Voorverkenning Diepe Aanlandingen

Bijlage 3 Effectbeoordeling energiesysteem

Datum: 17-06-2026
Versienummer: 1.0
Status: Definitief

In opdracht van:

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

INHOUDSOPGAVE

1 Leeswijzer 4
2 Inleiding 5
2.1 Wat is een energiesysteemanalyse? 5
2.2 Het toekomstige energiesysteem: scenario's voor toekomstige ontwikkelingen 6
2.3 Elektriciteitsinfrastructuur en mogelijke impact diepe aanlanding 7
2.4 Wat bepaalt of een locatie geschikt is voor diepe aanlanding? 9
2.5 Welke locaties voor diepe aanlanding worden onderzocht? 10
3 Methodiek energiesysteemanalyse 12
3.1 Analyse impact op elektriciteitsinfrastructuur 12
3.2 Scenario's en varianten 13
4 Beoordelingskader 15
4.1 Introductie 15
4.2 Algemene uitgangspunten 16
4.3 Aansluitcapaciteit 17
4.4 Impact op 380kV-verbindingen 18
5 Resultaten per regio 20
5.1 Flevoland 20
5.1.1 Introductie 20
5.1.2 Aansluitcapaciteit 22
5.1.3 Impact op 380kV-verbindingen 23
5.1.4 Afwegingen tussen stations binnen regio 24
5.1.5 Conclusies 24
5.2 Overijssel 25
5.2.1 Introductie 25
5.2.2 Aansluitcapaciteit 27
5.2.3 Impact op 380kV-380kV-verbindingen 27
5.2.4 Afwegingen tussen stations binnen regio 28
5.2.5 Conclusies 28
5.3 Gelderland/Noord-Brabant 29
5.3.1 Introductie 29
5.3.2 Aansluitcapaciteit 31
5.3.3 Impact op 380kV-380kV-verbindingen 31

5.3.4 Afwegingen tussen stations binnen regio 32
5.3.5 Conclusies 32
5.4 Limburg en Eindhoven 33
5.4.1 Introductie 33
5.4.2 Aansluitcapaciteit 36
5.4.3 Impact op 380kV-verbindingen 36
5.4.4 Afwegingen tussen stations binnen regio 37
5.4.5 Conclusies 38
6 Overkoepelend beeld en afhankelijkheden tussen regio's 39
6.1 Overkoepelend beeld impact diepe aanlanding op energiesysteem 39
6.2 Afhankelijkheden tussen regio's 42
6.3 Algemene afhankelijkheden en onzekerheden 42
6.4 Openstaande vragen vervolg 45
Colofon 47

1 Leeswijzer

Dit document is een bijlage van het hoofdrapport van de Voorverkenning Diepe Aanlandingen, waarin de Energiesysteemanalyse en de beoordeling Energiesysteem behandeld wordt.

Dit document bevat de volgende onderdelen:

- **Hoofdstuk 2** bevat een inleiding over wat een energiesysteemanalyse inhoudt en wat bepaalt of een diepe aanlanding vanuit het energiesysteem bezien gunstig is.
- **Hoofdstuk 3** bevat een toelichting op de methodiek voor de energiesysteemanalyse.
- **Hoofdstuk 4** beschrijft het beoordelingskader voor het thema energiesysteem.
- **Hoofdstuk 5** geeft een overzicht van de resultaten per regio.
- **Hoofdstuk 6** geeft een overkoepelend beeld van de resultaten en een overzicht van de belangrijkste afhankelijkheden en de vervolgvragen.

2 Inleiding

2.1 Wat is een energiesysteemanalyse?

Voor de Voorverkenning Diepe Aanlandingen is een energiesysteemanalyse uitgevoerd. Bij een ***energiesysteemanalyse*** wordt gekeken naar de gevolgen van bepaalde vraag en aanbod voor het energiesysteem. In het geval van de Voorverkenning is gekeken naar de gevolgen voor het energiesysteem van het aanbod van windenergie op zee dieper landinwaarts aansluiten.

Bij de energiesysteemanalyse wordt specifiek gekeken naar de invloed van diepe aanlanding van wind op zee op de hoogspanningsnetten van TenneT. Dit betekent dat de focus ligt op de impact op het elektriciteitssysteem en niet op andere energiedragers, aangezien diepe aanlanding vooral impact zal hebben op het elektriciteitssysteem. Bij de scenario's die gebruikt worden voor de energiesysteemanalyse (zie paragraaf 3.2) zijn alle energiedragers integraal meegenomen.

De energiesysteemanalyse richt zich op het toekomstige energiesysteem, in 2040 en 2050. Vanwege de hoge ambitie voor wind op zee en de grote uitdagingen voor de uitbreidingen aan het hoogspanningsnet is een efficiënte inpassing van windparken op zee in het energiesysteem een uitdaging en van groot belang.

Bij de impact op het elektriciteitssysteem is de cumulatieve impact van verschillende mogelijke diepe aanlandingen van belang, aangezien alle ontwikkelingen van het energiesysteem invloed op elkaar hebben en samenkomen op het hoogspanningsnet. Daarom is ook de wisselwerking met overige ontwikkelingen in het energiesysteem van belang, zoals aansluiting van wind op zee aan de kust, uitbouw van kernenergie en elektrificatie van de industrie en overige sectoren. De ontwikkeling van de elektriciteitsvraag, overige opwekbronnen en flexibele bronnen zoals omzetten van elektriciteit naar waterstof met elektrolysers en opslag van elektriciteit bepalen hoe en waar de windenergie benut wordt en daarmee waar de geproduceerde elektriciteit het meest efficiënt op het hoogspanningsnet ingevoed kan worden. Daardoor is de meest efficiënte inpassing van wind op zee in het energiesysteem afhankelijk van deze overige ontwikkelingen. Dit vraagt om een integrale benadering van het hele energiesysteem.

De energiesysteemanalyse in deze studie beschouwt specifiek de inpassing van diepe aanlanding van wind op zee, waarbij de afhankelijkheden van overige ontwikkelen worden beschreven. In de Integrale Effectenanalyse en energiesysteemanalyse van het PEH II wordt een bredere set aan ontwikkelingen van het energiesysteem tegen elkaar afgewogen.

Potentie van HVDC-schakelstations in het energiesysteem
De diepe aanlanding van wind op zee kan gezien worden als eenrichtingsverkeer – er is alleen sprake van aanbod op het station waarop de diepe aanlanding wordt aangesloten. Dit is ook in de scenario's en varianten op deze manier doorgerekend. Het is ook mogelijk om een HVDC-schakelstation te realiseren. Bij een HVDC-schakelstation wordt de kabel vanaf het windpark op zee richting het aansluitstation voor de diepe aanlanding gekoppeld aan een aanlandlocatie aan de kust. Dat heeft als voordeel dat als er aanbod op twee plekken in het land is en er bijvoorbeeld minder vraag naar elektriciteit is bij de diepe aanlanding, dat stroom dan aan de kust op het 380kV-net ingevoed kan worden. Een ander voordeel is dat er tweerichtingsverkeer mogelijk is; op momenten met weinig wind op zee kan elektriciteit vanuit de locatie waar de diepe aanlanding is aangesloten elektriciteit richting het aansluitstation aan de kust getransporteerd worden. De stroom kan afkomstig zijn uit bijvoorbeeld zon-PV productie of import via interconnectie. Daarnaast zijn nog andere opties denkbaar waarin een netwerk aan HVDC-verbindingen en stations wordt gevormd.

Er wordt in de Voorverkenning Diepe Aanlandingen ook onderzoek gedaan naar de potentie van HVDC-schakelstations. In de voorverkenning worden HVDC-schakelstation alleen ruimtelijk onderzocht. De impact van HVDC-schakelstations op het energiesysteem wordt niet onderzocht in de Voorverkenning maar is onderdeel van onderzoek voor het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) II.

2.2 Het toekomstige energiesysteem: scenario's voor toekomstige ontwikkelingen

In de energiesysteemanalyse wordt een inschatting gemaakt van de impact van diepe aanlandingen van wind op zee in het toekomstige energiesysteem, in 2040 en 2050. Het is op dit moment nog niet duidelijk hoe de wereld er in 2040 en 2050 uit zal zien en hoe het energiesysteem zich zal ontwikkelen. Daarom wordt gebruik gemaakt van verschillende **scenario's** voor de ontwikkeling van het energiesysteem. Deze scenario's hebben verschillende uitgangspunten over toekomstige ontwikkelingen, bijvoorbeeld over de rol van waterstofdragers of de mate van zelfvoorzienendheid van het Nederlandse energiesysteem. Er worden integrale scenario's gebruikt. Deze integrale scenario's beschrijven het totaal van vraag, aanbod, flexibiliteit en energie-infrastructuur voor alle sectoren en alle energiedragers in volumes. De scenario's hebben een nationale uitwerking (hoeveel vraag, opwek, flexibiliteit en energie-infrastructuur in heel Nederland), maar ook een ruimtelijke verdeling (waar wordt deze vraag, opwek, flexibiliteit en energie-infrastructuur gerealiseerd).

De belangrijkste trends die toekomstscenario's voor het energiesysteem laten zien zijn:

- **Elektrificatie energievraag**. Op dit moment wordt het grootste deel van de energievraag in Nederland ingevuld met fossiele brandstoffen. Deze fossiele energievraag moet worden verduurzaamd en hiervoor is elektrificatie (bijvoorbeeld warmtepompen en elektrische voertuigen) de belangrijkste optie. Het is de verwachting dat de elektriciteitsvraag daardoor fors zal stijgen en in 2050 drie tot vijf keer zo hoog is als nu. Naast elektrificatie zal in het toekomstige energiesysteem naar verwachting ook gebruik gemaakt worden van schone gassen, duurzame warmte en biobrandstoffen.
- **Toename hernieuwbare opwek.** Om in de groeiende vraag van elektriciteit te voorzien en de elektriciteitsvoorziening verder te verduurzamen zal het aanbod van windenergie (op land en op zee) en zonne-energie verder moeten toenemen. In scenario's voor 2050 ligt de productie van deze bronnen tot tien keer zo hoog als nu. Het is de verwachting dat wind op zee de belangrijkste bron van hernieuwbare elektriciteit zal zijn.
- **Van vraaggestuurd naar aanbodgestuurd elektriciteitssysteem.** In het verleden werd het grootste deel van de elektriciteitsvraag ingevuld door productie van regelbare

elektriciteitscentrales, waarbij de productie de vraag volgt. In het toekomstige energiesysteem zal het grootste deel van de elektriciteitsproductie komen van zonne-energie en windenergie, waarvan de productie weers- en tijdsafhankelijk is. Dit betekent dat er bronnen van flexibiliteit, zoals batterijen en elektrolysers, nodig zullen zijn om de productie in balans te brengen met de vraag.

Voor de Voorverkenning Diepe Aanlandingen wordt gebruik gemaakt van de scenario's en de energiesysteemanalyses van het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) II. De scenario's die in 2025 door Netbeheer Nederland ontwikkeld zijn, vormen de basis voor deze analyses. Er zijn vier scenario's ontwikkeld door Netbeheer Nederland. Drie scenario's zijn hoekpunten van de mogelijke ontwikkelingen, elk met een focus op verschillende energiedragers ('Eigen Vermogen' met focus op elektriciteit, 'Horizon Aanvoer' met focus op waterstofdragers en 'Gezamenlijke Balans' met focus op (groen) gas en biomassa). Daarnaast is er één centraal scenario, 'Koersvaste Middenweg'. Elk van deze scenario's gaat uit van het behalen van de doelstelling voor een klimaatneutraal energiesysteem in 2050, maar de wijze waarop dit bereikt wordt verschilt dus. In het PEH II zijn daarnaast verschillende energetische en ruimtelijke varianten ontwikkeld, om de impact van specifieke ontwikkelingen te onderzoeken. Er zijn onder meer varianten ontwikkeld voor diepe aanlanding van wind op zee en ook in de basisscenario's van Netbeheer Nederland wordt diepe aanlanding meegenomen. Meer hierover volgt in paragraaf 3.2.

Een uitgebreide omschrijving van de scenario's en varianten is te vinden in de concept-NRD van PEH II[1].

2.3 Elektriciteitsinfrastructuur en mogelijke impact diepe aanlanding

Het elektriciteitsnet moet door de verwachtte toename van vraag en aanbod van elektriciteit de komende jaren fors uitgebreid worden. Er zijn uitbreidingen nodig op elk niveau van het elektriciteitsnet. Diepe aanlanding van wind op zee heeft door het grote vermogen vooral effect op het hoogste spanningsniveau van het hoogspanningsnet, het (bovengrondse) 380kV[2]-netwerk. Ook op dit niveau zijn veel uitbreidingen gepland. Daarnaast worden de 150kV- en 110kV-netten op een andere manier ingericht, met een pocketstructuur[3].

[1] Concept-NRD PEH II.
[2] kiloVolt
[3] In hun visie op het toekomstige hoogspanningsnet voorziet TenneT dat ze de 110kV- en 150kV-netten opsplitsen in kleine deelnetjes, die elk verbonden zijn met één 380kV- of 220kV-station. Zo is er minder transport via de lagere spanningsniveaus noodzakelijk doordat de stroom snel afgevoerd kan worden naar het 380kV- of 220kV-net.

Impact diepe aanlanding wind op zee op lagere spanningsniveaus en relatie met huidige netcongestie
De diepe aanlandingen worden aangesloten op het hoogste spanningsniveau van het hoogspanningsnet (380 kV). Diepe aanlanding heeft geen significante impact op lagere spanningsniveaus, zoals het 150 kV, 110 kV en regionale elektriciteitsnet. Dit komt doordat het toekomstige hoogspanningsnet ingericht wordt met een pocketstructuur. In een pocketstructuur wordt de belasting op het elektriciteitsnet binnen de pocket alleen bepaald door vraag en aanbod op de lagere spanningsniveaus van de pocket, en is dit niet afhankelijk van ontwikkelingen op het 380kV-net (zoals diepe aanlanding).

De huidige problemen met netcongestie vinden op lagere spanningsniveaus plaats, bijvoorbeeld op de koppelstations tussen 150/110kV en de regionale elektriciteitsnetten. Diepe aanlanding zal daarmee ook geen oplossing zijn voor de huidige problemen met netcongestie. Wel kan het potentiële toekomstige problemen met netcongestie op het 380kV-net verminderen of voorkomen.

In het toekomstige energiesysteem zal wind op zee één van de belangrijkste productiebronnen worden. Het grootste deel van de geproduceerde elektriciteit van windparken zal bij de kust aangesloten worden op het 380kV-netwerk. Dit betekent dat er veel aanbod van elektriciteit aan de kust zal zijn. Een groot deel van de elektriciteitsvraag zal ook aan de kust zijn, aangezien vier van de vijf grote industrieclusters aan de kust zitten. Maar er zal ook transport van elektriciteit richting het binnenland plaatsvinden, door vraag in het binnenland en op bepaalde momenten, bij een overschot aan elektriciteit in Nederland, ook export. Vanwege het benodigde transport van elektriciteit naar het binnenland wordt diepe aanlanding van wind op zee onderzocht. Bij diepe aanlanding van wind op zee wordt het aanbod dichter bij de landinwaartse vraag aangesloten waardoor minder transport vanaf de kust richting het binnenland noodzakelijk is.

Daarnaast geldt dat met de bestaande plannen van de Routekaart Windenergie op Zee (23 GW) en de voorkeursalternatieven van Programma VAWOZ, er in bijna elke regio aan de kust sprake zal zijn van een overschot van elektriciteit op momenten met veel productie van windparken op zee. Ook geldt dat er beperkte mogelijkheden zijn om extra windparken aan te sluiten zonder dat ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen die de elektriciteit uit die regio's moeten afvoeren. Daarom is het dus ook een voordeel dat bij diepe aanlanding een deel van de windparken op zee niet aan de kust aangesloten wordt. Dit zorgt ervoor dat bij diepe aanlanding minder transport van elektriciteit van zee via 380kV-verbindingen noodzakelijk is. Hiermee kunnen mogelijk uitbreidingen aan het 380kV-netwerk beperkt of voorkomen worden, wat gezien ruimtelijke en technische beperkingen en de reeds grote opgave voor versterking van het 380 kV-netwerk een belangrijk voordeel is.

