (Everts et al, 2018). Het lijkt erop dat er in het Dwingelderveld voornamelijk een na-ijleffect van een hogere depositie uit het verleden plaatsvindt.

Dus, de belangrijkste knelpunten hebben allen te maken met eutrofiëring van het habitattype. Dit wordt veroorzaakt door zowel stikstofdepositie als interne eutrofiëring door het vrijkomen van opgehoopt ammonium in de bodem. Hierdoor treedt sterke vergrassing en successie van het habitattype op. Daarnaast verdwijnt hierdoor de bufferende werking van de bodem (provincie Drenthe, 2017).

Beoordeling H4030 in Dwingelderveld

Knelpunten

Stikstofdepositie speelt een rol, maar is niet het belangrijkste knelpunt voor dit habitattype. Het belangrijkste knelpunt is interne eutrofiëring wat wordt *versterkt* door hoge stikstofdepositie en bijbehorende na-ijleffecten.

Kwaliteit en trend

Het habitattype heeft een goede tot matige kwaliteit met een verwacht positief trend voor kwaliteit en oppervlakte.

Stikstofbelasting

100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,21 mol N/ha/jaar. Hoewel stikstofdepositie via eutrofiering wel een knelpunt vormt, kan in algemene zin gesteld worden dat de eenmalige stikstofdepositietoename te klein is om een negatief effect via eutrofiering te veroorzaken. Verzuring is geen knelpunt voor de kwaliteit in het habitattype. De tijdelijke stikstofdepositietoename brengt geen verandering in de kwaliteit of oppervlakte van het habitattype teweeg en staat behoud van de oppervlakte en verbetering van de kwaliteit van het habitattype niet in de weg.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming

Er is berekend dat de langetermijneffecten van het voorgestelde project zullen leiden tot een netto afname van stikstofdepositie van 1,16 mol/N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Stikstof is niet het enige knelpunt in het behalen van de doelstellingen.

Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben maar draagt wel positief bij aan de daling van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, maar er zal wel sprake zijn van een daling van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

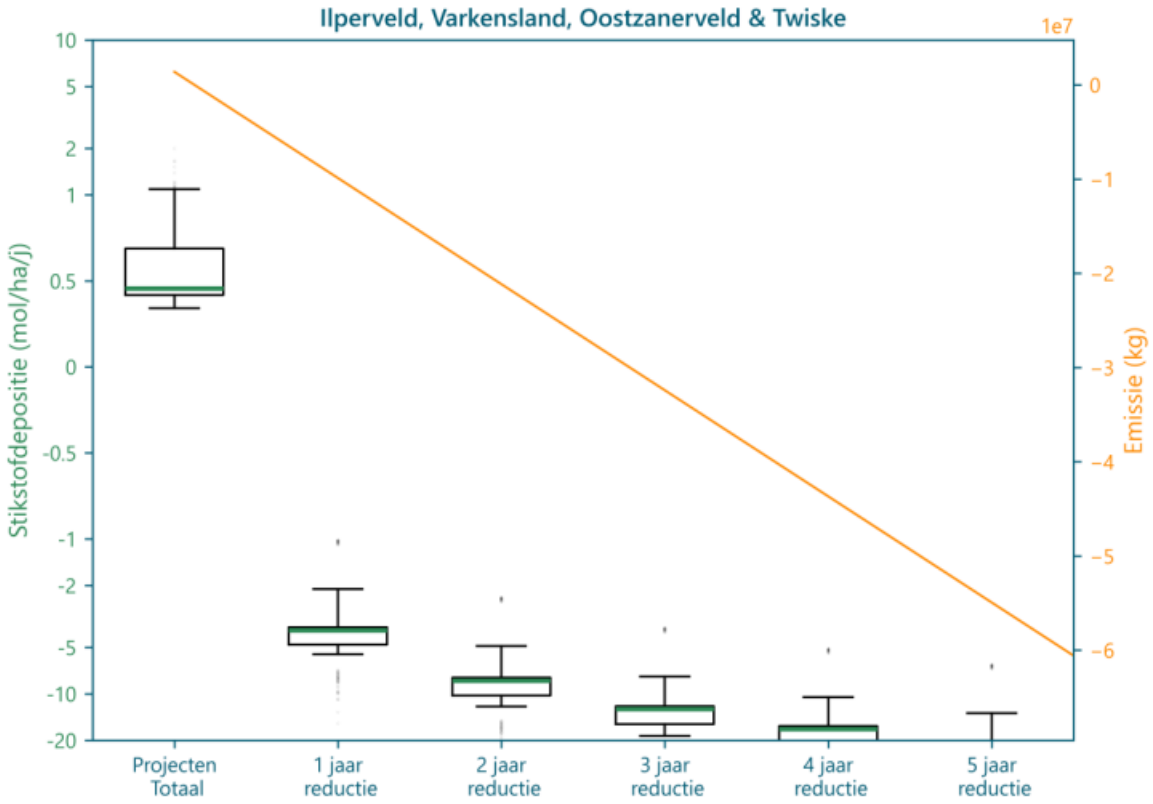
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.5 Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske

5.5.1 Boxplots Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,34 mol N/ha/jaar en 1,13 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,41 tot 0,70 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,46 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op alle hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is de totale netto depositie van alle energie-infrastructuurprojecten op het overgrote deel van de hexagonen meer dan -20 mol N/ha/jaar/jaar en is er dus sprake van een duidelijke afname van de depositie op het Natura 2000-gebied.

Afbeelding 5.5 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske



5.5.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)

Tabel 5.13 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.582,36	1,23	-20,23	=	>

Tabel 5.14 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	52,77	52,77	52,77	52,77	52,77
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7140B

Dit habitattype betreft soortenrijke veenbegroeiingen van betrekkelijk voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden. De plantengemeenschappen van de overgangs- en trilvenen vormen ontwikkelingsstadia in de verlanding die begint in het open water van sloten, plassen en petgaten. In Nederland komen ze vooral voor in het laagveengebied. Verder kunnen overgangs- en trilvenen ook ontstaan in veenvormende systemen in de middenlopen van beekdalen, op de overgangen van de hogere (pleistocene) zandgronden naar laagveen en in zeekleilandschappen. Uitgaande van het verlandingsproces worden de overgangs- en

trilvenen van dit habitattype voorafgegaan door begroeiingen van het open water, zoals drijftil- en krabbenscheergemeenschappen (habitattype H3150). De overgangs- en trilvenen worden in de successiereeks opgevolgd door struweel of bos, onder bepaalde omstandigheden ook door moerasheiden (habitattype H4010). Veenmosrietland dat is dichtgegroeid met wilgen, berken of elzen behoort niet tot het habitattype. De soorten die tot H7140 behoren, kunnen hier plaatselijk nog wel met lage bedekkingen aanwezig zijn. Verzuring die door toenemende regenwaterinvloed aan de oppervlakte begint, is een natuurlijk proces in laagveensystemen. Daarbij wordt de vegetatiemat heel geleidelijk dikker en eenvormiger en gaan trilvenen (subtype A) over in Veenmosrietland (subtype B) of moerasheide (H4010B vochtige heiden (laagveengebied)) (Van Dobben & de Vries, 2016). Het subtype H7140B ontwikkelt zich waarbij verdere stabilisering van de veenlaag optreedt. Kenmerkend is een gesloten moslaag met dominantie van veenmossoorten, een varenrijke kruidlaag en een ijle rietlaag (Van Dobben & de Vries, 2016).

Verzuring en vermesting in H7140B

Verzuring door atmosferische depositie versnelt de successie van trilveen naar veenmosrietland, maar wanneer eenmaal veenmosrietland is ontstaan moet verzuring beschouwd worden als een natuurlijk proces. Veenmos wisselt natrium ionen uit tegen waterstof ionen, waardoor veenmos het milieu zelf actief verzuurt. Wanneer stikstof (nitraat) de filterende veenmoslaag doordringt, kunnen grassen en kruiden zich vestigen en treedt versnelde successie naar (uiteindelijk) broekbos op. Eutrofiëring van het oppervlaktewater onder de kragge leidt tot een verhoogde productie van riet en daarmee tot het verdwijnen van lichtminnende soorten en eenvormigheid in de kruidlaag. Voor het leefgebied van Vogel- en Habitattypensoorten en/of typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie doorwerken via een afname van de kwantiteit van voedselplanten en bloemdichtheid (Van Dobben & de Vries, 2016).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7140B

Habitat 7140B is een uiterst gevoelig habitattype ten aanzien van verzuring door stikstofdepositie. Tot 1.300 mol zijn de verzurende effecten naar verwachting echter wel minder sterk dan bij deposities boven 1.300 mol. Dit tipping point rond de 1.300 mol komt globaal overeen met de gemiddelde KDW van het habitattype H7140A Trilvenen (1.214 mol) en van de uit het buitenland beschreven ‘rich fens’ (Bobbink et al. 2003). De gedachtegang hierbij is dat de veenmosrietlanden in Laag Holland zich oorspronkelijk hebben ontwikkeld in vrij kalkrijke wateren die tot aan 1932 een matig brak karakter hadden (chloridegehalte > 2.500 mg/l). Deze wateren waren rijk aan calcium en natrium en hadden een hoge pH (7.5-9.0), waardoor met name de jonge en drijvende veenmosrietlanden goed gebufferd waren. Ecologisch gezien zijn deze gebufferde veenmosrietlanden te vergelijken met de ‘rich fens’ zoals beschreven door Bobbink et al. (2003).

Voorkomen en kwaliteit H7140B in Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske

De trends voor typische soorten zijn stabiel of negatief. Het oppervlak van goed ontwikkeld H7140B veenmosrietland is afgenomen. Dit komt voornamelijk door de omschakeling van maaien naar beweiden, het laten liggen van rietmaaisel na het maaien, of het staken van het maaibeheer. Daarnaast zijn sommige oppervlakten veenmosrietland verdroogd of verzuurd, wat heeft geleid tot een afname in soortenrijkdom. Voor het habitattype H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) geldt zowel een doelstelling voor uitbreiding in oppervlak als voor behoud van kwaliteit. Van de vier kwaliteitsindicatoren zijn de abiotische condities en de aanwezigheid van typische soorten onvoldoende. De structuur en functie van het habitattype zijn wel op orde. Echter, de vegetatiekwaliteit en de ontwikkeling in oppervlak zijn onbekend, wat betekent dat de behoudsdoelstelling voor kwaliteit niet wordt gehaald.

Sturende factoren in H7140B in Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske

H7140B is een brak water afhankelijk gebied, maar in Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske is een van de belangrijkste knelpunten verzoeting. Het Natura 2000-gebied ligt grotendeels hoger dan de omgeving. Hierdoor kan water weglopen vanuit het Natura 2000-gebied naar de lager gelegen omgeving. Daarom wordt in droge perioden gebiedsvreemd water ingelaten. Dit water draagt bij aan de verzoeting van het brakke gebied en is ook voedselrijk, terwijl de natuurwaarden vaak voedselarme omstandigheden vereisen. H7140B overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) heeft knelpunten zoals te voedselrijk water en een gebrek aan brak water, waardoor nieuwe verlandingsreeksen niet op gang komen en er een te hoge stikstofdepositie is (provincie Noord-Holland, 2023c).

De kritische depositiewaarde van H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) wordt (ruim) overschreden en het wordt verwacht dat deze overschrijding in de toekomst zal doorzetten in 100 % van de gebied (minimaal tot 2030). Dit leidt tot verzuring en vergrassing in het habitattype, en versnelt de successie van invasieve exoten, zoals cranberry. De voorgaande knelpunten, verdroging en waterkwaliteit, versterken deze effecten. Dit betekent dat het habitattype nog gevoeliger is voor stikstofdepositie, omdat de abiotische randvoorwaarden niet op orde zijn (provincie Noord- Holland, 2023c).

Beoordeling H7140B in Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske

Knelpunten
De KDW van het habitattype H7140B Veenmosrietland wordt in de periode van 2015 tot 2030 permanent flink overschreden en stikstof is een van de belangrijkste knelpunten voor de habitattype. De gevolgen van het inlaten van eutroof zoet water met eutrofiëring en verzoeting als gevolg is echter vooralsnog het belangrijkste knelpunt.

Kwaliteit en trend
De kwaliteit van H7140B in Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske is onvoldoende, terwijl de trend voor oppervlakte en kwaliteit negatief zijn.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,23 mol/N/ha/jaar. Het grootste probleem is momenteel de verzoeting en eutrofiering die worden veroorzaakt door inlaten van oppervlaktewater om verdroging tegen te gaan. Bovendien is er al sprake van een zeer hoge permanente overschrijding van de KDW. Het habitattype is ook gevoelig voor overschrijden van het tipping point ten aanzien van verzuring. De huidige kwaliteit is onvoldoende. Het valt niet uit te sluiten dat er door de eenmalige extra depositie sprake zal zijn van negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype via verzuring, met name omdat ook verdroging een probleem is.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype. Tevens kan er sprake van zijn dat door het overschrijden van een tipping point de kwaliteit van het habitattype permanent achteruit gaat.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Daarnaast is berekend dat de langetermijneffecten van de verduurzaming zullen leiden tot een grote netto afname van stikstofdepositie van 20,23 mol/N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie echter al overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Stikstof is ook niet het enige knelpunt in het behalen van de doelstellingen. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben maar draagt wel positief bij aan de daling van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, maar er zal wel sprake zijn van een daling van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura 2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder

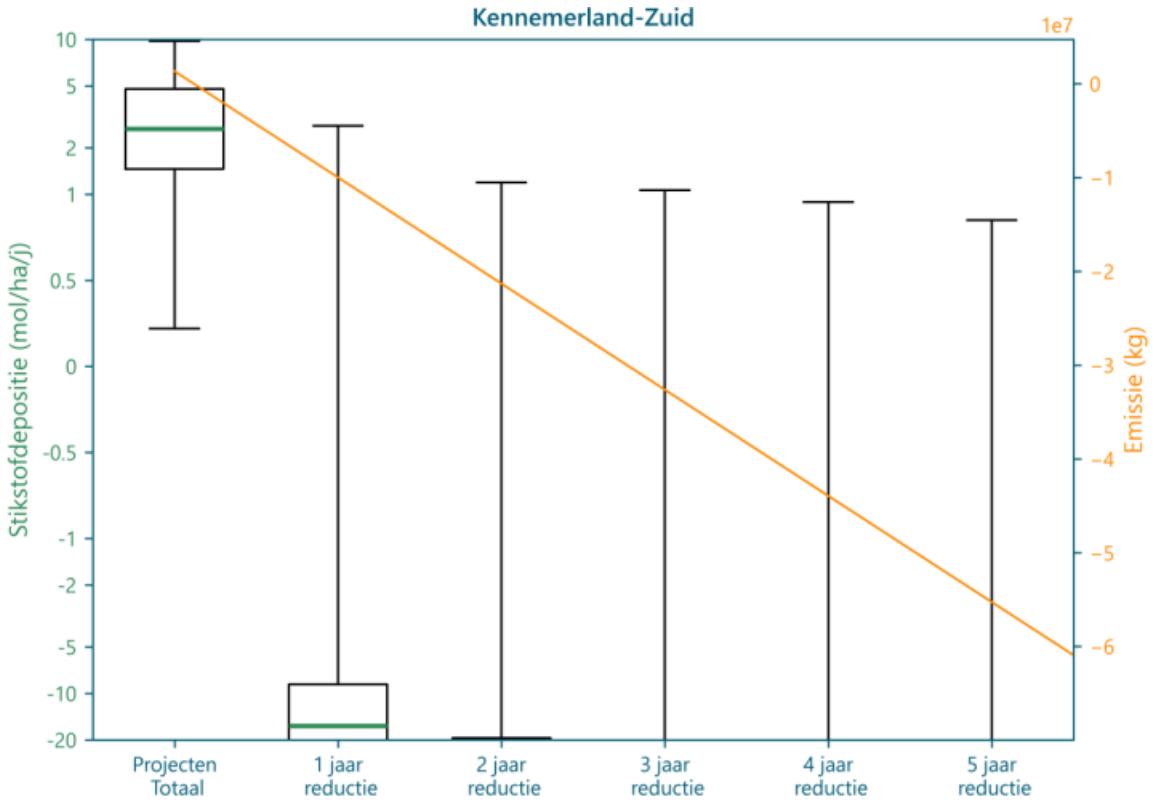
sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.6 Kennemerland-Zuid

5.6.1 Boxplots Kennemerland-Zuid

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,22 mol N/ha/jaar en 10,43 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 1,52 tot 5,09 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 2,80 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is echter sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op veruit de meeste (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie vanuit de energie-infrastructuurprojecten. Na vijf jaar is de totale netto afname van de depositie op het overgrote deel (>75 %) van de (naderend) overbelaste hexagonen meer dan 20 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.6 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Kennemerland-Zuid



5.6.2 H2130B Grijze duinen (kalkarm)

Tabel 5.15 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
929	2.665,99	8,14	0,15	>	=

Tabel 5.16 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	817,70	674,60	676,27	674,60	444,30
percentage		82,50	82,70	100,00	54,33

Algemene beschrijving H2130B

Het habitattype Grijze duinen (H2130) betreft de min of meer droge graslanden van het duingebied (en vergelijkbare plaatsen in aangrenzende delen van het kustgebied). Het gaat hierbij om soortenrijke begroeiingen met dominantie van laagblijvende grassen, kruiden, mossen en/of korstmossen. Vermengd met deze begroeiingen kunnen kruidenrijke zoombegroeiingen en graslanden met dominantie van de dwergstruik duinroos voorkomen. Grijze duinen ontstaan achter de zeereep op plekken waar de door de wind veroorzaakte dynamiek voldoende laag is voor het ontstaan van gesloten begroeiingen met kruiden en mossen. Door de bodemvorming ontstaat een zogenoemde 'c-horizont' met een grijze kleur, vandaar de naam van het habitattype. Dynamiek in de vorm van lichte overstuiving, hellingprocessen (dynamiek door neerslag) en begrazing door konijnen zorgt van nature voor de instandhouding van het type. Vanwege de positieve invloed van verstuiving, worden ook stuifplekken binnen graslandcomplexen tot het habitattype gerekend. De ecologische variatie van het habitattype is groot, wat samenhangt met onder andere het kalkgehalte (in de toplaag van de bodem) en de dikte van de humuslaag. Op grond hiervan worden drie subtypen onderscheiden. De overgangen tussen de subtypen zijn echter gradueel en de subtypen vormen daarbij complexen of een opeenvolging van zones (Ministerie van LNV, profieldocument H2130B, 2008). Het subtype Grijze duinen (kalkarm) (H2130B) betreft duingraslanden van bodems die van nature kalkarm zijn of waarvan de toplaag ontkalkt is. Vooral in dit subtype kunnen korstmossen een opvallende plaats innemen (Ministerie van LNV, profieldocument H2130B, 2008).

Verzuring en vermesting in H2130B

Grijze duinen (kalkarm) (H2130B) hebben van nature een lage pH, desalniettemin kan verdere verzuring optreden. Daarnaast is het habitattype zeer gevoelig voor vermesting. Van nature betreft het habitattype open en spaarzaam begroeide, vaak korstmosrijke duingraslanden. Deze veranderen als gevolg van vermesting in door helm gedomineerde vegetaties. Vermesting op open, zure duingraslanden kan ook een sterke 'vermossing' tot gevolg hebben. Door verzuring van de bodem komt meer aluminium beschikbaar wat negatieve (toxische) gevolgen kan hebben op het voorkomen van karakteristieke soorten, maar waarschijnlijk is de invloed in de grijze duinen relatief beperkt. Voor het leefgebied van Vogel- en Habitatrichtlijnsoorten (VHR) en/of typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie via de volgende factoren doorwerken: koeler en vochtiger microklimaat, afname kwantiteit voedselplanten en bloemdichtheid, afname van de kwaliteit van voedselplanten en een afname van prooibeschikbaarheid (Smits & Kooijman, 2012).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2130B

Dit habitattype is blijkens de SEM studie niet gevoelig voor overschrijding van irreversibele tipping points. Achteruitgang van kwaliteit is een geleidelijk proces in dit habitattype.

Voorkomen en kwaliteit H2130B in Kennemerland-Zuid

Het habitattype komt verspreid voor in alle deelgebieden in Kennemerland-Zuid (provincie Noord-Holland, 2025). In de gebieden waar die beheerd worden door Waternet en PWN lijkt het oppervlak te zijn afgenomen (provincie Noord-Holland, 2025). In totaal komt het voor op 343 ha volgens T0-kartering. Dit is minder dan het theoretisch doelbereik (635 ha). In AERIUS wordt een oppervlak van 675 ha gegeven. De vegetatiekundige kwaliteit is overwegend goed. In het habitattype komen mogelijk 23 typische soorten voor. In bijna alle deelgebieden is de kwaliteit op basis van typische soorten goed. Slechts in drie van elf deelgebieden is de kwaliteit matig. Het is onbekend of het habitattype voldoet aan de abiotische eisen. Daarnaast is het ook onbekend of wordt voldaan aan de overige kenmerken voor een goede structuur en functie. De kwaliteit van het habitattype is op basis van de vier kwaliteitselementen in vrijwel alle deelgebieden in Noord-Holland matig (provincie Noord-Holland, 2025). Er is mogelijk een afname van de

oppervlakte van kalkarme grijze duinen in de deelgebieden Middenduin, Oude duinen en Zweefvliegveld. Voor de overige deelgebieden is dit niet bekend (provincie Noord-Holland, 2025).

Sturende factoren in H2130B in Kennemerland-Zuid

Knelpunten voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen zijn te weinig open (verstuifbaar) zand, gebrek aan dynamiek, invasieve exoten (rimpelroos, Amerikaanse vogelkers), stikstofdepositie, overbegrazing door damherten en te beperkte begrazing door konijnen. Deze knelpunten hebben geleid tot vergrassing en verstruweling. De knelpunten voor de grijze duinen hebben, onder andere, te maken met de gevolgen van het vastleggen en beplanten van de duinen (provincie Noord-Holland, 2025). De kwaliteit van het habitattype wordt dominant bepaald door verstuiving en dynamiek in de zeereep. Doordat verstuiving door diverse redenen (zoals de zeewerende functie, recreatie, waterwinning en aanwezige leidingen) niet voldoende kan optreden is er sprake van ongewenste successie. Aanvullend beheer blijft daarom noodzakelijk. Daarnaast is overbegrazing door damherten een knelpunt. De hoge graasdruk door damherten in het gebied zorgt er enerzijds voor dat de duingraslanden niet vergrassen mede onder invloed van stikstofdepositie, maar anderzijds leidt het er echter toe dat duingraslandplanten zich niet goed kunnen ontwikkelen. Stikstofdepositie leidt in H2130B vooral tot een versnelling van successie en vergrassing, maar het is niet de hoofdoorzaak. De hoofdoorzaak is het gebrek aan dynamiek en verstuiving. Door de hier beschreven knelpunten is de kwaliteit van de meeste deelgebieden matig (provincie Noord-Holland, 2017).

Voor het behalen van de behoudsdoelstelling voor oppervlak en de verbeterdoelstelling voor kwaliteit is met name het verbeteren van de zanddynamiek en verstuiving essentieel. Belangrijkste voorwaarde voor de duurzame staat van instandhouding van H2130B is het regelmatig, beperkt overstuiven met (kalkrijk) zand om verzuring te beperken. Ook is zoutspray, lichte bodemvorming en geleidelijke ontkalking van belang wanneer dit habitattype ontstaat door geleidelijke stabilisatie van witte duinen of door gelijkelijke ontkalking van kalkrijke grijze duinen onder voedselarme omstandigheden (provincie Noord-Holland, 2017). Maatregelen die genomen worden om de oppervlakte uit te breiden bestaan uit het verwijderen van invasieve en gebiedsvreemde soorten en drukbegrazing. De maatregelen die genomen worden om de kwaliteit van het habitattype te verbeteren zijn het genereren van stuifkuilen, plaggen, verwijderen van naaldbos, drukbegrazing, continuering van begrazing en de regulatie van de populatie damherten (provincie Noord-Holland, 2018).

Beoordeling H2130B in Kennemerland-Zuid

Knelpunten

Knelpunten voor het habitattype zijn te weinig open (verstuifbaar) zand, gebrek aan dynamiek, invasieve exoten (rimpelroos en Amerikaanse vogelkers), stikstofdepositie, overbegrazing door damherten en te beperkte begrazing door konijnen. Stikstofdepositie is niet het belangrijkste knelpunt, maar kan wel leiden tot vermesting. In dit habitattype is er geen risico op het overschrijden van drempelwaarden. Eventuele achteruitgang van de kwaliteit is een geleidelijk proces.

Kwaliteit en trend

De kwaliteit van habitattype H2130B is goed tot matig.

Stikstofbelasting

82,50 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

Door de aanleg van de infrastructuur is er sprake van een relatief hoge maximale depositie van 8,14 mol N/ha/jaar tijdens de aanleg van de energie-infrastructuur. Stikstof is echter niet het belangrijkste knelpunt in het behalen van de doelstellingen, maar een gebrek aan dynamiek. Bovendien is in grote delen de kwaliteit van het habitat overwegend goed. Stikstof depositie leidt niet tot een dermate grote verzuring noch vermesting dat er sprake is van negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er nog sprake van een netto depositie van 0,15 mol N/ha/jaar. Het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen is gedaald tot 54,33 % van 82,50 %. Er is dus duidelijk sprake van een situatie waarin verbetering van de stikstofsituatie mogelijk is. Desondanks is de stikstofdepositie niet het belangrijkste knelpunt in het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen voor dit habitattype. Bovendien is de kwaliteit al overwegend goed.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Desondanks daalt het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen wel flink en is er ook sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.6.3 H2180C Duinbossen (binnenduinrand)

Tabel 5.17 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
1786	4.126,22	9,09	0,28	=	=

Tabel 5.18 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	419,50	52,83	53,71	52,82	4,73
percentage		12,59	12,80	100	1,13

Algemene beschrijving H2180C
Het habitattype duinbossen betreft natuurlijke of half-natuurlijke loofbossen in de kustduinen, met sterk uiteenlopende kenmerken. Vaak is de zomereik (*Quercus robur*) de dominante boomsoort, maar met name in duinvalleien en in de meest landinwaarts gelegen gedeelten spelen (ook) andere boomsoorten een belangrijke rol. De kruidlaag kan zeer soortenrijk zijn. De meeste van de samenstellende vegetaties komen ook (of zelfs vooral) buiten de duinen voor. Het aantal werkelijk kenmerkende soorten is dan ook gering. Doordat het grootste deel van het duingebied relatief jong is en tot het begin van de twintigste eeuw intensief werd begraasd, zijn er maar weinig oude bossen die een beeld geven van het type vegetatie dat bij ongestoorde ontwikkeling te verwachten is. De oudste bossen zijn te vinden op de strandwallen en aan de binnenduinrand. Deze bossen zijn echter sterk beïnvloed door gebruik als hakhout of zijn aangeplant als parkbos. In de Middenduinen en de Buitenduinen is spontane bosvorming vrijwel beperkt tot de duinvalleien, waar zich in eerste instantie vooral berkenbossen vormen. Op de hogere delen van de Midden- en Buitenduinen is de natuurlijke vegetatiesuccessie meestal nog niet verder gekomen dan hoge struwelen,

en zijn de meeste bossen recent aangeplant (met bijvoorbeeld grauwe abeel). Het is daarom lastig een goede karakterisering van (natuurlijke) duinbossen te geven (Ministerie van LNV, Profieldocument H2180, 2008). Bossen bestaande uit naaldbomen en/of exoten, worden niet tot het habitattype gerekend. Deze bossen hebben in sommige gevallen wel potentie voor omvorming naar het habitattype. Vanwege de zeer grote verschillen in standplaats en daarmee samenhangende soortensamenstelling, worden drie subtypen onderscheiden.

De tot het subtype duinbossen binnenduinrand (H2180C) behorende bossen zijn over het algemeen sterk door de mens beïnvloede (park)bossen die overwegend voorkomen op wat jongere, kalkhoudende bodems. Ze zijn vaak onderdeel van landgoederen die in de 18e eeuw aan de binnenduinrand werden aangelegd op afgegraven duingronden. Door vergraving zijn hier diepere, nog niet ontkalkte zanden weer aan de oppervlakte gekomen. Op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden zijn binnenduinrandbossen vaak aangelegd op overstoven kleigronden. Daarbij heeft het historisch beheer van deze bossen, waarbij o.a. werd bemest, bekalkt en gewoeld, de bodems sterk beïnvloed en de buffercapaciteit vergroot. De grondwaterstanden zijn hier te diep voor de vestiging van 'natte' soorten, maar vaak wel zo ondiep dat capillaire opstijging vanuit het grondwater zorgt voor een iets betere vochtvoorziening en zuurbuffering. De standplaatscondities (goed gedraineerde, iets vochthoudende, basenrijke, rulle en humeuze bodems in combinatie met een open bosstructuur die zorgt voor voldoende licht) zijn zeer geschikt voor de groei van allerlei van oorsprong uitheemse bolgewassen die hier in het verleden op grote schaal zijn aangeplant en nu deel uitmaken van de zogenaamde 'stinzenflora' (Ministerie van LNV, Profieldocument H2180, 2008).

Verzuring en vermesting in H2180C

Bij overmatige stikstofdepositie van het habitat subtype zal eerder verzuring optreden dan vermesting. Verzuring van het habitattype heeft tot gevolg dat vele typische soorten die voorkomen achteruitgaan, tenzij de boomsoortsamenstelling dit verhindert. Boomsoorten die in meer of mindere mate kunnen fungeren als kalkpomp (ratelpopulier, iep, linde, esdoorn) hebben hier voordeel boven 'verzuurders' zoals eik, beuk en naaldhout. Aangezien het habitattype alleen op matig voedselrijke kleibodems en op zeer voedselrijke bodems kan voorkomen, is het minder waarschijnlijk dat het habitattype gevoelig is voor de vermestende invloed van stikstofdepositie. Voor het leefgebied van VHR en/of typische diersoorten geldt dat nog onduidelijk is of en via welke factoren de effecten van stikstofdepositie doorwerken (Beije et al, 2008).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2180C

Dit habitattype is blijkens de SEM studie niet gevoelig voor overschrijding van irreversibele tipping points. Achteruitgang van kwaliteit is een geleidelijk proces in dit habitattype.

Voorkomen en kwaliteit H2180C in Kennemerland-Zuid

Binnenduinrandbossen komen vooral voor in het Noord-Hollandse gebied dat beheerd wordt door Natuurmonumenten (provincie Noord-Holland, 2018). Ook komen binnenduinrandbossen lokaal voor in de binnenduinrand van Waternet, PWN en overige deelgebieden van Noord-Holland. In de gebieden die beheerd worden door Waternet en PWN is de kwaliteit op basis van de vier kwaliteitselementen (vegetatiekwaliteit, typische soorten, abiotische kenmerken, en overige kenmerken van goede structuur en functie) matig (provincie Noord-Holland, 2025). In de andere deelgebieden van Noord-Holland waarop dit project depositie heeft is de kwaliteit goed (provincie Noord-Holland, 2025). Op basis van een niet gevalideerde vegetatiekartering in 2018 is er een afname van het oppervlak in de gebieden die beheerd worden door Waternet en PWN (provincie Noord-Holland, 2025). Het type is van oudsher sterk door mensen beïnvloed door aanplant en beheer, wat ook in deze tijd doorgezet (moet) worden. Voor het behalen van de behoudsdoelstelling voor oppervlakte en kwaliteit blijft beheer daarom nodig.

Sturende factoren in H2180C in Kennemerland-Zuid

De belangrijkste knelpunten voor het habitattype zijn overbegrazing door damherten, de bedekking met voorjaarsflora (mogelijk te laag) en exoten (mahonie, dwergmispel en Amerikaanse vogelkers) (provincie Noord-Holland, 2025). Stikstofdepositie versnelt de uitbreiding van exoten en gebiedsvreemde soorten en er zijn effecten waar te nemen van verbraming en de groei van haakmos. Ook is de te hoge graasdruk door begrazing door damherten een knelpunt, hierdoor kan geen nieuw H2180C zich ontwikkelen, en is sprake van onvoldoende dynamiek. Exoten en gebiedsvreemde soorten hebben op het moment de grootste invloed op de kwaliteit van het habitattype (provincie Noord-Holland, 2017). Maatregelen die tussen 2016 en 2021 in

het habitattype zijn uitgevoerd zijn hoofdzakelijk het verwijderen van exoten en daarnaast het reguleren/uitrasteren van de populatie damherten (provincie Noord-Holland, 2025).

Beoordeling H2180C in Kennemerland-Zuid

Knelpunten
Knelpunten voor het habitattype zijn de aanwezigheid van exoten en gebiedsvreemde soorten en de te hoge graasdruk. Deze knelpunten worden versterkt door stikstofdepositie. De aanwezigheid van exoten en gebiedsvreemde soorten wordt versterkt door stikstofdepositie.

Kwaliteit en trend
De kwaliteit in deelgebieden AWD en beheergebied PWN is matig. In de overige deelgebieden is de kwaliteit goed.