Diepe aanlanding kan echter ook nieuwe knelpunten op 380kV-verbindingen veroorzaken in de nabijheid van de aansluitstations, als er door diepe aanlanding lokaal te veel aanbod is aan elektriciteit die niet afgevoerd kan worden met 380kV-verbindingen. Of dit het geval is, hangt af van de lokale vraag en aanbod, en de positie van het aansluitstation in het netwerk. In de volgende paragraaf wordt besproken wat bepaalt of een locatie nettechnisch geschikt is voor diepe aanlanding.

De impact van diepe aanlanding van wind op zee op de 380kV-verbindingen wordt bepaald met een integrale netdoorrekening van TenneT. In paragraaf 3.1 wordt dit besproken.

2.4 Wat bepaalt of een locatie geschikt is voor diepe aanlanding?

Er zijn verschillende aspecten die bepalen of een locatie, vanuit het energiesysteem bezien, geschikt is voor diepe aanlanding van wind op zee. In deze paragraaf worden de relevante aspecten toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt besproken hoe deze aspecten in het beoordelingskader zijn verwerkt.

Een eerste relevant aspect hiervoor is de aansluitcapaciteit. De kabels vanaf windparken op zee moeten, via converterstations, aangesloten worden op het 380kV-net op land bij 380kV-hoogspanningsstations. Bij deze 380kV-hoogspanningsstations is ***aansluitcapaciteit*** nodig. Aansluitcapaciteit, of de mogelijkheid om het station uit te breiden om aansluitcapaciteit te realiseren, is een harde randvoorwaarde voor het realiseren van een diepe aanlanding bij een bepaald station. Op basis van deze randvoorwaarden zijn de te onderzoeken aansluitstations geselecteerd. Stations waar naar verwachting geen aansluitcapaciteit beschikbaar is, of geen aansluitcapaciteit gerealiseerd kan worden, zijn niet onderzocht in de voorverkenning. Meer hierover is te vinden in Bijlage 2 Alternatievendocument.

De diepe aanlandingen van wind op zee hebben, zoals hiervoor besproken, als doel om aanbod van elektriciteit dichter bij de vraag aan te sluiten en daarmee het transport via 380kV-verbindingen te verminderen. Een locatie zien we als geschikt voor diepe aanlanding als:

- Het knelpunten aan 380kV-verbindingen door transport van elektriciteit van de kust naar het binnenland vermindert. Als dit niet het geval is, dan draagt de diepe aanlanding namelijk niet bij aan het doel waarvoor deze gerealiseerd wordt. Een diepe aanlanding kan op twee manieren transport via 380kV-verbindingen verminderen:
    - Doordat de aansluiting nabij vraag in het binnenland gerealiseerd wordt waardoor minder transport richting het binnenland nodig is. Hierdoor wordt de belasting op 380kV-verbindingen vanaf de kust richting gebieden met veel elektriciteitsvraag in het binnenland verminderd.
    - Doordat minder aansluitingen van windparken op zee aan de kust gerealiseerd hoeven te worden. Er zit namelijk een grens aan de hoeveelheid windenergie op zee die aan de kust aangeland kan worden zonder dat grote ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen die de elektriciteit vanuit die regio's moet afvoeren.
- Er door een diepe aanlanding geen nieuwe grote knelpunten aan 380kV-verbindingen ontstaan. Vanwege de ruimtelijke en technische beperkingen voor uitbreidingen aan 380kV-verbindingen is het belangrijk om te voorkomen dat nieuwe uitbreidingen noodzakelijk zijn.

Of diepe aanlanding knelpunten aan 380kV-verbindingen kan voorkomen en of door diepe aanlandingen nieuwe knelpunten aan 380kV-verbindingen ontstaan, is afhankelijk van de volgende aspecten:

- De ***ontwikkeling van (flexibele) elektriciteitsvraag*** is een belangrijke factor, aangezien een hogere vraag kan zorgen dat meer productie lokaal benut kan worden en minder elektriciteit getransporteerd hoeft te worden. Hoe beter de diepe aanlanding aansluit bij lokale vraag, hoe gunstiger dit is voor de netinpassing. Flexibele bronnen, zoals power-to-heat en elektrolyse (en in beperkte mate batterijen), kunnen ook bijdragen aan een gunstigere netinpassing.
- ***Overige productie***. Als er in een regio veel overige productie is, zoals wind op land en zon of eventueel kernenergie, dan kan diepe aanlanding er toe leiden dat er (nog) meer lokale overschotten zijn en meer elektriciteit getransporteerd moet worden. Dit geldt met name bij wind op land (en eventueel kernenergie), aangezien de productie van windparken op zee en

wind op land vaak gelijktijdig is. Maar ook bij zon-PV zijn er momenten met gelijktijdige productie met wind op zee, waardoor deze combinatie ook tot een forse netbelasting kan leiden.
In een deel van de regio's die onderzocht worden voor diepe aanlanding staan grote gascentrales, die in de toekomst naar verwachting (deels) ook nog operationeel zullen zijn (op waterstof, groengas of eventueel met afvang van CO_2). De productie van die centrales zal naar verwachting weinig overlappen met de productie van windparken op zee, aangezien die centrales vooral op momenten met weinig productie van wind- en zonne-energie draaien, en daardoor geen significante impact hebben op de inpassing van diepe aanlanding.

- ***Locatie in het netwerk***. Naast de lokale ontwikkeling van (flexibele) vraag en overig aanbod is ook de locatie in het netwerk van belang. De locatie in het netwerk bepaald de beschikbare transportcapaciteit (dit is niet overal gelijk), maar ook andere aspecten zijn hierbij van belang. Zo lopen er flows door het netwerk, veroorzaakt door de verdeling van vraag en aanbod in het land, die ervoor kunnen zorgen dat bepaalde locaties juist wel of niet gunstig zijn.
  Het kan een voordeel zijn als een aansluitstation nabij een interconnectie ligt, aangezien er op bepaalde momenten elektriciteit geëxporteerd wordt op uren met veel productie van windparken op zee. Dus dan kan het gunstig zijn om diepe aanlanding zo dicht mogelijk bij een interconnectie te realiseren. Het is echter niet volledig zeker dat dit positief uitvalt, aangezien het niet altijd zo is dat er elektriciteit geëxporteerd wordt op momenten met veel productie. De netdoorrekeningen geven hier uitsluitsel over.

Rol van interconnectie in het energiesysteem
Het Nederlandse elektriciteitsnet is via kabels en hoogspanningslijnen verbonden met Duitsland, België, Noorwegen, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk. Hierdoor kan import of export van elektriciteit plaatsvinden en is het elektriciteitsnet flexibeler, betaalbaarder en worden variaties in vraag en aanbod beter opgevangen. Als er in een buurland veel duurzame productie is, dan kan Nederland deze stroom importeren. Tegelijkertijd, als er meer productie van wind op zee is dan de Nederlandse vraag naar elektriciteit dan kan dat naar de buurlanden geëxporteerd worden zodat productie niet hoeft te worden afgeschakeld (curtailment).

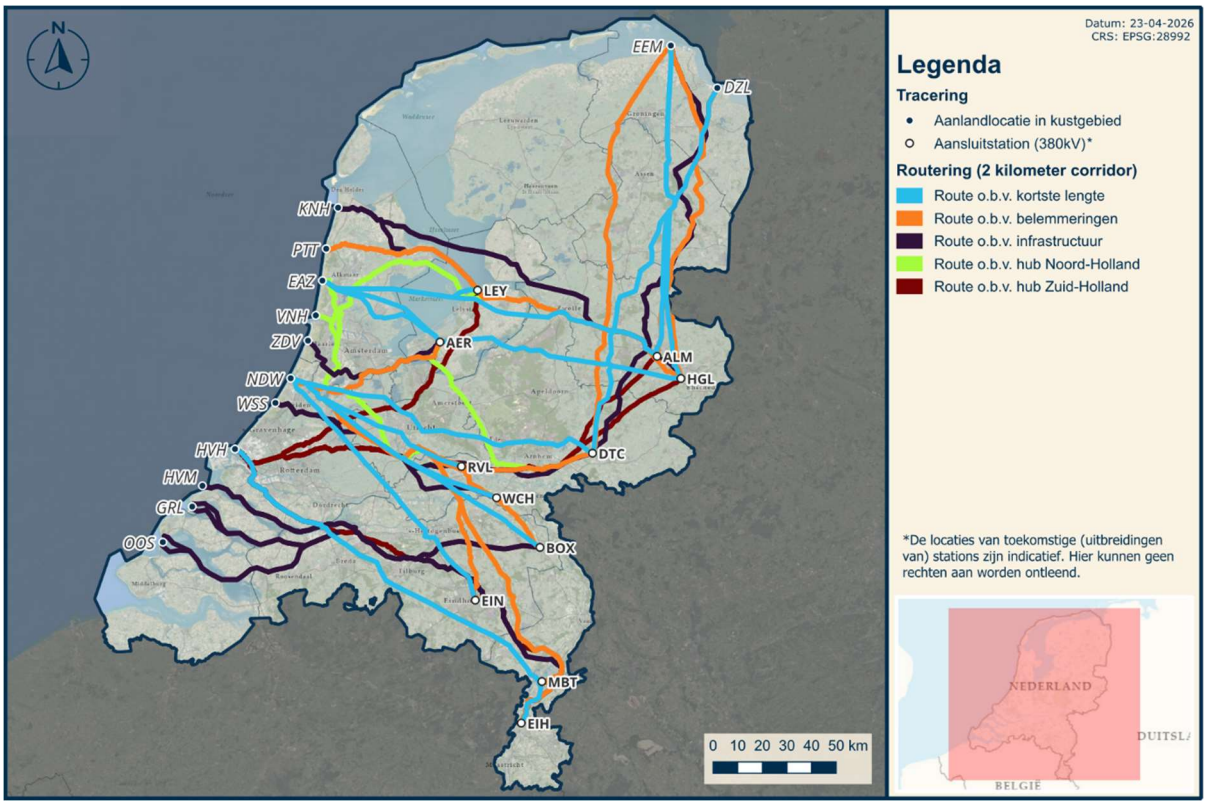
In de netdoorrekeningen van TenneT is de buitenlandse vraag en aanbod van elektriciteit gemodelleerd en niet afhankelijk van waar diepe aanlanding gerealiseerd wordt. Op momenten met veel wind op zee zal er waarschijnlijk export plaatsvinden. Diep aanlanden dicht bij een interconnectie is daarmee een voordeel bij een vergelijking tussen stations in een regio.

2.5 Welke locaties voor diepe aanlanding worden onderzocht?

De onderzochte locaties voor een diepe aanlanding van windenergie zijn:

- Regio Limburg en Eindhoven (Eindhoven, Maasbracht en Einighausen)
- Regio Gelderland en Noord-Brabant (Wijchen, Rivierenland, Doetinchem, Boxmeer)
- Regio Flevoland (Lelystad en Almere)
- Regio Overijssel (Almelo en Hengelo)

De potentiële aansluitstations en de routes richting deze aansluitstations worden in onderstaande Figuur 2-1 weergegeven.



Figuur 2-1 Overzicht aansluitstations en routes richting aansluitstations

3 Methodiek energiesysteemanalyse

In bovenstaand hoofdstuk is besproken wat de energiesysteemanalyse inhoudt, hoe het energiesysteem zich ontwikkelt, welke impact dit heeft op het elektriciteitsnet en wat maakt of een locatie, vanuit het energiesysteem bezien, geschikt is voor diepe aanlanding. In dit hoofdstuk wordt besproken welke analyses gedaan zijn.

Hiervoor wordt eerst de wijze waarop de impact op de elektriciteitsinfrastructuur bepaald wordt besproken. Vervolgens wordt besproken welke scenario's en varianten doorgerekend zijn.

3.1 Analyse impact op elektriciteitsinfrastructuur

Zoals eerder besproken zijn er twee aspecten van belang bij de impact op de elektriciteitsinfrastructuur: er moet voldoende aansluitcapaciteit zijn op het aansluitstation (of aansluitcapaciteit gerealiseerd kunnen worden) en de diepe aanlanding heeft impact op de belasting op 380kV-verbindingen.

Voor het bepalen van de effecten van aansluiting van wind op zee op de belasting op 380kV-verbindingen zijn integrale netdoorrekeningen van TenneT uitgevoerd. In deze doorrekeningen wordt een inschatting gemaakt van de effecten van verschillende scenario's op het 380kV-net in 2040 en 2050.

Richtinggevend onderzoek naar impact wind op zee op energie-infrastructuur, geen absolute waarheid
Het gaat bij de netdoorrekeningen van TenneT expliciet om richtinggevende doorrekeningen, om de relatieve impact bij aansluiting op verschillende locaties in te schatten. Daarmee dienen deze doorrekeningen om afwegingen te maken tussen diepe aanlanding van wind op zee in verschillende regio's. Deze doorrekeningen geven geen overzicht van uitbreidingen die nodig zijn aan de energie-infrastructuur op land. Daarvoor zijn de investeringsplannen van de netbeheerders leidend.

De resultaten zijn geldig binnen de bandbreedte van de gehanteerde scenario's. Scenario's en modellen geven inzicht in de mogelijke ontwikkelingen richting 2040 en 2050, maar zijn geen absolute waarheid. Bij andere ontwikkelingen zal de impact van wind op zee op het elektriciteitsnet ook anders zijn. We geven bij de resultaten een reflectie op de belangrijkste onzekerheden en afhankelijkheden.

De integrale netdoorrekeningen van TenneT bestaat uit twee stappen. In de eerste stap, de marktanalyses, wordt bepaald welke inzet van verschillende bronnen van vraag, aanbod en flexibiliteit en welke uitwisseling met het buitenland plaatsvindt om vraag en aanbod binnen Nederland op elk moment van het in balans te brengen. Vervolgens wordt berekend hoe vraag en aanbod verdeeld zijn over het land en welk transport noodzakelijk is om te zorgen dat alle vraag ingevuld kan worden. De doorrekeningen gaan uit van een energiesysteem waarin vraag en aanbod op elk moment in balans moet zijn en dat het elektriciteitsnet de stromen tussen producenten en afnemers kan transporteren. Uit de doorrekeningen volgt welke knelpunten aan 380kV-verbindingen ontstaan doordat de capaciteit onvoldoende is om al het benodigde transport te faciliteren.

Voor elk knelpunt door een overschrijding van de transportknelpunt is een oplossing noodzakelijk. Het is echter niet zo dat nieuwe energie-infrastructuur altijd noodzakelijk is. Welke oplossing nodig is, is afhankelijk van de ernst van de overschrijding, wat wordt bepaald op basis van de hoeveelheid energie die op jaarbasis niet getransporteerd kan worden (aangeduid als Energy Not Transported

(ENT)). Als dit een kleine hoeveelheid is, kan het knelpunt vaak opgelost worden met een operationele ingreep, met re-dispatch[4]. Als grote hoeveelheden energie niet getransporteerd kunnen worden dan is het knelpunt niet operationeel op te lossen en is een grote ingreep noodzakelijk (zoals aanleg nieuwe verbinding).

De energiesysteemanalyses worden uitgevoerd voor de zichtjaren 2040 en 2050. Op dit moment is er al veel energie-infrastructuur aanwezig en tot 2040 staan al veel investeringen voor nieuwe projecten op de planning. Zo worden veel uitbreidingen gedaan aan het 380kV-net. In de analyses voor de beoordeling zijn de huidige situatie en de geplande investeringen de uitgangssituatie. Dit betekent dat aangenomen wordt dat de geplande investeringen in ieder geval gerealiseerd worden. Investeringen die opgenomen zijn in het investeringsplan van TenneT worden meegenomen.

Hieronder wordt besproken welke scenario's en varianten doorgerekend zijn in de netdoorrekeningen van TenneT.

3.2 Scenario's en varianten

Er zijn meerdere scenario's en varianten doorgerekend om een goede inschatting te kunnen maken van de onzekerheden en de impact van diepe aanlanding op verschillende locaties op de hoogspanningsinfrastructuur op land. De scenario's en variëren op twee onderdelen:

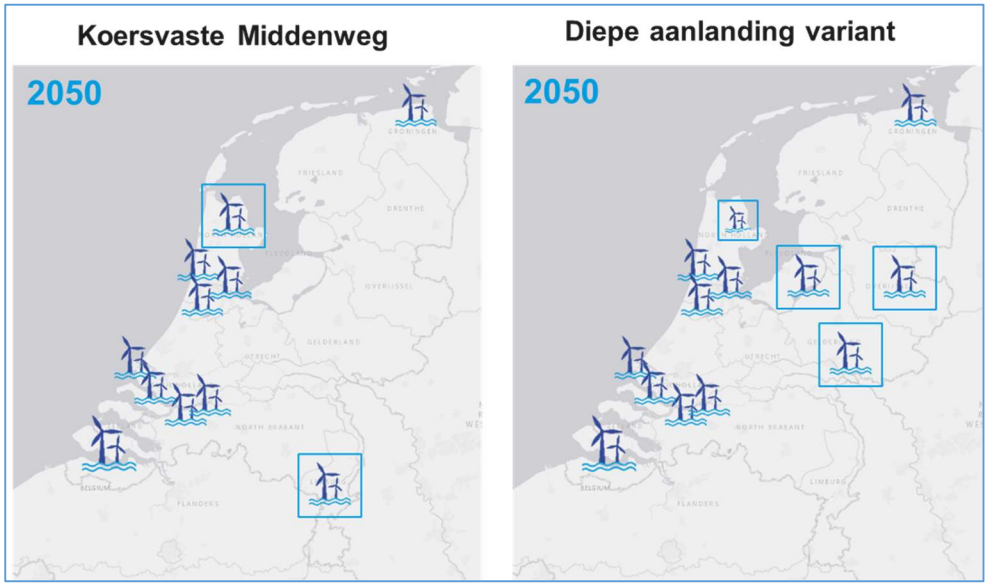
- **Overige ontwikkelingen energiesysteem/energetisch scenario.** De ontwikkeling van de energievraag en overige productiebronnen is van belang voor de impact van wind op zee op de energie-infrastructuur op land. Hoe deze ontwikkelingen gaan lopen is nog niet duidelijk.
- **Locaties diepe aanlanding wind op zee.** Dit wordt gevarieerd om de impact van diepe aanlanding op verschillende locaties te bepalen.

De basisscenario's van Netbeheer Nederland en de ruimtelijke varianten van PEH II worden gebruikt voor de Voorverkenning Diepe Aanlandingen. De volgende scenario's en varianten zijn doorgerekend en worden gebruikt voor de energiesysteemanalyse:

- **Basisscenario's Koersvaste Middenweg, Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans 2040.** De scenario's Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen hebben elk één diepe aanlanding van 2 GW in Limburg, maar andere aannames voor de overige ontwikkelingen van het elektriciteitssysteem. Het scenario Gezamenlijke Balans heeft geen diepe aanlanding.
- **Ruimtelijke variant diepe aanlanding voor Koersvaste Middenweg 2040.** Er is één ruimtelijke variant onderzocht voor 2040, waarbij diepe aanlanding in Overijssel (Twente), Flevoland en Gelderland-Zuid/Noord-Brabant Oost is meegenomen (2 GW per regio). Dit is een variant op het scenario Koersvaste Middenweg, waarbij de overige aannames over de ontwikkeling van het energiesysteem gelijk blijven maar alleen de locaties voor aansluiting van wind op zee wijzigt. Deze variant heeft minder aansluiting in Limburg, Zuid-Holland en Noord-Holland.

[4] Bij redispatch betaalt TenneT afnemers of producenten van elektriciteit om hun productie of afname te verminderen of juist toe te laten nemen zodat minder transport nodig is op een verbinding waar een knelpunt dreigt op te treden. Als er slechts op enkele momenten in het jaar knelpunten optreden op een bepaalde verbinding is dit goedkoper dan het aanleggen van nieuwe infrastructuur. We gaan uit van een technische grens van maximaal 0,5 TWh/jaar (economisch gezien is bij een lagere grens verzwaring al voordeliger). Dit is nadrukkelijk een vuistregel; de daadwerkelijke redispatch-mogelijkheden zullen per locatie verschillen en zijn sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van regelbaar vermogen op de juiste locaties in het net.

- **Basisscenario's Koersvaste Middenweg, Eigen Vermogen en Gezamenlijke Balans 2050.** Deze scenario's hebben elk twee diepe aanlanding in Limburg, maar andere aannames voor de overige ontwikkelingen van het elektriciteitssysteem.
- **Ruimtelijke variant diepe aanlanding voor Koersvaste Middenweg 2050.** Ook voor 2050 is een variant op het scenario Koersvaste Middenweg doorgerekend met diepe aanlanding in Overijssel (Twente), Flevoland en Gelderland-Zuid/Noord-Brabant Oost is meegenomen (2 GW per regio). Deze variant heeft minder aansluiting in Limburg en Noord-Holland.



Figuur 3-1 Aansluiting wind op zee bij basisscenario Koersvaste Middenweg en Diepe aanlanding variant

De inzichten van de netdoorrekeningen worden gebruikt om per aansluitregio uitspraken te doen over de effecten van diepe aanlanding van wind op zee in die regio. Idealiter wordt hiervoor een scenario zonder diepe aanlandingen vergeleken met varianten met alle mogelijke combinaties van diepe aanlandingen in de verschillende regio's. Echter doorrekeningen zijn arbeidsintensief. Daarom is ervoor gekozen om, naast het basisscenario met diepe aanlanding in Limburg, een variant door te rekenen met één diepe aanlanding in elk van de andere drie regio's (Flevoland, Overijssel, Gelderland-Zuid/Noord-Brabant Oost). Op basis van een gedetailleerde analyse van de uitkomsten en op basis van *expert judgement* worden de inzichten van netdoorrekeningen van de basisscenario's en de ruimtelijke varianten vertaald naar een inschatting van de effecten van diepe aanlanding per regio.

Binnen elk van de vier regio's die onderzocht zijn er verschillende mogelijke aansluitstations. In de basisscenario's en de varianten is voor elke regio een aanname gemaakt op welk van de aansluitstations in de regio de diepe aanlanding gerealiseerd wordt[5]. Met behulp van aanvullende kwalitatieve analyses kan er gedegen inzicht gegeven worden in de impact bij aansluiting op een ander station in dezelfde regio waardoor specifieke aanvullende doorrekeningen niet nodig zijn. Op basis van de uitkomsten van de netdoorrekeningen en de verwachtte ontwikkeling van vraag en aanbod per aansluitstation wordt vervolgens een beschouwing gegeven op de geschiktheid van de verschillende aansluitstations binnen een regio.

[5] Om een netdoorrekening te kunnen doen moet een specifiek aansluitstation gekozen worden. De keuze hiervoor is arbitrair en zegt niets over de wenselijkheid van diepe aanlanding bij dat aansluitstation.

4 Beoordelingskader

4.1 Introductie

In de effectbeoordeling worden potentiële diepe aanlandingen beoordeeld, waarbij zowel naar routes als naar de converterstations en aansluitstations gekeken wordt. Voor het energiesysteem is met name het aansluitstation, het eindpunt van de routes, van belang aangezien de routes hier worden aangesloten op het energiesysteem op land. Hoe de routes zelf lopen, zowel het deel onder de Noordzee als het deel onder land, is voor de impact op het energiesysteem op land niet van belang. Daarom maken we bij de beoordeling energiesysteem geen onderscheid tussen verschillende routes die eenzelfde aansluitstation hebben, per aansluitstation volgt één beoordeling.

De kabels vanaf windparken op zee moeten, via converterstations, aangesloten worden op het hoogspanningsnet op land bij hoogspanningsstations. Hier is ***aansluitcapaciteit*** voor nodig. Daarnaast moet de elektriciteit vanaf de aansluitstations getransporteerd worden richting de eindgebruikers. Een diepe aanlanding heeft **impact op** de transportstromen en daarmee op de belasting en benodigde ingrepen aan **380kV-verbindingen**. Beide aspecten worden beoordeeld.

De aansluitcapaciteit beoordelen we op het niveau van individuele stations/aansluitstations. De impact op 380kV-verbinding wordt per regio beoordeeld. Er zijn meerdere stations per regio. Voor elk van de stations brengen we de relevante overwegingen met betrekking tot de impact op de 380kV-verbindingen in kaart. Daarmee geven we inzicht welke stations binnen de regio, vanuit het perspectief van het energiesysteem, het meest geschikt lijken voor een diepe aanlanding.

Daarnaast is voor het energiesysteem niet alleen de impact van een enkele aansluiting, maar ook de gezamenlijke impact van diepe aanlandingen, aansluitingen aan de kust en de overige ontwikkelingen van het energiesysteem van belang. Daarom geven we ook een overkoepelende beschouwing van de impact van diepe aanlanding en de interactie tussen aansluitingen in verschillende regio's.

Bij de beoordeling van de impact op het energiesysteem zijn twee assen van belang:

- **Omvang ingreep.** Bij het bepalen van de impact van diepe aanlanding van wind op zee op de hoogspanningsinfrastructuur op land is van belang of de bestaande infrastructuur het aansluiten en transporteren van elektriciteit kan faciliteren of niet. Indien de bestaande en geplande hoogspanningsinfrastructuur voldoende capaciteit heeft, dan is er geen probleem. Maar als er onvoldoende capaciteit is, dan is een ingreep noodzakelijk. Welke ingreep noodzakelijk is, is afhankelijk van de mate van overschrijding van de capaciteit (in tijd en/of omvang). Bij een beperkte overschrijding van de capaciteit kan het probleem naar waarschijnlijkheid met een operationele ingreep (zoals re-dispatch[6]) opgelost worden. Als grote hoeveelheden energie niet getransporteerd kunnen worden dan is het knelpunt niet operationeel op te lossen en is een grote ingreep noodzakelijk (zoals aanleg nieuwe verbinding).

[6] Bij re-dispatch betaalt TenneT afnemers of producenten van elektriciteit om hun productie of afname te verminderen of juist toe te laten nemen zodat minder transport nodig is op een verbinding waar een knelpunt dreigt op te treden. Als er slechts op enkele momenten in het jaar knelpunten optreden op een bepaalde verbinding is dit goedkoper dan het aanleggen van nieuwe infrastructuur. We gaan uit van een technische grens van maximaal 0,5 TWh/jaar (economisch gezien is bij een lagere grens verzwaring al voordeliger). Dit is nadrukkelijk een vuistregel; de daadwerkelijke re-dispatch-mogelijkheden zullen per locatie verschillen en zijn sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van regelbaar vermogen op de juiste locaties in het net.

- **Robuustheid/overige ontwikkelingen energiesysteem.** De ontwikkelingen rondom wind op zee staan niet op zichzelf. Het hele energiesysteem zal ingrijpend veranderen richting 2040 en 2050. De overige ontwikkelingen in het energiesysteem hebben een impact op de inpassing van diepe aanlanding van wind op zee. Daarom is het niet mogelijk om één beoordeling per verbinding of regio te doen. Dit vangen we op door naar de robuustheid van de beoordeling te kijken. Hierbij geven we aan in welke mate de impact van wind op zee op de hoogspanningsinfrastructuur, en dus de beoordeling, afhankelijk is van de overige ontwikkelingen van het energiesysteem. Daarbij ligt de focus op de afhankelijkheid van de geplande uitbreidingen van de elektriciteitsinfrastructuur, de aansluiting van wind op zee aan de kust, de elektriciteitsvraag, flexibele bronnen (zoals opslag en elektrolyse) en kernenergie.

De beoordeling werkt volgens een stoplichtmodel, zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4-1 Beoordelingstabel Impact op energiesysteem

Beoordelingsaspect	Score	Criterium beoordeling
Impact op het energiesysteem	Geen ingreep nodig voor diepe aanlanding en gunstige impact op energiesysteem.	Deze uitkomst is robuust en niet/beperkt afhankelijk van de overige ontwikkelingen van het energiesysteem.
	Beperkte ingreep nodig voor diepe aanlanding en gunstige impact op energiesysteem.	Deze uitkomst is robuust en niet/beperkt afhankelijk van de overige ontwikkelingen van het energiesysteem.
	Mogelijk grote ingreep nodig voor diepe aanlanding of mogelijk geen gunstige impact diepe aanlanding op energiesysteem.	Dit is afhankelijk van de overige ontwikkelingen van het energiesysteem.
	Grote ingreep nodig en/of geen gunstige impact op energiesysteem.	Deze uitkomst is robuust en niet/beperkt afhankelijk van de overige ontwikkelingen van het energiesysteem.

In de volgende paragrafen worden de beoordeling voor de aansluitcapaciteit en impact op 380kV-verbindingen in meer detail besproken. Eerst wordt dieper ingegaan op algemene uitgangspunten bij de beoordeling.

4.2 Algemene uitgangspunten

De algemene uitgangspunten bij de beoordeling voor energiesysteem zijn:

- De effecten worden beoordeeld ten opzichte van een referentiesituatie zonder diepe aanlanding.
- In de beoordeling wordt gekeken naar zichtjaren 2040 en 2050.
- In de beoordeling wordt aangenomen dat het energiesysteem altijd kloppend is. Dit betekent dat aangenomen wordt dat vraag en aanbod ten alle tijden in balans zijn en dat alle energie getransporteerd kan worden vanaf de windparken op de Noordzee naar de eindgebruikers. Bij de beoordeling wordt beschouwd welke ingrepen aan energie-infrastructuur noodzakelijk zijn om dit te kunnen faciliteren.
- Voor de overige ontwikkelingen wordt uitgegaan van het energiesysteem van de ontwikkelingen van de scenario's die gebruikt worden voor het PEH II (zie paragraaf 3.2).
- Er wordt ervan uitgegaan dat alle geplande uitbreidingen aan de elektriciteitsinfrastructuur in 2040 gerealiseerd zijn, inclusief de voorkeursalternatieven van het Programma VAWOZ. Dit is dus de referentiesituatie. Investeringen die opgenomen zijn in het investeringsplan van netbeheerders of waar een investeringsbeslissing voor is gedaan, worden meegenomen.

- In de energiesysteemstudie voor elektriciteit wordt uitgegaan van de wettelijke normen rondom zekerheid van het elektriciteitsnet, zoals N-1 redundantie[7].

4.3 Aansluitcapaciteit

Of aansluitcapaciteit beschikbaar is wordt op het niveau van individuele stations beoordeeld. Voor de keuze tussen stations binnen de regio is de aansluitcapaciteit van de verschillende stations, vanuit het energiesysteem, een relevante factor. Beschikbare aansluitcapaciteit op een station, of de mogelijkheid om het station uit te breiden om aansluitcapaciteit te realiseren, is een harde randvoorwaarde voor het realiseren van een diepe aanlanding bij een bepaald station.

In theorie is het ook mogelijk om een nieuw station te realiseren, maar binnen de voorverkenning hanteren we het aansluiten bij bestaande en geplande stations die zijn opgenomen in het investeringsplan Net op Land 2026 van TenneT als uitgangspunt. Om een knelpuntanalyse te kunnen uitvoeren moet de toekomstige netstructuur duidelijk zijn wat niet het geval is bij nog niet voorziene stations. Daarnaast moet voldoende ruimte beschikbaar zijn voor een nieuw station en kost de aanleg van een nieuw station veel tijd (7-10 jaar). Ook moeten nieuwe stations aangekoppeld worden met bovengrondse verbindingen, wat ook een ruimtelijke impact heeft. Daarom wordt voor nu uitgegaan van bestaande en geplande stations, en wordt onderzocht of er bij die stations voldoende aansluitcapaciteit beschikbaar is.

Stations die zich momenteel nog in een vroege planfase bevinden en niet in het investeringsplan van TenneT zijn opgenomen, zoals een mogelijk nieuw station bij Utrecht-West, kunnen – zodra ze zijn opgenomen in het investeringsplan – alsnog worden beoordeeld op een diepe aanlanding, mits dit op dat moment nog wenselijk is vanuit het energiesysteem.

Relatie met toetsing mogelijke alternatieven op basis van aansluitcapaciteit
Bij de toetsing van potentiële aansluitstations bij het bepalen van mogelijke alternatieven (zie bijlage 2 Alternatievendocument) is de (mogelijke) beschikbaarheid van aansluitcapaciteit al meegenomen als randvoorwaarde. Dit betekent dat alleen stations zijn meegenomen in het onderzoek en beoordeeld worden die mogelijk aansluitcapaciteit hebben en dat er geen stations zijn die een rode beoordeling krijgen (zie onderstaande beoordelingsschaal). Bij deze effectbeoordeling op het thema Energiesysteem doen we nog een beoordeling op het onderwerp aansluitcapaciteit om te specificeren hoe (on)zeker het is dat aansluitcapaciteit beschikbaar is en dit mee te kunnen wegen in de keuze tussen aansluitstations.