Stikstofbelasting
12,80 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
Door de aanleg van de infrastructuur is wel sprake van een relatief hoge maximale depositie van 9,09 mol N/ha/jaar. De kwaliteit van het habitat is overwegend goed en stikstof is niet het belangrijkste. Verder is slechts 12,80 % van het habitat (naderend) overbelast. De hoge depositie heeft daarom geen invloed op de totale kwaliteit van het habitat.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 0,28 mol N/ha/jaar. Het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen daalt naar 1,13 %. Desondanks is de stikstofdepositie niet het belangrijkste knelpunt in het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen voor dit habitattype. Bovendien is de kwaliteit al overwegend goed.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Desondanks daalt het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen wel flink en is er ook sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies Hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

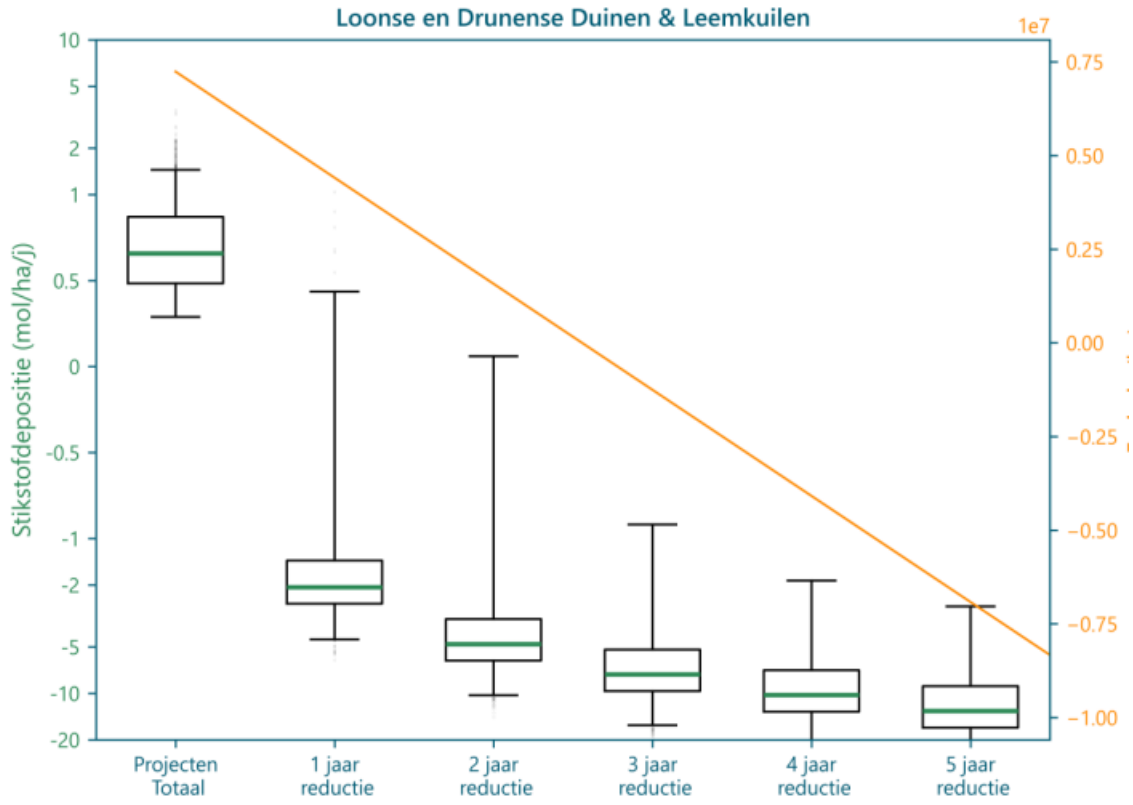
5.7 Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen

5.7.1 Boxplots Loonse en Drunende Duinen &Leemputten

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,29 mol N/ha/jaar en 1,45 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,48 tot 0,87 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,66 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie

vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op vrijwel alle (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is de totale netto afname van de depositie op het overgrote deel van de (naderend) overbelaste hexagonen meer dan 10 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.7 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen



5.7.2 H3130 Zwakgebufferde vennen

Tabel 5.19 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	2.167,73	2,02	-3,78	=	=

Tabel 5.20 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Verzuring en vermesting in H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Voorkomen en kwaliteit H3130 in Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen
Het habitattype H3130 komt volgens de T0-kaart verspreid binnen het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen voor. De totale oppervlakte beslaat 5,8 ha volgens de T0 kartering, maar in AERIUS is een oppervlak van 4,79 aangegeven. Het grootste deel van dit oppervlakte ligt in het deelgebied Leemkuilen. De trend in oppervlakte voor het habitattype is licht negatief volgens het beheerplan (2017). De vegetatiekundige kwaliteit is niet bepaald. Voor H3130 zijn 23 typische soorten aangewezen. Het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen valt binnen het landelijke verspreidingsgebied van negentien van deze soorten. In de deelgebieden waar het habitattype voorkomt, komen maximaal acht van de negentien typische soorten voor. De kwaliteit wat betreft typische soorten is daarmee als matig beoordeeld. De abiotiek wordt beoordeeld als matig: het zoutgehalte en overstromingstolerantie (zeer zoet en incidenteel tot niet) zijn voor het hele gebied op orde. Ook de vochttoestand (diep water tot ‘s winters inunderend) is op orde, maar deze verslechtert wel. De zuurgraad (neutraal tot matig zuur) is echter in delen van het gebied niet op orde en in het hele gebied is de voedselrijkdom te hoog. De kernmerken van een goede structuur en functie van het habitattype zijn veelal onbekend. Wel is bekend dat alleen in de Leemkuilen er voldoende aaneengesloten habitattype is om aan de optimale functionele omvang te voldoen. De beschikbare informatie over de kwaliteitskenmerken duidt op een matige kwaliteit van het habitattype Zwakgebufferde vennen (Arcadis, 2023).

Sturende factoren in H3130 in Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen
De belangrijkste knelpunten voor H3130 in Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen zijn eutrofiëring, stikstofdepositie, verdroging en de aanwezigheid van exoten. In het noorden van het Natura 2000-gebied groeien de bossen tot aan de randen van het habitattype. Hierdoor ontstaat inval van bladeren, takken en eikels, wat zorgt voor toevoer van voedingsstoffen. Ook stroomt er voedselrijk water in van nabij gelegen agrarische percelen. De hoge voedselrijkdom leidt tot snellere verlanding en het verdwijnen van typische soorten. Stikstofdepositie draagt bij aan verdere eutrofiëring en heeft ook een verzurend effect. Door verzuring verdwijnen veel typische soorten. Door omliggende landbouw en woonwijken speelt verdroging op. Hierdoor kan mogelijk buffering wegvallen waardoor verzuring wordt versneld (provincie Noord-Brabant 2017b). Ook dominantie van exoten leidt tot het verdwijnen van typische soorten en verlies van kwaliteit van het habitattype. Stikstofdepositie en eutrofiëring kunnen deze dominantie van exoten verder versterken (Arcadis, 2023).

Maatregelen voor het verbeteren van de kwaliteit van H3130 bestaan uit aanvullend onderhoud, peilbeheer, bestrijden van exoten en het uitvoeren van herstelwerkzaamheden. Aanvullend wordt er onderzoek gedaan naar de hydrologie en het voorkomen en bestrijden van exoten in het habitattype (Arcadis, 2023).

Beoordeling H3130 in Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen

Knelpunten
De knelpunten voor dit habitattype zijn de eutrofiëring, stikstofdepositie, verdroging en de aanwezigheid van exoten. Overmatige stikstofdepositie zorgt samen met eutrofiëring van nabijgelegen bossen en omliggende agrarische percelen voor verzuring en vermesting van het habitattype, wat een goede kwaliteit van het habitattype in de weg staat.

Kwaliteit en trend
De kwaliteit van het habitattype is op basis van de kwaliteitsaspecten voor dit habitattype matig. De trend is de kwaliteit is negatief.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
Door de aanleg van de infrastructuur is er sprake van een maximale depositie van 2,02 mol N/ha/jaar. Dat kan zonder buffering en verdunning met regenwater lokaal leiden tot verdere verzuring van de bodem met negatieve gevolgen voor het habitattype. De huidige kwaliteit is matig en de trend is negatief. Stikstof is momenteel een knelpunt door eutrofiering en in mindere mate door verzuring. Het habitat is zwaar overbelast en is wel ook gevoelig voor het overschrijden van tipping points bij doorgaande verzuring bij verdroging. Verdroging is ook een probleem in het habitattype.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er netto sprake van een netto afname van 3,78 mol N/ha/jaar. Dat zou wel kansen kunnen bieden voor herstel, omdat stikstof een belangrijk knelpunt is voor het behalen van de doelstellingen voor de kwaliteit van dit habitattype er ook permanent sprake zal blijven van enige afname van de achtergrond depositie. Een netto afname van de depositie kan kansen bieden voor herstel.

Een verbetering van de kwaliteit van het habitat door de afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming zal welswaar niet waarneembaar zijn maar de afname van de netto depositie biedt wel kansen voor herstel. Ook is er sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies Hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

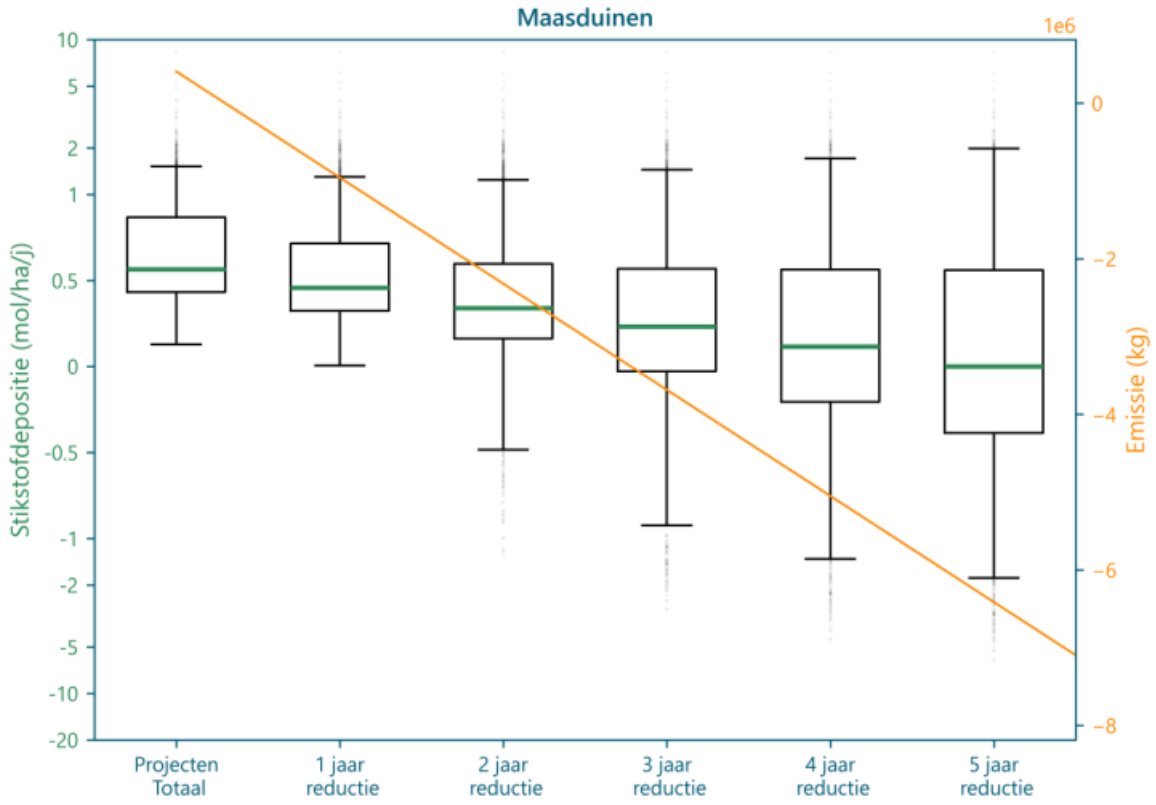
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.8 Maasduinen

5.8.1 Boxplots Maasduinen

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,2 mol N/ha/jaar en 1,8 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een flinke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied. Na vijf jaar verduurzaming is er op ongeveer de helft van de (naderend) overbelaste hexagonen sprake van een netto afname van de depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. In de overige hexagonen is daar nauwelijks sprake van. De emissie vanuit de energieclusters richting het gebied neemt echter wel sterk af. De hexagonen waarop netto geen verminderde depositie plaatsvindt liggen dan ook buiten het rekenbereik van AERIUS (25 km).

Afbeelding 5.8 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Maasduinen



5.8.2 H2330 Zandverstuivingen

Tabel 5.21 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
714	2.656,77	2,78	2,78	>	>

Tabel 5.22 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	95,29	95,29	95,29	95,29	95,29
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H2330

Het habitattype betreft pionierbegroeiingen in afwisseling met onbegroeid zand op droge, zeer voedselarme zandgrond in binnenlandse stuifzandgebieden. Het habitattype kan op kleine schaal voorkomen in heidelandschappen, maar ook zo grootschalig zijn ontwikkeld dat van een zandverstuivingslandschap sprake is. In het eerste geval komt het meestal voor op plekken die zijn omgeven door het habitattype H2310. Zonder periodiek actief herstel van de pionieromstandigheden zullen deze kleine plekken dichtgroeien. In het tweede geval gaat het om een afwisseling van veelal geheel of gedeeltelijk begroeide duinen, waar

vegetatie het zand invangt en vasthoudt, en vlakkere, onbegroeide of spaarzaam begroeide laagten waar het zand wegstuift. Van een uitgestoven laagte spreekt men als verdere uitstuiving niet mogelijk is omdat de verstuiving tot op het natte zand is gekomen (tot aan het grondwater) of een niet verstuifbare grindlaag of (kei)leemlaag bereikt heeft. In tot het grondwater uitgestoven laagten kunnen zich lokaal ook vochtige pioniervegetaties ontwikkelen die een waardevolle bijdrage leveren aan de diversiteit in het gebied. Bij verdere uitstuiving en/of bij grondwaterstandstijging kunnen zich hier ook vennen ontwikkelen. De vastlegging van het zand vindt gedurende de vegetatiesuccessie plaats door respectievelijk buntgras en algen, mossen, korstmossen en ten slotte grassen (die met name op de overgang naar omringende heiden en bossen domineren). Duurzame instandhouding van het habitattype kan vooral plaatsvinden in grootschalige gebieden waar de wind vrij spel heeft en een voortdurend wisselend mozaïek van successiestadia kan voortbestaan. Naast winderosie kan watererosie op de begroeide hellingen een grote invloed hebben op zowel bodem- als vegetatieontwikkeling en voor steilwandjes zorgen. Het stuifzandmilieu is extreem arm aan soorten vaatplanten en vooral rijk aan korstmossen. Er zijn maar weinig vaatplanten die de extreme droogte en de afwisseling tussen de soms hoge dagtemperaturen en lage nachttemperaturen kunnen overleven. Ook de fauna is soortenarm, maar omvat wel enkele soorten die juist aan deze extreme omstandigheden zijn aangepast. Indien het habitattype op landschapsschaal voorkomt, bij voorkeur in aansluiting op habitattypen van het heidelandschap, kan het beduidend soortenrijker worden dan wanneer het op kleine schaal voorkomt (Ministerie van LNV, profieldocument H2330, 2008).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2330

Dit habitattype is blijkens de SEM studie niet gevoelig voor overschrijding van irreversibele tipping points. Achteruitgang van kwaliteit is een geleidelijk proces in dit habitattype.

Verzuring en vermesting in H2330

Stuifzand heeft een lage zuur neutraliserende capaciteit. Verhoogde stikstofdepositie leidt daardoor tot snelle verzuring, wat mogelijk tot een afname van soorten in dit habitattype heeft geleid. Het habitattype is afhankelijk van zeer voedselarme bodems; vermesting zal zorgen voor matig voedselarme bodems. Op de lange termijn belemmert dit een duurzaam behoud van goede kwaliteit. Hoge ammoniumdepositie kan leiden tot ammoniumtoxiciteit wat de groei van korstmossen belemmert. Daarnaast kan door verzuring ook aluminiumtoxiciteit optreden. Voor het leefgebied van Vogel- en Habitatrichtlijnsoorten (VHR) en/of typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie doorwerken via een koeler en vochtiger microklimaat, afname van kwaliteit van voedselplanten en afname van prooibeschikbaarheid (Smits et al, 2014).

Voorkomen en kwaliteit H2330 in Maasduinen

Habitattype H2330 is verspreid over de Maasduinen in een mozaïek van clusters met andere droge habitattypen zoals H2310 - Stuifzandheiden en H4030 - Droge Heiden. Het doel voor de kwaliteit van deze habitattypen is verbetering, maar de huidige kwaliteit is onzeker en de trend is negatief. Het aantal typische plantsoorten van zandverstuivingen is in voortgang (provincie Limburg, 2024).

Het belangrijkste landschapsecologische proces voor dit habitattype is windwerking. In de optimale situatie is het gebied groot en open, waardoor de wind vrij spel heeft en zorgt voor voldoende dynamiek van het zand. Wanneer het zand stil komt te liggen, krijgen respectievelijk buntgras, algen, mossen, korstmossen en ten slotte grassen grip op de ondergrond, wat leidt tot successie naar een volgend stadium. De overstuivingen zorgen ervoor dat deze successiestadia worden teruggezet, waardoor een mozaïek van kaal zand en diverse successiestadia ontstaat. Dit remt de algehele ontwikkeling richting hogere en dichtere vegetaties, en bevordert de verjonging van de kenmerkende vegetatietypen van H2330 en H2310. De natuurlijke successie wordt echter versneld door atmosferische stikstofdepositie. Grassen en boomscheuten ontwikkelen zich beter onder een hoger stikstofaanbod dan de kenmerkende korstmossen die van nature langzamer groeien (provincie Limburg, 2017).

Sturende factoren in H2330 in Maasduinen

De habitattypen in deze cluster van droge, zandige habitattypen worden beïnvloed door zowel verzuring als eutrofiëring, met een grote overbelasting van stikstof. Voor zandverstuivingen, stuifzandheiden, en droge heiden voorspelt de natuurdoelanalyse en de Gebiedsanalyse een 100 % overschrijding van de KDW tegen 2030 (provincie Limburg, 2017; provincie Limburg, 2023). Uit bovenstaande tabel blijkt dat nu al 100 % van het habitat naderend is overbelast. Het gebrek aan voldoende winddynamiek en de hoge niveaus van

stikstofoverbelasting leiden tot fragmentatie en isolatie van de zandverstuivingen omdat de zandverspreiding steeds meer geblokkeerd worden door vegetatie.

Atmosferische stikstofdepositie bedreigt nutriëntarme vegetatie, bevordert mosgroei en versnelt successie naar bos. Spontane bebossing leidt tot habitatverlies, waardoor resterende relicten krimpen en natuurlijke winddynamiek verhinderd wordt. Bovendien worden soorten van open zandgronden vaak verdrongen door de invasieve grijs kronkelsteeltje.

Versnelde successie en het begrazen vormen een bedreiging voor het behoud van de zandverstuivingen. De overgang van open zand naar bos is abrupt, met grove dennen aan de randen. Het kiemen van grove dennen en de verspreiding van pijpenstrootje verkleinen verder het oppervlak van het open zandgebied. Stikstofdepositie en het gebrek aan winddynamiek door omliggende bossen hebben geleid tot snelle vergrassing en bebossing. Zonder effectief beheer resulteert spontane bebossing in habitatverlies en worden de relicten te klein om natuurlijke winddynamiek te behouden.

Beoordeling H2330 in Maasduinen

Knelpunten
Voor de droge zandige habitattype-cluster met H2310 Stuifzandheiden, **H2330 Zandverstuivingen** en H4030 Droge heiden is stikstofdepositie een groot probleem, met name via eutrofiering. Verder is vooral het gebrek aan dynamiek het hoofdknelpunt.

Kwaliteit en trend
De huidige staat van de kwaliteit is onzeker, maar de trend is negatief. De prognose voor de toekomstige stikstof niveaus geef aan dat 100 % van habitattype H2330 heb steeds matig tot sterke overbelasting in 2030.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 2,78 mol N/ha/jaar. Gezien de reeds negatieve trend in kwaliteit en oppervlakte van het habitattype, de overbelasting door stikstof, de negatieve prognose, de hoge gevoeligheid voor stikstof met eutrofiering tot gevolg en de berekende depositie van 2,78 mol N/ha/jaar, kunnen negatieve effecten op H2330 binnen Maasduinen als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet worden uitgesloten.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Voor deze habitattype is er geen projecteerde afname van stikstof na de voorgestelde energietransitie-projecten voorzien.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is geen sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving maar dat die nauwelijks leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

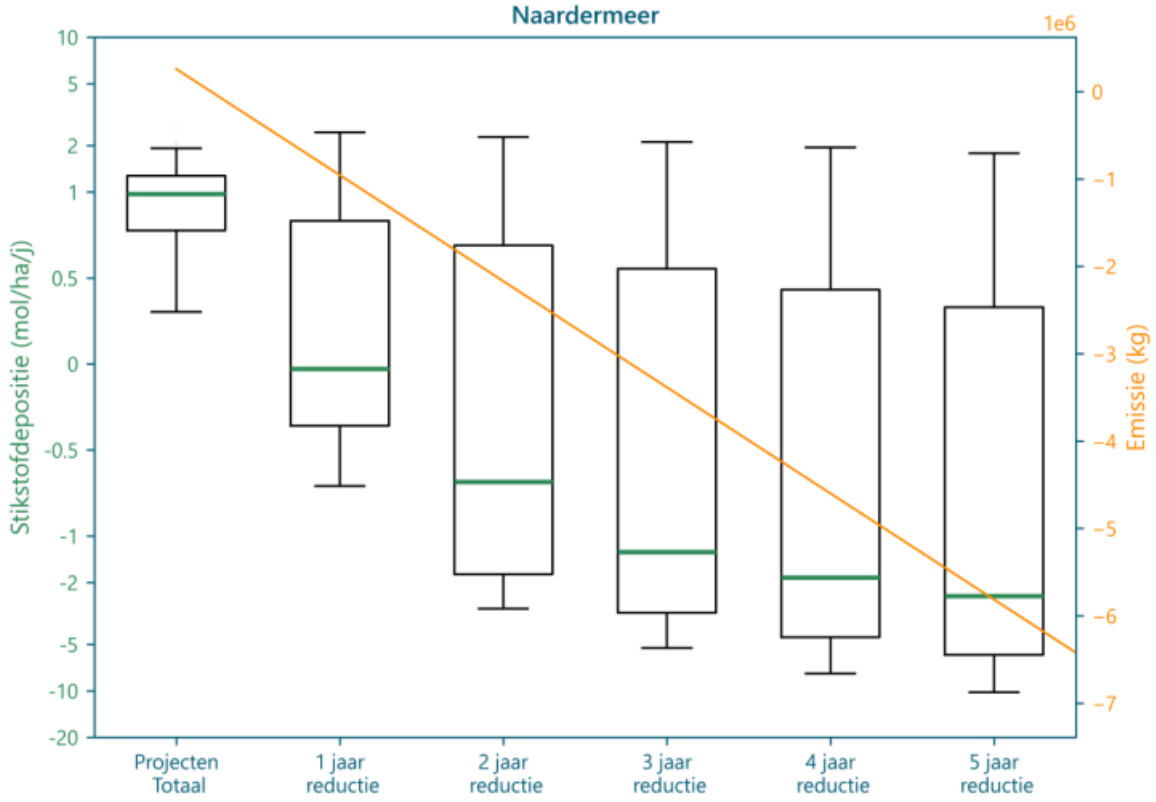
De boxplots laten weliswaar een afname van de emissies zien maar geen duidelijke afname van de depositie op het Natura 2000-gebied. Er is dus ook geen sprake van verbeterde condities door de verduurzaming op het Natura 2000-gebied als geheel. Er is geen sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel.

5.9 Naardermeer

5.9.1 Boxplots Naardermeer

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,30 mol N/ha/jaar en 2,01 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,77 tot 1,27 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,99 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake een grote afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied met als gevolg een kleine netto afname van de cumulatieve depositie van de energie-infrastructuurprojecten. Na een jaar is er op ongeveer de helft van de (naderend) overbelaste hexagonen sprake van een netto afname van de depositie die ontstaan is bij de aanleg van de energie-infrastructuur. Na vijf jaar is dat aandeel sterk toegenomen. Tevens is er sprake van een afname van de depositie op de (naderend) overbelaste hexagonen waar volledige compensatie van de depositie door de aanleg niet optreedt.

Afbeelding 5.9 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Naardermeer



5.9.2 H3130 Zwakgebufferde vennen

Tabel 5.23 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.762,72	1,14	0,60	=	=

Tabel 5.24 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Verzuring en vermesting in H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Voorkomen en kwaliteit H3130 in Naardermeer
Het habitattype is als gevolg van natuurontwikkeling als een mozaïek ontwikkeld en komt samen met blauwgraslanden voor in het zuidelijk deel van het Laegieskamp, De oppervlakte is relatief gering en beslaat in totaal minder dan 0,5 ha in het Naardermeer. Het habitattype is pas vrij recent tot ontwikkeling gekomen op plagplakken in het Laegieskamp. De trend in oppervlakte is daarmee positief. De aanwezigheid van vegetaties die behoren tot H3130 heeft te maken met de bijzondere bodemgesteldheid in Laegieskamp. Het gebied vormt een overgang tussen de veengebieden van het Naardermeer en de zandgebieden van het Gooi en de aanwezigheid van kwelwater van een goede kwaliteit. Kenmerkende soorten voor H3130 in het Laegieskamp zijn moerashertshooi, pilvaren, vlottende bies en veelstengelige waterbies. Ook de met doorschijnend glanswier begroeide venoever wordt tot dit habitattype gerekend. De huidige kwaliteit van het habitattype is onbekend. De beperkte oppervlakte, stikstofdepositie en de aanwezigheid van invasieve watercrassula zijn een bedreiging voor de kwaliteit van het habitattype. De trend voor kwaliteit is daarom negatief (provincie Noord-Holland, 2023; 2020).

Sturende factoren in H3130 in Naardermeer
Het belangrijkste knelpunt voor zwakgebufferde vennen is stikstofdepositie. Het habitattype is erg gevoelig voor de invloed van stikstofdepositie. Het beperkte areaal maakt dat het habitattype gevoelig is voor externe invloeden, zoals de effecten van stikstofdepositie. Dit is een wezenlijk risico voor duurzaam behoud op de lange termijn, inclusief het behoud van kenmerkende soorten flora en fauna als belangrijke kwaliteitsfactor (provincie Noord-Holland 2023; 2020). Door stikstofdepositie kunnen zachtwater planten verdwijnen door overwoekering via verzuring. Daarnaast kunnen de vennen via vermesting verrijken, waardoor de soorten die ammonium en/of nitraat benutten sneller gaan groeien (Arts et al, 2012). Daarnaast vormt de aanwezigheid van invasieve watercrassula een bedreiging voor de kwaliteit van het habitattype (provincie Noord-Holland, 2023). Maatregelen die genomen zijn in het habitattype zijn hydrologisch herstel, jaarlijks maaien, verwijderen van watercrassula, plaggen van de oever en het eiland Pannekoekven, verwijderen van organische sedimenten in Pannekoekven, onderzoek naar een betere benutting van het kwelwater, opstellen van een Masterplan Naardermeer over systeemmaatregelen voor kwelwater en een aanvullend onderzoek ten behoeve van trendbepaling. Deze maatregelen zijn onvoldoende, er zijn aanvullende maatregelen nodig om de instandhoudingsdoelstellingen op de korte en lange termijn te halen (provincie Noord-Holland 2023; 2020).

Beoordeling H3130 in Naardermeer

Knelpunten
Het belangrijkste knelpunt voor het habitattype is stikstofdepositie, hoewel ook de beperkte omvang en de aanwezigheid van de invasieve soort watercrassula en rol van betekenis speelt. Stikstofdepositie leidt tot

verlies van kenmerkende soorten. Het habitat is gevoelig voor het overschrijden van drempelwaarden door verlaging van de zuurgraad omdat het om zwak gebufferde systemen gaat.

Kwaliteit en trend
De huidige kwaliteit en de trend in de kwaliteit van het habitattype is onbekend.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,14 mol N/ha/jaar. De depositie kan leiden tot een daling van de zuurgraad, mede omdat in dit gebied de buffering met basenrijk kwelwater onvoldoende is. Desondanks is het habitattype redelijk recent ontstaan, ondanks onvoldoende buffering via kwelwater. Op grond daarvan wordt uitgesloten dat een eenmalig depositie van iets meer dan maximaal 1 mol N/ha/jaar invloed heeft op de toestand van het habitattype.

Het is onwaarschijnlijk dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur zal leiden tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een netto depositie van 0,6 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie al overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Dat heeft er echter niet voor gezorgd dat het habitat zich de afgelopen tijd op deze locatie heeft kunnen ontwikkelen. De verduurzaming leidt niet tot een grote afname van de depositie.

Een verbetering van de kwaliteit van het habitat door de afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming wordt dan ook niet verwacht. Er is wel sprake van een afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er in het Natura 2000-gebied als geheel na vijf jaar verduurzaming wel sprake is van een netto negatieve depositie op een groot deel van de (naderend) overbelaste hexagonen (>50 %), met kansen voor herstel van stikstof gevoelige habitattypen in het Natura 2000-gebied.

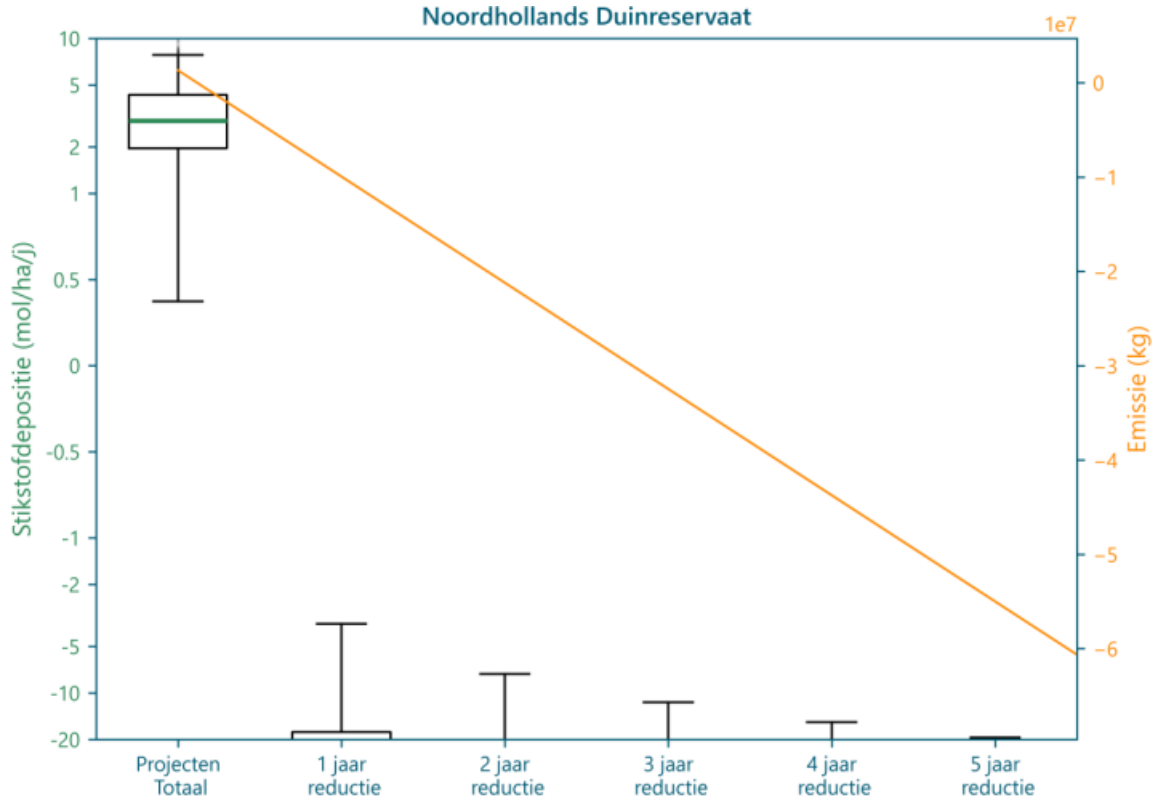
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.10 Noordhollands Duinreservaat

5.10.1 Boxplots Noordhollands Duinreservaat

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,47 mol N/ha/jaar en 9,16 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 2,39 tot 5,10 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 3,54 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op alle (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is de totale netto afname van de depositie op alle (naderend) overbelaste hexagonen al meer dan 20 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.10 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Noordhollands Duinreservaat



5.10.2 H2130C Grijze duinen (heischraal)

Tabel 5.25 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
786	1618,20	1,68	-58,91	>	>

Tabel 5.26 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	7,19	7,19	7,19	7,19	3,38
percentage		100,00	100,00	100,00	47,06

Algemene beschrijving H2130C
Zie Schiermonnikoog (zie paragraaf 5.3.2).

Verzuring en vermesting in H2130C
Zie Schiermonnikoog (zie paragraaf 5.3.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2130C
Zie Schiermonnikoog (zie paragraaf 5.3.2).

Voorkomen en kwaliteit H2130C in Noordhollands Duinreservaat
Het habitattype heeft een goede kwaliteit, waarbij de trend in oppervlakte positief is en de trend in kwaliteit onbekend is (provincie Noord-Holland, 2018a). De goede kwaliteit wordt bevestigd in de Ecologische Evaluatie (2023), waarin wordt vermeld dat 96 % (6,9 ha) van het areaal van het habitattype van goede kwaliteit is op basis van de vegetatie. Op overige kenmerken scoort de kwaliteit lager. Zo is er te weinig begrazing door konijnen en is het aandeel kaal zand veel te laag. Wel is het aantal typische soorten toegenomen. Gezien de goede kwaliteit van de vegetatie en de toename aan typische soorten, maar ook de lage kwaliteit van andere kenmerken, wordt uitgegaan van een goed tot matige kwaliteit, om geen rooskleuriger beeld te schetsen dan de werkelijkheid. De trend wordt niet uitgelicht in de Ecologische Evaluatie (2023).

Sturende factoren in H2130C in Noordhollands Duinreservaat
Gebrek aan grootschalige verstuiving, gebrek aan kleinschalige verstuiving, stikstofdepositie en exoten vormen knelpunten voor H2130C binnen het Noordhollands Duinreservaat. Omdat dit habitattype voornamelijk wordt aangetroffen nabij natte duinvalleien, is dit habitattype erg kwetsbaar voor milieuveranderingen. Verstruweling en verbossing zorgen voor een verstoorde en minder stabiele hydrologie. Voor het herstel van heischrale grijze duinen is buffering van de bodem door middel van gebufferd grondwater een belangrijke factor. Capillaire opstijging met basenrijk grondwater en een milde overstuiving met kalkrijk zand is belangrijk voor dit habitattype. Om de bodem te bufferen is stikstofdepositie en daarop volgende versnelde bodemontwikkeling en verzurende bodem een belangrijk knelpunt. Het dichtgroeien van de vochtige duinvalleien, waarbij ook exoten meer kans krijgen, beperkt namelijk sterk de overstuiving met kalkrijk zand. Daarnaast heeft toename in de voedingstoestand snel gevolgen voor H2130C omdat vergrassing en verruiging hiervan het gevolg zijn. Naast de stikstofdepositie zorgt de afname van de konijnenpopulatie voor een versnelde vastlegging van de laatste stuifkuilen, waardoor de aanvoer van kalkrijk zand stopt (provincie Noord-Holland, 2018a).