Per station wordt beoordeeld of er (naar verwachting) voldoende aansluitcapaciteit is voor het aansluiten van één of twee 2 GW diepe aanlanding(en). Dit wordt gedaan op basis van inzichten van TenneT. Bij de beoordeling wordt ook de (on)zekerheid voor de aanwezigheid van aansluitcapaciteit meegenomen. De onderstaande Tabel 4-2 geeft de mogelijke beoordelingen voor het onderdeel aansluitcapaciteit. Stations waar geen aansluitcapaciteit beschikbaar is, zijn al afgevallen bij de toetsing van mogelijke alternatieven (zie bovenstaand kader). Dit betekent dat de stations die nog onderzocht worden alleen een groene of oranje beoordeling kunnen krijgen.

[7] Dit betekent dat het elektriciteitsnet ook nog alle energie moet kunnen transporteren als één component uitvalt, bijvoorbeeld door een calamiteit. Er is dus een reservecomponent. Deze N-1 redundantie dient overal in het hoogspanningsnet te gelden.

Tabel 4-2 Beoordelingstabel aansluitcapaciteit

Beoordelingsaspect	Score	Toelichting beoordeling
Aansluitcapaciteit	Aansluitcapaciteit beschikbaar	Verbinding kan met grote zekerheid aangesloten worden op het 380kV-hoogspanningsstation. Geplande stations moeten in de fase voorbereiding/basisontwerp of realisatie zijn opgenomen in het investeringsplan.
	Beschikbaarheid afhankelijk van besluitvorming over uitbreiding/ realisatie hoogspanningsstation	Beschikbaarheid van aansluitcapaciteit is afhankelijk van overige ontwikkelingen (zoals ontwikkeling elektriciteitsvraag, kernenergie). Dit is ook van toepassing op geplande stations die nog in studiefase zijn, en waarvoor nog geen basisontwerp ligt.
	Geen aansluitcapaciteit beschikbaar	Aansluiting kan naar verwachting niet aangesloten worden op het 380kV-hoogspanningsstation. Er is geen aansluitcapaciteit beschikbaar en er uitbreiding is niet realistisch. Deze locaties maken geen onderdeel uit van de alternatieven.

Inschatting beschikbare aansluitcapaciteit
Voor elk van de stations die onderzocht worden voor diepe aanlanding is een inschatting gemaakt van de beschikbare aansluitcapaciteit, en de mogelijkheid voor uitbreiding. Hiervoor is voor elk van de stations een inschatting gemaakt van de vrije velden die op dit moment beschikbaar zijn, maar de beschikbare vrije velden kunnen ook voor aansluiting van andere partijen of netuitbreidingen gebruikt worden. Daarom is ook een inschatting gemaakt hoeveel velden al voor andere doeleinden (netuitbreidingen/kwaliteit netwerk) noodzakelijk zijn. Bij het aansluiten van andere partijen is door TenneT rekening gehouden met klantaanvragen die contractueel ver gevorderd, en daarmee behoorlijk zeker zijn. Maar het is alsnog niet 100% zeker dat deze partijen daadwerkelijk een aansluiting zullen krijgen. Daarnaast is het ook mogelijk dat er nog andere partijen een aansluiting willen en is het nog niet duidelijk hoeveel velden nodig zijn voor netuitbreidingen en kwaliteit van het netwerk.

Dit betekent dat de inschatting van de beschikbare aansluitcapaciteit de best mogelijke inschatting is die nu gemaakt kan worden, maar geen absolute waarheid is. Het is nog niet duidelijk hoeveel velden daadwerkelijk beschikbaar zullen zijn, dit kan zowel positiever als negatiever uitvallen.

4.4 Impact op 380kV-verbindingen

Op regioniveau wordt de impact van diepe aanlandingen op 380kV-verbindingen beoordeeld. De beoordeling of voldoende transportcapaciteit beschikbaar is, gebeurt op basis van de netdoorrekeningen van de scenario's en varianten door TenneT (zie paragraaf 3.1). Bepalend voor de impact van diepe aanlanding op 380kV-verbindingen zijn: lokale elektriciteitsvraag, flexibiliteitsbronnen, overige productie, beschikbare transportcapaciteit en de locatie in het netwerk. Deze aspecten worden meegewogen bij de beoordeling voor impact op de hoogspanningsverbindingen op land.

De beoordeling op het aspect impact op 380kV-verbindingen wordt gedaan op basis van de ingrepen die nodig zijn. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar beperkte ingrepen en grote ingrepen. Re-dispatch wordt gezien als een beperkte ingreep aangezien dit een operationele ingreep is en hiervoor geen fysieke uitbreidingen noodzakelijk zijn. Als de knelpunten op de 380kV-verbindingen te groot zijn of te veel momenten in het jaar voorkomen, dan is re-dispatch niet voldoende en is een grote ingreep noodzakelijk. De 'standaard' grote ingreep is een netuitbreiding, maar er zijn ook andere grote ingrepen denkbaar zoals ingrijpen in de markt om windparken af te kunnen schakelen als knelpunten dreigen.

Voor de impact op de 380kV-verbindingen wordt per regio beoordeeld of:

- Er nieuwe grote ingrepen aan 380kV-verbindingen nodig zijn. Vanwege de ruimtelijke en technische beperkingen voor uitbreidingen aan 380kV-verbindingen is het wenselijk om te voorkomen dat nieuwe uitbreidingen noodzakelijk zijn. Voor dit punt wordt per regio beoordeeld welke ingrepen noodzakelijk zijn bij realisatie van diepe aanlanding in die regio, en wordt dit vergeleken met de ingrepen die nodig zijn zonder diepe aanlanding in die regio.
- Het knelpunten aan 380kV-verbindingen door transport van elektriciteit van de kust naar het binnenland vermindert. Het verminderen van ingrepen aan het elektriciteitsnet en netcongestie is een doel van het realiseren van diepe aanlandingen. Voor dit punt wordt per regio beoordeeld of er ingrepen in andere gebieden van Nederland, bijvoorbeeld op verbindingen vanaf de kust naar het binnenland, voorkomen kunnen worden door diepe aanlandingen.

Bij de beoordeling voor beide punten wordt onderscheid gemaakt naar de mate van ingreep aan 380kV-verbinding die noodzakelijk is (bij het eerste punt) of voorkomen kan worden (bij het tweede punt) enerzijds en de robuustheid/afhankelijkheid van andere ontwikkelingen anderzijds.

Tabel 4-3 Beoordelingstabel impact op 380kV-verbindingen

Beoordelingsaspect	Score	Criterium beoordeling
Impact op 380kV-verbindingen: inpasbaarheid in regio	Geen ingrepen aan 380kV-verbindingen nodig voor inpassing.	Geen extra ingrepen bij 380kV-verbindingen in aansluitregio door diepe aanlanding.
	Beperkte ingrepen aan 380kV-verbindingen nodig voor inpassing.	Beperkte ingrepen (<0,5 TWh ENT) bij 380kV-verbindingen in aansluitregio door diepe aanlanding.
	Risico dat nieuwe grote ingrepen nodig zijn voor inpassing.	Mogelijk grote ingrepen (>0,5 TWh ENT) bij 380kV-verbindingen in aansluitregio door diepe aanlanding. Of dit gebeurt is afhankelijk van overige ontwikkelingen van het energiesysteem.
	Nieuwe grote ingrepen nodig voor inpassing.	Grote ingrepen (>0,5 TWh ENT) nodig aan 380kV-verbindingen in aansluitregio door diepe aanlanding. Dit is robuust en niet/beperkt afhankelijk van overige ontwikkelingen van het energiesysteem.
Impact op 380kV-verbindingen: voorkomen ingrepen elders in het land	Kan grote ingrepen aan 380kV-verbindingen elders in het land voorkomen	Kan grote ingrepen (>0,5 TWh ENT) aan 380kV-verbindingen elders in Nederland voorkomen. Dit is robuust en niet/beperkt afhankelijk van overige ontwikkelingen van het energiesysteem.
	Afhankelijk van andere ontwikkelingen energiesysteem (zoals vraag elektriciteit, flexibiliteit of kernenergie) of het ingrepen elders in het land kan voorkomen.	Kan grote ingrepen (>0,5 TWh ENT) aan 380kV-verbindingen elders in Nederland voorkomen of verminderen, maar dit is afhankelijk van andere ontwikkelingen in het energiesysteem.
	Kan geen grote ingrepen aan 380kV-verbindingen elders in het land voorkomen en heeft vanuit energiesysteem bezien in geen enkel denkbaar scenario meerwaarde ten opzichte van aanlanding aan kust.	Kan in geen enkel denkbaar scenario grote ingrepen (>0,5 TWh ENT) aan 380kV-verbindingen elders in Nederland voorkomen, ten opzichte van aanlanding aan de kust.

Bovenstaande aspecten worden per regio beoordeeld. Er zijn echter meerdere stations per regio en de impact op 380kV-verbindingen kan wel verschillen tussen stations. Voor elk van de 380kV-hoogspanningsstations worden de relevante overwegingen met betrekking tot de impact op de 380kV-verbindingen in kaart gebracht. Daarmee wordt inzichtelijk gemaakt welke 380kV-hoogspanningsstations binnen de regio, vanuit het perspectief van het energiesysteem, het meest geschikt lijken voor een diepe aanlanding. Daarvoor wordt de toekomstige vraag, aanbod en flexibele bronnen per station in kaart gebracht. Daarnaast wordt een beschouwing gegeven op de locatie in het netwerk van het station en wat dit betekent voor de geschiktheid.

5 Resultaten per regio

Richtinggevend onderzoek naar impact wind op zee op energie-infrastructuur, geen absolute waarheid
Het gaat bij de netdoorrekeningen van TenneT expliciet om richtinggevende doorrekeningen, om de relatieve impact bij aansluiting op verschillende locaties in te schatten. Daarmee dienen deze doorrekeningen om afwegingen te maken tussen diepe aanlanding van wind op zee in verschillende regio's. Deze doorrekeningen geven geen overzicht van uitbreidingen die nodig zijn aan de energie-infrastructuur op land. Daarvoor zijn de investeringsplannen van de netbeheerders leidend.

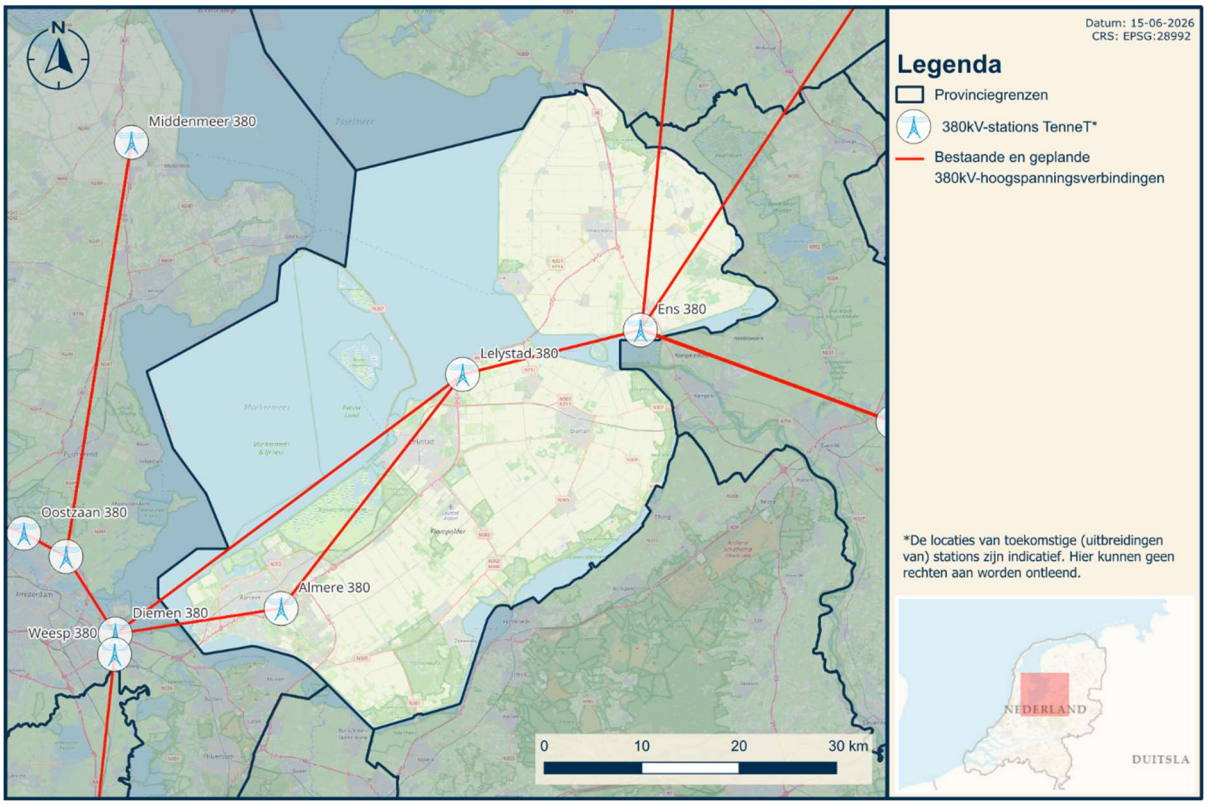
De resultaten zijn geldig binnen de bandbreedte van de gehanteerde scenario's. Scenario's en modellen geven inzicht in de mogelijke ontwikkelingen richting 2040 en 2050, maar zijn geen absolute waarheid. Bij andere ontwikkelingen zal de impact van wind op zee op het elektriciteitsnet ook anders zijn. We geven bij de resultaten een reflectie op de belangrijkste onzekerheden en afhankelijkheden.

5.1 Flevoland

5.1.1 Introductie

In Flevoland wordt een diepe aanlanding onderzocht voor een nieuw 380kV-hoogspanningsstation bij Lelystad, of op het geplande 380kV-hoogspanningsstations Almere. Er wordt onderzoek gedaan naar realisatie van maximaal één aanlanding van 2 GW in de regio.

Het bestaande 380kV-net in Flevoland is weergegeven in Figuur 5-1. Station Lelystad is verbonden met Diemen en Ens via twee circuits. In het meest recente investeringsplan van TenneT staan uitbreidingen gepland op beide verbindingen voor een 3e en 4e circuit, met een geplande realisatie in 2038-2041. Als onderdeel van de uitbreiding van de verbindingen tussen Diemen en Ens is ook het plan voor een nieuw 380kV-hoogspanningsstation bij Lelystad opgenomen. Dit station zit in de studiefase. Een nieuw 380kV-hoogspanningsstation in Almere zit in de studiefase en staat gepland voor 2038-2041 en zal verbonden worden met Diemen en Lelystad.



Figuur 5-1 Bestaande en geplande 380kV-infrastructuur Flevoland

In Tabel 5-1 staan de kerncijfers voor vraag, aanbod en flexibiliteit weergegeven. De grootste elektriciteitsvraag komt vanuit de gebouwde omgeving, gevolgd door mobiliteit en industrie. Het opgestelde vermogen van wind-op-land en zon-PV is hoog er ook is er veel flexibiliteit beschikbaar door batterijen. Door het hoge opgestelde vermogen van hernieuwbare energie zal de regio regelmatig exporteren. Deze stroom zal richting de Randstad gaan, waar de elektriciteitsvraag hoog is.