Beoordeling H2130C in Noordhollands Duinreservaat

Knelpunten
Met name een gebrek aan grootschalige verstuiving en gebrek aan kleinschalige verstuiving, maar ook stikstofdepositie en exoten vormen knelpunten voor het bereiken van een goede kwaliteit van het habitattype. Capillaire opstijging met basenrijk grondwater en een milde overstuiving met kalkrijk zand is belangrijk voor dit habitattype.

Kwaliteit en trend
Habitattype H2130C kent een goede kwaliteit met een positieve trend in oppervlakte, hoewel de trend in kwaliteit onbekend is.
Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,68 mol N/ha/jaar, wat negatieve gevolgen kan hebben voor de instandhoudingsdoelen van H2130C. Echter, stikstofdepositie wordt over het algemeen niet als hoofdknelpunt gezien voor een geode kwaliteit van dit habitattype, en de tijdelijke toename veroorzaakt door het project zal geen relevante verandering brengen in de verzuring en voedselrijkdom, met name ook omdat de huidige toestand overwegend goed is.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 58,91 mol N/ha/jaar. Het aandeel hexagonen met een naderende overbelasting daalt blijvend van 100 % naar minder dan 50 %. Dit alles kan positieve

ontwikkelingen op de kwaliteit van H2130C mogelijk maken. Desondanks is de huidige kwaliteit al goed en is stikstof niet het belangrijkste knelpunt in het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Desondanks daalt het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen wel en is er ook sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten zien dat er voor het hele Natura 2000-gebied sprak zal zijn van flinke afname van emissies en een grote netto afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming, met duidelijke kansen voor verbetering van de kwaliteit van de aanwezige habitattypen.

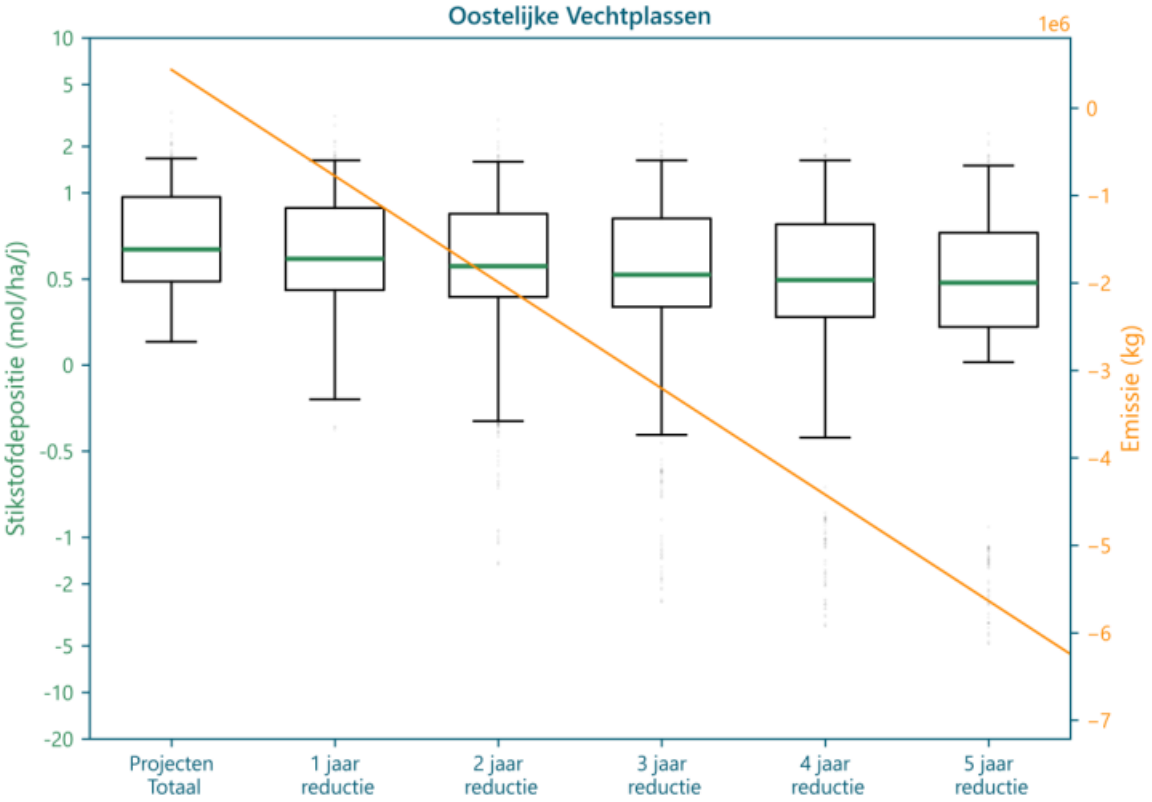
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura 2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.11 Oostelijke Vechtplassen

5.11.1 Boxplots Oostelijke Vechtplassen

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,13 mol N/ha/jaar en 1,71 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,67 tot 0,98 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,67 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake een grote afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, echter met als gevolg een kleine netto afname van de cumulatieve depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is nog steeds sprake van een netto depositie.

Afbeelding 5.11 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Oostelijke Vechtplassen



5.11.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)

Tabel 5.27 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.628,34	1,10	0,53	>	>

Tabel 5.28 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	21,36	21,36	21,36	21,36	21,36
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7140B

Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Verzuring en vermesting in H7140B

Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7140B

Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Voorkomen en kwaliteit H7140B in Oostelijke Vechtplassen

Dit habitattype is onderdeel van de mesotrofe verlandingsreeks en kan ontstaan uit trilvenen die, doordat ze dikker worden, het contact met het grondwater verliezen. Dit habitattype is afhankelijk van een hoge grondwaterstand met voedselarm tot matig voedselrijk, matig zuur water. Veenmosrietlanden komen verspreid voor in de Oostelijke Vechtpassen met een totaal oppervlak van 21,36 ha. Hiervan is 18,08 ha van goede kwaliteit en 3,28 ha van matige kwaliteit. Een groot deel (13,57 ha) van het habitattype komt voor in het Noorderpark, en daarbinnen in de Oostelijke Binnenpolder van Tienhoven, Westbroekse Zodden en Molenpolder. Voor het Noorderpark zijn de vier kwaliteitsaspecten goed in beeld. Voor 83,5 % van de vegetatie geldt dat deze als 'goed' kwalificeert. Elf van de zestien typische soorten zijn de afgelopen zes jaar waargenomen in de Oostelijke Vechtplassen. Vier van de zes abiotische kenmerken liggen in het optimale bereik; de regelmatige inundatie en lage gemiddeld laagste grondwaterstand zijn suboptimaal. De structuur en functie van het habitattype in het Noorderpark zijn tenslotte goed (provincie Utrecht, 2023).

Sturende factoren in H7140B in Oostelijke Vechtplassen

Hoewel het habitattype gevoelig is voor stikstofdepositie en het overschrijden van drempelwaarden vormen in het Natura 2000-gebied verdroging en onvoldoende oppervlaktewaterkwaliteit, onvoldoende beheer en gebrek aan nieuwvorming de belangrijkste knelpunten en niet de stikstof depositie. Door verdroging en een te lage grondwaterstand is er een verminderde invloed van gebufferd kwelwater, waar het habitattype afhankelijk van is. Tegelijkertijd is in ieder geval in het Noorderpark plaatselijk soms sprake van inundatie. Langdurige inundatie vormt een risico voor veenmossen (kans op sterfte) en kan leiden tot het terugzetten van het habitattype naar H7140A Trilvenen (provincie Utrecht, 2023, provincie Noord-Holland 2023a). De fosfaatconcentraties van het oppervlaktewater waarmee het habitattype wordt geïnundeerd, zijn niet laag genoeg. De oppervlaktewaterkwaliteit vormt daarom ook een knelpunt voor het habitattype. Het laatste knelpunt is een gebrek aan nieuwvorming door verlanding vanuit open water. Doordat dit nauwelijks plaatsvindt, is er weinig uitbreiding van oppervlak. Voor de kwaliteit en diversiteit in het gebied is het gewenst dat er meer jonge (minder verzuurde) stadia van het habitattype voorkomen (provincie Noord-Holland, 2023a; provincie Utrecht, 2023).

Stikstofdepositie leidt in het habitattype tot extra gevoeligheid voor knelpunten zoals verdroging (provincie Noord-Holland, 2023a; provincie Utrecht, 2023). Daarnaast draagt het bij aan verzuring en vermesting, wat in dit habitattype leidt tot het versneld optreden van successie. Uitgevoerde maatregelen voor het habitattype zijn plaggen, het lokaal verwijderen van moerasbos, extra maaien van graslanden, het verwijderen van opslag, en maatregelen voor de landbouw om nutriëntenbelasting op de waterlichamen te beperken. Aanvullende maatregelen voor het habitattype in het Noorderpark richten zich op het verminderen van waterinlaat, herstel van de waterhuishouding, verbeteren van maaibeheer, begreppelen en plaggen, en creëren van nieuw areaal door het omvormen van niet kwalificerend moerasbos en bosschages (provincie Noord-Holland, 2023; provincie Utrecht, 2023a). Daarnaast is daling van de stikstofdepositie op het habitattype nodig.

Beoordeling H7140B in Oostelijke Vechtplassen

Knelpunten

Verdroging, een onvoldoende oppervlaktewaterkwaliteit dat wordt ingelaten, onvoldoende beheer en een gebrek aan verjonging zijn de belangrijkste knelpunten voor Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) (H7140B). Het habitat is gevoelig voor het overschrijden van tipping point ten aanzien van verzuring en vermesting onder invloed van stikstofdepositie, zeker als er ook sprake is van verdroging.

Kwaliteit en trend

De kwaliteit van dit habitattype is overwegend goed, ondanks dat op het hele oppervlak van H7140B de KDW ruim wordt overschreden.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,1 mol N/ha/jaar. Stikstofdepositie is zelf niet het belangrijkste knelpunt maar omdat er sprake is van verdroging kan de tijdelijke stikstofdepositietoename wel leiden tot extra verzuring en het overschrijden van een tipping point van verzuring. Effecten op eutrofiering door stikstofdepositie zijn minder waarschijnlijk, omdat er al oppervlakte water van slechte kwaliteit wordt ingelaten. Op grond hiervan wordt gesteld dat een negatief effect door de aanleg van de energie-infrastructuurprojecten niet kan worden uitgesloten met als gevolg dat de gevoelige waardevolle vegetatie verdwijnt en dat daarmee de kwaliteit permanent zal verslechteren.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype. Tevens kan er sprake van zijn dat door het overschrijden van een tipping point de kwaliteit van het habitattype permanent achteruit gaat.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming

Na verduurzaming is er netto nog sprake van een depositie van 0,53 mol N/ha/jaar. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De factoren die ervoor zorgen dat het habitat een slechte kwaliteit hebben, veranderen niet.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is wel sprake van een lichte afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied

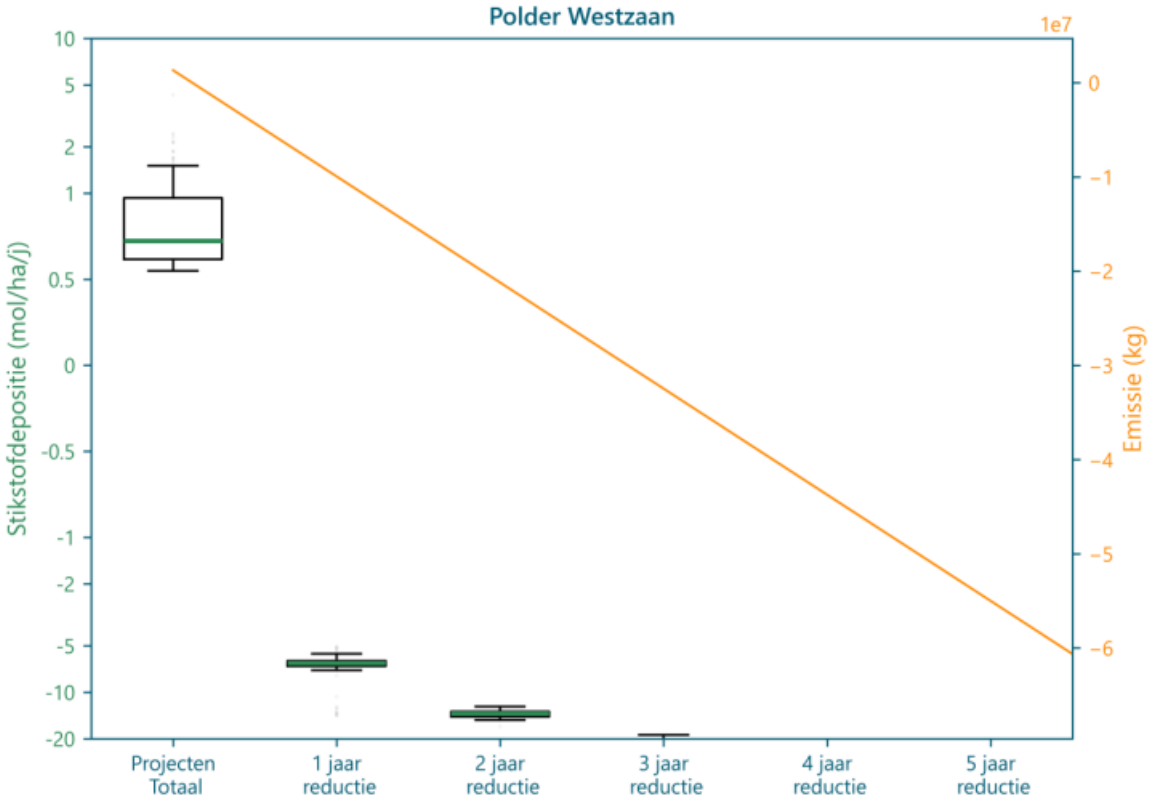
De boxplots laten weliswaar een afname van de emissies zien maar geen duidelijke afname van de depositie op het Natura 2000-gebied. Er is dus ook geen sprake van duidelijk verbeterde condities door de verduurzaming op het Natura 2000-gebied als geheel. De ADW daalt slechts licht.

5.12 Polder Westzaan

5.12.1 Boxplots Polder Westzaan

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,58 mol N/ha/jaar en 1,53 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,65 tot 1,00 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,76 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op alle (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na drie jaar is de totale netto afname van de depositie als gevolg van de energie-infrastructuurprojecten op het alle (naderend) overbelaste hexagonen meer dan 20 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.12 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Polder Westzaan



5.12.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)

Tabel 5.29 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.876,35	2,47	-106,17	=	=

Tabel 5.30 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7140B

Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Verzuring en vermesting in H7140B

Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7140B

Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Voorkomen en kwaliteit H7140B in Polder Westzaan

Veenmosrietlanden komen verspreid in de Polder Westzaan voor, het meest in rietzomen die zich langs de percelen hebben ontwikkeld. De grootste oppervlakten veenmosrietland worden in het Guisveld aangetroffen. In de andere gebiedsdelen de Reef en het Westzijderveld komt het habitattype verspreid voor. De vegetatiekundige kwaliteit is onbekend. De kwaliteit op basis van typische soorten is matig. Voor alle habitattypen in het Natura 2000-gebied geldt dat de oppervlaktewaterkwaliteit onvoldoende is. Daarom worden de abiotische condities als slecht beschouwd. De kwaliteit op basis van overige kenmerken voor een goede structuur en functie zijn goed. De kwaliteit op basis van de vier kwaliteitsaspecten wordt beoordeeld als matig. De trend voor kwaliteit van het habitattype wordt als onstabiel beoordeeld (provincie Noord-Holland 2017c; 2023b).

Sturende factoren in H7140B in Polder Westzaan

Het voornaamste knelpunt is de ontoereikende waterkwaliteit en -kwantiteit. Dit leidt, in combinatie met stikstofdepositie, tot verzuring en vermesting van het habitattype. Hierdoor ontstaat een toename van gewoon haarmos. Verdroging van het habitattype versnelt de verzuring van veenmosrietlanden. Oudere stadia van veenmosrietlanden hebben een dikkere kragge en liggen daardoor meer geïsoleerd van het bufferende oppervlaktewater. Hierdoor zijn veenmosrietlanden in oudere stadia gevoeliger voor verzuring. Na verloop van tijd ontstaan er soortenarmere stadia waarin fraai veenmos en gewoon haarmos steeds meer gaan domineren. Verzuring leidt bij veenmosrietlanden in jonge gebufferde stadia tot een versnelling van natuurlijke successie. De jonge gebufferde stadia gaan door verzuring sneller over in oude, verzuurde stadia. Vermesting kan ook in het habitattype optreden, dit leidt tot vegetatieverdichting. Effecten van eutrofiëring ontstaan eerder bij een lokaal slechte waterkwaliteit. Door toenemende fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater kunnen in de kragge dikke en soortenarme veenmosrietlanden ontstaan. Hierdoor neemt de kwaliteit van het veenmosrietland af. Naast de te hoge fosfaatbelasting is er ook een gebrek aan brak water in het habitattype. In het verleden is de invloed van brak water positief geweest voor de snelle vorming van veenmosrietlanden. In de huidige situatie is het water sterk verzoet. De ontoereikende waterkwaliteit leidt tot een toename van gewoon haarmos. Hierdoor staan de veenmosrietlanden onder druk. Daarnaast leidt het tot een toename van grassen en snellere kieming van houtige gewassen zoals zachte berk, appelbes, lijsterbes, krentenboompje en zwarte braam. Deze effecten zijn zowel in jonge als in oude stadia van het veenmosrietland te verwachten. Bij toenemende vestiging van bramen en appelbes, neemt de kwaliteit van veenmosrietlanden af. Deze effecten worden bij verdroging versterkt, omdat er dan meer nutriënten uit de veenbodem vrijkomen (provincie Noord-Holland 2017c; 2023b). Maatregelen die genomen worden in het habitattype bestaan uit herfstmaaien, hydrologisch herstel door het baggeren van inpandig water, hydrologische isolatie en het verminderen van de effecten van bemesting. Daarnaast wordt er opslag verwijderd, petgaten uitgegraven en geplagd op 0,1 m, 0,5 m en tot 0,75 m diepte. Tot slot wordt er ook een proef gedaan met het versnipperen van rietstrooisel voor het op gang brengen van jonge verlanding (provincie Noord-Holland 2023b).

Beoordeling H7140B in Polder Westzaan

Knelpunten

Knelpunten voor het habitattype zijn de ontoereikende waterkwaliteit en -kwantiteit in combinatie met stikstofdepositie en verdroging. Dit leidt tot verzuring en vermesting van het habitattype. Het habitattype is gevoelig voor het overschrijden van tipping points. De slecht waterkwaliteit is echter duidelijk het belangrijkste knelpunt in het behalen van de doelstellingen met eutrofiering als gevolg.

Kwaliteit en trend

De kwaliteit van het habitattype is matig. De kwaliteit is stabiel.

Stikstofbelasting

100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 2,74 mol N/ha/jaar. Omdat met name de slechte waterkwaliteit een probleem vormt voor dit habitattype in Polder Westzaan, de kwaliteit van het habitattype al matig is zal de eenmalige depositie niet tot extra verslechtering van de kwaliteit leiden via eutrofiering. Dat verdroging tevens tot verzuring leidt zal minder belangrijk zijn voor het behalen voor de doelstellingen, omdat verdroging wordt tegengegaan door het inlaten van eutroof oppervlakte water, waardoor de stikstofdepositie eerder bijdraagt aan de eutrofiering dan verzuring.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming

Na verduurzaming is er netto sprake van een grote netto afname van 106,17 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie echter al overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Er is echter wel sprake van een netto afname die ook blijvend is met kansen voor herstel. Echter is de stikstofdepositie niet het belangrijkste knelpunt voor het behalen van de instandhoudingstoestand. Een daling van de depositie zal dan ook niet tot een verbetering van de situatie leiden.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, hoewel de ADW dus wel duidelijk daalt.

Conclusies hele Natura 2000-gebied

De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

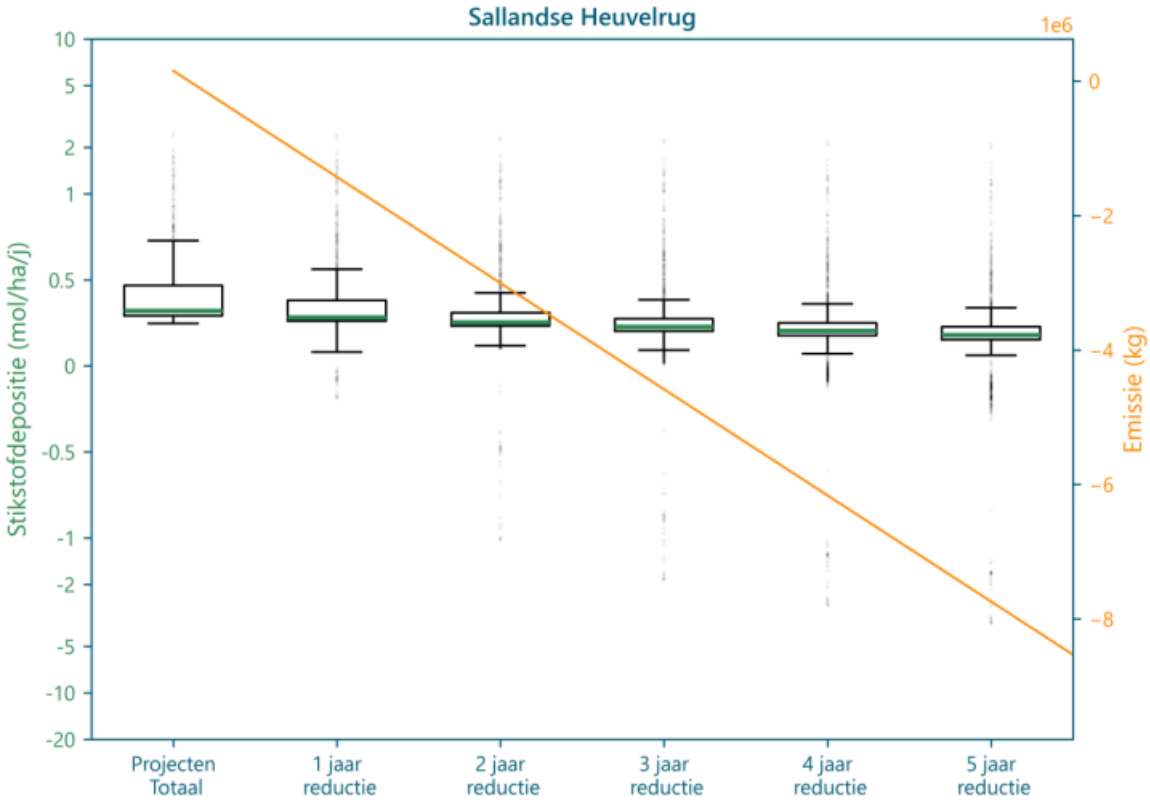
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.13 Sallandse Heuvelrug

5.13.1 Boxplots Sallandse Heuvelrug

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,21 mol N/ha/jaar en 0,68 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,26 tot 0,42 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,28 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een flinke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied. Na vijf jaar verduurzaming is er nauwelijks sprake van een afname van de netto depositie op de (naderend) overbelaste hexagonen als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. De emissie vanuit de energieclusters richting het gebied neemt echter wel sterk af. De hexagonen waarop netto geen verminderde depositie plaatsvindt liggen dan ook buiten het rekenbereik van AERIUS (25 km).

Afbeelding 5.13 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Sallandse Heuvelrug



5.13.2 H4030 Droge heiden

Tabel 5.31 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
714	2.690,42	1,54	0,97	>	>

Tabel 5.32 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	1.019,59	1.019,59	1.019,59	1.019,59	1.019,59
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H4030

Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Verzuring en vermesting in H4030

Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H4030
Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Voorkomen en kwaliteit H4030 in Sallandse Heuvelrug
De kwaliteit van de habitattype is momenteelt beoordeelt als matig, en de trend in oppervlakte is positief, echter de trend in kwaliteit is negatief (provincie Overijssel, 2017,2023). Grote delen van de heide bestaan uit oude heide (ouder dan 20 jaar). Bevindingen uit het verleden op de Sallandse Heuvelrug hebben geleerd dat door niet in te grijpen in oudere heidevegetaties die zijn aangetast door het heidehaantje, in veel gevallen een gevarieerde vegetatie ontstaat waarbij struikheide door rode bosbes wordt afgewisseld. Door niet in te grijpen en de heide in het climaxstadium te laten afsterven, is te verwachten dat de oudere heidevegetaties geleidelijk worden vervangen door jongere struiken en bosbessen, resulterend in een afwisselende structuur. De zuurgraad is relatief laag door sterke uitloging in (met name) het verleden, en de voedselrijkdom is relatief hoog door plaatselijk te hoge atmosferische stikstofdepositie. De jaarlijkse stikstofdepositie ligt boven de KDW en voldoet dus niet aan de voorwaarden, maar de prognose voor overbelasting van stikstof in 2030 is een verwachte afname tot geen of nauwelijks depositie.

Sturende factoren in H4030 in Sallandse Heuvelrug
De belangrijkste knelpunten omvatten verzuring door decennialange overmatige stikstofdepositie, wat leidt tot een onbalans in voedingsstoffen; het ontbreken van gradiënten en verbinding met voedselrijke biotopen (randzones); verdroging; en onvoldoende gevarieerde structuren, zoals weinig variatie in hoogte, weinig kale en warme plekken op de grond en weinig ruige gebieden. Bovendien draagt de kortlevende zaadbank van typische heideflora bij aan deze problemen aangezien het de opvolging, verspreiding en hergroei beperkt. De belangrijkste problemen hangen allemaal samen met een gebrek aan structuur en eutrofiëring van het habitattype. Zowel stikstofdepositie als andere knelpunten dragen hieraan bij, wat resulteert in sterke overgroei en vergrassing van het habitattype. Dit elimineert ook de bufferende werking van de bodem (provincie Overijssel, 2017). Stikstofdepositie is een significante knelpunt voor het habitattype vanwege de hoge belasting, wat leidt tot vergrassing. Hoge zuurdepositie in het verleden heeft sterke uitloging van basen en verzuring van de bodem veroorzaakt, wat nadelig is voor verschillende kenmerkende plantensoorten (provincie Overijssel, 2017, 2023).

Beoordeling H4030 in Sallandse Heuvelrug

Knelpunten
Stikstofdepositie speelt een belangrijk rol als knelpunt, maar is niet het enige knelpunt voor dit habitattype. Het belangrijkste knelpunt is eutrofiëring wat wordt versterkt door hoog stikstofdepositie en bijbehorende na-ijleffecten.

Kwaliteit en trend
Het habitattype heeft matig kwaliteit met een negatief trend qua kwaliteit en een positief trend qua oppervlakte.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,54 mol N/ha/jaar. Stikstofdepositie speelt een belangrijke rol in de kwaliteit van het habitattype, terwijl de kwaliteit matig is en de trend in de kwaliteit ook negatief is. Negatieve effecten van de extra stikstofdepositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur worden dan ook niet uitgesloten wegens vermesting.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er nog steeds sprake van een netto depositie van 0,97 mol N/ha/jaar. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit, die al matig is en waarin stikstofdepositie een belangrijke rol speelt.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is sprake van een lichte afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De emissiecurve geeft aan dat er sprake is van een sterke afname van de emissie vanuit industriecluster in de omgeving. Uit de boxplots blijkt echter dat dit maar op een klein deel van de (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een daling van de stikstof depositie. Verwacht mag echter worden dat er in het grootste deel van het Natura 2000-gebied als geheel wel degelijk sprak zal zijn van minder depositie als gevolg van de afname van de emissies,

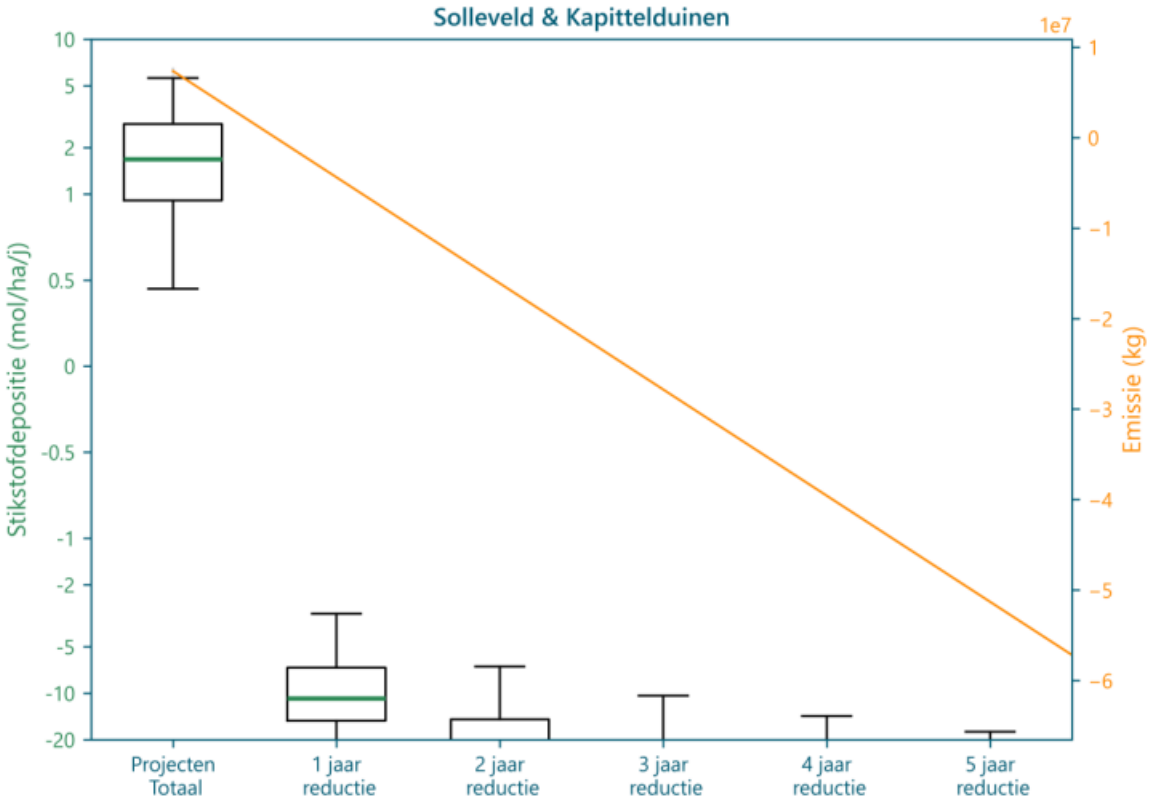
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een lichte afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel.

5.14 Solleveld & Kapittelduinen

5.14.1 Boxplots Solleveld &Kapittelduinen

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,45 mol N/ha/jaar en 5,64 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,96 tot 2,84 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 1,68 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is echter sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op alle (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is de totale netto afname van de depositie op alle (naderend) overbelaste hexagonen al meer dan 20 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.14 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Solleveld & Kapittelduinen



5.14.2 H2180C Duinbossen (binnenduinrand)

Tabel 5.33 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
1786	2.501,16	1,98	-41,24	>	=

Tabel 5.34 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	59,36	17,43	17,43	17,43	6,39
percentage		29,37	29,37	100,00	10,76

Algemene beschrijving H2180C

Zie Kennemerland-Zuid (zie paragraaf 5.6.3).

Verzuring en vermesting in H2180C

Zie Kennemerland-Zuid (zie paragraaf 5.6.3).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2180C

Zie Kennemerland-Zuid (zie paragraaf 5.6.3).

Voorkomen en kwaliteit H2180C in Solleveld & Kapittelduinen

Het habitattype Duinbossen (binnenduinrand) (H2180C) komt volgens AERIUS op 17,43 ha voor. De trend in oppervlakte is negatief. De kwaliteit van het habitattype is overwegend matig. Op sommige delen is de kwaliteit onbekend. De kwaliteit op basis van het voorkomen van typische soorten is goed, met uitzondering van de deelgebieden Hyacintenbos (slecht) en Hillduin (matig). In sommige deelgebieden is sprake van verzuring van de bodem. Hierdoor wordt niet op alle locaties aan de abiotische eisen voor dit habitattype voldaan. De structuur en functie van het habitattype is overwegend matig tot lokaal slecht. Het hoge aandeel exoten is hier verantwoordelijk voor. In zijn geheel genomen is de kwaliteit van dit habitattype matig (provincie Zuid-Holland, 2021).

Sturende factoren in H2180C in Solleveld & Kapittelduinen

Het belangrijkste knelpunt in dit habitattype is het hoge aandeel habitatvreemde soorten en exoten. In meerdere deelgebieden is het aandeel van deze ongewenste soorten te hoog. In het Staelduinse Bos is esdoorn in te hoge mate in de kruid- en struiklaag aanwezig en in de Hoekse Bosjes is zijn dennenbosjes aanwezig. Door middel van omvormingsbeheer wordt gepoogd om het aandeel exoten terug te dringen. De effecten van stikstofdepositie, verzuring en vermesting, spelen in dit habitattype geen rol (provincie Zuid-Holland, 2017).

Beoordeling H2180C in Solleveld & Kapittelduinen

Knelpunten

Stikstofdepositie is geen knelpunt in dit habitattype, maar het hoge aandeel exoten.

Kwaliteit en trend

De kwaliteit van Duinbossen (binnenduinrand) (H2180C) is matig. Dit komt voornamelijk door het hoge aandeel exoten en habitatvreemde soorten.

Stikstofbelasting

Minder dan 30 % van het habitat is (naderend) overbelast met stikstof.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,98 mol N/ha/jaar. Aangezien stikstofdepositie geen drukfactor van betekenis is, veroorzaakt een kleine en tijdelijke stikstofdepositietoename door het project geen relevante verandering in de verzuring en voedselrijkdom van het habitattype. Bovendien is minder dan 30 % van het habitattype (naderend) overbelast.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming

Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 41,24 mol N/ha/jaar. Daarnaast daalt het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen naar 10,76 %. Stikstof vormt echter niet het probleem voor dit habitattype. Een verbetering van de kwaliteit zal dan ook niet optreden bij vermindering van de depositie.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Desondanks daalt het aandeel (naderend) overbelaste hexagonen wel flink en is er ook sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied

De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

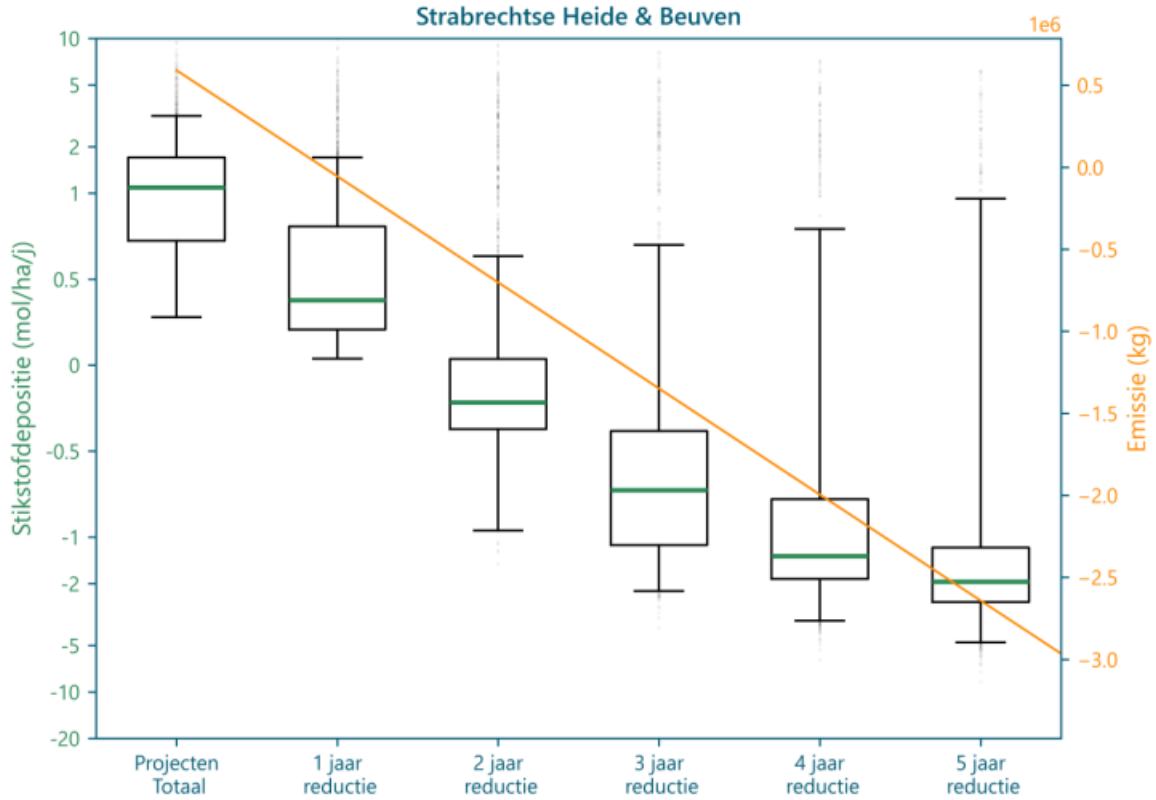
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.15 Strabrechtse Heide & Beuven

5.15.1 Boxplots Strabrechtse Heide & Beuven

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,28 mol N/ha/jaar en 3,17 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,72 tot 1,70 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 1,09 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die in vijf jaar tijd op iets meer dan 75 % van de (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg alle energie-infrastructuurprojecten samen. Op de overige (naderend) overbelaste hexagonen is er wel sprake van een netto afname van de eerdere depositie als gevolg van de aanleg van de infrastructuur, maar leidt dat niet tot volledige compensatie van de depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur.

Afbeelding 5.15 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Strabrechtse Heide & Beuven



5.15.2 H3130 Zwakgebufferde vennen

Tabel 5.35 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.739,39	7,28	3,97	>	=

Tabel 5.36 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H3130

Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Verzuring en vermesting in H3130

Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H3130

Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Voorkomen en kwaliteit H3130 in Strabrechtse Heide & Beuven

Het habitattype Zwakgebufferde vennen (H3130) in Strabrechtse Heide & Beuven komt volgens de T0-kartering op 15,61 ha voor (provincie Noord-Brabant, 2023c). Er komen drie kenmerkende vegetatietypen (Rompgemeenschap met Snavelzegge van de Klasse der hoogveenslenken, Rompgemeenschap met Veelstengelige waterbies en Veenmos van de Oeverkruid-klasse/ Klasse der hoogveenslenken en de Rompgemeenschap met Knolrus en Veenmos van de Oeverkruid-klasse/Klasse der hoogveenslenken) voor binnen het habitattype. Deze drie vegetatietypen duiden alle drie op een matige vegetatiekundige kwaliteit. Ook is het habitattype op enkele plekken gekarteerd, zonder dat hier de aanwezige vegetatietypen bekend zijn. Daarmee wordt de kwaliteit van het gehele habitattype op basis van het aspect vegetatie beoordeeld als slecht. Het habitattype is aangewezen voor 23 typische soorten waarvan er zestien zijn waargenomen in het gebied. De kwaliteit van het habitattype wordt voor het aspect typische soorten beoordeeld als matig. Wat betreft de abiotische kwaliteit van het habitattype, zijn van drie van de vijf kenmerken niet voldoende gegevens beschikbaar om en beoordeling te kunnen geven. Aan de overig twee kenmerken (zoutgehalte en overstromingstolerantie) wordt wel voldaan. De kwaliteit van het habitattype op basis van abiotiek kan niet worden beoordeeld. De kwaliteit wat betreft het aspect structuur en functie wordt beoordeeld als matig tot goed. Het habitattype voldoet namelijk aan twee van de vier kenmerken en aan de andere kenmerken wordt deels voldaan. Het habitattype is voornamelijk van matige kwaliteit aanwezig in het Natura 2000-gebied (provincie Noord-Brabant, 2023c).

Sturende factoren in H3130 in Strabrechtse Heide & Beuven

Knelpunten voor het habitattype Zwakgebufferde vennen (H3130) in Strabrechtse Heide & Beuven zijn verdroging, stikstofdepositie en dichtgroeien van vennen door veenmos (provincie Noord-Brabant, 2023c). Het eerste knelpunt verdroging wordt veroorzaakt door drainage door watergangen in het gebied. Hierdoor zakken de waterstanden in de vennen, waardoor sommige vennen jaarlijks droogvallen. In de toekomst zal dit in combinatie met klimaatverandering voor een knelpunt zorgen (provincie Noord-Brabant, 2023c). Het tweede knelpunt stikstofdepositie leidt tot verzuring en vermesting van het habitattype. Het habitattype is

gevoelig voor het overschrijden van drempelwaardes voor verzuring. Met name eutrofiering leidt tot problemen door het dichtgroeien van de vennen met riet. Het derde knelpunt is het dichtgroeien van vennen door de veenmosbegroeiing die aanwezig is langs de randen. Vennen kunnen door veenmos bedekt worden (provincie Noord-Brabant, 2023c). Huidige maatregelen ter verbetering van de kwaliteit van het habitattype richten zich op herstel van de waterkwaliteit, tegengaan van verdroging en het tegengaan van verzuring en vermesting. Toekomstige maatregelen focussen zich op het optimaliseren van het hydrologische systeem en het verminderen van nutriënteninput (provincie Noord-Brabant, 2023c).

Beoordeling H3130 in Strabrechtse Heide & Beuven

Knelpunten
De voornaamste knelpunten zijn verdroging, stikstofdepositie en dichtgroeien van vennen door veenmos.

Kwaliteit en trend
De kwaliteit van het habitattype Zwakgebufferde vennen (H3130) in Strabrechtse Heide & Beuven wordt op basis van de vier kwaliteitsaspecten voor dit habitattype als matig beschouwd. De trend in de kwaliteit is onbekend.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 7,28 mol N/ha/jaar. Deze relatief hoge eenmalige depositie kan in beperkte mate zorgen voor vermesting en verzuring in dit habitattype, met name als er ook verdroging optreedt, waardoor ook eutroof water wordt ingelaten. Het habitattype is ook gevoelig voor tipping points ten aanzien van verzuring, zeker ook omdat er ook nog sprake is van verdroging. De huidige kwaliteit is bovendien al matig. Extra depositie kan verdere verslechtering veroorzaken. Door de hoge extra depositie in combinatie de aanwezige verdroging is het risico op het overschrijden van een irreversibel tipping point groot in dit habitattype.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is nog steeds sprake van een netto depositie van 3,97 mol N/ha/jaar. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben maar draagt wel positief bij aan de daling van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is wel sprake van een afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat als geheel sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die leiden tot een duidelijke afname van de stikstofdepositie die al na drie jaar vermeden emissies leidt tot een afname van de netto depositie die op de meeste hexagonen groter is dan de depositie als gevolg van de aanleg van de infrastructuur. Op het habitattype is er door alle energie-infrastructuurprojecten samen na vijf jaar sprake van een netto afname van de depositie.

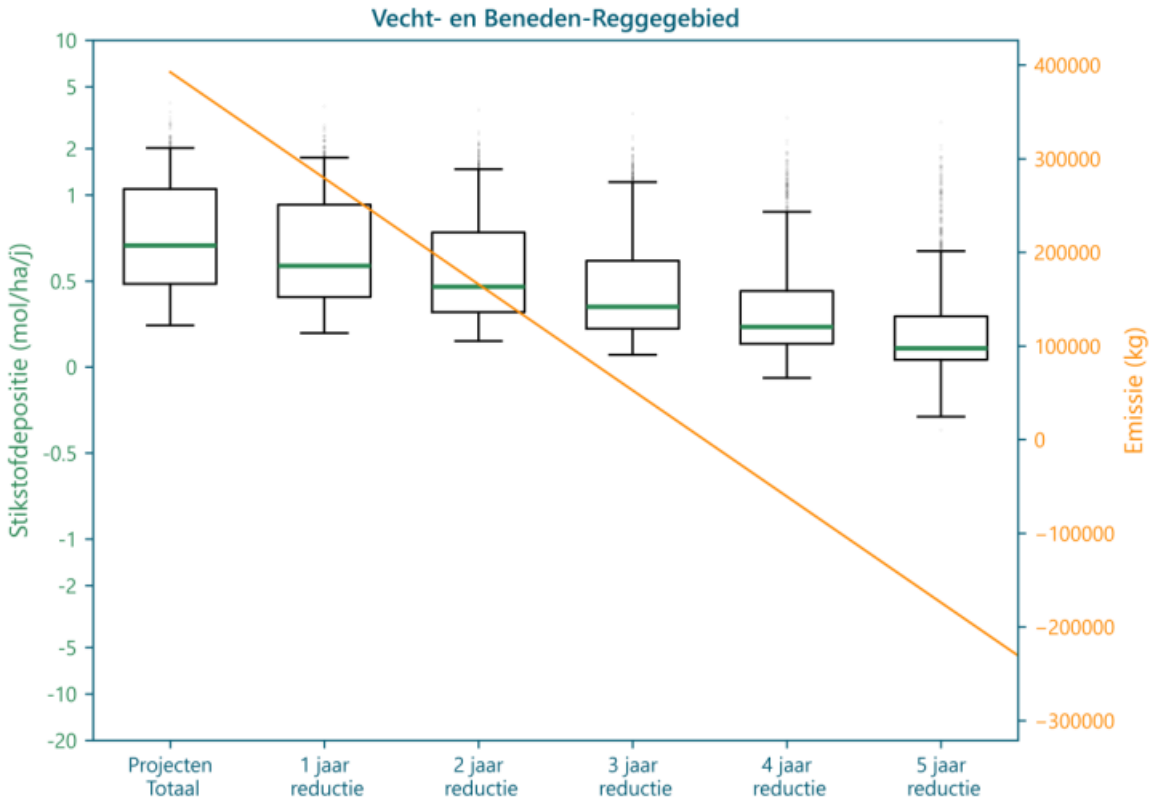
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.16 Vecht- en Beneden-Reggegebied

5.16.1 Boxplots Vecht- en Beneden-Reggegebied

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,24 mol N/ha/jaar en 1,98 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,48 tot 1,08 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,70 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake een grote afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied met als gevolg een kleine netto afname van de cumulatieve depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten. Na vijf jaar is er op het grootste deel van de (naderend) overbelaste hexagonen nog wel sprake van een netto depositie, ook al is het algemene beeld wel dat het aantal hexagonen met een afname van de netto depositie wel toeneemt, waardoor na vijf jaar 75 % van de (naderend) overbelaste hexagonen een depositie van minder dan 0,4 mol N/ha/jaar laat zien.

Afbeelding 5.16 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Vecht- en Beneden-Reggegebied



5.16.2 H4030 Droge heiden

Tabel 5.37 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
714	2.184,27	1,79	1,38	>	>

Tabel 5.38 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	245,58	245,58	245,58	245,58	245,58
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H4030
Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Verzuring en vermesting in H4030
Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H4030
Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Voorkomen en kwaliteit H4030 in Vecht- en Beneden-Reggegebied
Het grootste deel van dit habitattype ligt op de Lemelerberg. De kwaliteit van het habitattype varieert van matig tot goed. De verdeling waarin goede en matige kwaliteit voorkomt, is onbekend. Een deel van de voorkomens heeft een matige kwaliteit als gevolg van vergrassing. Door vergrassing en opslag van bomen en struiken neemt de kwaliteit van het habitattype af. Volgens de natuurdoelanalyse (2023), is ruim 100 ha bos verwijderd om dit habitattype te ondersteunen (natuurdoelanalyse, 2023a). Aanvullend maaibeheer en toepassing van steenmeel worden als overlevingsmaatregelen ingezet tegen de te hoge stikstofdepositie. Volgens prognose zal 64 % van het areaal in 2030 nog licht tot matig overbelast zijn. Ook voor dit habitattype geldt dat de genomen maatregelen onzeker zijn wat betreft instandhouding en de benodigde voldoende uitbreiding, indien de stikstofdepositie niet omlaag gaat.

Sturende factoren in H4030 in Vecht- en Beneden-Reggegebied
Knelpunten voor het habitattype zijn bebossing, opslag van bomen, grote afstand tussen heidelocaties (versnippering), stikstofdepositie en hoge zuurdepositie in het verleden. Er is in dit habitattype geen kans op het overschrijden van drempelwaardes. Kwaliteitsveranderingen zijn een geleidelijk proces. Door bebossing is de oppervlakte van H4030 afgenomen. Naast bebossing is in een deel van het voorkomen van het habitattype sprake van opslag van bomen. Stikstofdepositie vormt vanwege de hoge belasting een belangrijk knelpunt voor het habitattype en leidt tot vergrassing. Daarnaast heeft hoge zuurdepositie in het verleden geleid tot sterke uitloging van basen en verzuring van de bodem. De verzuring is nadelig voor diverse kenmerkende plantensoorten (provincie Utrecht, 2017; 2023a).

Beoordeling H4030 in Vecht- en Beneden-Reggegebied

Knelpunten
Stikstofdepositie heeft in H4030 vergrassing tot gevolg, waarmee het één van de belangrijkste knelpunten vormt voor het habitattype.

Kwaliteit en trend
Het habitattype H4030 heeft een matige tot goede kwaliteit, terwijl de trend onbekend is.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,79 mol N/ha/jaar. Vanwege het feit dat stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt voor habitattype H4030, kan de depositie op het habitattype binnen het Vecht- en Beneden-Reggegebied leiden tot veranderingen in de

omvang en kwaliteit van het habitattype. De kwaliteit van het habitattype is echter matig tot goed, mede door inzet van allerlei maatregelen, hoewel de trend onbekend is. De extra eenmalige stikstof bijdrage zal daarom niet leiden tot een verslechtering van de huidige toestand.

Het is onwaarschijnlijk dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur zal leiden tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is nog steeds sprake van een netto depositie van 1,38 mol N/ha/jaar. Het habitat is zwaar overbelast en blijft ook zwaar overbelast. De afname in depositie zal op zichzelf geen directe verbeterende effecten op kwaliteit hebben omdat stikstofdepositie ook een belangrijk knelpunt blijft in het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is wel sprake van een lichte afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De emissie grafiek laat overigens zien dat er wel sprake is van een duidelijke afname van de emissies vanuit nabijgelegen industrieclusters richting het Natura 2000-gebied met als resultaat een afname van de depositie. Die afname van de emissies biedt kansen voor herstel van stikstof gevoelige habitattypen in het hele Natura 2000-gebied en mogelijk ook voor het habitattype in het bijzonder.

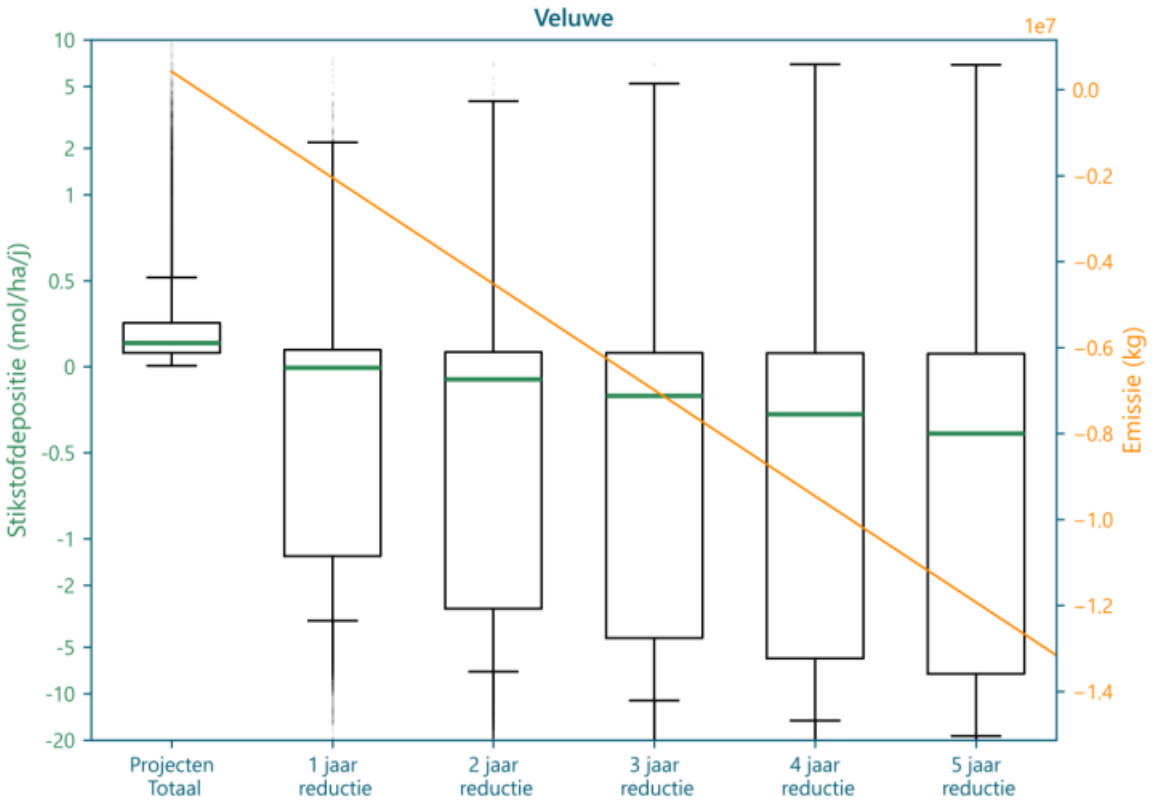
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura 2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een lichte afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel.

5.17 Veluwe

5.17.1 Boxplots Veluwe

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tot 0,01 tot 0,50 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,07 tot 0,24 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,12 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake een grote afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied met als gevolg een netto afname van de cumulatieve depositie van de energie-infrastructuurprojecten. Na vijf jaar is er op bijna 75 % van de (naderend) overbelaste hexagonen sprake van een netto afname van de depositie. Op de overige (naderend) overbelaste hexagonen is daar geen sprake van, hoewel er wel een er wel sprake is van een daling van de netto depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen.

Afbeelding 5.17 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Veluwe



5.17.2 H4030 Droge heiden

Tabel 5.39 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
714	3.348,30	3,31	1,15	>	>

Tabel 5.40 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	8.495,12	8.495,12	8.495,12	8.355,80	21,35
percentage		100,00	100,00	98,36	100,00

Algemene beschrijving H4030

Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0).

Verzuring en vermesting in H4030

Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0.

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H4030
Zie Dwingelderveld (zie paragraaf 0.

Voorkomen en kwaliteit H4030 in Veluwe
Ruim 40 % van het totale Nederlandse oppervlak aan droge heiden komt voor op de Veluwe. Heideterreinen liggen op verschillende terreinvormen met leemarm moedermateriaal. Onder andere komt droge heide voor op de hoge stuwwal, op smeltwaterglooiingen, op daluitspelings-waaiers, op lage landduinen en de daarbij horende uitgestoven laagten en in droge dalen. In Nederland komen droge heiden voor op matig droge tot droge, kalkarme zure bodems waar zich meestal een podzolprofiel in gevormd heeft. Het habitattype komt het meeste voor op, al dan niet lemige, dekzanden en op stuwwallen. In Natura 2000-gebied Veluwe liggen een aantal grote aaneengesloten heidegebieden zoals Esese & Ginkelse heide, Terletse heide, Rozendaalse veld, Rheder- & Worthrhederheide, Hoog Buurlose heide, Asselse heide, Uddelse Burtveld, Ermelose heide, Houtdorperveld, Greveld, Doornspijkse heide en Oldebroekse heide. Sinds 1995 is het oppervlak min of meer gelijk gebleven. Het huidige oppervlak is volgens AERIUS 8.495 ha. Sinds 1995 is de kwaliteit ongeveer gelijk gebleven, maar een aantal (typische) soorten staan nog steeds onder druk. In sommige deelgebieden is de kwaliteit goed en komt droge heide over grote oppervlakten voor. In andere delen is de heide arm aan structuur en fauna-elementen, waardoor de kwaliteit matig is (provincie Gelderland 2023). Herstelmaatregelen worden getroffen ten behoeve van de kwaliteit van het habitattype, waarmee verdere verslechtering is uitgesloten. Kwaliteitsverbetering zal echter vooralsnog moeizaam zijn vanwege de zeer voedselarme bodems met beperkte basenverzadiging.

Sturende factoren in H4030 in Veluwe
De belangrijkste knelpunten voor het behalen van de doelstellingen zijn stikstofdepositie, successie, versnippering en nutriëntenbeschikbaarheid. Het habitattype is niet gevoelig voor irreversibel tipping points in de toestand. Kwaliteitsverandering zijn een geleidelijk proces in H4030.

Stikstofdepositie zorgt wel voor vermesting en heeft mede gezorgd voor een verdere verzuring van de, al relatief zure, bodem van droge heiden. Hoewel dit niet hoeft te leiden tot het verdwijnen van het habitattype, kan het wel zorgen dat sommige vegetatietypes, die mede bepalend zijn voor een goede kwaliteit, verdwijnen. Een aantal typische soorten als vaatplanten en korstmossen zijn gevoelig voor verzuring en/of hoge ammonium- en aluminiumgehaltes. De effecten van stikstofdepositie werken ook door nadat er afname van stikstofdepositie heeft plaatsgevonden door nalevering van stikstof uit de bodem. Het feit dat overmatige stikstofdepositie een knelpunt vormt, betekent echter niet dat elke toename van stikstofdepositie een (significant) negatief effect heeft.

De kenmerkende vegetatietypes zijn ook afhankelijk van erg voedselarme omstandigheden. Stikstofdepositie kan leiden tot het verdwijnen van deze types en dominantie van snelgroeiende soorten als struikhei. Op korte afstand komen bossen voor, welke een bron van boomzaden zijn. Hierdoor kunnen heiden dichtgroeien tot bossen. Dit proces kan versneld worden door stikstofdepositie. Door versnippering zijn veel gebieden geïsoleerd geraakt. Hierdoor is er minder verplaatsing van organismen en soorten tussen gebieden, wat nodig is voor het opbouwen van nieuwe populaties en in stand houden van genetische diversiteit. In het verleden zijn de rijkere gebieden omgezet naar landbouwgrond en bos. Daardoor zijn de huidige heidegebieden vooral de armere varianten van het vroegere heidelandschap. Vaak is zijn in en rondom het heidegebied geen landschapselementen aanwezig met een hogere mineralenrijkdom. Ook is er weinig inwaaiend zand wat als bron van micronutriënten zou kunnen dienen. De afname van micronutriënten kan voor een deel van de fauna problematisch zijn. Verder kan beheer gebaseerd op verwijderen van biomassa ook leiden tot een fosfaattekort, wat nadelig is voor zowel flora als fauna (provincie Gelderland, 2023).

Beoordeling H4030 in Veluwe

Knelpunten
De belangrijkste knelpunten voor het behalen van de doelstellingen zijn stikstofdepositie, successie, versnippering en nutriëntenbeschikbaarheid. Het habitattype is niet gevoelig voor irreversibel tipping points in de toestand. Kwaliteitsverandering zijn een geleidelijk proces in H4030. Stikstofdepositie zorgt voor

verarming van de vegetatie en voor verdwijnen van soorten. Met de geplande maatregelen is behoud van dit habitattype geborgd, maar kwaliteitsverbetering is nog niet in zicht (provincie Gelderland, 2023).

Kwaliteit en trend
De kwaliteit van het habitattype is overwegend matig, en staat onder druk door stikstofdepositie en versnippering.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 3,31 mol N/ha/jaar. Stikstofdepositie is een belangrijk knelpunt, de huidige kwaliteit is matig en staat ook onder druk door de hoge achtergronddepositie via verzuring en vermesting en de eenmalig depositie is hoog.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is nog steeds sprake van een netto depositie van 1,15 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Er is geen sprake van een duidelijk netto afname van de depositie tijdens de aanleg van de energie-infrastructuur.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is wel sprake van een lichte afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De emissie grafiek laat verder zien dat er wel sprake is van een duidelijke afname van de emissies vanuit nabijgelegen industrieclusters richting het Natura 2000-gebied met als resultaat een afname van de depositie op het hele Natura 2000-gebied. Die afname van de depositie biedt kansen voor herstel van stikstof gevoelige habitattypen in het hele Natura 2000-gebied en het habitattype in het bijzonder.

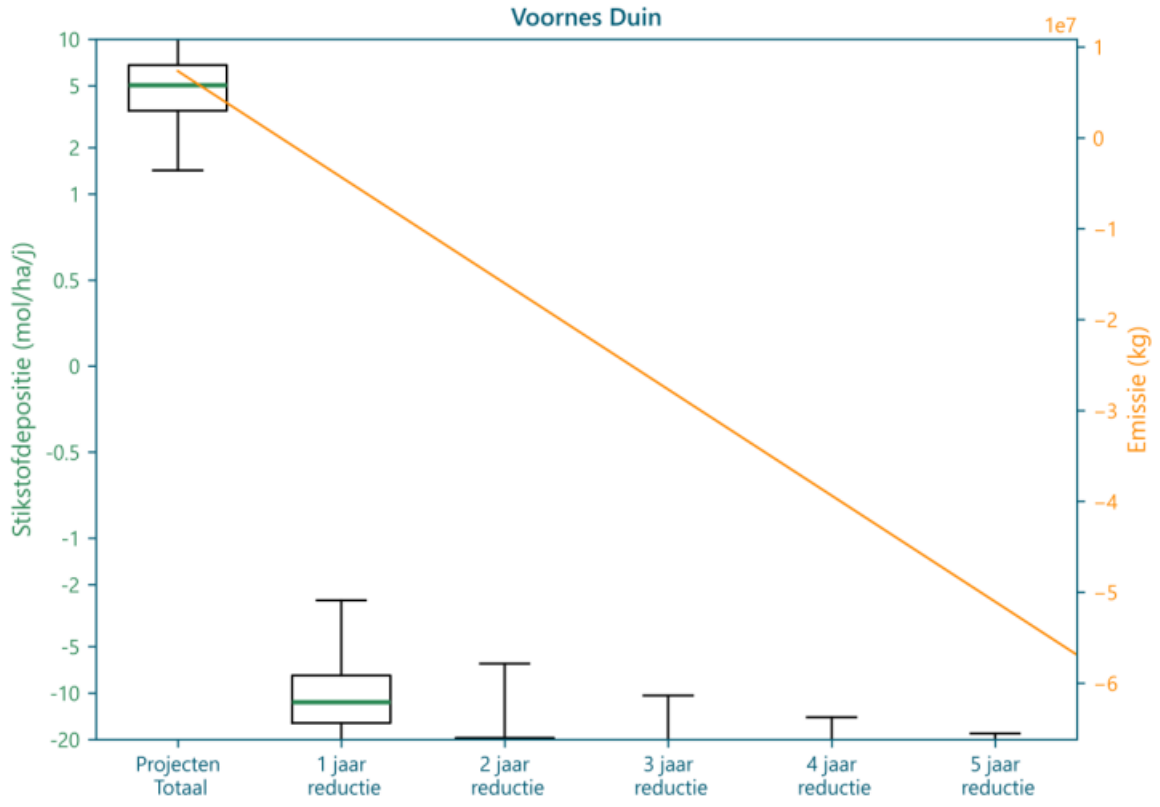
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.18 Voornes Duin

5.18.1 Boxplots Voornes Duin

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 1,42 mol N/ha/jaar en 11,83 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 3,45 tot 6,80 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 5,06 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is echter sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op alle (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is de totale netto afname van de depositie op alle (naderend) overbelaste hexagonen al meer dan 20 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.18 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Voornse Duine



5.18.2 H2130C Grijze duinen (heischraal)

Tabel 5.41 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
786	1.491,89	2,16	-46,89	>	>

Tabel 5.42 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H2130C

Zie Schiermonnikoog (zie paragraaf 5.3.2).

Verzuring en vermesting in H2130C

Zie Schiermonnikoog (zie paragraaf 5.3.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2130C

Zie Schiermonnikoog (zie paragraaf 5.3.2).

Voorkomen en kwaliteit H2130C in Voornes Duin

Het habitattype Grijze duinen (heischraal) (H2130C) wordt aangetroffen in deelgebieden Duinen van Oostvoorne, Breede Water en omliggend duingebied en Quackjeswater en omliggend duingebied. In totaal is er volgens AERIUS 1,40 ha aanwezig (volgens habitattypenkaart V4 van provincie Zuid-Holland). Dit oppervlakte is minder dan het theoretisch doelbereik (0,96 ha). De vegetatiekundige kwaliteit is grotendeels onbekend. Ca. 0,23 ha heeft een goede kwaliteit en ca. 0,06 ha heeft een matige kwaliteit. In totaal zijn er vijftien typische soorten, waarvan er elf relevant zijn voor het gebied. In de afgelopen zes jaar zijn vier typische soorten waargenomen binnen het habitattype. In twee deelgebieden wordt de kwaliteit beoordeeld als slecht en in één deelgebied is de kwaliteit matig. De kwaliteit op basis van typische soorten wordt beoordeeld als slecht. De abiotische kwaliteit van het habitattype is matig. De ontkalkingsdiepte voldoet. De gevoeligheid voor verzuring is laag, vanwege de redelijke zuurbuffercapaciteit en een hoge basenverzadiging. De hydrologische situatie is ook op orde. Slechts op één punt in het zuiden en één punt in het noorden was de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand te hoog. De voedselrijkdom in het habitattype is echter te hoog door te hoge stikstofomstandigheden. De kwaliteit op basis van overige kenmerken voor een goede structuur en functie is matig. De populatie konijnen is al jarenlang te laag. Daarnaast wordt mogelijk niet voldaan aan de aanwezigheid van stuifplekken. Aan de optimale functionele omvang van enkele has wordt ook niet voldaan, maar vermoedelijk is er een groter areaal aanwezig dan gekarteerd is (provincie Zuid-Holland, 2022). De trends voor omvang en kwaliteit van het habitattype zijn onbekend.

Sturende factoren in H2130C in Voornes Duin

Knelpunten voor het habitattype Grijze duinen (heischraal) (H2130C) zijn te weinig begrazing door konijnen, lokaal te nat en onduidelijkheid over aanwezig areaal. Het eerste knelpunt is het gebrek aan voldoende begrazing door konijnen. De populatie is al jarenlang te klein om het habitattype voldoende te begrazen en er is nog geen zicht op herstel. Er zijn pogingen gedaan om het konijn terug te brengen in het gebied, maar dit heeft nog niet het gewenste resultaat gehad. Door de afwezigheid van konijnen in het habitattype treedt er verruiging, verstruweling en vergrassing op. Het tweede knelpunt is dat het lokaal te nat is. In het noorden en zuiden van het gebied is een te hoge gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand gemeten. Daarmee wordt niet voldaan aan de hydrologische vereisten van het habitattype. Tot slot is het een knelpunt dat het onduidelijk is hoeveel areaal er in de huidige situatie aanwezig is (provincie Zuid-Holland, 2022). Stikstofdepositie vormt geen knelpunt in het habitattype in Voornes Duinen, hoewel het habitat normaliter wel gevoelig is voor tipping points. Echter, wanneer natte jaren uitblijven en er geen invloed is van gebufferd grondwater treedt er mogelijk verzuring op. Daarnaast kan stikstofdepositie een vermestend effect hebben waardoor extra vergrassing optreedt (provincie Zuid-Holland, 2016). Maatregelen die worden genomen om de kwaliteit van het habitattype te verbeteren bestaan uit het nemen van extra maatregelen indien uit nieuwe karteringen blijkt dat de opgave niet wordt gehaald. Bestaande uit onderzoek naar de mogelijkheid voor het versterken van Grijze duinen (heischraal) (H2130C) in de Heveringen in de binnenduinrand en kansen elders in de binnenduinrand, zodat daar met natuurontwikkeling meer ruimte voor Grijze duinen (heischraal) (H2130C) kan komen. Er wordt ook drukbegrazing door schapen ingezet. Tot slot is er ook een oriëntatie- en vervolgfase voor een vlakdekkende GxG kaart (provincie Zuid-Holland, 2022).