Tabel 5-1 Kerncijfers vraag, aanbod en flexibiliteit Flevoland[8]

	2040	**2050**
Vraag en aanbod		
Elektriciteitsvraag (piek)	4300-5300 MW	5000-6000 MW
Wind op land	2200-2500 MW	2500-3800 MW
Zon-pv	1700-2800 MW	2400-4100 MW
Flexibiliteit		
Elektrolysers	200-400 MW	200-500 MW
Batterijen	1900-2000 MW	2200-2500 MW

Naast de lokale vraag en aanbod is ook de locatie van Flevoland in het nationale netwerk van belang voor de geschiktheid van Flevoland voor diepe aanlanding. Er zal in de toekomst naar verwachting doortransport van elektriciteit plaatsvinden door Flevoland, door transportstromen vanaf Noord-Nederland (met veel aanbod van wind op zee en elektriciteitscentrales) richting de Randstad (met een grote vraag naar elektriciteit). Het doortransport vanaf Noord-Nederland naar de Randstad via Flevoland zal voornamelijk plaatsvinden op momenten met weinig productie van windparken op

[8] De geografische afbakening hiervoor zijn de pockets van de 380kV-stations Almere, Lelystad en Ens.

zee[9], maar ook op momenten met veel productie van windparken op zee zal doortransport plaatsvinden.

Het effect van 2 GW diepe aanlanding in Flevoland is meer aanbod van windenergie, dat grotendeels overeenkomt qua profiel met windenergie op land. Dit betekent dat er extra productie plaatsvindt op momenten dat de vraag binnen Flevoland al grotendeels ingevuld wordt met lokale productie, of dat er zelfs lokaal al overschotten zijn. Dit betekent dat er door diepe aanlanding (extra) elektriciteit vanuit Flevoland afgevoerd wordt richting de Randstad. Dit wordt versterkt door het doortransport van elektriciteit vanaf Noord-Nederland richting de Randstad.

De belangrijkste factoren die impact hebben op wat er mogelijk is qua diepe aanlanding in Flevoland zijn:

- **Ontwikkeling vraag en aanbod in rest van Nederland**. Zoals hierboven besproken is, vindt er veel doortransport plaats van elektriciteit via Flevoland. Dit heeft ook impact op de mogelijkheden voor diepe aanlanding. De ontwikkeling van vraag en aanbod van elektriciteit, en dan met name de ontwikkeling van vraag in de Randstad en aanbod in Noord-Nederland, bepalen hoeveel doortransport van elektriciteit via Flevoland plaatsvindt.
- **Ontwikkeling elektriciteitsvraag en aanbod in Flevoland**. Zowel de lokale productie van duurzame elektriciteit door zon en wind als de elektriciteitsvraag nemen toe in Flevoland. De balans tussen vraag en aanbod in de provincie bepaalt of de elektriciteit van een diepe aanlanding lokaal benut kan worden of moet worden afgevoerd. Het opgestelde vermogen van zon-PV en windenergie op land is in de scenario's voor 2040 en 2050 groter dan de vraag naar elektriciteit. Maar als de elektriciteitsvraag sterker toeneemt dan voorzien in de scenario's, bijvoorbeeld door een forse toename van datacenters in Flevoland[10], dan zal een groter deel van de elektriciteit van een diepe aanlanding lokaal benut worden en minder afgevoerd te hoeven worden richting de Randstad.
- **Ontwikkeling 380 kV in de regio.** In Flevoland staan extra circuits op bestaande verbindingen gepland en de realisatie van een nieuw station in Almere. In het kader van uitbreiding van het 3e en 4e circuit tussen Diemen, Lelystad en Ens wordt ook gekeken naar een nieuw station bij Lelystad. Als niet alle uitbreidingsinvesteringen doorgaan, dan zal de transportcapaciteit door Flevoland kleiner zijn.

5.1.2 Aansluitcapaciteit

Er zijn de in de regio twee potentiële aansluitstations: Lelystad en Almere. De conclusies over de aansluitcapaciteit van deze stations zijn:

- Bij het geplande 380kV-hoogspanningsstation Almere is er naar verwachting aansluitcapaciteit voor een diepe aanlanding. Dit station is echter nog wel in studiefase.
- In het kader van de nieuwe 380kV-verbindingen tussen Diemen, Lelystad en Ens wordt een nieuw 380kV-hoogspanningsstation bij Lelystad onderzocht. Bij het geplande 380kV-hoogspanningsstation Lelystad is er naar verwachting aansluitcapaciteit voor een diepe aanlanding. Dit station is echter nog wel in studiefase.

[9] Op momenten met veel productie van windparken op zee is er ook veel aanbod van elektriciteit in de Randstad, door de aansluitingen van wind op zee daar, die dan een groot deel van de vraag in de Randstad invullen.

[10] Dit wordt als ruimtelijke variant onderzocht in PEH II, zie de concept-NRD van PEHII.

Tabel 5-2 Beoordeling aansluitcapaciteit stations Flevoland

	Station Lelystad	Station Almere
Aansluitcapaciteit		

5.1.3 Impact op 380kV-verbindingen

De conclusies over de impact op 380kV-verbindingen zijn:

- Uit de netdoorrekeningen volgt dat er door diepe aanlanding in Flevoland geen nieuwe knelpunten ontstaan waar grote ingrepen voor nodig zijn. Wel worden knelpunten waarvoor een beperkte ingreep nodig is mogelijk wat groter.
- Op momenten met hoge productie van windenergie op zee wordt de lokale vraag in Flevoland grotendeels ingevuld met de productie van windenergie op land. Dit betekent dat diepe aanlanding in Flevoland niet tot het verminderen van knelpunten op 380kV-verbindingen leidt doordat het nabij vraag gerealiseerd wordt. Diepe aanlanding in Flevoland leidt er naar verwachting juist toe dat meer elektriciteit afgevoerd wordt vanuit Flevoland, richting de Randstad. Onder bepaalde voorwaarden kan diepe aanlanding in Flevoland echter wel leiden tot vermindering van knelpunten op 380kV-verbindingen:
    - Als de vraag in Flevoland nog een stuk sterker toeneemt dan in de doorgerekende scenario's doordat er fors meer vraag van datacenters komt, dan zal een diepe aanlanding voor het invullen van de lokale vraag wel gunstig kunnen zijn.
    - Er zit een grens aan de hoeveelheid aansluitingen die aan de kust gerealiseerd kunnen worden. Ruimtelijk en technisch zijn er grenzen, maar er zit ook energetisch een grens aan de hoeveelheid aansluitingen die in kustregio's gerealiseerd kunnen worden zonder dat knelpunten ontstaan op 380kV-verbindingen die elektriciteit vanuit die regio's moeten afvoeren. Bij een hoge ambitie voor (elektrische aansluitingen van) windenergie op zee kan een diepe aanlanding bij Flevoland voor het energiesysteem wel gunstig zijn als alternatief van een aansluiting aan de kust.
    - Of een diepe aanlanding bij Flevoland een gunstige impact kan hebben op het energiesysteem hangt ook af van waarvoor het als alternatief gezien wordt. Zoals eerder besproken worden er transportstromen vanaf Noord-Nederland richting de Randstad voorzien door veel aanbod in Noord-Nederland en veel vraag in de Randstad. Dit betekent dat een diepe aanlanding bij Flevoland als alternatief voor een aansluiting bij de Eemshaven, bijvoorbeeld vanwege de technische en economische uitdagingen van de tunnelroute, voor het energiesysteem gunstig kan zijn. In dat geval is namelijk minder transport vanaf Noord-Nederland tot aan Flevoland nodig. Maar een diepe aanlanding in Flevoland als alternatief voor een aansluiting in de Randstad is juist ongunstig voor het energiesysteem, aangezien er dan meer transport vanaf Zeeland richting de Randstad nodig is. Dit benadrukt dat de effecten van diepe aanlandingen niet in isolatie gezien kunnen worden en uiteindelijk naar het hele portfolio van aansluitingen, en ook de samenhang met overige ontwikkelingen van het energiesysteem (zoals elektriciteitsvraag), gekeken moet worden.

Tabel 5-3 Beoordeling impact op 380kV-verbindingen in Flevoland

	Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen ingrepen buiten de regio
Flevoland		

5.1.4 Afwegingen tussen stations binnen regio

De belangrijkste afwegingen tussen de stations binnen de regio zijn:

- **Windenergie op land**. Lelystad heeft meer windenergie op land dan Almere. Windenergie op land en zee produceren grotendeels gelijktijdig met elkaar, zodat op momenten met veel wind er waarschijnlijk knelpunten op verbindingen vanaf de stations waarbij zeer veel windenergie wordt ingevoed in het net. Ook de hoeveelheid zon-PV in de pocket Lelystad is veel groter dan in Almere.
- **Lokale elektriciteitsvraag**. In Almere is een grote vraag naar elektriciteit dan in Lelystad, voornamelijk door vraag vanuit de gebouwde omgeving. Ook andere ontwikkelingen die mogelijk gerealiseerd zullen worden, bijvoorbeeld datacenters in Zeewolde, zullen eerder op het 380kV-hoogspanningsstation Almere of lagere netvlakken worden aangesloten dan in Lelystad.
- **Locatie in netwerk.** In de Randstad wordt veel vraag naar elektriciteit verwacht. Dit leidt, zoals eerder besproken, tot doortransport vanaf Noord-Nederland richting de Randstad door Flevoland. Diepe aanlanding bij een station dichter bij de Randstad is daarmee gunstig.

Voor alle drie afwegingen geldt dat station Almere gunstiger is om aan te landen dan in Lelystad.

5.1.5 Conclusies

Onderstaande Tabel 5-4 geeft een overzicht van de beoordeling voor de regio Flevoland.

De tabel laat zien dat er mogelijk beperkte ingrepen in de regio nodig zijn door diepe aanlanding in Flevoland. Daarnaast is het nog niet duidelijk of diepe aanlanding in Flevoland ingrepen op 380kV-verbindingen buiten de regio kan verminderen of voorkomen. Op momenten met hoge productie van windenergie op zee wordt de lokale vraag in Flevoland al grotendeels ingevuld met de productie van windenergie op land. Dit betekent dat een diepe aanlanding in Flevoland niet tot het verminderen van knelpunten op 380kV-verbindingen leidt, doordat al veel elektriciteitsproductie nabij de vraag plaatsvindt. Een diepe aanlanding in Flevoland leidt er naar verwachting juist toe dat meer elektriciteit afgevoerd wordt vanuit Flevoland, richting de Randstad.

Diepe aanlanding kan alleen bijdragen aan vermindering van de ingrepen aan de 380kV-verbinding als de elektriciteitsvraag in de regio fors sterker stijgt dan aangenomen in de scenario's of als aansluitingen aan de kust ruimtelijk, technisch of energetisch niet meer haalbaar zijn. Of een diepe aanlanding bij Flevoland een gunstige impact kan hebben op het energiesysteem hangt ook af van waarvoor het als alternatief gezien wordt. Het kan als alternatief voor aansluitingen in Noord-Nederland wel een gunstige impact hebben, maar als alternatief voor aansluitingen in de Randstad leidt het naar verwachting juist tot meer ingrepen aan 380kV-verbindingen.

Bij zowel het geplande 380kV-hoogspanningsstation Almere als het geplande nieuwe 380kV-hoogspanningsstation bij Lelystad is er naar verwachting aansluitcapaciteit voor een diepe aanlanding. Deze stations zijn echter nog wel in studiefase. Almere lijkt een gunstigere locatie dan Lelystad vanwege een hogere vraag, minder aanbod van elektriciteit en een gunstigere locatie in het netwerk.

Tabel 5-4 Beoordeling energiesysteem regio Flevoland

Aansluitstation	Aansluitcapaciteit	Impact op 380kV-verbindingen		
		Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen van ingrepen buiten de regio	Geschiktheid locatie
Flevoland		Er zijn geen grote ingrepen nodig bij diepe aanlanding, maar mogelijk wel beperkte ingrepen.	Afhankelijk van andere ontwikkelingen of het ingrepen kan voorkomen. Het is vooral gunstig om in Flevoland aan te landen als aansluiting in regio's aan kust technisch, ruimtelijk en energetisch niet haalbaar is.	
Lelystad	Mogelijk op gepland station. Station nog in studiefase.			Er is relatief veel windenergie op land beschikbaar wat ongunstig is voor inpassing.
Almere	Mogelijk op gepland station. Station nog in studiefase.			Gunstiger dan Lelystad door grotere vraag naar elektriciteit en gunstigere locatie in netwerk.

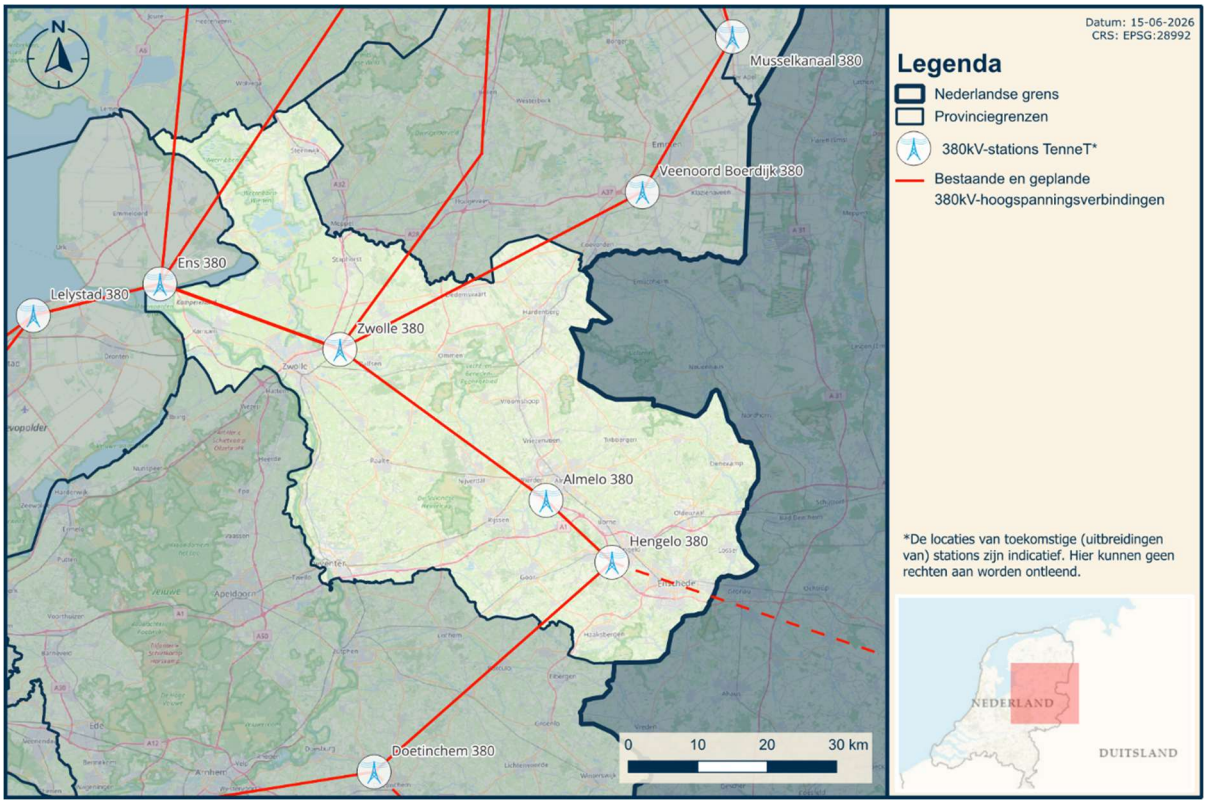
Indicatie geschiktheid 380kV-station Ens
Het bestaande 380kV-station Ens is niet uitgebreid onderzocht in deze studie. Vanuit het elektriciteitsnet is Ens qua impact op de verbindingen vergelijkbaar met aanlanden in Lelystad. Dit komt omdat door het realiseren van een 3e en 4e circuit tussen Lelystad en Ens veel transportcapaciteit ontstaat. Vanwege deze extra transportcapaciteit is het niet de verwachting dat op deze verbinding significante knelpunten zullen ontstaan, ondanks het extra aanbod door diepe aanlanding. Bij het bestaande 380kV-station Ens zal, na uitbreidingen op het station, nog ruimte zijn voor één aansluiting van diepe aanlanding.

5.2 Overijssel

5.2.1 Introductie

In deze regio wordt gekeken naar diepe aanlanding bij het bestaande 380kV-hoogspanningsstation Hengelo of een nog te realiseren 380kV-hoogspanningsstation in Almelo. In het Investeringsplan van TenneT staat dit nieuwe station gepland tussen 2034-2037. Er wordt onderzoek gedaan naar realisatie van maximaal 1 aansluiting van 2 GW in de regio.