Beoordeling H2130C in Voornes Duin

Knelpunten

Voornaamste knelpunten zijn de onvoldoende begrazing door konijnen, lokaal te nat en onduidelijkheid over aanwezig areaal. Stikstofdepositie vormt geen knelpunt in het habitattype, maar wanneer natte jaren uitblijven treedt er mogelijk verzuring op.

Kwaliteit en trend

Habitattype Grijze duinen (heischraal) (H2130C) is van matige kwaliteit. De trend in de kwaliteit is onbekend.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 2,16 mol N/ha/jaar. Hoewel de huidige kwaliteit matig is en de trend onbekend, vormt stikstofdepositie geen knelpunt in het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve gevolgen voor de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een flinke netto afname van 46,89 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie echter al overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Verder is stikstofdepositie geen knelpunt in de ontwikkeling van het habitattype. Een afname van de stikstofdepositie leidt derhalve niet direct tot een verbetering van de kwaliteit. Er is wel duidelijk sprake van een afname van de ADW.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden, hoewel de ADW op het habitattype dus wel duidelijk daalt.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.18.3 H2190Aom Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen

Tabel 5.43 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
1.000	1.843,6	2,70	-38,89	=	=

Tabel 5.44 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	7,04	7,04	7,04	7,04	6,99
percentage		99,95	99,95	100,00	99,27

Algemene beschrijving H2190Aom
Het habitattype Vochtige duinvalleien is veelomvattend: het betreft open water, vochtige graslanden, lage moerasvegetaties en rietlanden. Het habitattype komt voor in (min of meer natuurlijke) laagten in de duinen. Vochtige duinvalleien kunnen van nature op twee manieren ontstaan. Primaire duinvalleien ontstaan doordat strandvlakten door duinen worden afgesnoerd van zee. Secundaire duinvalleien ontstaan in het kielzog van mobiele duinen, maar tegenwoordig alleen nog doordat stuifkuilen uitstuiven tot op het grondwaterniveau.

Daarnaast kunnen Vochtige duinvalleien worden ontwikkeld door inrichtingsmaatregelen. Mede door de grote ecologische variatie is het aantal kenmerkende soorten van het habitattype zeer groot. Binnen vochtige duinvalleien bestaat een grote variatie aan standplaatscondities, afhankelijk van ontstaansgeschiedenis, leeftijd, waterregime en kalkgehalte van de bodem of het kwelwater. Deze variatie aan standplaatscondities en gradiënten ertussen is noodzakelijk voor de instandhouding van de soortenrijkdom. Vanwege de grote variatie aan standplaatscondities, zijn de vochtige duinvalleien in een aantal subtypen opgesplitst. Waterdiepte, vegetatiestructuur en kalkgehalte zijn bepalend voor de verschillen tussen de subtypen.

Het subtype H2190A Vochtige duinvalleien (open water) en subtype H2190Aom Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen komt voor in de laagste delen van het duingebied, waar in 'gemiddelde' jaren het water tot ver in het groeiseizoen boven het maaiveld staat en die hooguit kort droogvallen in het groeiseizoen. Binnen de duinwateren bestaat grote variatie in ecologische omstandigheden, variërend van brak tot zoet, van voedselarm tot voedselrijk, en van basisch tot zuur. In de kalkrijke duingebieden zijn de grotere duinwateren van nature vrij voedselrijk als gevolg van de aanvoer van nutriënten met doorstromend grondwater, de aanvoer van organisch materiaal met oppervlakkig afstromend regenwater en door inwaai van blad. Door de geringe zuurgraad van het water wordt het aangevoerde organische materiaal redelijk snel afgebroken. Ook zijn duinmeertjes een favoriete broedplek voor kolonievogels en rustplek voor watervogels. Dit kan zorgen voor een extra aanvoer van nutriënten met mest.

Verzuring en vermesting in H2190Aom

In de vochtige duinvalleien heeft de hoge stikstofdepositie vooral geleid tot een versnelde ophoping van organische stof in en op de bodem. Wanneer de bodem te zuur wordt zullen zuur-intolerante zacht-water soorten verdwijnen. Als gevolg van vermesting gaan algen en snelgroeiende vaatplanten overheersen. Het is onbekend welke invloed toxische stoffen op het habitattype heeft. Voor het leefgebied van de VHR en/of typische diersoorten geldt dat het effect van stikstofdepositie doorwerkt in een afname voortplantingsgelegenheid door te dichte vegetatie.

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H2190Aom

Habitat 2190Aom is een zeer gevoelig type ten aanzien van verzuring en vermesting door stikstofdepositie. Er is sprake van risico's op het overschrijden van een tipping point (zie ook hierboven).

Voorkomen en kwaliteit H2190Aom in Voornse Duin

Het habitattype Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen (H2190Aom) komt voor in deelgebieden Duinen van Oostvoorne, Breede Water en omliggend duingebied, Quackjeswater en omliggend duingebied en De Punt (Zuid-Holland, 2022). In totaal komt het habitattype volgens AERIUS voor op 7 ha. Dit valt niet binnen het theoretisch doelbereik (33 ha). De vegetatiekundige kwaliteit is grotendeels onbekend en wordt daarom ook beoordeeld als onbekend. Wel is bekend dat ca. drie ha van goede kwaliteit is en ca. 1 ha van matige kwaliteit. Het habitattype kent zeven typische soorten. In de afgelopen zes jaar zijn alle zeven soorten waargenomen in het habitattype. Drie deelgebieden hebben een goede kwaliteit op basis van typische soorten. Eén gebied heeft een matige kwaliteit en één gebied heeft een slechte kwaliteit. De kwaliteit op basis van typische soorten wordt beoordeeld als matig. De abiotische kwaliteit wordt ook beoordeeld als matig. Grotendeels wordt voldaan aan de zuurgraad en voedselrijkdom in het gebied. In twee deelgebieden wordt hier echter niet aan voldaan, door guanotrofiëring. Daarnaast is de vochttoestand in het midden en zuiden te diep, de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) zit te diep. De kwaliteit op basis van overige kenmerken voor goede structuur en functie is matig. Aan de optimale functionele omvang van enkele has wordt op de meeste locaties niet voldaan (provincie Zuid-Holland 2022). De kwaliteit op basis van de vier kwaliteitsaspecten is matig. Trends voor de omvang en kwaliteit van het habitattype zijn onbekend.

Sturende factoren in H2190Aom in Voornse Duin

Knelpunten voor habitattype Vochtige duinvalleien (open water), oligo- tot mesotrofe vormen (H2190Aom) bestaan uit een ontoereikende vochttoestand, stikstofdepositie en guanotrofiëring. Het eerste knelpunt is dat de vochttoestand niet optimaal is voor dit habitattype. De vochttoestand in het midden en zuiden van het gebied is niet op orde, de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand zit te diep. Er is verminderde aanvoer van kalkrijk en ijzerrijk grondwater, hierdoor versnelt de opbouw van organische stof in de valleien. Dit wordt versterkt door het tweede knelpunt, stikstofdepositie. Een verhoogde opbouw van organische stof heeft

vrijwel altijd een verhoging van de beschikbaarheid van voedingsstoffen tot gevolg. Bij het droogvallen van de vallei mineraliseert de geaccumuleerde stof, dit stimuleert de groei van snelgroeiende planten, wat ten koste gaat van pionierssoorten. Het habitattype kent een intensief beheer, waardoor de knelpunten als gevolg van stikstofdepositie worden opgelost. Tot slot is in deelgebied Quackjeswater met omliggend duingebied de kwaliteit matig door guanotrofiëring als gevolg van vogelkolonies. De marginale bijdrage van stikstofdepositie heeft hier geen meetbaar ecologisch effect. Gezien de opgave voor watervogels in het gebied wordt hiervoor geen kwaliteitsverbetering nagestreefd. De maatregelen die genomen worden om de kwaliteit van het habitattype te verbeteren bestaan uit meer inzicht in de hydrologische situatie zodat duidelijk wordt of sprake is van verdroging in kleinere duinwateren en of hiervoor aanvullende maatregelen moeten worden genomen. Daarnaast vindt visstandsbemonstering plaats in Quackjeswater en Breede Water. In de duinen van Oostvoorne wordt ook een aanvullende schoningsronde van de poelen gedaan en exotenbeheer. In meerdere deelgebieden wordt er ook gebaggerd en geschoond (provincie Zuid-Holland 2022).

Beoordeling H2190Aom in Voornse Duin

Knelpunten
Voornaamste knelpunten zijn ontoereikende vochttoestand, stikstofdepositie en guanotrofiëring. De hoge stikstofdepositie draagt vooral bij aan de slechte kwaliteit door eutrofiering en niet zozeer door verzuring.

Kwaliteit en trend
Het habitattype Vochtige duinvalleien (open water), oglio- tot mesotrofe vormen (H2190Aom) is van matige kwaliteit. Het habitattype voldoet aan de eisen voor de zuurgraad en de voedselrijkdom. De trend in de kwaliteit is onbekend.

Stikstofbelasting
99,95 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 2,70 mol N/ha/jaar. De slechte vochttoestand in het habitat is het belangrijkste knelpunt en leidt er mede toe dat hoge deposities tot schade leiden via eutrofiering, waaraan de stikstofdepositie een relatief kleine bijdrage aan levert. De zuurgraad en de voedselrijdom van de bodem is echter op orde, waardoor effecten via verzuring niet verwacht worden.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur niet leidt tot aantoonbare negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 38,89 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie wel al overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. Stikstof vormt een belangrijk knelpunt in het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen, waardoor een sterke afname van de depositie kan leiden tot een verbetering van de toestand zal leiden.

Een verbetering van de kwaliteit van het habitat door de afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming zal welswaar niet waarneembaar zijn maar de afname van de netto depositie biedt wel kansen voor herstel. Er is sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder

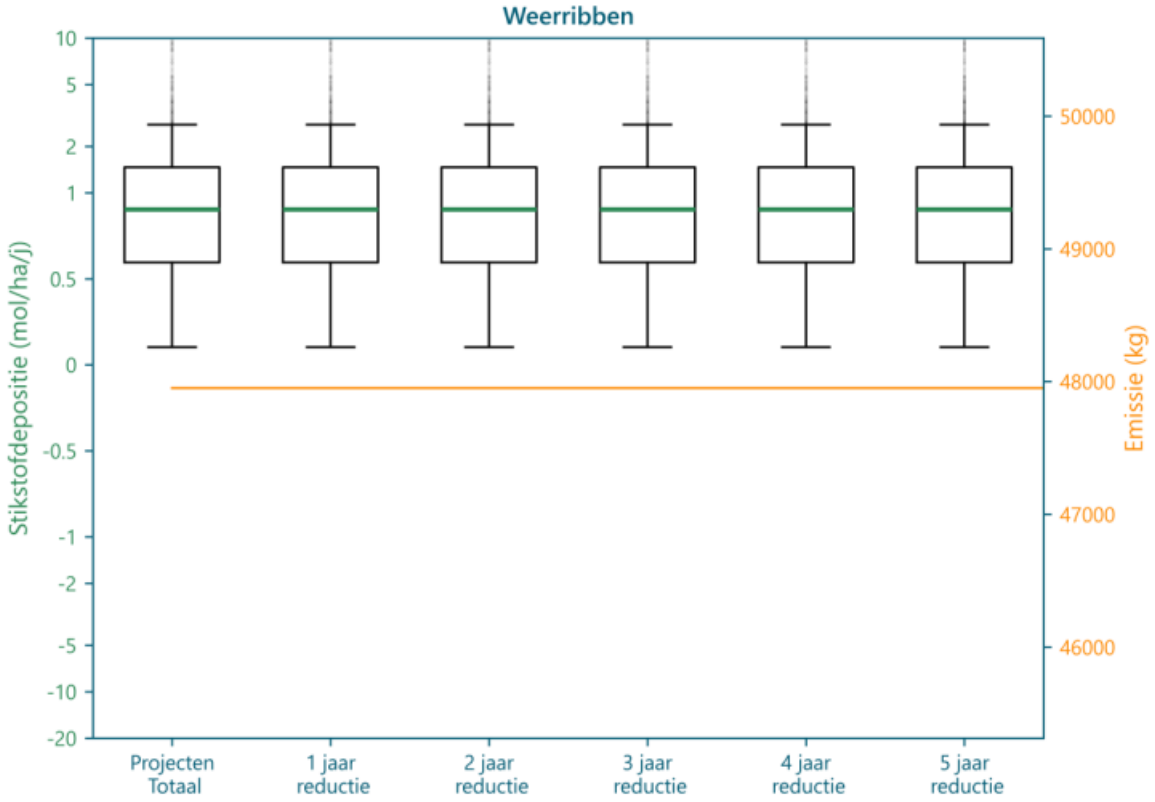
sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.19 Weerribben

5.19.1 Boxplots Weerribben

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,10 mol N/ha/jaar en 2,76 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,60 tot 1,46 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,90 mol N/ha/jaar. Er vindt echter geen afname van emissies plaats door de verduurzaming, dus er is alleen sprake van deze eenmalige depositie op het Natura 2000-gebied als geheel tijdens de aanleg van de infrastructuur. AERIUS berekent ook geen afname van de netto depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen.

Afbeelding 5.19 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Weerribben



5.19.2 H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)

Tabel 5.45 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.770,18	5,44	5,44	=	=

Tabel 5.46 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	278,40	278,40	278,40	278,40	278,40
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7140B
Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Verzuring en vermesting in H7140B
Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7140B
Zie Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske (zie paragraaf 5.5.2).

Voorkomen en kwaliteit H7140B in Weerribben
H7140B in Weerribben heeft een doelstelling voor behoud van de oppervlakte en in kwaliteit. Veenmosrietland komt wijdverspreid voor in de Weerribben. Echter, de goed ontwikkelde vormen (met veenmosorchis) zijn zeer zeldzaam. Volgens de concept-habitattypenkaart bedraagt het areaal veenmosrietland in de Weerribben 278,4 ha, wat een kleine toename is sinds 2017 (277,9 ha). De trend in oppervlakte en kwaliteit is niet duidelijk, waardoor een negatieve trend niet kan worden uitgesloten. Dus de laatste gebiedsanalyse en natuurdoelanalyses werkt daarom met een negatieve trend als een 'worst-case scenario'-strategie, zowel voor kwaliteit als voor oppervlaktegrootte (provincie Overijssel 2017a, 2023a).

Sturende factoren in H7140B in Weerribben
H7140B in Weerribben is zeer gevoelig voor een overmaat aan stikstof. Het habitattype is ook gevoelig voor overschrijding van drempelwaarden waardoor er een irreversibele omslag kan plaatsvinden in de toestand van het habitat. Dit leidt tot aanzienlijke bedreigingen voor de ontwikkeling en het behoud van veenmosrietlanden. Verzuring en vermesting door stikstofdepositie zorgen voor de ophoping van stikstof, die de zuurtegraad van de grond verhoogt en nadelige effecten heeft op de biodiversiteit en de groei van planten in veenmosrietlanden. Verdroging en verzuring door voortgaande verlanding en afnemende invloed van oppervlaktewater, waarbij watergebieden veranderen in land en de toevoer van oppervlaktewater vermindert, kunnen de leefomgeving voor veenmos negatief beïnvloeden. Verbossing en verruiging door onvoldoende beheer ontstaan door gebrek aan adequaat beheer, dat kan resulteren in de overname van bomen en struiken in veenmosrietlanden en de dominantie van ongewenste plantensoorten. Daarnaast leidt het schrapen van rietlanden tot verlies van natuurlijke habitat en verstoring van het ecosysteem. Het is cruciaal dat deze factoren zorgvuldig worden beheerd en gemonitord om de gezondheid en het voortbestaan van veenmosrietlanden in de Weerribben te waarborgen.

Beoordeling H7140B in Weerribben

Knelpunten
Overmatige stikstofdepositie kan tot vermesting leiden, wat nadelig is voor de instandhoudingsdoelstellingen. Verzuring als gevolg van stikstofdepositie is een significant knelpunt voor dit habitattype. Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) zijn een nat natuurtype dat bestaat uit verschillende vegetatietypen met uiteenlopende gevoeligheid voor stikstof. Stikstofniveaus boven de KDW belemmeren het herstel van flora en fauna, die meer tijd nodig zullen hebben en afhankelijk zijn van de kolonisatiecapaciteit vanuit omliggende gebieden. Het habitattype is ook gevoelig voor het overschrijden van tipping points.

Kwaliteit en trend
De huidige kwaliteit is slecht en de trend is onduidelijk.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 5,44 mol N/ha/jaar. De kritische depositiewaarde (KDW) voor H7140B Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden) wordt zwaar overschreden. Stikstofdepositie zal de kwaliteit van het habitat in de komende jaren blijven beïnvloeden. Omdat stikstofdepositie het belangrijkste knelpunt is en de huidige kwaliteit van het habitattype slecht en de depositie tijdens de aanleg hoog is, worden effecten via verzuring en vermesting niet uitgesloten.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Er vindt geen afname van de depositie plaats onder invloed van de verduurzaming.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is geen sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De emissie van de industrie neemt niet af door alle energie-infrastructuurprojecten samen. De boxplots laten ook zien dat er ook geen sprake is van afname van de netto depositie van alle energie-infrastructuurprojecten samen.

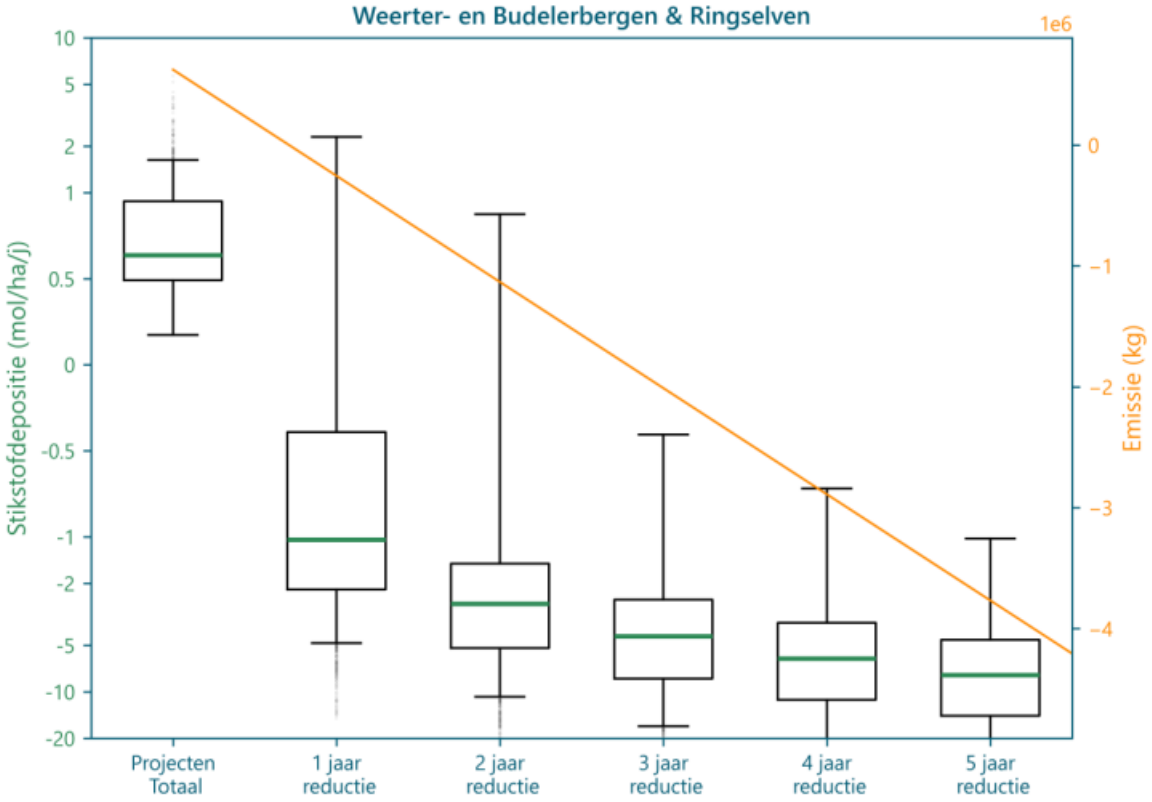
De boxplots laten geen afname van de emissies zien en er is dus ook geen sprake van verbeterde condities door de verduurzaming op het Natura 2000-gebied als geheel. Er is geen sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied.

5.20 Weerter- en Budelerbergen & Ringselven

5.20.1 Boxplots Weerter- en Budelerbergen &Ringselven

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,17 mol N/ha/jaar en 1,64 mol N/ha/jaar. Door de aanleg vindt op 50 % van alle (naderend) overbelaste hexagonen een depositie plaats van 0,49 tot 0,95 mol N/ha/jaar. De mediane waarde bedraagt 0,64 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die al na een jaar op meer dan 75 % van de (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg van alle energie-infrastructuurprojecten samen. Na vijf jaar is de totale netto afname van de depositie op het hele alle (naderend) overbelaste hexagonen in het Natura 2000-gebied meer dan 1 mol N/ha/jaar.

Afbeelding 5.20 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Weerter- en Budelerbergen & Ringselven



5.20.2 H3130 Zwakgebufferde vennen

Tabel 5.47 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	2.059,88	1,42	-1,40	>	>

Tabel 5.48 Overzicht gekarteerde en (naderend) overbelaste oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	38,30	38,30	38,30	38,30	38,30
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H3130

Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Verzuring en vermesting in H3130

Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H3130
Zie Brabantse Wal (zie paragraaf 5.1.2).

Voorkomen en kwaliteit H3130 in Weerter- en Budelerbergen & Ringselven
Het habitattype Zwakgebufferde vennen (H3130) komt op 38,3 ha voor. Binnen het deelgebied Weerterbos bevindt zich het grootste aantal zwakgebufferde vennen over een oppervlakte van 37,6 ha. In het deelgebied Kruispeel, Laurabossen en Ringselven zijn enkele kleine vennen aanwezig met een gezamenlijk oppervlakte van 0,7 ha. Het habitattype is van betere kwaliteit in deelgebied Weerterbos dan in Kruispeel, Laurabossen en Ringselven. In Kruispeel, Laurabossen en Ringselven zijn de vennen te klein en komt te weinig karakteristieke fauna voor. Wel zijn de functie en structuur in het deelgebied voldoende. In deelgebied Weerterbos voldoen de oppervlakte en ligging aan de criteria. Ook is het grootste deel van de criteria voor structuur en functie voldoende of goed. Wel is er teveel eutrofiering, watercrassula en stikstofdepositie in het deelgebied. Enkele vennen zijn uitstekend ontwikkeld wat betreft de kwaliteit van typische soorten, maar andere vennen zijn minder goed ontwikkeld. De kwaliteit van het habitattype in het gehele Natura 2000-gebied is matig ongunstig (provincie Limburg 2023).

Sturende factoren in H3130 in Weerter- en Budelerbergen & Ringselven
Knelpunten voor het habitattype Zwakgebufferde vennen (H3130) in Weerter- en Budelerbergen & Ringselven zijn stikstofdepositie, verdroging, waterkwaliteit, verontreiniging van de bodem, isolatie en beheer. Verzuring en vermesting door stikstofdepositie leidt tot verandering van de venvegetaties, versnelde successie en soortenverarming (provincie Limburg, 2023). Het habitattype is zeer gevoelig voor het overschrijden van bepaalde drempelwaarden die tot irreversibele veranderingen in de toestand kunnen leiden.

Het tweede knelpunt verdroging wordt veroorzaakt door ontwatering via sloten en greppels. Hierdoor staan vennen vaker en langer droog en wordt er te beperkt gebufferd (grond)water aangevoerd. Langdurige droogval leidt tot het dichtgroeien van de oeverzone waardoor karakteristieke vensoorten niet meer kiemen. Het derde knelpunt waterkwaliteit ontstaat door terugstroming of overstroming van water uit beken. Het water is te voedselrijk en belast met verontreinigd slib. De waterkwaliteit van de vennen in het Weerterbos voldoet op basis van het merendeel van de metingen wel aan de voorwaarden voor het habitattype (provincie Limburg, 2023).

Het vierde knelpunt, verontreiniging van de bodem treedt op bij de vennen in Kruispeel, waar zware metalen in de bodem zitten. Deze metalen vertragen de afbraakprocessen in het slib. Het vijfde knelpunt, isolatie bemoeilijkt het (her)koloniseren van bestaande vennen. Hierdoor is het risico op dichtgroeien en verdwijnen van de vennen er groot. Het laatste knelpunt is beheer en dit knelpunt hangt samen met het aanpakken van de eerder genoemde knelpunten. Herstelbeheer is noodzakelijk, maar opschoning van het gehele ven leidt tot vernietiging van de macrofauna in de vennen, waardoor de kwaliteit achteruitgaat (provincie Limburg, 2023).

Maatregelen ter verbetering van de kwaliteit van het habitattype richten zich op hydrologisch herstel, afkoppeling van eutroof water en het tegengaan van het opwoelen van de slibloog. Als de stikstofdepositie daalt is er voldoende potentie in het gebied voor een gunstige staat van instandhouding van het habitattype (provincie Limburg, 2023).

Beoordeling H3130 in Weerter- en Budelerbergen & Ringselven

Knelpunten
De voornaamste knelpunten voor het habitattype zijn stikstofdepositie, verdroging, waterkwaliteit, verontreiniging van de bodem, isolatie en beheer. Het habitattype is gevoelig voor tipping points onder invloed van verzuring. Met name de verdroging versterkt dat.

Kwaliteit en trend
De kwaliteit van het habitattype Zwakgebufferde vennen (H3130) is matig ongunstig en de trend is onbekend. Het grootste deel van de criteria voor structuur en functie voldoende of goed.

Stikstofbelasting
100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur
De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 1,42 mol N/ha/jaar. De kwaliteit is matig en stikstofdepositie vormt een belangrijk knelpunt in het bereiken van de kwaliteit van dit habitattype. Verdroging versterkt dat nog. Er is ook sprake van een gevoelig habitattype voor het overschrijden van tipping points.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming
Na verduurzaming is er sprake van een netto afname van 1,40 mol N/ha/jaar. Het habitat is in de huidige situatie wel al overbelast en blijft ook na verduurzaming nog zwaar overbelast. De afname van de depositie is structureel maar wel gering. Bovendien zijn de criteria voor structuur en functie overwegend op orde. Omdat stikstofdepositie wel een knelpunt is voor het behalen van de kwaliteitsdoelstellingen biedt een verlaging van de depositie wel kansen voor verbetering van de kwaliteit.

Een verbetering van de kwaliteit van het habitat door de afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming zal welswaar niet waarneembaar zijn maar de afname van de netto depositie biedt wel kansen voor herstel. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het habitattype.

Conclusies hele Natura 2000-gebied
De boxplots laten verder zien dat er duidelijk sprake is van een grote afname van de emissies vanuit energieclusters in de omgeving en dat die al na een jaar verduurzaming leiden tot een duidelijke netto afname van de depositie op het Natura 2000-gebied als geheel.

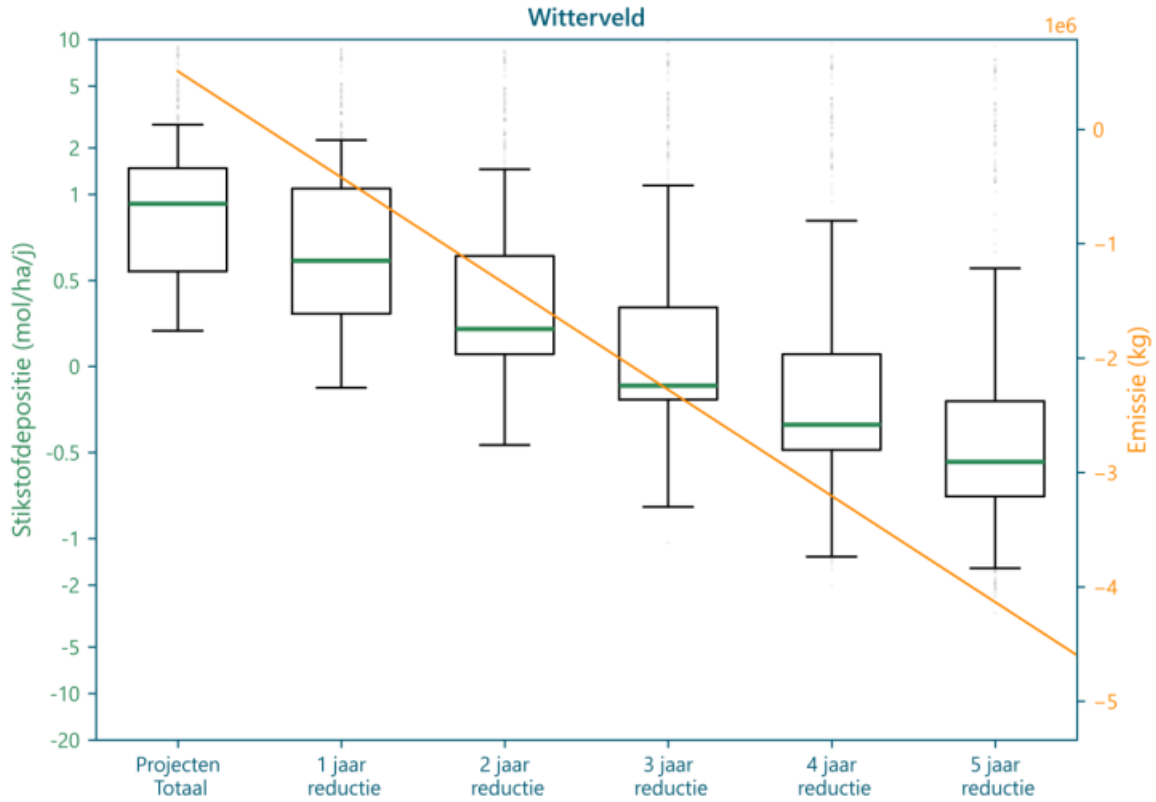
Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

5.21 Witterveld

5.21.1 Boxplots Witterveld

Door de aanleg van de infrastructuur is er op het Natura 2000-gebied als geheel sprake van depositie tussen 0,21 mol N/ha/jaar en 2,87 mol N/ha/jaar. Op 50 % van de overbelaste hexagonen komt 0,55 tot 1,48 mol N/ha/jaar/jaar stikstof neer. De mediane waarde bedraagt 0,95 mol N/ha/jaar. Onder invloed van de beoogde verduurzaming is sprake van een sterke afname van de emissie vanuit de nabijgelegen energieclusters richting het Natura 2000-gebied, die in vijf jaar tijd op iets meer dan 75 % van de (naderend) overbelaste hexagonen leidt tot een netto afname van de depositie als gevolg alle energie-infrastructuurprojecten samen. Op de overige hexagonen is er ook sprake van een netto daling, maar niet voldoende om de depositie van de aanleg van de infrastructuur te compenseren.

Afbeelding 5.21 Boxplots deposities en emissies Natura 2000-gebied Witterveld



5.21.2 H7120ah Herstellende hoogvenen, actief hoogveen

Tabel 5.49 Overzicht deposities instandhoudingsdoelstellingen (IHD)

KDW	ADW (mol N/ha/jaar)	Depositie aanleg infrastructuur	Netto depositie na verduurzaming	IHD kwaliteit	IHD oppervlak
500	1.809,24	18,85	16,86	>	=(<)

Tabel 5.50 Overzicht relevante oppervlakken

	Gekarteerd	(Naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na aanleg	Project bijdrage op (naderend) overbelast	(Naderend) overbelast na verduurzaming
oppervlak (ha)	278,77	278,77	278,77	278,77	278,77
percentage		100,00	100,00	100,00	100,00

Algemene beschrijving H7120ah

Zie Deurnsche Peel & Mariapeel (zie paragraaf 5.2.3).

Verzuring en vermesting in H7120ah

Zie Deurnsche Peel & Mariapeel (zie paragraaf 5.2.3).

Gevoelig ten aanzien van drempelwaarden in H7120ah

Zie Deurnsche Peel & Mariapeel (zie paragraaf 5.2.3).

Voorkomen en kwaliteit H7120ah in Witterveld

H7120 in Witterveld heeft een doelstelling voor behoud, of in sommige gevallen een afname, van de oppervlakte, het doel voor de kwaliteit is een verbetering. De afname in oppervlakte is toegestaan ten gunste van het habitattype Actieve Hoogvenen (H7110A). Het habitattype heeft momenteel een kwaliteit die varieert van goed tot matig, maar de trend in de kwaliteit is onbekend.

Het habitattype H7120 is het meest voorkomende habitattype in het Witterveld. Volgens de habitattypenkaart uit 2010 (Janssen & Bijlsma, 2011) heeft het een oppervlakte van 167 ha. In het beheerplan is vermeld dat het habitattype een oppervlakte van 279 ha beslaat. Op de kaart van 2013 zijn grote delen, met name in het noordoosten van het gebied, gerekend tot het habitattype, die op de habitattypenkaart van 2010 tot andere habitattypen waren toebedeeld (H4010A en H4030). Het is onduidelijk waarop deze toebedeling is gebaseerd. Er is geen recente habitattypekaart beschikbaar, waardoor de huidige oppervlakte en trend onbekend zijn (Arcadis, 2023a).

Sturende factoren in H7120ah in Witterveld

Vergrassing met pijpenstrootje is een van de belangrijkste knelpunten voor H7120 in Witterveld. Pijpenstrootje kan zich sterk uitbreiden in gebieden die te veel stikstof ontvangen, wat kan leiden tot vergrassing van het landschap. Deze soort neemt een groot deel van de voedingstoffen op, wat een negatief effect heeft op andere planten die minder competitief zijn. Voor herstellend hoogveen is een specifieke vochttoestand essentieel. Echter, deze vochtigheid is niet overal voldoende aanwezig. Een te hoge voedingstofbeschikbaarheid, vooral door stikstofdepositie leidt tot vermesting. Dit zorgt ervoor dat de voedselarme omstandigheden die essentieel zijn voor hoogveen niet behouden blijven, waardoor de vegetatie verandert en de typische flora- en faunasoorten van herstellende hoogvenen kunnen verdwijnen.