De netstructuur in de regio Overijssel is weergegeven in Figuur 5-2. Op dit moment is Hengelo verbonden met 380kV-hoogspanningsstation Zwolle. Het nieuwe 380kV-hoogspanningsstation Almelo zal worden aangesloten op de verbinding tussen Zwolle en Hengelo. Hengelo is verbonden met 380kV-Doetinchem, het 380kV-net loopt daarnaar door naar Dodewaard, Wijchen, Boxmeer en Maasbracht.



Figuur 5-2 Bestaande en geplande 380kV-infrastructuur Overijssel

Bij Hengelo is het Nederlandse 380kV-net verbonden met het Duitse 380kV-net. Dit betekent dat hier import en export van elektriciteit plaatsvindt.

In Tabel 5-5 staan de kerncijfers voor vraag, aanbod en flexibiliteit in Overijssel.

Tabel 5-5 Kerncijfers vraag, aanbod en flexibiliteit in Overijssel[11]

	2040	**2050**
Vraag en aanbod		
Elektriciteitsvraag (piek)	3400-4100 MW	4100-4500 MW
Wind op land	300-600 MW	400-700 MW
Zon-pv	700-1300 MW	1100-1900 MW
Flexibiliteit		
Elektrolysers	100 MW	100 MW
Batterijen	500-800 MW	600-1300 MW

De belangrijkste factoren die bepalen of diepe aanlanding in deze regio gunstig is zijn:

- **Ontwikkeling elektriciteitsvraag**. De elektriciteitsvraag in Almelo en Hengelo zal fors toenemen richting 2040 en 2050, maar in vergelijking met andere regio's blijft de vraag relatief laag. Windenergie op land blijft relatief klein in de scenario's, terwijl er veel zon-PV wordt verwacht.
- **Ontwikkeling vraag en aanbod in rest van Nederland**. Op momenten met veel productie van windparken op zee zal elektriciteit veelal vanuit de Eemshaven aangevoerd worden aangezien daar veel aanbod voorzien wordt van windparken op zee. Een deel van deze elektriciteit wordt lokaal benut in Overijssel, maar er zal ook elektriciteit doorgevoerd worden. De omvang van de elektriciteitsvraag in Gelderland, Noord-Brabant Oost en Limburg bepaalt hoeveel transport

[11] De geografische afbakening hiervoor zijn de pockets van de 380kV-stations Almelo, Hengelo en Zwolle.

nodig is door deze regio richting het zuiden. Het is afhankelijk van de ontwikkeling van aansluitingen van windenergie op zee aan de kust en de vraag in andere regio's in Nederland hoeveel doortransport van elektriciteit via Overijssel noodzakelijk is.

- **Import en export van elektriciteit**. Bij Hengelo vindt import en export van elektriciteit van en naar Duitsland plaats. Naar verwachting zal Nederland op momenten met veel productie van windparken op zee regelmatig elektriciteit exporteren, en op momenten met weinig productie van windparken op zee elektriciteit importeren. Export van elektriciteit op momenten met veel productie van windparken op zee zorgt er extra transport nodig is vanaf de Eemshaven richting Overijssel. De import en export van elektriciteit bij Hengelo is voornamelijk afhankelijk van de nationale balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit, en de ontwikkelingen in het buitenland. Als er in Nederland op momenten met wind op zee grote overschotten zijn en als gevolg daarvan lage elektriciteitsprijzen, en dit in Duitsland minder het geval is, dan zal export plaatsvinden op die momenten.

5.2.2 Aansluitcapaciteit

Er zijn in de regio twee potentiële aansluitstations: het bestaande 380kV-hoogspanningsstation Hengelo en geplande 380kV-hoogspanningsstation Almelo. De conclusies over de aansluitcapaciteit van deze stations zijn:

- Bij het bestaande station Hengelo is, na het vervangen van grote delen van het bestaande station, ruimte voor een diepe aanlanding van wind op zee. Verdere uitbreiding is ruimtelijk gezien niet mogelijk.
- Op het geplande station in Almelo is ruimte voor een diepe aanlanding.

Tabel 5-6 Beoordeling aansluitcapaciteit stations Overijssel

	Station Hengelo	Station Almelo
Aansluitcapaciteit		

5.2.3 Impact op 380kV-380kV-verbindingen

De conclusies over de impact op 380kV-verbindingen zijn:

- Door diepe aanlanding in Almelo is een grotere ingreep nodig voor de 380kV-verbinding tussen Almelo en Hengelo ten opzichte van de situatie zonder diepe aanlanding. Dit heeft vermoedelijk te maken met export naar Duitsland en doorvoer van elektriciteit richting Gelderland en Limburg, waardoor de elektriciteit van een diepe aanlanding vanaf Almelo richting Hengelo getransporteerd wordt. Door doortransport vanaf Noord-Nederland via Overijssel wordt dit effect vermoedelijk versterkt. Afhankelijk van het gekozen scenario kan dit mogelijk zo groot worden dat een grote ingreep noodzakelijk is. Deze knelpunten en ingrepen zijn naar verwachting niet of minder nodig bij een diepe aanlanding in Hengelo.
- De verwachtte elektriciteitsvraag in de regio Overijssel is beperkt, vergeleken met andere regio's en vergeleken met het aanbod van een diepe aanlanding (2 GW). Hierdoor zal elektriciteit van een diepe aanlanding ook grotendeels doorgevoerd worden richting de rest van Nederland. Diepe aanlanding in deze regio heeft als voordeel dat er minder elektriciteit vanuit de Eemshaven naar het zuiden getransporteerd hoeft te worden. Dit lijkt echter geen ingrepen aan 380kV-verbindingen te voorkomen.
- Er zit een grens aan de hoeveelheid aansluitingen die aan de kust gerealiseerd kunnen worden. Ruimtelijk en technisch zijn er grenzen, maar er zit ook energetisch een grens aan de hoeveelheid aansluitingen die in kustregio's gerealiseerd kunnen worden zonder dat knelpunten

ontstaan op 380kV-verbindingen die elektriciteit vanuit die regio's moeten afvoeren. Bij een hoge ambitie voor (elektrische aansluitingen van) windenergie op zee kan een diepe aanlanding in Overijssel voor het energiesysteem wel gunstig zijn als alternatief van een aansluiting aan de kust.

Tabel 5-7 Beoordeling impact op 380kV-380kV-verbindingen in Overijssel

	Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen ingrepen buiten de regio
Overijssel		

5.2.4 Afwegingen tussen stations binnen regio

De belangrijkste afwegingen tussen de stations binnen de regio zijn:

- **Lokale elektriciteitsvraag**. De vraag naar elektriciteit is zowel in Almelo als in Hengelo relatief laag, vergeleken met andere regio's en vergeleken met het aanbod van een diepe aanlanding (2 GW).
- **Locatie in netwerk.** Hengelo heeft een voordeel vanwege de verbinding met Duitsland. Uit de netdoorrekeningen volgt dat er mogelijk een grote ingreep nodig is tussen Almelo en Hengelo als een diepe aanlanding gerealiseerd wordt bij Almelo. Bij realisatie van een diepe aanlanding bij Hengelo is naar deze grote ingreep naar verwachting niet nodig.

5.2.5 Conclusies

Onderstaande Tabel 5-8 geeft een overzicht van de beoordeling voor de regio Overijssel.

De tabel laat zien dat er mogelijk grote ingrepen in de regio nodig zijn door diepe aanlanding in Overijssel. Door diepe aanlanding in Almelo wordt het knelpunt tussen Almelo en Hengelo groter ten opzichte van de situatie zonder diepe aanlanding. Deze knelpunten en ingrepen zijn naar verwachting niet of minder nodig bij een diepe aanlanding in Hengelo. Daarnaast is het nog niet duidelijk of diepe aanlanding in Overijssel ingrepen op 380kV-verbindingen buiten de regio kan verminderen of voorkomen. De verwachtte elektriciteitsvraag in de regio Overijssel is beperkt, vergeleken met andere regio's en vergeleken met het aanbod van een diepe aanlanding (2 GW). Hierdoor zal elektriciteit van een diepe aanlanding ook grotendeels doorgevoerd worden richting de rest van Nederland of Duitsland (zie tekstkader over interconnectie in paragraaf 2.4). Diepe aanlanding in deze regio heeft als voordeel dat er minder elektriciteit vanuit de Eemshaven naar het zuiden getransporteerd hoeft te worden. Dit lijkt echter geen ingrepen aan 380kV-verbindingen te voorkomen.

Diepe aanlanding kan alleen bijdragen aan vermindering van de ingrepen aan de 380kV-verbindingen aan kust en vanaf de kust naar het binnenland als aansluitingen aan de kust ruimtelijk, technisch of energetisch niet meer haalbaar zijn.

Bij beide aansluitstations, Hengelo en Almelo, lijkt voldoende aansluitcapaciteit te zijn voor een diepe aanlanding. Hengelo lijkt een gunstigere locatie vanwege de verbinding met Duitsland. Uit de netdoorrekeningen volgt dat er mogelijk een grote ingreep nodig is tussen Almelo en Hengelo als een diepe aanlanding gerealiseerd wordt bij Almelo. Bij realisatie van een diepe aanlanding bij Hengelo is naar deze grote ingreep naar verwachting niet nodig.

Tabel 5-8 Beoordeling energiesysteem regio Overijssel

Aansluitstation	Aansluitcapaciteit	Impact op 380kV-verbindingen		
		Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen van ingrepen buiten de regio	Geschiktheid locatie
Overijssel		Er zijn mogelijk grote ingrepen nodig om te kunnen aansluiten.	Afhankelijk van andere ontwikkelingen of het ingrepen kan voorkomen. Het is vooral gunstig om in Overijssel aan te landen als aansluiting in regio's aan kust of in zuidoost Nederland technisch, ruimtelijk en energetisch niet haalbaar is.	
Hengelo	Er is ruimte voor een diepe aanlanding op het bestaande station.			Verbinding met Duitsland is een voordeel. Waarschijnlijk een minder groot knelpunt tussen Hengelo en Almelo bij aansluiting op dit station.
Almelo	Er is ruimte voor een diepe aanlanding na realisatie van het station. Realisatie station in fase voorbereiding/basis ontwerp.			Geen grote vraag. Mogelijk grote ingreep op verbinding richting Hengelo bij aansluiting op dit station.

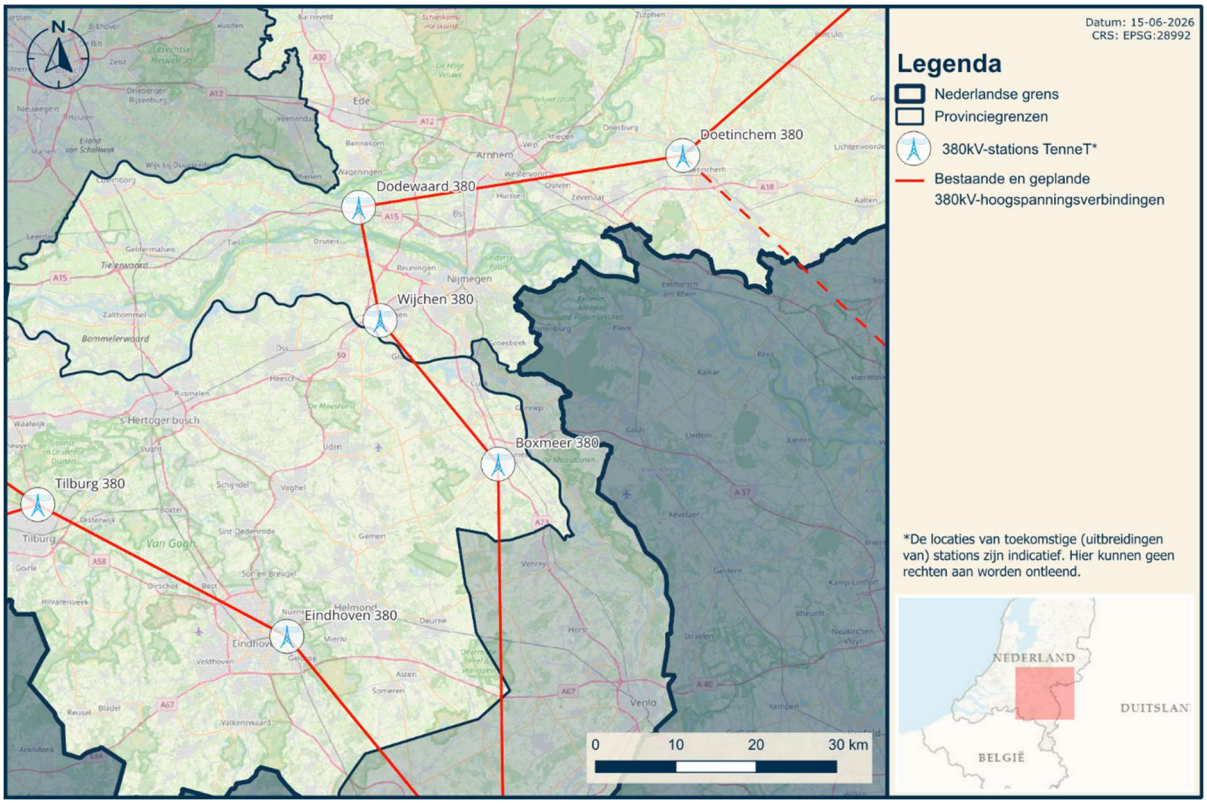
5.3 Gelderland/Noord-Brabant

5.3.1 Introductie

In deze regio wordt gekeken naar een diepe aanlanding bij de bestaande 380kV-hoogspanningsstations Boxmeer, geplande 380kV-hoogspanningsstations bij Wijchen en Doetinchem en een potentieel nieuw 380kV-hoogspanningsstation Rivierenland. Er wordt onderzoek gedaan naar realisatie van maximaal één aansluiting van 2 GW in deze regio.

Bij Doetinchem wordt voor diepe aanlanding gekeken naar een gepland nieuw hoogspanningsstation. In het Investeringsplan van TenneT staat dit nieuwe hoogspanningsstation gepland tussen 2035-2038. Ook het station bij Wijchen is een gepland nieuw hoogspanningsstation, deze staat gepland tussen 2033-2036. In deze regio wordt mogelijk nog een extra 380kV-hoogspanningsstation gepland genaamd Rivierenland, hiervoor loopt een haalbaarheidsstudie. Deze zal, indien dit gerealiseerd wordt, in de buurt van Dodewaard geplaatst worden. Als alternatief voor dit hoogspanningsstation is het ook mogelijk om meerdere hoogspanningsstations op lagere spanningsniveaus te plaatsen.

Onderstaande Figuur 5-3 toont de netsituatie in Gelderland/Noord-Brabant. De netstructuur in deze regio zit er als volgt uit. Het 380kV-net vanuit Hengelo zit aangesloten op 380kV-hoogspanningsstation Doetinchem, Dodewaard en Wijchen en Boxmeer. De verbindingen in deze regio hebben 2 circuits. Bij Doetinchem is het Nederlandse 380kV-net verbonden met het Duitse 380kV-net. Dit betekent dat hier import en export van elektriciteit plaatsvindt.



Figuur 5-3 Bestaande en geplande 380kV-infrastructuur Gelderland/Noord-Brabant

Tabel 5-9 Kerncijfers vraag, aanbod en flexibiliteit in Gelderland/Noord-Brabant[12]

	2040	**2050**
Vraag en aanbod		
Elektriciteitsvraag (piek)	7000-8600 MW	8400-9500 MW
Wind op land	600-1100 MW	800-1300 MW
Zon-pv	2700-4700 MW	3600-6900 MW
Flexibiliteit		
Elektrolysers	100 MW	100 MW
Batterijen	1600-2300 MW	2300-3300 MW

De belangrijkste factoren die bepalen of een diepe aanlanding deze regio gunstig is zijn:

- **Ontwikkeling elektriciteitsvraag**. Het is de verwachting dat de elektriciteitsvraag in de regio richting 2040 en 2050 fors zal toenemen door elektrificatie. Dit komt met name door een toename van de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving en mobiliteit. Op veel momenten van het jaar zal de elektriciteitsvraag een stuk groter zijn dan de lokale productie. Deze elektriciteit zal aangevoerd moeten worden vanuit andere delen van Nederland en deels ingevuld worden met import. Op momenten met veel productie van windparken op zee zal deze elektriciteit, zonder diepe aanlanding, veelal vanuit Zeeland en de randstad aangevoerd worden aangezien daar veel windparken op zee aangesloten worden. De omvang van de elektriciteitsvraag in deze regio en Limburg bepaalt hoeveel transport nodig is richting zuidoost-Nederland.
- **Import en export van elektriciteit.** Bij Doetinchem vindt import en export van elektriciteit van en naar Duitsland plaats. Naar verwachting zal Nederland op momenten met veel productie van

[12] De geografische afbakening hiervoor zijn de pockets van de 380kV-stations Boxmeer, Wijchen, Dodewaard en Doetinchem.

windparken op zee regelmatig elektriciteit exporteren, en op momenten met weinig productie van windparken op zee elektriciteit importeren. Export van elektriciteit op momenten met veel productie van windparken op zee zorgt er extra transport nodig is vanaf Zeeland en de randstad richting zuidoost-Nederland. De import en export van elektriciteit bij Doetinchem is voornamelijk afhankelijk de nationale balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit, en de ontwikkelingen in het buitenland. Als er in Nederland op momenten met wind op zee grote overschotten zijn en als gevolg daarvan lage elektriciteitsprijzen, en dit in Duitsland minder het geval is, dan zal export plaatsvinden op die momenten.