De KDW voor H7120 Herstellend hoogveen is vastgesteld op 500 mol (7 kg) N/ha/jaar. Als gevolg van te hoge stikstofdepositie kan in herstellende hoogvenen vermesting optreden, wat nadelig zal zijn voor het halen van de instandhoudingsdoelstelling. Verzuring als gevolg van verhoogde stikstofdepositie wordt voor herstellende hoogvenen van minder groot belang geacht omdat in dit habitattype vrijwel uitsluitend de zure onderdelen van hoogveenlandschappen aanwezig zijn.

Beoordeling H7120ah in Witterveld

Knelpunten

Overmatige stikstofdepositie kan tot vermesting leiden in herstellende hoogvenen, wat nadelig is voor de instandhoudingsdoelstellingen. Verzuring als gevolg van stikstofdepositie is minder significant voor dit habitattype omdat het voornamelijk de zure onderdelen van hoogveenlandschappen omvat.

Kwaliteit en trend

De kwaliteit van het habitat wordt als goed tot matig omschreven, terwijl de trend onbekend is. Volgens huidige modellen wordt verwacht dat de stikstofdepositie tegen 2030 zal afnemen. Volgens de responscurve voor H7120 zou dit resulteren in een gemiddelde afname van de aanwezigheid van kwalificerende soorten met ongeveer 20 % op het huidige niveau en 13 % in 2030 (provincie Drenthe, 2017a; Arcadis 2023a).

Stikstofbelasting

100 % van het habitattype is (naderend) overbelast.

Conclusie depositie aanleg energie-infrastructuur

De hoogste eenmalige depositie op het habitat door de aanleg van de infrastructuur bedraagt 18,85 mol N/ha/jaar. De stikstofniveaus zijn momenteel te hoog voor herstellende hoogvenen om middellange termijn KDW-waarden te bereiken. Hydrologische maatregelen in Witterveld verbeteren de kwaliteit van het habitat en faciliteren de geleidelijke ontwikkeling van H7110 Actieve hoogvenen. Stikstofdepositie zal de kwaliteit van het habitat in de komende jaren blijven beïnvloeden. De hoge eenmalige depositie zal daaraan bijdragen op negatieve manier, met name via vermesting en in minder mate door verzuring.

Geconcludeerd wordt derhalve dat de eenmalige depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur kan leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van het habitattype.

Conclusie netto depositie na vijf jaar verduurzaming

Na verduurzaming bedraagt de netto depositie nog altijd 16,86 mol N/ha/jaar. Een dergelijke hoge depositie, gecombineerd met de gevoeligheid voor stikstof, zal een negatief effect hebben op de doelstellingen voor het habitattype, evenals op de doelstelling om de overgang naar actieve hoogvenen te faciliteren.

Een verbetering van de kwaliteit als gevolg van de verminderde stikstofdepositie na verduurzaming zal dan ook niet optreden. Er is wel sprake van een afname van de ADW op het habitattype als gevolg van de verduurzaming.

Conclusies hele Natura 2000-gebied

laat de grafiek met emissies zien dat er wel sprake is van een duidelijke daling van de emissie door nabijgelegen industrieclusters. Deze leiden op het Natura 2000-gebied als geheel wel tot een netto afname van de depositie op het grootste deel van de (naderend) overbelaste hexagonen. Dit biedt op termijn mogelijkheden voor verbetering van de ecologische toestand van het Natura 2000-gebied als geheel en H7120ah in het bijzonder.

Dit biedt mogelijk kansen tot een verbetering van de toestand van habitattypen in het Natura 2000-gebied waar stikstofdepositie een belangrijk knelpunt vormt, als alle knelpunten worden opgelost. Er is verder sprake van een afname van de ADW op het Natura 2000-gebied als geheel als gevolg van de verduurzaming.

6

CONCLUSIES

Conclusies aanleg van de energie-infrastructuur

Er is bewust uitgegaan van een zeer worst case benadering waarin alle depositie in één keer in het eerste jaar van aanleg van de energie-infrastructuur optreedt en waarin alle reducties geheel in het laatste jaar (in één jaar) plaatsvinden. Ook is alle verwachte depositiereductie in de 'stikstof deken' (dus op meer dan 25 km van het emissiepunt) buiten beschouwing gelaten. Deze worst case berekening is daarmee een belangrijk hulpmiddel bij het ecologisch objectief beoordelen van OSES. De conclusies die volgen uit deze aanpak zijn dan ook robuust.

In onderstaande tabel zijn alle bevindingen en de beoordelingen samengevat. Als wordt uitgegaan van de gehanteerde worst case methode, kunnen in 13 van de 25 gevallen negatieve effecten van de **aanleg van de energie-infrastructuur** op de kwaliteit van het habitattype niet worden uitgesloten. Dat komt in veel gevallen omdat stikstofdepositie een belangrijk knelpunt is en/of omdat verdroging een belangrijk knelpunt is waardoor stikstofdepositie kan leiden tot verslechtering. In acht van die dertien gevallen is er ook een kans op het overschrijden van tipping points onder invloed van verzuring door de stikstofdepositie en vaak ook verdroging.

Gelet op het feit dat er in de praktijk meer reductie optreedt dan is berekend in OSES3.0, dat de aanleg van de energie-infrastructuur verspreid over elf jaar plaatsvindt, dat bij de beoordeling enkel is uitgegaan van hexagonen met de maximale depositie en bijvoorbeeld een gemiddelde depositie over een habitattypen of de mediane depositie niet zijn betrokken, en dat positieve effecten van de verduurzaming al langzaam maar zeker zullen beginnen op te treden vóór het berekende moment, zal de werkelijke depositie wezenlijk lager zijn dan waar nu vanuit is gegaan. Daardoor is de kans dat tipping points daadwerkelijk optreden door OSES klein.

Zoals in hoofdstuk 2 van het hoofdrapport is aangegeven, kan een geringe, tijdelijke bijdrage in theorie het bereiken van een tipping point wel versnellen. Zolang dat niet kan worden uitgesloten, wordt de kans op het overschrijden van een tipping point dan ook beoordeeld als een negatief effect. In de praktijk is het bereiken van een tipping point echter vrijwel nooit te herleiden tot een geringe, tijdelijke bijdrage, treedt een tipping point alleen lokaal op, en zou het tipping point ook zonder de bijdrage bereikt worden als gevolg van langdurige overbelasting door stikstofdepositie. Een tipping point wordt nooit gelijktijdig op grote oppervlakten bereikt, omdat het bereiken ervan ondanks dat 'punt' anders doet vermoeden, een geleidelijk proces is dat door lokale processen wordt gestuurd. Vanwege de natuurlijke ruimtelijke variatie in abiotische omstandigheden binnen een gebied kan een geringe, tijdelijke stikstofdepositietoename dus hooguit bijdragen aan het lokaal (in termen van enkele m^2) bereiken van een tipping point. Daarnaast is de achtergronddepositie vele malen bepalender in het al dan niet bereiken van een tipping point. Voor het vervolg van de studie wordt dan ook aangeraden om de spreiding van de depositie over de habitattypen inzichtelijk te maken door het berekenen van de mediaan van de depositiewaarden binnen de habitattypen.

In de overige 12 van de 25 onderzochte habitattypen is er dus geen sprake van negatieve effecten van de aanleg van de energie-infrastructuur, omdat stikstofdepositie noch de waterhuishouding knelpunten van doorslaggevende betekenis zijn voor het bereiken van een goede kwaliteit. Voor deze habitattypen geldt dat er geen significant negatieve gevolgen worden verwacht. Dat betekent echter niet dat dit dan voor het hele Natura 2000-gebied, waar deze habitattypen zijn beoordeeld, ook geldt. Zo kan men bijvoorbeeld zien dat

voor de stikstofdepositie in de Deurnsche Peel & Mariapeel voor H7110A geen effecten verwacht worden, maar wel voor H7120ah in hetzelfde Natura 2000-gebied.

De conclusies zijn gebaseerd op het uitgangspunt dat alle deposities van de aanleg van de energie-infrastructuur zullen plaatsvinden in het eerste jaar. Dit uitgangspunt is gehanteerd om te voorkomen dat een verschuiving in de planning van de realisatie van een of meerdere projecten ertoe leidt dat de conclusies van dit onderzoek onder druk staan. Het is nu namelijk niet op voorhand is aan te geven wanneer de aanleg zal plaatsvinden. Daarmee is het een worst case benadering met als doel om dit onderzoek robuuster te maken.

De aanleg zelf zal daadwerkelijk plaatsvinden gedurende een periode van elf jaar. Dat betekent dat de hoogste maximale depositie, die in de analyse is beschouwd (18,85 mol N/ha/jaar in Witterveld), in het meest gunstige geval verspreid over elf jaar een depositie van 1,71 mol N/ha/jaar zal veroorzaken (uitgaande van egale spreiding van de depositie over die elf jaar). Een depositie van ca. 3 mol N/ha/jaar verspreid over elf jaar levert dan een depositie van 0,27 mol N/ha/jaar, maar dan gedurende elf jaar achtereen, waarbij tegelijkertijd ook een afname van de depositie door de verduurzaming zal optreden. Het is echter aannemelijk dat het zwaartepunt van aanleg van de werkzaamheden in een bepaalde fase van die elf jaar plaatsvindt en dat egaal spreiden van de depositie over elf jaar een te rooskleurig beeld geeft van de effecten.

Daarnaast wordt bij deze berekening uitgegaan van het hexagoon met de hoogste depositie en is geen rekening gehouden met bijvoorbeeld de mediane depositie. Ook dat is een worst case benadering, omdat de hoogste deposities meestal ver boven de mediane deposities liggen en zelfs buiten de 95 % enveloppe van de berekende deposities. Dus in de praktijk zullen de deposities over het algemeen veel lager liggen dan die van de beoordeelde maximale deposities. Spreiding van de mediane deposities over elf jaar levert uiteraard nog een gunstiger beeld op, hoewel dus wel te rooskleurig. Gebruik van de veel lagere mediane waarden bij de effectbeoordeling verlaagt de kans op het optreden van negatieve effecten waarschijnlijk enorm. Gebruik van de mediane data is ook realistischer dan de spreiding over meerdere jaren.

Geconcludeerd kan dan ook worden dat de egale spreiding van de deposities over meerdere jaren een minder robuuste best case benadering levert dan wanneer de mediaan wordt gebruik bij een best case benadering. Het betrekken van de mediane deposities zal wel een veel gunstiger beeld kunnen opleveren dan het gebruik van enkel de maximale deposities. Dit zou in fase 3 verder moeten worden onderzocht.

Conclusie verduurzaming

In slechts drie gevallen biedt de **verduurzaming** mogelijk concrete kansen voor herstel van de kwaliteit van de habitattypen, omdat in deze gevallen stikstofdepositie een knelpunt vormt en er sprake is van een netto afname van de depositie na verduurzaming. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat het om afnames van de achtergrond depositie gaat van minder dan 1 mol N/ha/jaar (in Weerter- en Buddelerbergen & Ringselven en in Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen) tot enkele mol N/ha/jaar (in Voornes Duinen). Dat is dus een zeer beperkte afname ten opzichte van de hoge achtergrondbelasting die leidt tot een overbelasting van meer dan 1.000 mol N/ha/jaar. Voor een daadwerkelijk groot herstel zijn dus meer maatregelen nodig om te komen tot een verbetering van de kwaliteit van overbelaste stikstofgevoelige habitattype.

In veel andere gevallen is stikstofdepositie geen (hoofdzakelijk) knelpunt, waardoor een afname van de stikstofdepositie niet leidt tot verbetering van de situatie. Ook is er een belangrijke categorie habitattypen waar geen sprake is van een netto afname van de depositie als gevolg het Programma Stikstof Energietransitie en Industrie (dat wil zeggen depositie van de aanleg van de energie-infrastructuur minus de afname van de depositie als gevolg van de verduurzaming > 0). In die gevallen kan voor het programma zelf dus niet worden geconcludeerd dat er positieve effecten mogelijk zijn, omdat er een restdepositie overblijft.

Na afloop van het programma is er echter nog wel steeds sprake van een blijvend lagere achtergronddepositie door verminderde emissies, die uiteindelijk wel bijdraagt aan vermindering van de achtergronddepositie, al is dat vrijwel altijd minder dan 1 mol N/ha/jaar. Het programma leidt daarmee direct tot een daling van de achtergronddepositie, maar die is te gering om een duidelijke verbetering van

de kwaliteit van habitattypen te veroorzaken. Daarvoor is dus een breder pakket met meer en andere natuurmaatregelen nodig, met name buiten de industriesector. Een overschrijding van de KDW is overigens voor geen enkel habitattype 'goed', want stikstof is, ook als het niet het voornaamste knelpunt is, vaak wel een drukfactor. Dus elke verlaging van de ADW is in die zin positief.

Effecten op Natura 2000-gebieden als geheel (Boxplots)

De boxplots later over het algemeen zien dat er sprake is van een afname van de emissie vanuit de energieclusters en daarmee ook van een afname van de achtergronddepositie op de Natura 2000-gebieden als geheel. Het gaat echter vrijwel altijd om waarden van hooguit enkele mol N/ha/jaar. De verduurzaming van de industrie leidt daarmee weliswaar tot een daling van de achtergronddepositie, maar die is te gering om tot duidelijk waarneembare verbetering van de kwaliteit van Natura 2000-gebieden te komen. Daarvoor is dus een breder pakket met meer natuurmaatregelen nodig.

Samenvatting van de resultaten

Natura 2000-gebied	Habitattype		Hoofdknelpunt	Toestand			Depositie			Effecten		
	Nr	Naam		Huidige toestand	Trend toestand	Kans op tipping point	Overbelasting	Max aanleg	Na 5 jaar	Aanleg	Verduurzaming	N2000/boxplots
Brabantse Wal	H3130	Zwakgebufferde vennen	verdroging, gebrek aan kwel	matig-ontoereikend	negatief	ja	100%	1,21	-1,18	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Deurnsche Peel & Mariapeel	H7110A	Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap)	waterhuishouding	onbekend/slecht	onbekend	nee	100%	1,18	-0,2	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
	H7120ah	Herstellende hoogvenen, actief hoogveen	stikstofdepositie	matig-ontoereikend	negatief	nee	100%	15,19	14,8	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Duinen Schiermonnikoog	H2130C	Grijze duinen (heischraal)	stikstofdepositie/vermesting	matig-goed	stabiel/onbekend	ja	100%	2,66	2,66	geen effecten	geen verbetering	Geen kansen
Dwingelderveld	H3130	Zwakgebufferde vennen	vooral grondwater	matig	stabiel	ja	100%	1,1	-1,38	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
	H4030	Droge heiden	interne eutrofiering	goed tot matig	positief	nee	100%	1,21	-1,16	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	verzoeting, inlaatwater	onvoldoende	negatief	ja	100%	1,23	-20,23	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Kennemerland-Zuid	H2130B	Grijze duinen (kalkarm)	vooral gebrek aan dynamiek	goed tot matig	onbekend	nee	82,50%	8,14	0,15	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
	H2180C	Duinbossen (binnenduinrand)	overbegrazing en exoten	matig tot goed	onbekend	nee	12,59	9,09	0,28	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	H3130	Zwakgebufferde vennen	eutrofiëring, stikstofdepositie. verdroging	matig	negatief	ja	100%	2,02	-3,78	negatieve effecten	Kansen	Kans op verbetering
Maasduinen	H2330	Zandverstuivingen	verzuring, eutrofiering, stikstofdepositie	onzeker	negatief	nee	100%	2,78	2,78	negatieve effecten	geen verbetering	Geen kansen
Naardermeer	H3130	Zwakgebufferde vennen	stikstofdepositie	onbekend	negatief	ja	100%	1,14	0,6	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Noordhollands Duinresrvaat	H2130C	Grijze duinen (heischraal)	gebrek aan dynamiek en verstuiving	goed	onbekend	ja	100%	1,68	-58,91	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Oostelijke Vechtplassen	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	verdroging en onvoldoende oppervlaktewaterkwaliteit	overwegend goed	onbekend	ja	100%	1,1	0,53	negatieve effecten	geen verbetering	Geen kansen
Polder Westzaan	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	ontoereikende waterkwaliteit en -kwantiteit	matig	onstabiel	ja	100%	2,47	-106,17	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Sallandse Heuvelrug	H4030	Droge heiden	stikstofdepostie	matig	negatief	nee	100%	1,54	0,97	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Solleveld & Kapittelduinen	H2180C	Duinbossen (binnenduinrand)	teveel exoten	matig	onbekend	nee	29,37	1,98	-41,24	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Strabrechtse Heide & Beuven	H3130	Zwakgebufferde vennen	verdroging, stikstofdepositie	matig-slecht	onbekend	ja	100%	7,28	3,97	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Vecht- en Beneden-Reggegebied	H4030	Droge heiden	stikstofdepositie	matig tot goed	onbekend	nee	100%	1,79	1,38	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Veluwe	H4030	Droge heiden	stikstofdepositie, successie, versnippering en nutriëntenbeschikbaarheid	matig	instabiel/negatief	nee	100%	3,31	1,15	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
Voornes Duin	H2130C	Grijze duinen (heischraal)	gebrek aan begrazing	matig tot slecht	onbekend	ja	100%	2,16	-46,89	geen effecten	geen verbetering	Kans op verbetering
	H2190Aom	Vochtige duinvalleien (open water)	ontoereikende vochttoestand, stikstofdepositie en guanotrofiëring	matig/onbekend	onbekend	ja	99,95%	2,7	-38,89	geen effecten	Kans op verbetering	Kans op verbetering
Weerribben	H7140B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	stikstofdepositie	slecht	onduidelijk	ja	100%	5,44	5,44	negatieve effecten	geen verbetering	Geen kansen
Weerter- en Budelerbergen & Ringselven	H3130	Zwakgebufferde vennen	stikstofdepositie, verdroging, waterkwaliteit	matig ongunstig	onbekend	ja	100%	1,42	-1,4	negatieve effecten	Kans op verbetering	Kans op verbetering
Witterveld	H7120ah	Herstellende hoogvenen, actief hoogveen	stikstofdepositie en vergrassing	goed tot matig	onbekend	nee	100%	18,85	16,68	negatieve effecten	geen verbetering	Kans op verbetering

7

ADVIES VOOR VERVOLG IN FASE 3

In overleg met de klankbordgroep is het volgende vastgesteld ten aanzien van de analyses:
- het is weinig zinvol om in fase 3 van dit project opnieuw een uitgebreide met tekst onderbouwde analyse op te stellen;
- de geselecteerde 25 habitattypen geven een goed beeld van de problematiek;
- de klankbordgroep kan zich vinden in de conclusies uit fase 2;
- de analyse van de 25 habitattypen is een zeer worst case benadering;
- de huidige boxplots uit OSES 3.0 geven een beeld van de verwachte ontwikkeling van de deposities binnen elke Natura 2000-gebied maar niet voor een specifiek habitattype;
- het is belangrijk om inzicht te krijgen in de spreiding van de depositie over de beïnvloede habitattypen, omdat de gebruikte maximale waarde waarschijnlijk ver buiten het grootse deel van de waarden in een specifiek habitattype ligt.

Daarom wordt voorgesteld om in fase 3 de volgende analyses uit te voeren:
- er wordt een tabel opgesteld conform de samenvattende tabel in hoofdstuk 6 voor een nieuwe selectie;
- er zal geen uitgebreide toelichting worden gegeven op de ingevulde waarden in de tabel;
- de selectie ten behoeve van fase 3 betreft alle habitattypen en leefgebieden die voldoen aan de volgende criteria:
  - de habitattypen en leefgebieden zijn overbelast (belasting is hoger dan de KDW);
  - er vindt tijdens de aanleg een maximale depositie plaats van meer dan 1 mol N/ha/jaar;
  - na depositie als gevolg van de aanleg van de energie-infrastructuur is meer dan 25 % van alle hexagonen van een habitattype of leefgebied (naderend) overbelast;
- uitgaande van bovengenoemde criteria blijven uit het OSES3.0 bestand dan 143 habitattypen over, waarvan er in fase 2 al 24 zijn beschouwd. Daarnaast zijn er nog 26 leefgebieden die aan deze criteria voldoen;
- voor deze 143 habitattypen wordt in fase 3 een aangepaste versie van de tabel uit hoofdstuk 6 ingevuld en worden de effecten van de aanleg en de verduurzaming via de beslisboom uit hoofdstuk 3 beoordeeld. De gegevens over de toestand, de trend in de toestand en de knelpunten worden gehaald uit de natuurdoelanalyses, gebiedsanalyses en/of beheerplannen;
- voor de leefgebieden wordt hetzelfde gedaan mits de data makkelijk uit de natuurdoelanalyses, gebiedsanalyses en/of beheerplannen te achterhalen zijn;
- voor de habitattypen wordt de statistische spreiding en mediane waarde van de depositiedata over de habitattypen per Natura 2000-gebied bepaald, zodat een meer realistisch beeld wordt verkregen over de deposities binnen de habitattypen dan de maximale deposities aangeven;
- er worden twee scenario's beoordeeld aan de hand van de opgestelde tabel:
  - aan de hand van de maximale deposities (zoals in Fase 2 dus);
  - aan de hand van de mediane deposities (naar aanleiding van de nieuwe berekeningen);
- primair uitgangspunt blijft dat alle deposities plaatsvinden in één jaar, bij de start van de aanleg van de energie-infrastructuur. Dit is dus de meest worst case benadering;
- om een beeld te krijgen van een minder worst case benadering wordt ook onderzocht wat er met de deposities gebeurt als de stikstofuitstoot van de aanleg van de energie-infrastructuur over meerdere jaren verspreid op de Natura 2000-gebieden zou neerkomen. Deze analyse zal er vooral op gericht zijn om de bandbreedte van de analyse in beeld te brengen (worst case-best case);
- de situatie na alleen de aanleg en de situatie na aanleg inclusief vijf jaar verduurzaming worden beoordeeld;

- de beoordeling vindt plaats aan de hand van een aangepaste versie van de beslisboom uit hoofdstuk 3. Er zal onder andere een criterium aan de worden toegevoegd met betrekking tot de hoogte van de jaarlijkse verwachte depositie;
- het resultaat wordt besproken en samengevat in een afsluitend rapport (het hoofdrapport waar deze bijlage onder valt).

8

LITERATUUR

Arcadis (2023) Natuurdoelanalyse Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen.

Arcadis (2023a) Natuurdoelanalyse Witterveld.

Arts, G. H. P., Brouwer, E., & Smits, N. A. C. (2012). Herstelstrategie H3130: zwakgebufferde vennen. Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitattypen Natura 2000. Deel, 2, 347-364.

Beije, H.M., Haperen, A.M.M. van, Huiskes, H.P.J., Schotsman, N. & Smits, N.A.C. (2008) Herstelstrategie H2180C: Duinbossen (binnenduinrand).

Bobbink, R. (2021. Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-20.135.21.35.

Bobbink, R., Ashmore, M., Braun, S., Flückiger, W., & Van den Wyngaert, I. J. (2003). Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. Empirical critical loads for nitrogen, 43-170.

CBS, PBL, RIVM, WUR, Stikstofdepositie 1990-2018. (2019), www.clo.nl.

Everts, F.E., Jongman, M., Pranger, D.P., Tolman, M.E. & Vries, N.P.J. de (2018). Vegetatie- en plantensoortenkartering en florakartering Dwingelderveld 2017. EGG consult in opdracht van Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer.

Franken, F., Linden, J. van der & Gool., G. van (2022). Monitoring biodiversiteit Groote Meer e.o. 2021. provincie Noord-Brabant.

Heil, G. W., & Diemont, W. H. (1983). Raised nutrient levels change heathland into grassland. Vegetatio, 53(2), 113-120.

Jansen, A.J.M., Diepenveen, I., Franssen, M.L., Jenniskens, G., Joosten, J.H.J., Mensink, J., Versluijs, R., Sevink, J. & Duinen, G.A. van (2022 in prep). Veen en veenbasis in de Deurnsche Peel. Het laatste grauwveen in de Peel. Rapport. Stichting Bargerveen, Nijmegen.

Jansen, A. J. M., van Duinen, G. J., Tomassen, H. B. M., & Smits, N. A. C. (2014). Herstelstrategie H7120 Herstellende hoogvenen. Ministerie van LNV, Den Haag.

Janssen, J.A.M. en Bijlsma, R.J. (2011). Vegetatie- en habitatkartering Witterveld 2010, Wageningen, Alterra, Alterras-rapport 2178.

Jaspers, H., Nijn, N. DE, Dorsman, E., Van Veen, P. (2020) Passende beoordeling stikstofeffecten dijkversterking Gorinchem-Waardenburg.

Kellner, O., & Redbo-Torstensson, P. (1995). Effects of elevated nitrogen deposition on the field-layer vegetation in coniferous forests. Ecological Bulletins, 227-237.

Kos, G., Kleijberg, R. en Koolstra, B. (2024). Handreiking kleine en tijdelijke stikstofdeposities - Bouwstenen voor ecologische beoordeling voor tijdelijke projecten en activiteiten: versie 2024 Rijkswaterstaat. UWPYHEN5MH7N-1614667007-68:3.0.

Lee, J. A., & Caporn, S. J. M. (1998). Ecological effects of atmospheric reactive nitrogen deposition on semi-natural terrestrial ecosystems. The New Phytologist, 139(1), 127-134.

Marra, W A, Hazelhorst, S B, de Jongh, L A, e.a. (2025). Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden 2025. DOI 10.21945/RIVM-2025-0021. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.

Ministerie van LNV (2008) profieldocument H2130.

Ministerie van LNV (2008) profieldocument H2180.

Ministerie van LNV (2008) profieldocument H2330.

Ministerie van LNV (2008) profieldocument H3130.

Ministerie van LNV (2008) profieldocument H4030.

Ministerie van LNV (2008) profieldocument H7120.

Neil, A. (1996). Biology. 4th edition. Benjamin/Cummings Pub. Co.

Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Näsholm, T., & Ericson, L. (2005). Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests: implications for the nitrogen critical load. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 34(1), 20-24.

Payne, R. J., Dise, N. B., Stevens, C. J., Gowing, D. J., BEGIN partners, Duprè, C., & Muller, S. (2013). Impact of nitrogen deposition at the species level. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(3), 984-987.

Provincie Drenthe (2017) PAS Gebiedsanalyse Dwingelderveld (30).

Provincie Drenthe (2017a) PAS Gebiedsanalyse Witterveld.

Provincie Gelderland (2023) Natuurdoelanalyse Veluwe (57).

Provincie Limburg (2017) PAS Gebiedsanalyse Maasduinen (145).

Provincie Limburg (2023) Natuurdoelanalyse Weerter- en Budelerbergen & Ringselven.

Provincie Limburg (2024) Natuurdoelanalyse Maasduinen (145).

Provincie Noord-Brabant (2018) Brabantse Wal Beheerplan.

Provincie Noord-Brabant (2023a) Natuurdoelanalyse Deurnsche Peel & Mariapeel.

Provincie Noord-Brabant (2023b) Natuurdoelanalyse Ilperveld, Varkensland, Oostzanderveld en Twiske.

Provincie Noord-Brabant (2023c) Natuurdoelanalyse Strabrechtse Heide & Beuve.

Provincie Noord-Holland (2017a) PAS Gebiedsanalyse Kennemerland-Zuid (88).

Provincie Noord-Holland (2017b) PAS Gebiedsanalyse Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen (131).

Provincie Noord-Holland (2017c) PAS Gebiedsanalyse Polder Westzaan.

Provincie Noord-Holland (2018) Natura 2000 beheerplan Kennemerland-Zuid 2018-2024.

Provincie Noord-Holland (2018a) Natura 2000 beheerplan Noordhollands Duinreservaat (87).

Provincie Noord-Holland (2020) Beheerplan Naardermeer 2020-2026.

Provincie Noord-Holland (2023) Natuurdoelanalyse Naardermeer (94).

Provincie Noord-Holland (2023a) Natuurdoelanalyse Oostelijke Vechtplassen Noord-Holland.

Provincie Noord-Holland (2023b) Natuurdoelanalyse Polder Westzaan.

Provincie Noord-Holland (2023c) Natuurdoelanalyse Ilperveld, Varkensland.
Oostzanerveld & Twiske.

Provincie Noord-Holland (2025) Natuurdoelanalyse Kennemerland-Zuid .

Provincie Overijssel (2017) PAS Gebiedsanalyse Sallandse Heuvelrug.

Provincie Overijssel (2017a) PAS Gebiedsanalyse De Wieden en Weerribben.

Provincie Overijssel (2023) Natuurdoelanalyse Sallandse Heuvelrug.

Provincie Overijssel (2023a) Natuurdoelanalyse Weerribben.

Provincie Utrecht (2017) PAS Gebiedsanalyse Vecht- en Beneden-Reggegebied.

Provincie Utrecht (2023) Natuurdoelanalyse Oostelijke Vechtplassen Utrecht.

Provincie Utrecht (2023a) Natuurdoelanalyse Vecht- en Beneden-Reggegebied.

Provincie Zuid-Holland (2016) PAS Gebiedsanalyse Voornes Duin.

Provincie Zuid-Holland (2017) PAS Gebiedsanalyse Solleveld & Kapittelduinen.

Provincie Zuid-Holland (2021) Natuurdoelanalyse Solleveld & Kapittelduinen.

Provincie Zuid-Holland (2022) Natuurdoelanalyse Voornes Duin.

Power, S. A., Ashmore, M. R., Cousins, D. A., & Ainsworth, N. (1995). Long term effects of enhanced nitrogen deposition on a lowland dry heath in southern Britain. Water, Air, and Soil Pollution, 85(3), 1701-1706.

Redbo-Torstensson, P. (1994). The demographic consequences of nitrogen fertilization of a population of sundew, Drosera rotundifolia. Acta Botanica Neerlandica, 43(2), 175-188.

Runhaar, H., Jalink, M.H. , Hunneman, H., Witte, J.P.M. en Hennekens, S.M. (2009). Ecologische vereisten habitattypen. KWR 09-018.

RVO, (2017). Natura 2000-beheerplan Groote Peel, Deurnsche Peel & Mariapeel (139 en 140). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Smits, N. A. C., & Kooijman, A. M. (2012). Herstelstrategie H2130C: Grijze duinen (heischraal).

Smits, N.A.C., Adams, A.S., Bal, D. , en Beije, H.M. (2014). Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats. Alterra Wageningen UR & programmadirectie Natura 2000 van het Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

Smits, N. A. C., Beije, H. M. e.a. (2014). Herstelstrategie H4030 Droge heiden. Ministerie van Economische Zaken.

Smits, N. A. C., Melman, D., & Arens, S. M. (2014). Herstelstrategie H2120: Witte duinen.

Smits, N.A.C., Aptroot, A., Nijssen, M., Riksen, M.J.P.M., Sparrius, L.B. & Dobben, H.F. van (2012) Herstelstrategie H2330: Zandverstuivingen.

Sparrius, L. B., Kooijman, A. M., & Sevink, J. (2013). Response of inland dune vegetation to increased nitrogen and phosphorus levels. Applied Vegetation Science, 16(1), 40-50.

Ten Harkel Matthijs, J., & van der Meulen, F. (1996). Impact of grazing and atmospheric nitrogen deposition on the vegetation of dry coastal dune grasslands. Journal of Vegetation Science, 7(3), 445-452.

Van Dobben, H., Bobbink, R., Bal, D. en Van Hinsberg, A. (2012). Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Alterra-Rapport 2397. Alterra, Wageningen-UR.

Van Dobben, H. F., Barendregt, A., Smits, N. A. C., van 't Veer, R., van Wirdum, G., Lamers, L. P. M., & de Vries, H. H. (2016). Herstelstrategie H7140B: Overgangs-en trilvenen (Veenmosrietlanden).

Van Dobben, H.F. (2020). 39. Effecten van stikstofdepositie op de natuur en de rol van de kritische depositiewaarde.

Velders, G. (2018). 'Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2015 | RIVM'. https://www.rivm.nl/publicaties/grootschalige-concentratie-en-depositiekaarten-nederland-rapportage-2015.

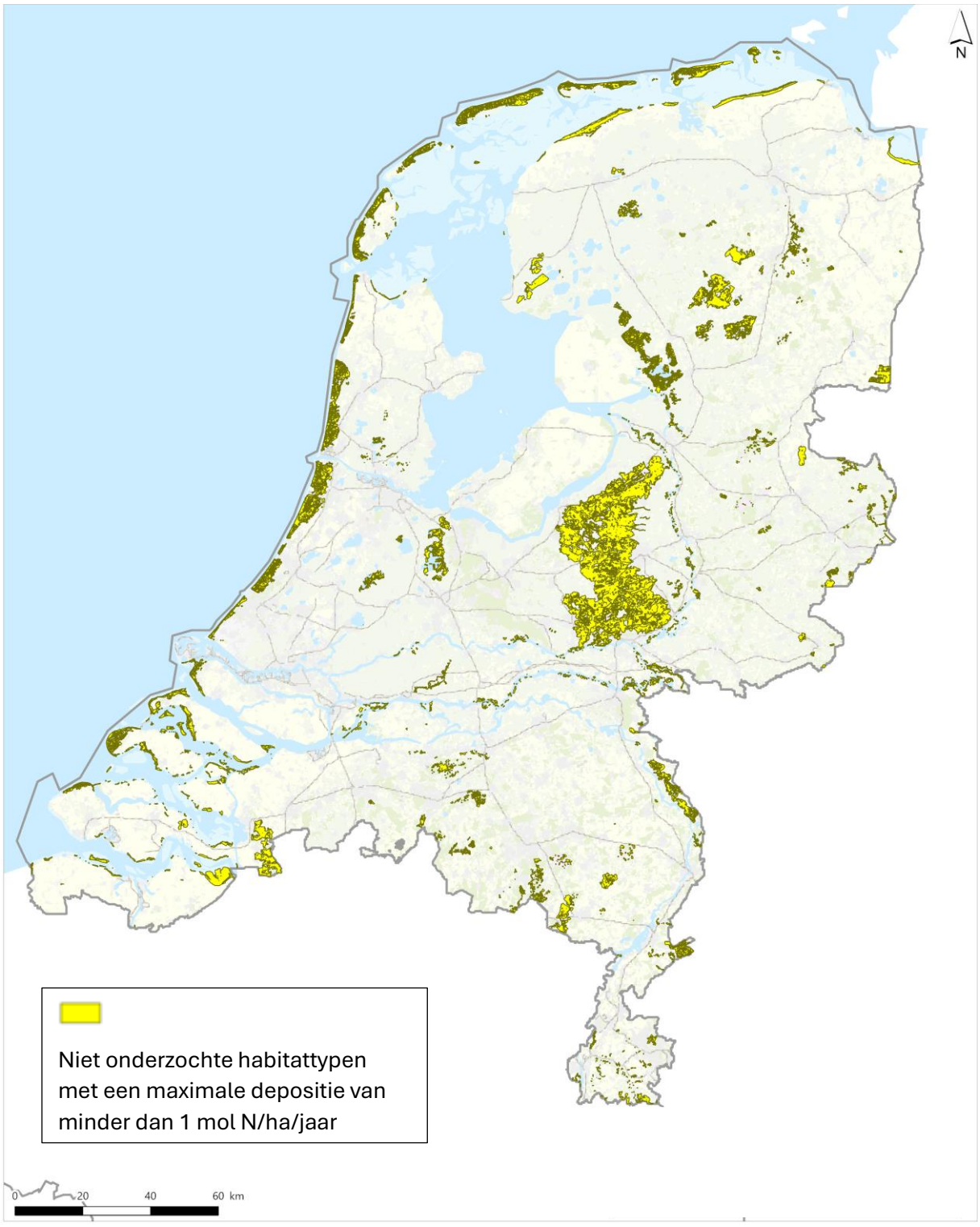
Vogels, J., van de Waal, D., Burg, A. van den, Wallis de Vries, M. , Nijssen, M. en Bobbink, R. (2022). 'Stikstof verandert voedselkwaliteit van planten'. De Levende Natuur, november 2022.

Wamelink, W., van Dobben, H., van der Zee, F., van Hinsberg, A., & Bobbink, R. (2023). Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000: Herziening 2023. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3272). Wageningen Environmental Research. https://doi.org/10.18174/633179.

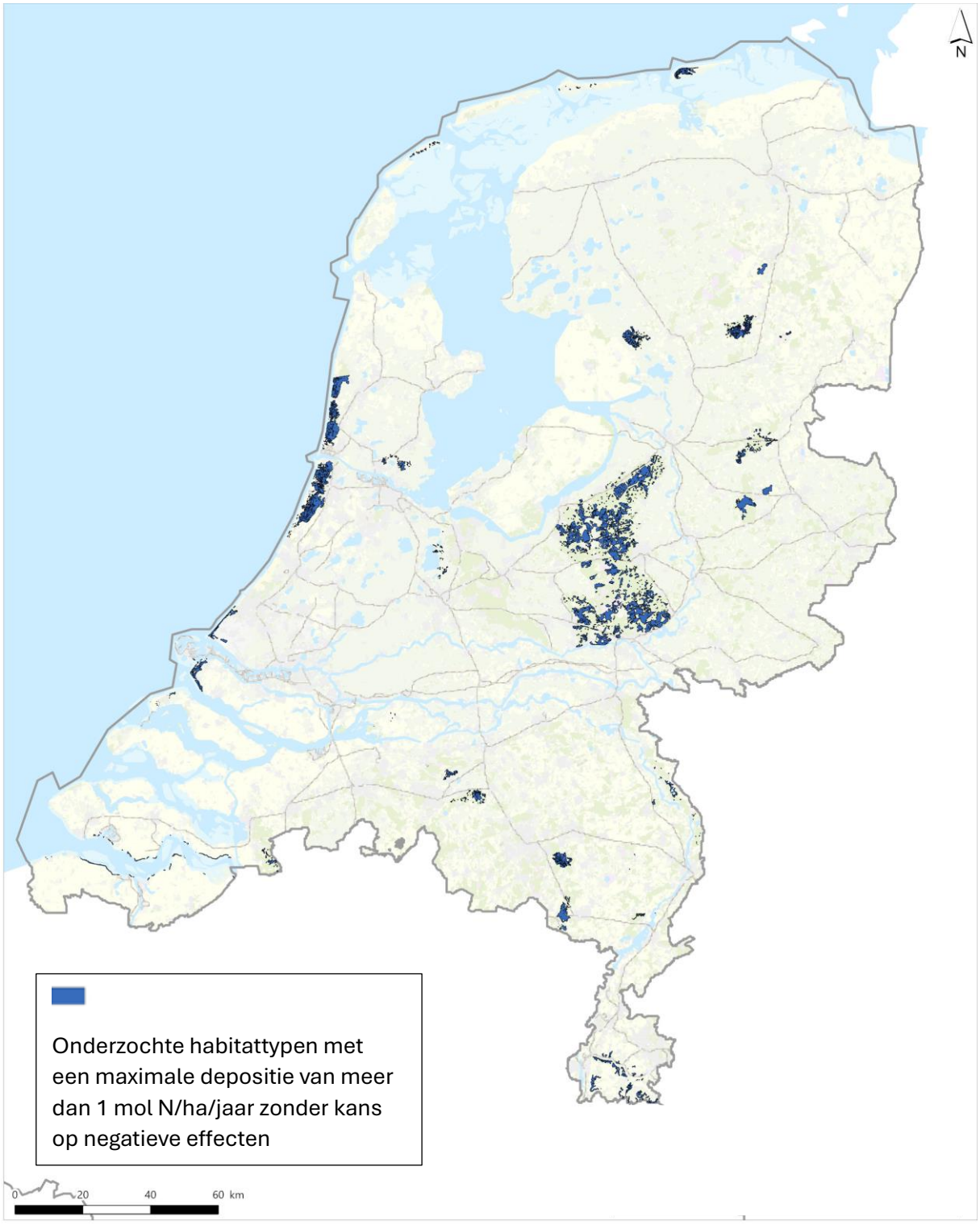
Witteveen+Bos (2025). OSES 2025. Onderzoek Samenhang energietransitie & stikstof in de industrie 2025.

BIJLAGE: KAARTBEELDEN KANS OP EFFECTEN OP GROND VAN MAXIMALE DEPOSITIE

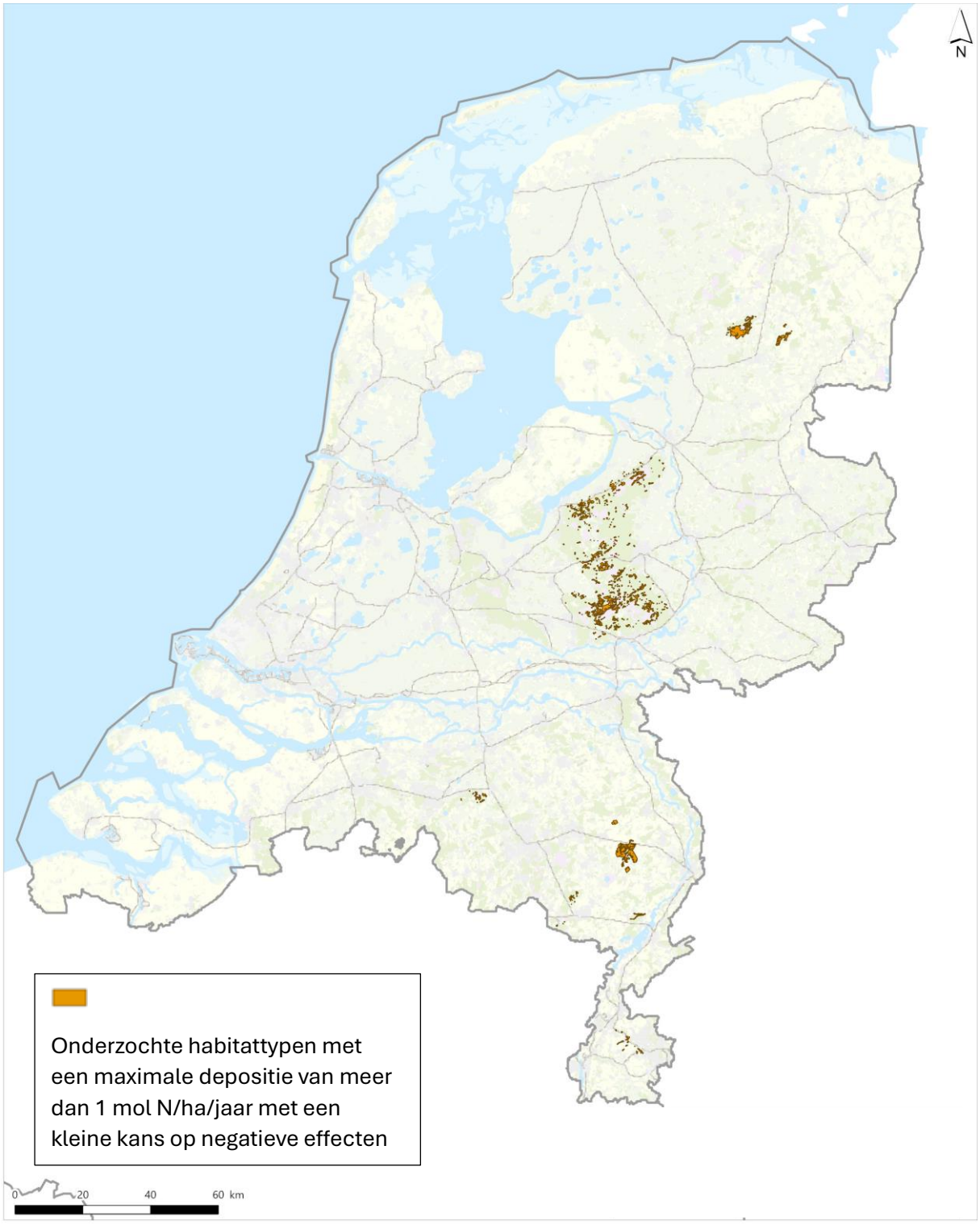
Afbeelding 1. Niet onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van minder dan 1 mol N/ha/jaar.



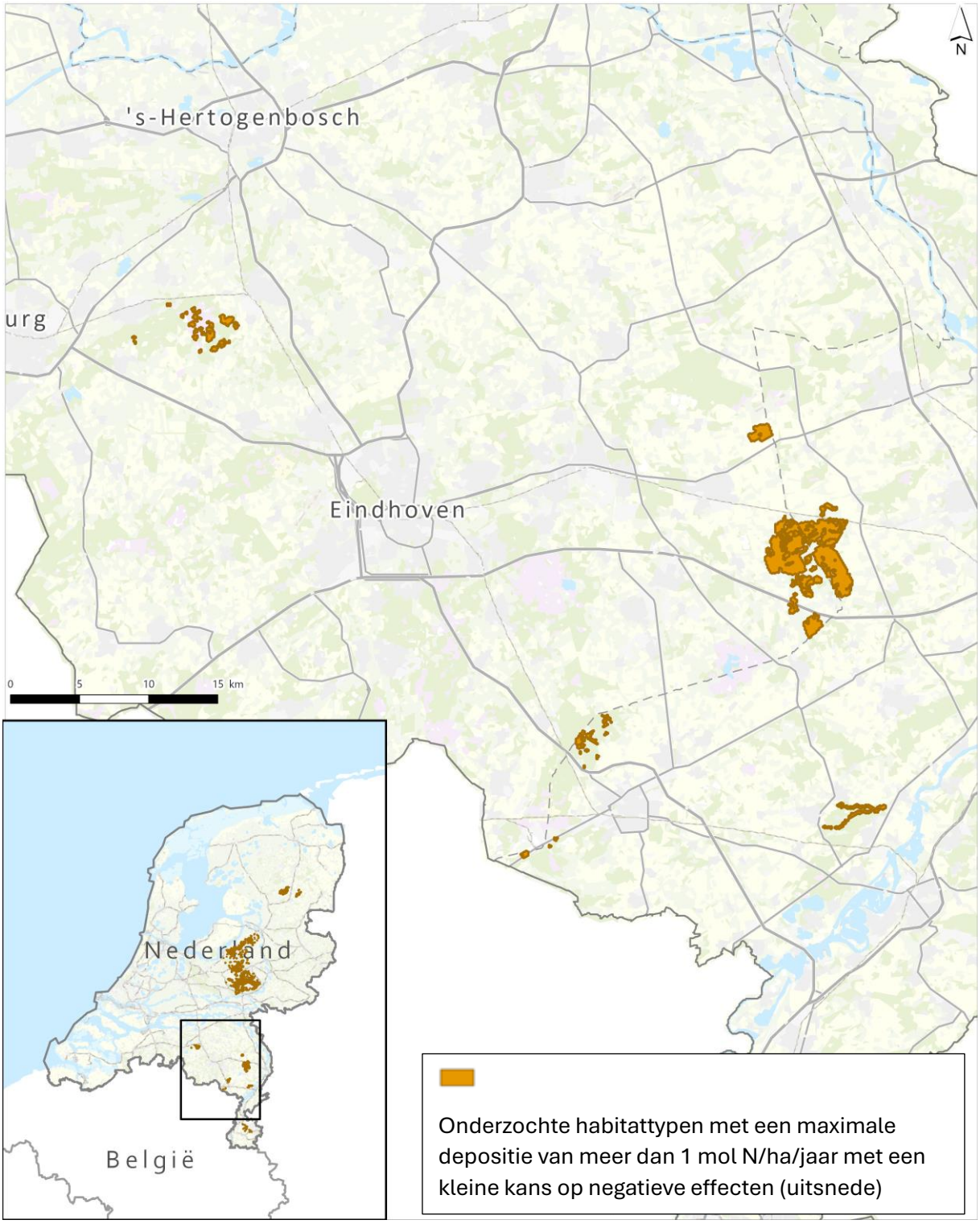
Afbeelding 2. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar zonder kans op een negatief effect



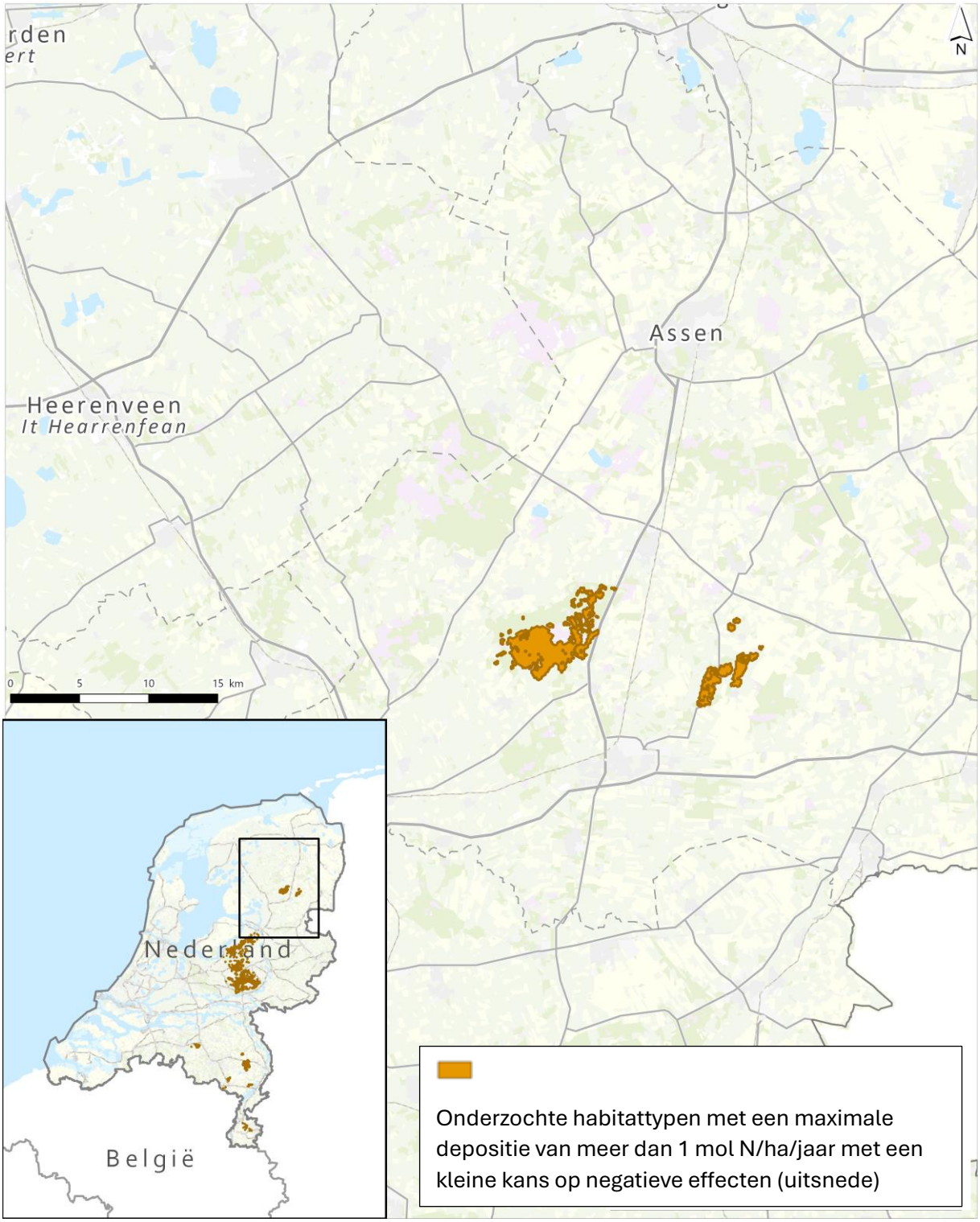
Afbeelding 3. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een kleine kans op een negatief effect



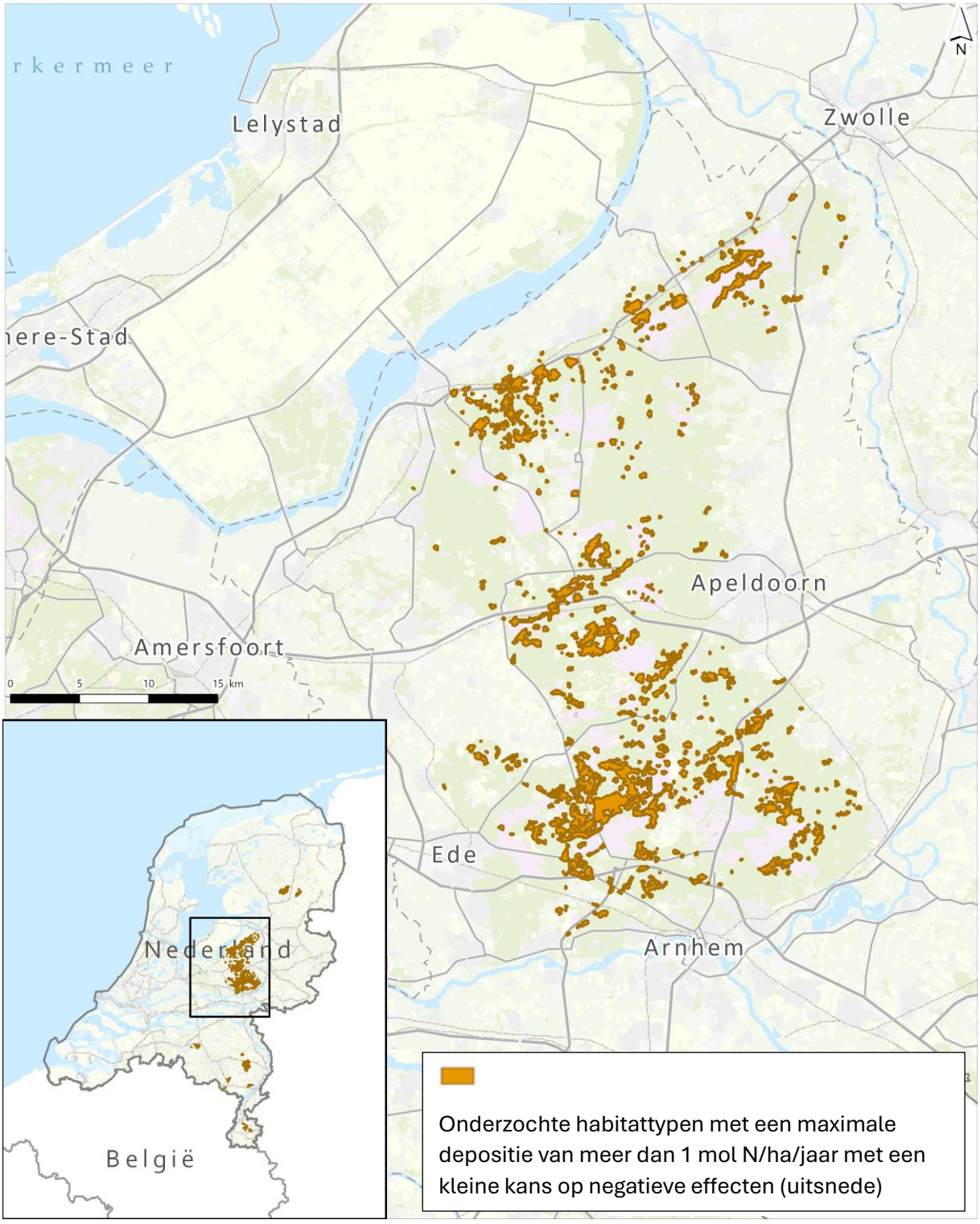
Afbeelding 4. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een kleine kans op een negatief effect (uitsnede Oost Brabant en Midden Limburg)



Afbeelding 5. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een kleine kans op een negatief effect (uitsnede Drenthe)



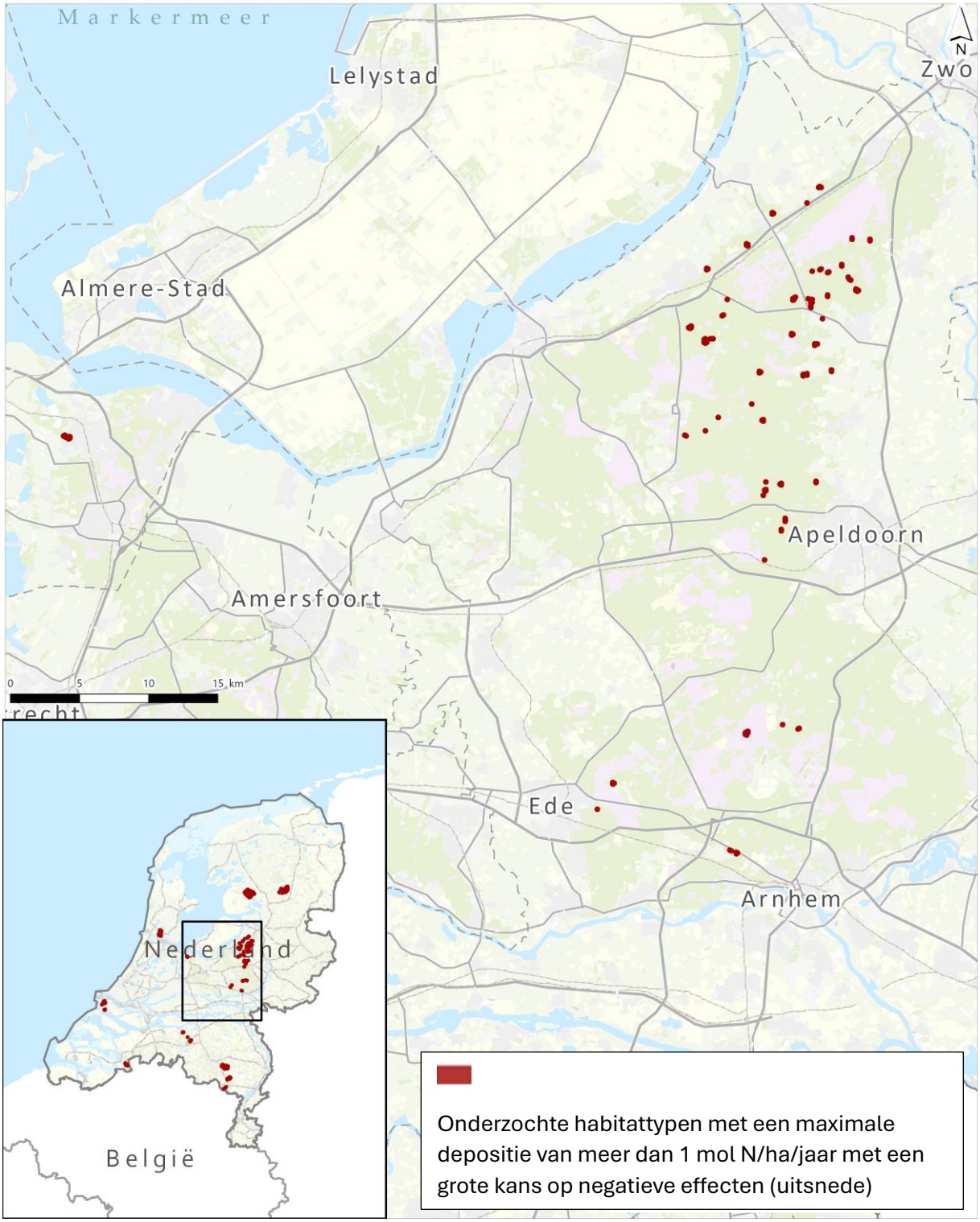
Afbeelding 6. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een kleine kans op een negatief effect (uitsnede Veluwe)



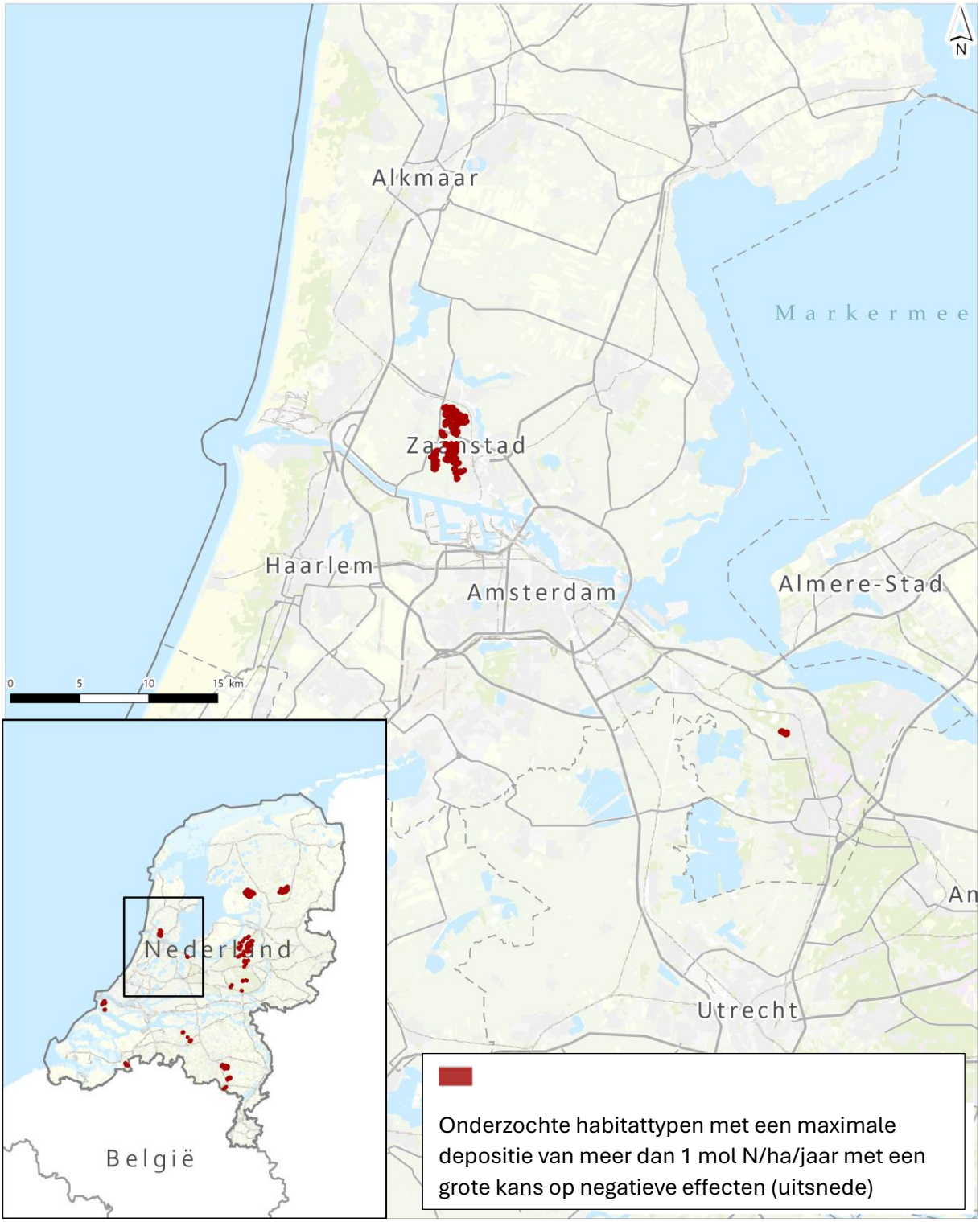
Afbeelding 7. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect



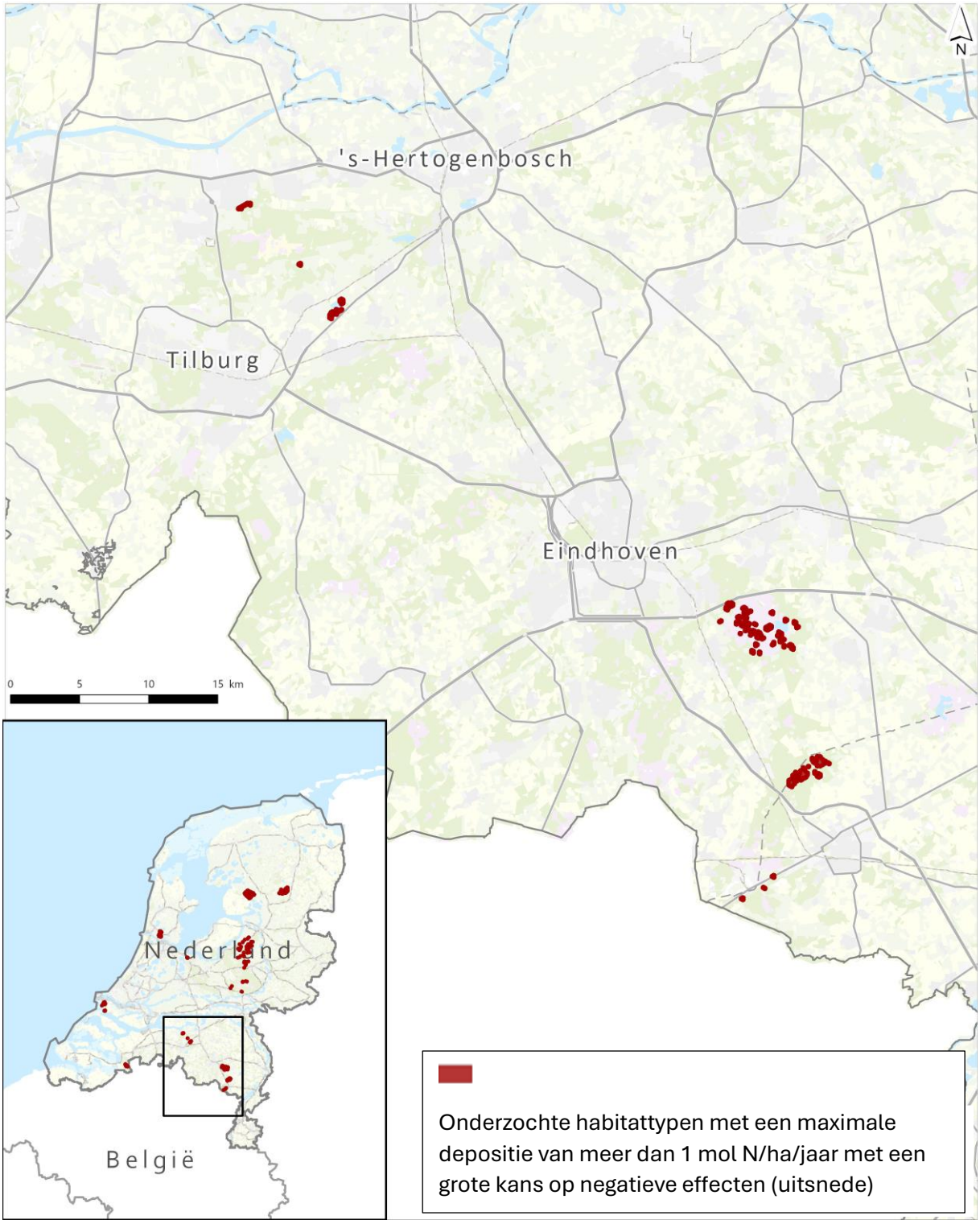
Afbeelding 8. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Veluwe)