- **Ontwikkeling van 380kV-hoogspanningsstation Rivierenland.** TenneT heeft nog geen keuze gemaakt tussen het realiseren van een 380kV-hoogspanningsstation Rivierenland of het uitbreiden van het 150-kV net met meerdere station in deze regio. Voor een diepe aanlanding is een 380kV-hoogspanningsstation nodig om de hoeveelheid elektriciteit aan te kunnen sluiten. Daarom hangt het af van of dit station gerealiseerd gaat worden of diepe aanlanding in de regio Rivierenland een optie is.

5.3.2 Aansluitcapaciteit

Er zijn in de regio vier potentiële aansluitstations: bestaande 380kV-hoogspanningsstations Dodewaard, Boxmeer, Doetinchem, het geplande station Wijchen en het mogelijke nieuwe 380kV-hoogspanningsstation Rivierenland. Hoewel er op sommige stations ruimte is voor twee diepe aanlandingen, is er in deze regio onvoldoende vraag om twee diepe aanlandingen te realiseren. Daarom wordt er naar maximaal één verbinding gekeken in deze regio.

De conclusies over de aansluitcapaciteit van deze stations zijn:

- Op het bestaande 380kV-hoogspanningsstation Boxmeer is geen ruimte beschikbaar voor diepe aanlanding. TenneT onderzoekt of het mogelijk om het station uit te breiden, mocht dat mogelijk zijn dan is er ruimte voor het aansluiten van een diepe aanlanding.
- Op de nog te realiseren 380kV-hoogspanningsstations Wijchen en Doetinchem is naar verwachting voldoende ruimte voor het aansluiten van een diepe aanlanding.
- Op het mogelijk te realiseren 380kV-hoogspanningsstation Rivierenland is ruimte voor het aansluiten van een diepe aanlanding. Het is afhankelijk van besluitvorming of dit station opgenomen gaat worden in het investeringsplan.

Tabel 5-10 Beoordeling aansluitcapaciteit stations Gelderland-Zuid/Noord-Brabant Oost

	Station Boxmeer	Station Doetinchem	Station Wijchen	Station Rivierenland
Aansluitcapaciteit				

5.3.3 Impact op 380kV-380kV-verbindingen

De conclusies over de impact op 380kV-verbindingen zijn:

- Uit de netdoorrekeningen volgt dat er voor de inpassing van diepe aanlandingen in Gelderland/Noord-Brabant geen nieuwe knelpunten ontstaan waar ingrepen voor nodig zijn.
- Diepe aanlanding in deze regio kan naar verwachting grote ingrepen aan 380kV-verbindingen vanaf de kust richting zuidoost-Nederland verminderen of voorkomen. Het gaat dan met name om de 380kV-verbinding Tilburg-Eindhoven. Dit komt doordat diepe aanlanding de relatief grote elektriciteitsvraag in deze regio en export naar Duitsland kan voorzien en de elektriciteit van de diepe aanlanding vanaf deze regio richting Limburg (met een grote elektriciteitsvraag en export richting België en Duitsland) getransporteerd kan worden.

- Bovenstaande conclusies gelden zowel voor 2040 als voor 2050.
- De omvang van de knelpunten op de verbinding tussen Tilburg en Eindhoven en andere verbindingen in Noord-Brabant, de ingrepen die nodig zijn en de mate waarin diepe aanlanding verlichting kan bieden, is afhankelijk van de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag in de regio en import en export van elektriciteit. In alle doorgerekende scenario's en varianten ontstaan echter knelpunten op 380kV-verbindingen vanaf de kust richting zuidoost-Nederland. Diepe aanlanding in Gelderland/Noord-Brabant zal in alle gevallen die knelpunten verminderen. De conclusie dat diepe aanlanding in deze regio grote ingrepen aan 380kV-verbindingen kan verminderen en mogelijk voorkomen, is daarmee robuust.

Tabel 5-11 Beoordeling impact op 380kV-380kV-verbindingen in Gelderland/Noord-Brabant

	Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen ingrepen buiten de regio
Gelderland/Noord-Brabant		

5.3.4 Afwegingen tussen stations binnen regio

De belangrijkste afwegingen tussen de stations binnen de regio zijn:

- **Lokale elektriciteitsvraag.** De grootste vraag in deze regio zit in pocket Dodewaard. Het afstemmen van vraag en aanbod is vanuit het elektriciteitsnet gezien gunstig, maar in de scenario's worden ook met diepe aanlanding geen grote knelpunten gezien waardoor dichterbij Dodewaard zitten geen doorslaggevend voordeel zich meebrengt. Bij stations Wijchen en Boxmeer is de verwachtte toekomstige elektriciteitsvraag beperkt, maar ook dit lijken haalbare opties aangezien er bij diepe aanlanding bij die stations naar verwachting ook geen grote ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbinding. Als station Rivierenland gerealiseerd wordt, dan hangt het af van wat hierop wordt aangesloten of dit een gunstige locatie is om diepe aanlanding op aan te sluiten. Dat is op basis van het doorrekeningen nu niet te beoordelen.
- **Locatie in netwerk.** Bij station Doetinchem is de vraag lager, maar ook dit is een potentieel geschikt station aangezien hier de verbindingen met het Duitse hoogspanningsnet zitten. Op momenten met veel productie van windparken op zee en weinig binnenlandse vraag kan elektriciteit geëxporteerd worden. Bij diepe aanlanding bij Doetinchem kan die export direct plaatsvinden vanaf het aansluitstation.

5.3.5 Conclusies

Onderstaande Tabel 5-12 geeft een overzicht van de beoordeling voor de regio Gelderland/Noord-Brabant. De tabel laat zien dat er in de regio geen ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen voor de inpassing diepe aanlanding en dat grote ingrepen op 380kV-verbindingen richting zuidoost-Nederland verminderd of voorkomen kunnen worden. Deze conclusie is naar verwachting robuust omdat het voor verschillende scenario's en steekjaren geldt en niet afhankelijk van andere ontwikkelingen in het energiesysteem (zoals onzekerheden over ontwikkeling van infrastructuur of de vraag naar elektriciteit in deze regio).

Bij het geplande 380kV-station Wijchen en het geplande nieuwe 380kV-station bij Doetinchem is er naar verwachting aansluitcapaciteit beschikbaar voor een diepe aanlanding. Beide projecten zitten in de fase basisontwerp. Bij de andere stations is het nog onzeker of er aansluitcapaciteit beschikbaar is, omdat de plannen voor het nieuwe station bij Rivierenland en uitbreiding van het bestaande station Boxmeer nog onzeker zijn. Station Boxmeer moet voor het aansluiten van een diepe aanlanding verder worden uitgebreid dan momenteel in het investeringsplan is opgenomen.

Op alle 380kV-hoogspanningsstations in de regio lijkt een aansluiting mogelijk zonder dat grote ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen. Doetinchem kan potentieel een gunstig station zijn aangezien dit station een verbinding heeft met het Duitse hoogspanningsnet (zie tekstkader over interconnectie in paragraaf 2.4). Bij stations Wijchen en Boxmeer is de verwachtte toekomstige elektriciteitsvraag beperkt, maar ook dit lijken haalbare opties. Of Rivierenland een gunstige locatie is, is afhankelijk van de exacte netstructuur bij realisatie van dit station[13].

Tabel 5-12 Beoordeling energiesysteem regio Gelderland/Noord-Brabant

Aansluitstation	**Aansluitcapaciteit**	**Impact op 380kV-verbindingen**		
		Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen van ingrepen buiten de regio	Geschiktheid locatie
Gelderland/Noord-Brabant		Geen grote ingrepen nodig om in te passen in de regio.	Diepe aanlanding kan grote knelpunten vanaf de kust naar zuidoost Nederland voorkomen of verminderen.	
Boxmeer	Diepe aanlanding mogelijk als het station wordt uitgebreid (bovenop geplande uitbreiding).			Geen grote elektriciteitsvraag, maar lijkt een haalbare optie.
Doetinchem	Er is ruimte voor een diepe aanlanding na realisatie van het station. Realisatie station in fase voorbereiding/ basisontwerp.			Verbinding met Duitsland is een voordeel.
Wijchen	Er is ruimte voor een diepe aanlanding na realisatie van het station. Realisatie station in fase voorbereiding/ basisontwerp.			Geen grote elektriciteitsvraag, maar lijkt een haalbare optie.
Rivierenland	Onzeker of dit station gerealiseerd wordt.			Afhankelijk van netstructuur bij realisatie van het station.

Indicatie geschiktheid 380kV-380kV-station Dodewaard
Het bestaande 380kV-380kV-station Dodewaard is niet uitgebreid onderzocht in deze studie. Vanuit het elektriciteitsnet is Dodewaard interessant aangezien het gebied dat zit aangesloten op de pocket Dodewaard groot is en relatief veel vraag naar elektriciteit kent ten opzichte van de omringende pockets. Op bestaande 380kV-380kV-station Dodewaard is geen ruimte beschikbaar en het station is ook niet verder uitbreidbaar. In dezelfde regio wordt een nieuwe 380kV-380kV-station Rivierenland onderzocht waar bij realisatie wel ruimte voor diepe aanlanding beschikbaar is.

5.4 Limburg en Eindhoven

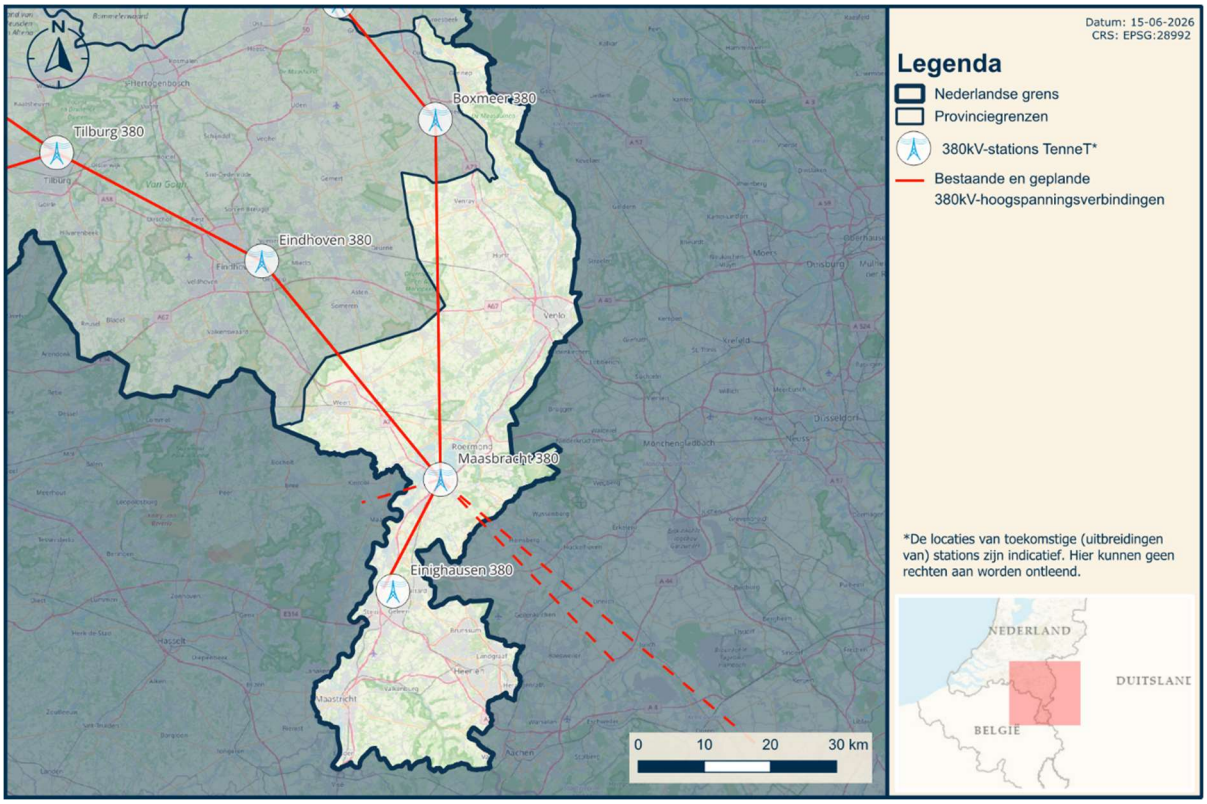
5.4.1 Introductie

In deze regio wordt gekeken naar diepe aanlanding bij het bestaande 380kV-hoogspanningsstation Maasbracht, het geplande 380kV-hoogspanningsstation Einighausen en het mogelijke nieuwe 380kV-hoogspanningsstation Metropoolregio Eindhoven[14]. Er wordt onderzoek gedaan naar realisatie van maximaal 2 aansluitingen van 2 GW in de regio.

[13] Het is nog onduidelijk hoe deze pocket eruit zal zien en welk gebied hieronder zal vallen. Daarmee is ook nog onduidelijk welke toekomstige elektriciteitsvraag voorzien wordt bij dit station.
[14] In de effectbeoordeling energiesysteem is uitgegaan van twee regio's: Gelderland/Noord-Brabant en Limburg. Eindhoven ligt in Noord-Brabant, maar nettechnisch is het logischer om het op te nemen bij Limburg

Onderstaande Figuur 5-4 toont de netsituatie in de regio Limburg en Eindhoven. Het bestaand 380kV-hoogspanningsstation Eindhoven ligt op de 380kV-verbinding vanaf de kust, via Tilburg, richting Limburg. Het is de verwachting dat het nieuwe 380kV-hoogspanningsstation Metropoolregio Eindhoven ook op deze 380kV-verbinding aan zal takken. Dit project is nog in studie. De geplande ingebruikname hiervoor is 2040-2044. Er loopt momenteel al een 380kV-verbinding tussen Eindhoven en Maasbracht. Deze verbinding wordt uitgebreid met een tweede mastenrij met een derde en vierde circuit. Dan heeft deze verbinding vier circuits. Vanaf Maasbracht wordt een 380kV-verbinding richting station Einighausen gerealiseerd. Deze verbinding krijgt volgens de bestaande plannen vier circuits. Voor het eerste en tweede circuit wordt de bestaande 150kV-verbinding verzwaard tot een 380kV-verbinding. Dit project is in voorbereiding en wordt naar verwachting tussen 2031 en 2034 gerealiseerd. Voor het derde en vierde circuit moet een nieuwe verbinding aangelegd worden tussen Maasbracht en Einighausen. Dit project is nog in studie. De geplande ingebruikname hiervoor is 2039-2043.

Bij Maasbracht is het Nederlandse 380kV-net verbonden met het Duitse en Belgische 380kV-net. Dit betekent dat hier import en export van elektriciteit plaatsvindt.



Figuur 5-4 Bestaande en geplande 380kV-infrastructuur Limburg

Tabel 5-13 geeft de kerncijfers voor vraag, aanbod en flexibiliteit voor de regio.

aangezien Eindhoven op de 380kV-verbinding vanaf de Randstad richting Limburg ligt. De stations bij de regio Gelderland/Noord-Brabant liggen op een andere 380kV-verbinding. De effecten zijn per aansluiting weergegeven.