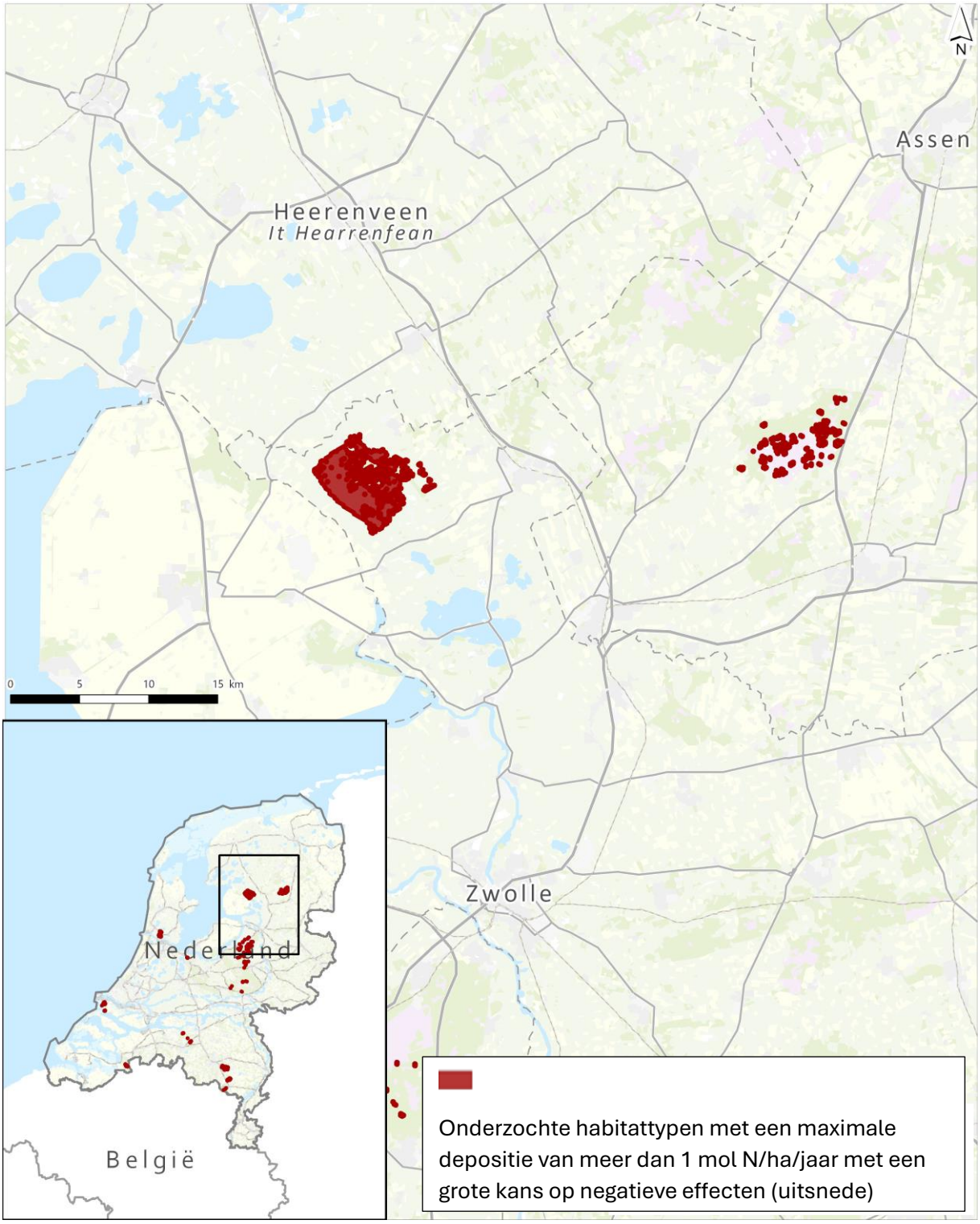
Afbeelding 9. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Noord-Holland)



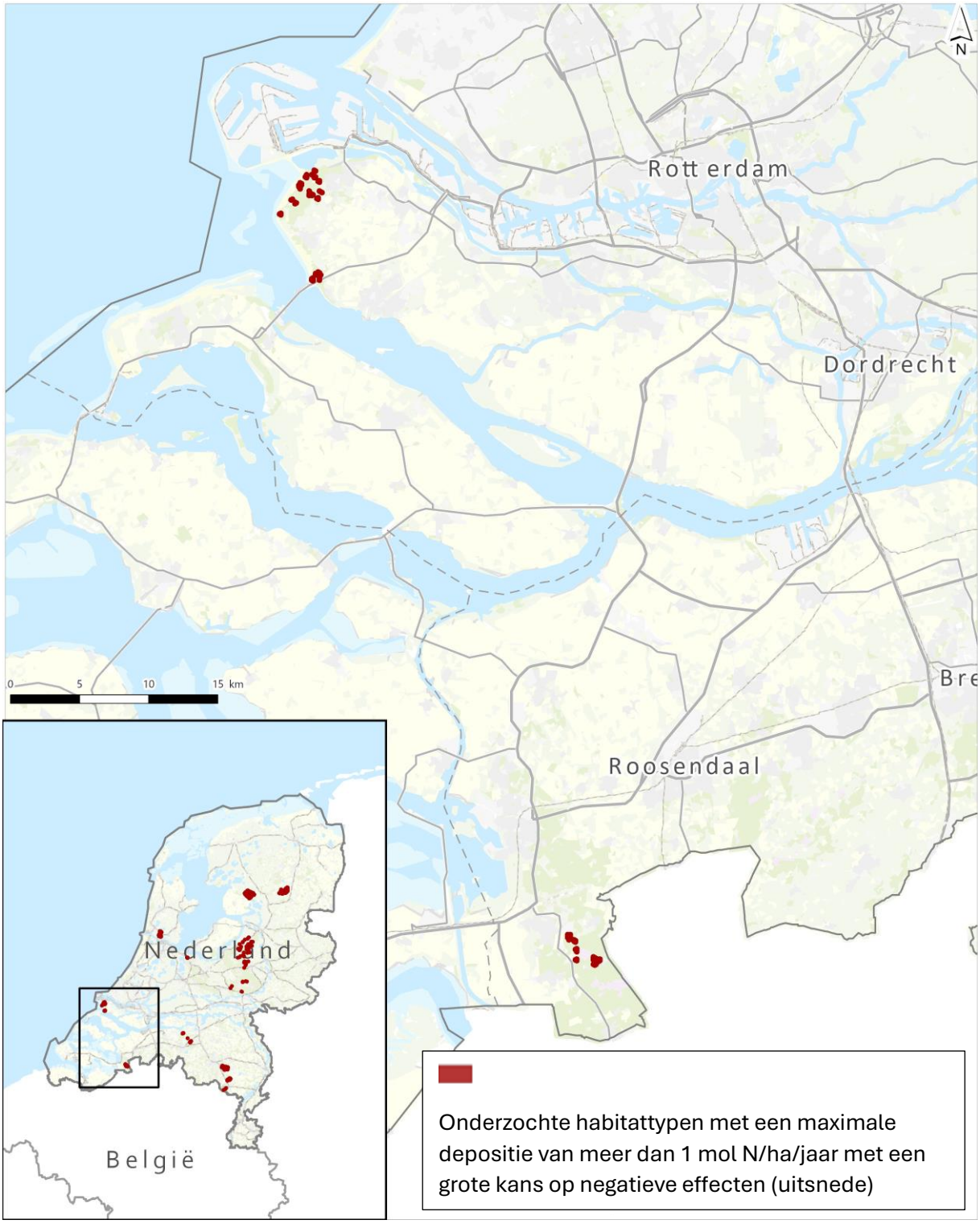
Afbeelding 10. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Oost Brabant en Midden Limburg)



Afbeelding 11. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Noordwest Overijssel en zuidwest Drenthe)



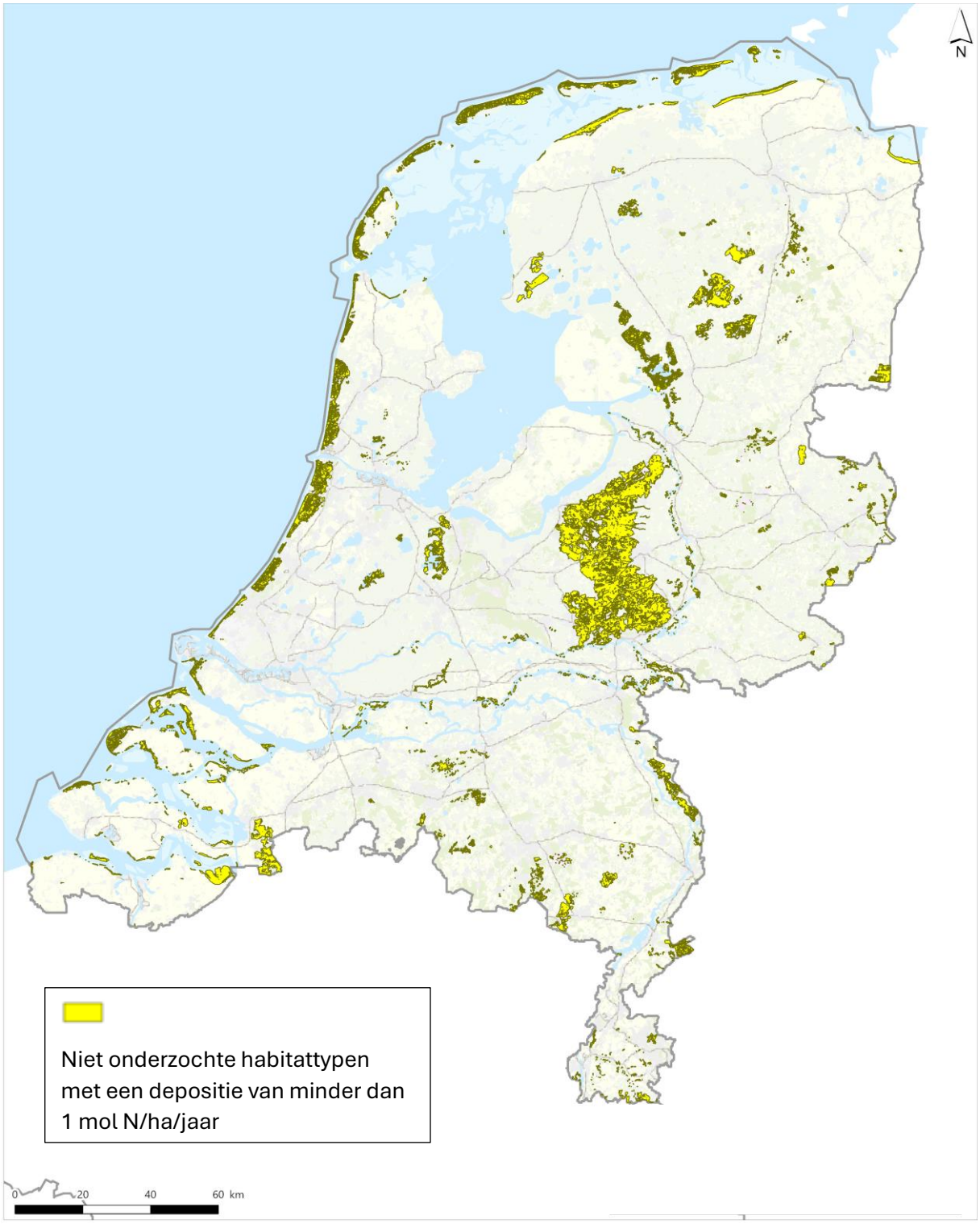
Afbeelding 12. Onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Zuid-Holland en West Brabant)



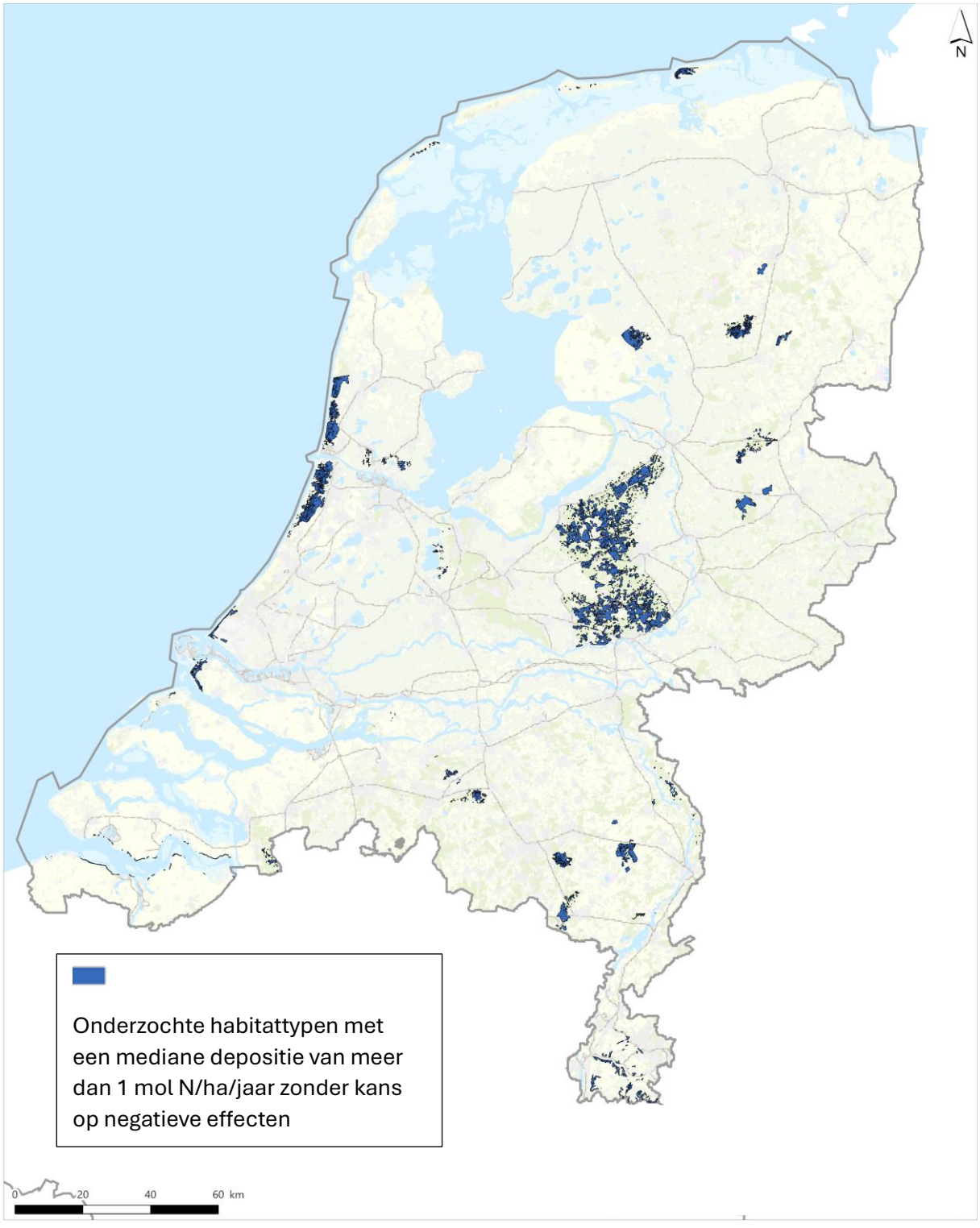
IV

BIJLAGE: KAARTBEELDEN KANS OP EFFECTEN OP GROND VAN MEDIANE DEPOSITIE

Afbeelding 1. Niet onderzochte habitattypen met een maximale depositiebijdrage van minder dan 1 mol N/ha/jaar.



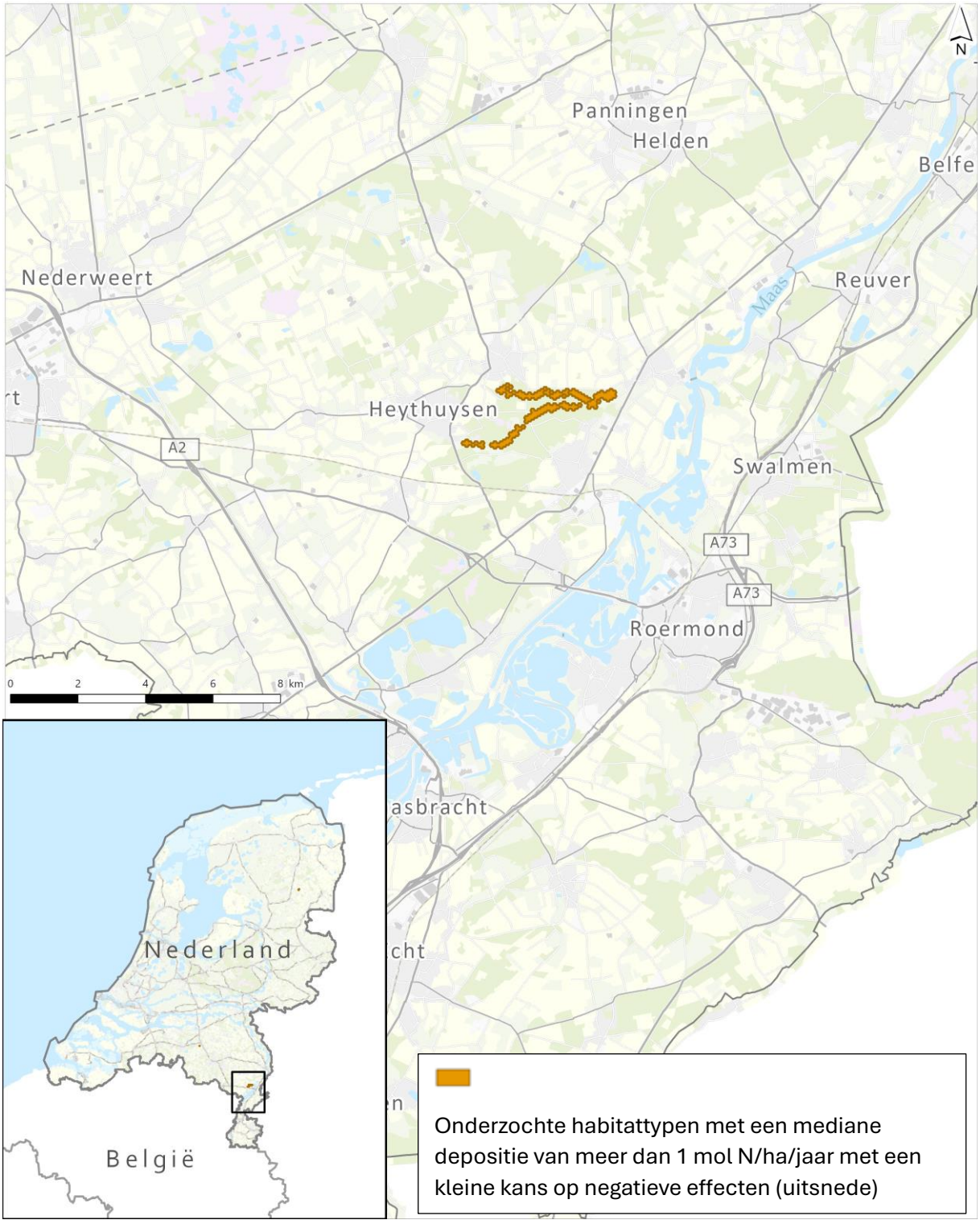
Afbeelding 2. Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar zonder kans op een negatief effect



Afbeelding 3. Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een kleine kans op een negatief effect



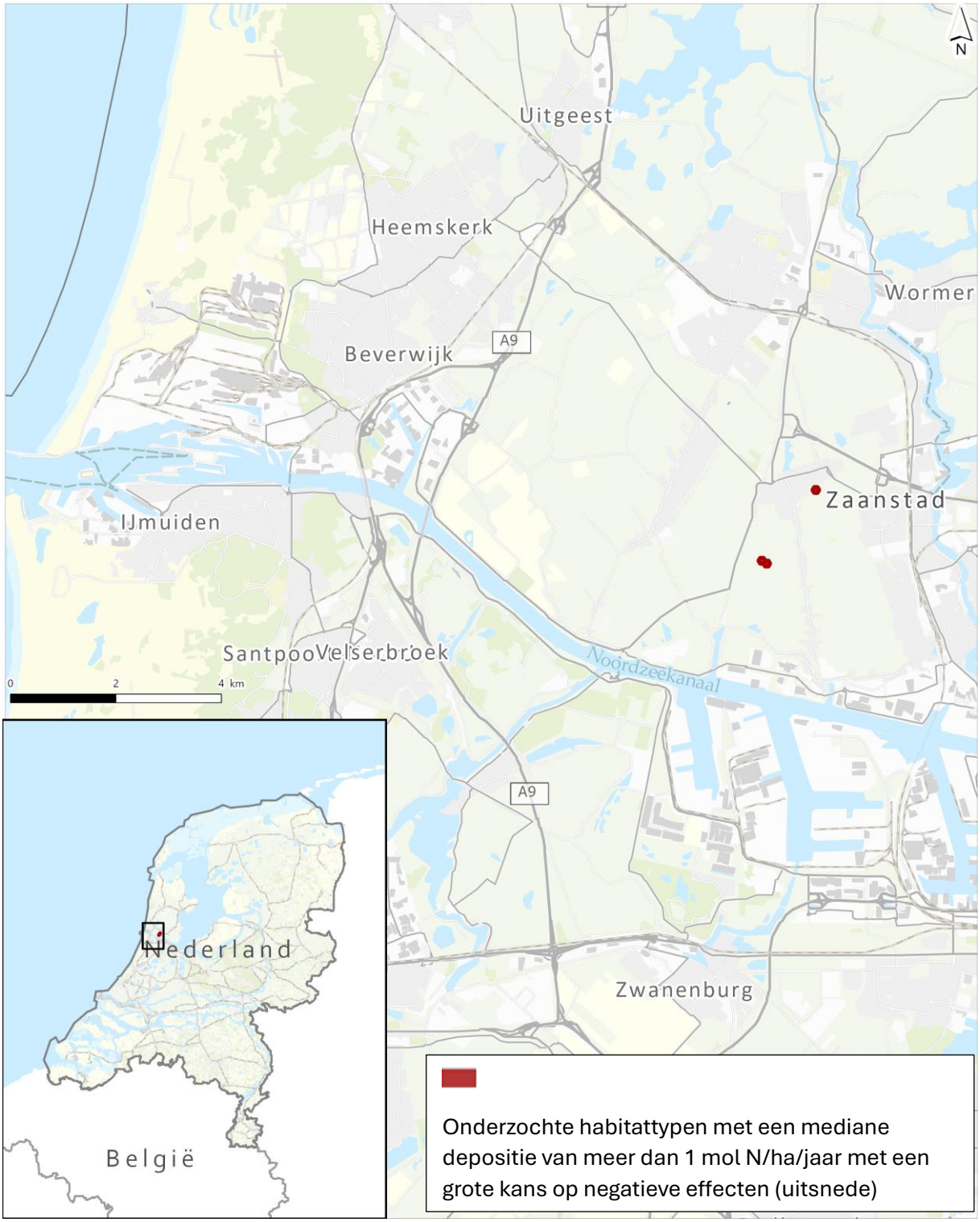
Afbeelding 4. Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een kleine kans op een negatief effect (uitsnede Midden Limburg)



Afbeelding 5. Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect



Afbeelding 6. Onderzochte habitattypen met een mediane depositiebijdrage van meer dan 1 mol N/ha/jaar met een grote kans op een negatief effect (uitsnede Noord-Holland)



Appreciatie ecologische beoordeling van de aanleg van de energie-infrastructuur en verduurzaming

Inleiding
Een consortium bestaande uit advies- en ingenieursbureaus Witteveen+Bos, Sweco en Tauw deed onderzoek naar de ecologische impact van de tijdelijke toename van stikstofdepositie door de aanleg van energie-infrastructuur, ten opzichte van de hieruit volgende vermindering van stikstofdepositie die volgt uit de verduurzaming van de industrie. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat als onderdeel van een verkenning van potentieel haalbare routes om de vertraging in de aanleg van energie-infrastructuur door stikstofproblematiek weg te nemen. Deze ambtelijke appreciatie bevat een samenvatting van het onderzoek en een duiding van de vervolgstappen.

Aanleiding en introductie
De ecologische beoordeling is uitgevoerd in vervolg op de bevindingen uit de eerdere OSES-onderzoeken[1] en maakt gebruik van de gegevens uit deze onderzoeken. Het OSES3-onderzoek bevestigde dat de tijdelijke stikstofdepositie bij de aanleg van energie-infrastructuur in het niet valt ten opzichte van de potentiële stikstofvermindering die volgt uit de verduurzaming van de industrie – die mogelijk wordt gemaakt door de aanleg van de energie-infrastructuur. De ecologische beoordeling is uitgevoerd om uit te sluiten dat de tijdelijke stikstofdepositie door de aanleg van energie-infrastructuur onverhoopt leidt tot een onherstelbare verslechtering van de staat van instandhouding van stikstofgevoelige habitats of soorten. In dat geval zou er getwijfeld kunnen worden aan een kwalificatie als passende maatregel voor een gebied[2]. De tijdelijke toename van stikstofdepositie treedt namelijk eerder op dan de structurele vermindering van stikstofdepositie door de verduurzaming van de industrie.

Het kabinet heeft het consortium gevraagd om vast te stellen of er kans is op behoud, verslechtering of juist een verbetering van de kwaliteit van habitattypen en leefgebieden door de aanleg van energie-infrastructuurprojecten en de verduurzaming van de industrie die daardoor mogelijk wordt gemaakt. Een bijzonder aandachtspunt is hierbij de vraag of zogenaamde '*tipping points' zich voordoen*. Er is sprake van een tipping point in het kader van dit onderzoek als door de tijdelijke verhoging van de stikstofdepositie er sprake kan zijn van versnelde structurele negatieve effecten op voor stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden.

Samenvatting van de resultaten en belangrijkste bevindingen
Het consortium heeft de effecten van de aanleg van de energie-infrastructuur, de hierop volgende verduurzaming van de industrie en de impact daarvan op Natura 2000-gebieden als geheel beoordeeld. De impact van stikstofdepositie op de habitattypen is beoordeeld op basis van: de hoogte van de stikstofdepositie, de invloed van stikstofdepositie op de kwaliteit, de mate van overbelasting, het percentage van het oppervlak van de overbelasting, de knelpunten voor het behalen van de instandhoudingsdoelen en de kans op het overschrijden van tipping points. Bij de beoordeling heeft het consortium gebruik gemaakt van bestaande kennis (informatie uit AERIUS Monitor, Gebiedsanalyses, Natuurdoelanalyses, Natura 2000-beheerplannen, adviezen van de Ecologische Autoriteit en eigen onderzoek).

De belangrijkste conclusie van het consortium is dat de verduurzaming van de industrie leidt tot een blijvend lagere achtergronddepositie. Doordat de industrie slechts circa 2% bijdraagt aan stikstofdepositie op natura 2000 gebieden is deze daling ten opzichte de totale stikstof depositie op de natuur relatief beperkt. Het consortium heeft eerst alle habitats op risico beoordeeld. Vervolgens heeft het consortium op basis van een gekozen selectie van de habitats met meest negatieve

[1] Onderzoek samenhang energie-infrastructuur en stikstof (OSES). Dit betrof een onderzoek naar de rekenkundige gevolgen van de aanleg van de energie-infrastructuur en de stikstofvermindering doordat de industrie kan verduurzamen.
[2] Maatregelen als bedoeld in artikel 6, eerste en tweede lid, van de Habitatrichtlijn

berekening van in totaal 143 habitattypen beoordeeld dat voor slechts één habitattype in één gebied sprake is van groot risico op negatieve effecten op de kwaliteit door de aanleg van de energie-infrastructuur. Voor zes andere habitattypen is sprake van kleine risico's. Voor de overige habitattypen geldt dat significant negatieve effecten op voorhand al zijn uit te sluiten; de stikstofdepositie is laag of stikstof is geen (voorname) drukfactor. De kans is klein dat door de aanleg van energie-infrastructuur projecten tipping points worden overschreden.

Het consortium concludeert dat in slechts enkele gevallen biedt de verduurzaming van de industrie op zichzelf concrete kansen voor verbetering van de kwaliteit van de habitattypen. Dit komt doordat doorgaans sprake zal zijn van zeer beperkte vermindering van stikstofdepositie ten opzichte van de nog te hoge achtergronddepositie. De voorziene daling van de achtergronddepositie is te beperkt om daadwerkelijk tot een verbetering van de kwaliteit van habitattypen te leiden. In veel andere gevallen is er (ook) sprake van andere belangrijke drukfactoren en is stikstofdepositie geen (hoofdzakelijk) knelpunt. Ook in deze situatie leidt een afname van stikstofdepositie niet direct tot een merkbare verbetering van de kwaliteit van de natuur. Het consortium concludeert wel dat iedere stikstofafname positief bijdraagt aan de staat van de natuur, wanneer stikstofdepositie een drukfactor vormt.

Het consortium stelt daarnaast vast dat er een gebrek is aan voldoende (kwantitatieve) gegevens over de huidige kwaliteit van de aanwezige habitattypen in Natura 2000-gebieden. Zo ontbreekt een conclusie over de kwaliteit en/of trend in kwaliteit, varieert de gebruikte terminologie per habitattype, Natura 2000-gebied en/of Natuurdoelanalyse, verschilt de opzet en detailniveau per Natuurdoelanalyse en ontbreekt een kwantificering van de toestand en trend. Het gebrek aan gegevens doet niet af aan de conclusies van dit onderzoek aangezien het consortium een worst case benadering heeft gehanteerd.

Duiding en vervolgstappen
De ecologische analyse betreft nadrukkelijk geen Voortoets of Passende Beoordeling in het kader van de Omgevingswet. Er kunnen daarom geen conclusies worden verbonden aan het resultaat ten aanzien van de vergunbaarheid van individuele energie-infrastructuurprojecten en/of verduurzamingsactiviteiten van bedrijven.

Het kabinet verwelkomt de onderzoeksbevindingen. Het onderzoek toont aan dat de verduurzaming van de industrie en de daarvoor randvoorwaardelijke aanleg van de energie-infrastructuur vanuit ecologisch perspectief op bijna alle plekken in Nederland kan bijdragen aan verbetering van de staat van natuur, een paar uitzonderingen daargelaten. Deze bevindingen sluiten aan bij de kabinetsinzet op een stikstofuitzondering in het Grids Package[3].

Het is verklaarbaar dat de potentiële vermindering van de stikstofuitstoot door de verduurzaming van de industrie alleen niet leidt tot direct waarneembare verbetering van stikstofgevoelige habitattypen. De industrie draagt ca. 2% bij aan de totale stikstofdepositie in Nederland[4]. Uiteraard draagt de verduurzaming van de industrie bij aan wezenlijke stikstof én CO2 reductie. Om een waarneembare verbetering te realiseren is een breder pakket met natuurmaatregelen nodig.

[3] Kamerstukken II 2025/2026 ,22112, nr.4260
[4] Herkomst stikstofdepositie, 2023 | Compendium voor de Leefomgeving

Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

Directoraat-generaal
Realisatie Groene Groei
Programma Netcongestie (LAN)

Auteur
[redacted]

Aan de Staatssecretaris van Klimaat en Groene Groei
Cc de Minister van Klimaat en Groene Groei

TER BESLISSING
Datum aangemaakt
19 maart 2026

Kenmerk
KGG_DGRGG_LAN / 105270289

RT-0000136032

Kopie aan

Bijlage(n)

nota
TER BESLISSING

Brief EK/TK voortgang aanpak netcongestie

Parafenroute
[redacted]

Aanleiding
De Eerste en Tweede Kamer worden halfjaarlijks geïnformeerd over de voortgang van de aanpak van netcongestie, waaronder de voortgang van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) en cijfers van de netbeheerders over de fysieke uitbreiding van het elektriciteitsnet, de realisatie van aansluitingen, betere benutting van het net en ontwikkeling van de wachtrijen.

Geadviseerd besluit
- Tekenen van het aanbiedingsformulier voor de RFL en ministerraad; de stukken dienen uiterlijk dinsdagochtend 24 maart te worden aangeboden.
- Ondertekenen van de (gelijkluidende) brieven aan de Eerste en Tweede Kamer opdat deze na vaststelling in de RFL en ministerraad kunnen worden verzonden.

Kernpunten
- De Voortgangsrapportage LAN die als bijlage bij deze brief gaat is een document van het actieprogramma zelf en alle deelnemers. Het vormt een geïntegreerd overzicht van de voortgang van de acties in het programma en cijfers van de netbeheerders die zij gelijktijdig op hun eigen website publiceren. De voortgangsrapportage LAN is vastgesteld in het Bestuurlijk Overleg Klimaat en Energie op 19 maart jl.
- Met de brief aan de Kamers legt u namens het kabinet verantwoording af over het kabinetsbeleid voor de aanpak van netcongestie. Belangrijke elementen uit de voortgangsrapportage worden hierin uitgelicht en in context geplaatst.
- Verder komt in de brief de voortgang van de versnellingsaanpak elektriciteitsinfra aan de orde, die geen integraal onderdeel is van het LAN.

- Ook is een passage opgenomen over stikstof: u bericht dat het onlangs uitgekomen EU Grids Package een kansrijke uitweg biedt om ondanks het 'stikstofslot' toch elektriciteitsprojecten te realiseren. U wordt hierover separaat in meer detail over geïnformeerd.
- De brief is ingedeeld naar de actielijnen van het LAN: Beter Benutten (resp. groot- en kleinverbruik), Sneller Bouwen en Slimmer Inzicht.
- Als bijlage gaat tevens een overzicht mee van uitgevoerde moties en toezeggingen mbt netcongestie, die niet in de lopende tekst van de brief konden worden afgedaan.
- Tot slot worden met deze brief ook een aantal onderzoeksrapporten aan de Kamers aangeboden voorzien van een kabinetsappreciatie in de tekst van de brief.

Overzicht bijlagen bij de brief

#	**Titel document**	**Auteur / opdrachtgever**
1	Uitvoering moties en toezeggingen	SKGG
2	Voortgangsrapportage LAN	LAN (KGG, VRO, IenW, ACM, VNG, IPO, NBNL en brancheverenigingen)
3	Onderzoek zwaarder belasten: Potentie van technische oplossingen voor het congestievraagstuk	DNV in opdracht van KGG
4	Verzachten neveneffecten financieel instrumentarium op netcongestie: Een verkenning van aanpassingen aan het financiële instrumentarium van RVO, ten behoeve van het verminderen van de impact op netcongestie.	RVO in opdracht van KGG
5	Technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers	TNO in opdracht van LAN
6	Netbewust renoveren en elektrificeren: Handelingsperspectief op basis van praktijkdata	Stroomversnelling in opdracht van VRO
7	Ecologische beoordeling van de aanleg van de energie-infrastructuur en verduurzaming: Analyse van de 143 habitattypen met de hoogste depositie	Witteveen + Bos in opdracht van EZK
8	Appreciatie ecologische beoordeling van de aanleg van de energie-infrastructuur en verduurzaming	Ambtelijke appreciatie EZK van rapport Witteveen + Bos