Tabel 5-13 Kerncijfers vraag, aanbod en flexibiliteit Limburg en Eindhoven[15]

	2040	2050
Vraag en aanbod		
Elektriciteitsvraag (piek)	5700-7500 MW	7000-8200 MW
Wind op land	300-500 MW	300-500 MW
Zon-pv	1100-1900 MW	1700-2900 MW
Flexibiliteit		
Elektrolysers	100-200 MW	100-200 MW
Batterijen	700-1800 MW	900-3700 MW

De belangrijkste factoren die bepalen of een diepe aanlanding deze regio gunstig is, zijn:

- **Ontwikkeling elektriciteitsvraag.** Het is de verwachting dat de elektriciteitsvraag in de regio richting 2040 en 2050 fors zal toenemen door elektrificatie. De elektriciteitsvraag in deze regio is relatief hoog door de aanwezigheid van industriecluster Chemelot, maar ook de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving en mobiliteit zal fors toenemen. Op veel momenten van het jaar zal de elektriciteitsvraag een stuk groter zijn dan de lokale productie. Deze elektriciteit zal aangevoerd moeten worden vanuit andere delen van Nederland en deels ingevuld worden met import. Op momenten met veel productie van windparken op zee zal deze elektriciteit, zonder diepe aanlanding, veelal vanuit Zeeland en de randstad aangevoerd worden aangezien daar veel windparken op zee aangesloten worden. De omvang van de elektriciteitsvraag in Limburg bepaalt hoeveel transport nodig is richting Limburg.
- **Uitwisseling van elektriciteit met het buitenland.** Bij Maasbracht vindt import en export van elektriciteit van en naar Duitsland en België plaats. Naar verwachting zal Nederland op momenten met veel productie van windparken op zee regelmatig elektriciteit exporteren, en op momenten met weinig productie van windparken op zee elektriciteit importeren. Export van elektriciteit op momenten met veel productie van windparken op zee zorgt er extra transport nodig is vanaf Zeeland en de randstad richting Limburg. De import en export van elektriciteit bij Maasbracht is voornamelijk afhankelijk van twee factoren:
    - De nationale balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit, en de ontwikkelingen in het buitenland. Als er in Nederland op momenten met wind op zee grote overschotten zijn en als gevolg daarvan lage elektriciteitsprijzen, en dit in België en Duitsland minder het geval is, dan zal export plaatsvinden op die momenten.
    - Capaciteit verbindingen import en export. Er kan niet meer elektriciteit geïmporteerd of geëxporteerd worden dan de capaciteit van de verbindingen. De bestaande verbindingen richting Duitsland en België zullen worden opgewaardeerd. Daarnaast wordt door TenneT gekeken naar de mogelijkheid om, als er diepe aanlanding in Limburg gerealiseerd wordt, nieuwe gelijkstroomverbindingen richting België en/of Duitsland aan te leggen. Dan zou nog meer import en export mogelijk zijn.
- **Ontwikkeling 380kV tussen Maasbracht en Einighausen.** Zoals hierboven beschreven is op dit moment nog onzeker of er twee of vier circuits komen bij de nieuwe verbinding tussen Maasbracht en Einighausen. Dit is niet relevant voor de afweging of diepe aanlanding in deze regio gunstig is, aangezien dit vooral afhankelijk is van het transport vanaf de randstad richting de regio. Maar het kan wel een relevant aspect zijn bij de keuze tussen de mogelijke aansluitstations binnen de regio.

[15] De geografische afbakening hiervoor zijn de pockets van de 380kV-stations Eindhoven, Maasbracht en Einighausen.

Door de combinatie van hoge vraag van elektriciteit in de regio en mogelijke export van elektriciteit op momenten met veel aanbod van windparken op zee zal er naar verwachting veel transport van elektriciteit nodig richting Limburg vanaf de kust. Diepe aanlanding in Eindhoven of Limburg zorgt ervoor dat dit transport minder via de bovengrondse 380kV-verbindingen hoeft te gaan. De vraag waar we in de beoordeling antwoord op geven is of hiermee grote ingrepen voorkomen kunnen worden en of er geen nieuwe grote ingrepen nodig zijn door diepe aanlanding in de regio.

5.4.2 Aansluitcapaciteit

Bij dit effect beoordelen we of er bij de 380kV-hoogspanningsstations voldoende aansluitcapaciteit beschikbaar is om de diepe aanlandingen aan te sluiten, of dat het station uitgebreid kan worden om dit te realiseren. Deze beoordeling vindt plaats op het niveau van aansluitstations.

Er zijn in de regio drie potentiële aansluitstations: het bestaande 380kV-hoogspanningsstation Maasbracht, het geplande 380kV-hoogspanningsstation Einighausen en het mogelijke nieuwe 380kV-hoogspanningsstation Metropoolregio Eindhoven. De conclusies over de aansluitcapaciteit van deze stations zijn:

- Bij het geplande station 380kV-hoogspanningsstation Einighausen kunnen naar verwachting twee diepe aanlandingen aangesloten worden.
- Bij het bestaande 380kV-hoogspanningsstation Maasbracht is naar verwachting ruimte voor maximaal één diepe aanlanding.
- Voor het station Metropoolregio Eindhoven geldt dat dit nog in studiefase zit en dat nog onduidelijk is of en hoe dit station gerealiseerd wordt. Indien dit station gerealiseerd wordt, dan is er ruimte voor het aansluiten van twee diepe aanlandingen. Het bestaande 380kV-hoogspanningsstation bij Eindhoven heeft geen ruimte voor aansluiting van diepe aanlanding.

Tabel 5-14 Beoordeling aansluitcapaciteit stations Limburg en Eindhoven

Station Maasbracht	Station Einighausen	Station Metropoolregio Eindhoven

5.4.3 Impact op 380kV-verbindingen

Bij dit effect beoordelen we de impact van diepe aanlanding op de 380kV-verbindingen. Daarbij beoordelen we of nieuwe ingrepen aan verbindingen nodig zijn door diepe aanlanding en of ingrepen in andere gebieden in Nederland voorkomen kunnen worden door diepe aanlanding in deze regio. Deze beoordeling vindt plaats op het niveau van de regio.

De conclusies over de impact op 380kV-verbindingen zijn:

- Uit de netdoorrekeningen volgt dat er voor de inpassing van diepe aanlandingen in Limburg of Eindhoven geen nieuwe knelpunten ontstaan waar ingrepen voor nodig zijn.
- Uit de netdoorrekeningen volgt dat er door transport vanaf de kust richting Limburg in sommige scenario's een grote ingreep nodig is aan de 380kV-verbinding tussen Tilburg en Eindhoven. Diepe aanlanding in Limburg zorgt dat knelpunt minder zwaar is, waardoor deze grote ingreep mogelijk voorkomen kan worden. Daarnaast zijn er in sommige scenario's beperkte ingrepen nodig aan andere verbindingen, die verminderd kunnen worden door diepe aanlanding in Limburg.

- Bovenstaande conclusies gelden voor zowel één als twee diepe aanlandingen van 2 GW. De positieve effecten van diepe aanlanding, het verminderen van ingrepen aan 380kV-verbindingen in Noord-Brabant, zijn groter bij twee diepe aanlandingen van 2 GW.
- Bovenstaande conclusies gelden zowel voor 2040 als voor 2050.
- De omvang van de knelpunten op de verbinding tussen Tilburg en Eindhoven en andere verbindingen in Noord-Brabant, de ingrepen die nodig zijn en de mate waarin diepe aanlanding verlichting kan bieden is afhankelijk van de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag in de regio en import en export van elektriciteit. In alle doorgerekende scenario's en varianten is te zien dat knelpunten echter ontstaan op 380kV-verbindingen vanaf de kust richting Limburg en diepe aanlanding in Limburg zal in alle gevallen die knelpunten verminderen. De conclusie dat diepe aanlanding in Limburg (grote) ingrepen aan 380kV-verbindingen kan verminderen en mogelijk voorkomen is daarmee robuust.

Tabel 5-15 Beoordeling impact op 380kV-380kV-verbindingen in de regio Limburg en Eindhoven

	Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen ingrepen buiten de regio
Limburg en Eindhoven		

5.4.4 Afwegingen tussen stations binnen regio

Bij de beoordeling van de impact op de 380kV-verbindingen is de beoordeling op het niveau van de regio uitgevoerd, en niet op het niveau van individuele stations. Op basis van de uitkomsten van de netdoorrekeningen, de prognoses van toekomstige vraag en aanbod, de locatie van de stations in het netwerk en de aansluitcapaciteit worden echter wel de afwegingen tussen stations binnen de regio in kaart gebracht.

De belangrijkste afwegingen tussen de stations binnen de regio zijn:

- **Lokale elektriciteitsvraag.** De grootste vraag naar elektriciteit zit bij station Einighausen. Bij dit station is de vraag een stuk groter dan het aanbod. Dit maakt dit station geschikt voor diepe aanlanding, aangezien de elektriciteit van de windparken op zee in dit geval direct lokaal benut kan worden.
- **Verbindingen met buitenland.** Bij station Maasbracht is de vraag lager, maar ook dit is een potentieel geschikt station aangezien hier de verbindingen met het Duitse en Belgische hoogspanningsnet zitten. Zoals eerder besproken ontstaat het transport vanaf de kust richting Limburg voor een groot deel door vraag in Limburg, maar is er ook sprake van export op een deel van de momenten dat er veel productie is van windparken op zee. Bij diepe aanlanding bij Maasbracht kan die export direct plaatsvinden vanaf het aansluitstation.
- **Toekomstige netstructuur.** Als de verbinding Maasbracht – Einighausen vier circuits krijgt, dan is de transportcapaciteit tussen beide stations erg groot en zal diepe aanlanding bij beide stations naar verwachting mogelijk zijn zonder dat er knelpunten ontstaan. Als de verbinding Maasbracht – Einighausen twee circuits heeft, dan is naar verwachting alsnog diepe aanlanding bij beide aansluitstations mogelijk zonder dat grote ingrepen nodig zijn.
- **Locatie in netwerk.** Als diepe aanlanding bij Eindhoven gerealiseerd wordt, dan zullen knelpunten op de 380kV-verbindingen tot aan Eindhoven verlicht worden. Er zal dan echter nog steeds transport van elektriciteit naar Limburg noodzakelijk zijn, door de hoge elektriciteitsvraag in Limburg en export. Dit maakt diepe aanlanding in Maasbracht of Einighausen, vanuit het energiesysteem bezien, in principe wat gunstiger. Uit de netdoorrekeningen volgt echter dat de grootste knelpunten ontstaan op de 380kV-verbindingen tot aan Eindhoven, en voor het verminderen van die knelpunten maakt het

geen verschil uit of de diepe aanlanding in Eindhoven of in Limburg plaatsvindt. De doorrekeningen volgt verder dat er geen knelpunten ontstaan tussen Eindhoven en Maasbracht. Dit betekent dat deze verbinding voldoende capaciteit lijkt te hebben voor het transport naar Limburg, en dat diepe aanlanding in Eindhoven ook mogelijk is zonder dat ingrepen nodig zijn.

5.4.5 Conclusies

Onderstaande Tabel 5-16 geeft een overzicht van de beoordeling voor regio Limburg en Eindhoven.

De tabel laat zien dat er in de regio geen ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen voor de inpassing diepe aanlanding en dat grote ingrepen op 380kV-verbindingen richting Limburg verminderd of voorkomen kunnen worden. Deze conclusie is naar verwachting robuust omdat het voor verschillende scenario's en steekjaren geldt en niet afhankelijk van andere ontwikkelingen in het energiesysteem (zoals onzekerheden over ontwikkeling van infrastructuur of de vraag naar elektriciteit in deze regio).

Bij 380kV-hoogspanningsstation Einighausen is er naar verwachting aansluitcapaciteit voor twee diepe aanlandingen, bij 380kV-hoogspanningsstation Maasbracht naar verwachting aansluitcapaciteit voor één. Bij Eindhoven is het afhankelijk van de realisatie van een nieuw 380kV-hoogspanningsstation, die op dit moment nog in studiefase is.

Zowel Einighausen (grote elektriciteitsvraag) als Maasbracht (verbindingen met Duitsland en België) kunnen geschikte locaties zijn vanuit de impact op 380kV-verbindingen. Het is nog onzeker of de 380kV-verbinding tussen Maasbracht en Einighausen twee of vier circuits krijgt. Als de verbinding Maasbracht – Einighausen twee circuits heeft, dan is naar verwachting alsnog diepe aanlanding bij beide aansluitstations mogelijk zonder dat grote ingrepen nodig zijn.

Eindhoven is vanuit het energiesysteem bezien minder gunstig omdat een groot deel van het aanbod van elektriciteit van de diepe aanlanding getransporteerd moet worden richting Limburg. Maar ook daar lijkt een diepe aanlanding mogelijk zonder ingrepen aan 380kV-verbindingen en met dezelfde vermindering van knelpunten aan 380kV-verbindingen.

Tabel 5-16 Beoordeling energiesysteem regio Limburg en Eindhoven

Aansluitstation	**Aansluitcapaciteit**	**Impact op 380kV-verbindingen**		
		Inpasbaarheid in de regio	Voorkomen van ingrepen buiten de regio	Geschiktheid locatie
Limburg en Eindhoven		Er zijn geen grote ingrepen nodig.	Er kunnen grote knelpunten vanaf de kust naar Limburg voorkomen worden of verminderen.	
Maasbracht	Er is ruimte voor een aansluiting van diepe aanlanding.			Gunstig vanwege verbindingen met Duitsland en België.
Einighausen	Twee aansluitingen lijken mogelijk. Realisatie station in fase voorbereiding/basisontwerp			Gunstig vanwege hoge elektriciteitsvraag.
Metropoolregio Eindhoven	Mogelijk op gepland station. Station nog in studiefase.			Minder gunstig dan andere locaties, maar lijkt ook haalbaar zonder ingrepen en vergelijkbare positieve impact.

6 Overkoepelend beeld en afhankelijkheden tussen regio's

6.1 Overkoepelend beeld impact diepe aanlanding op energiesysteem

Diepe aanlanding van wind op zee heeft als doel om aanbod van elektriciteit dichter bij de vraag aan te sluiten en daarmee het transport via 380kV-verbindingen te verminderen. Daarnaast kan het een optie zijn als het aansluiten van windparken op zee aan de kust ruimtelijk, technisch of energetisch niet meer mogelijk is. Een locatie zien we als geschikt voor diepe aanlanding als het knelpunten aan 380kV-verbindingen door transport van elektriciteit van de kust naar het binnenland vermindert. Als dit niet het geval is, dan voldoet de diepe aanlanding namelijk niet aan het doel waarvoor deze gerealiseerd wordt.

Een diepe aanlanding kan op twee manieren transport via 380kV-verbindingen verminderen:

- Doordat het nabij vraag in het binnenland gerealiseerd wordt en minder transport richting het binnenland nodig is. Hierdoor wordt de belasting op 380kV-verbindingen vanaf de kust richting gebieden met veel elektriciteitsvraag in het binnenland verminderd.
- Doordat minder aansluitingen van windparken op zee aan de kust gerealiseerd hoeft te worden. Er zit namelijk een grens aan de hoeveelheid windenergie op zee die aan de kust aangeland kan worden zonder dat grote ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen die de elektriciteit vanuit die regio's moet afvoeren.

Regionale knelpunten in het transport van de windenergie van zee vanaf het aansluitstation kunnen ontstaan doordat er lokaal overschotten aan elektriciteit ontstaan bij realisatie van een diepe aanlanding, die niet afgevoerd kunnen worden via 380kV-verbindingen. Relevante factoren hierbij zijn lokale elektriciteitsvraag, overige productiebronnen en de locatie in het netwerk.

Uit de netdoorrekeningen blijkt dat het verminderen van het transport via 380kV-verbindingen door aanbod nabij de vraag te realiseren, van toepassing is bij diepe aanlanding in de regio's Limburg/Eindhoven of Gelderland/Noord-Brabant. Dit komt doordat er een significante elektriciteitsvraag in beide regio's voorzien wordt, die niet ingevuld kan worden met lokale productie. Dit wordt versterkt door export van elektriciteit van die regio's richting Duitsland en België op momenten met veel productie van windparken op zee. Zonder diepe aanlanding in een van deze regio's zijn knelpunten te verwachten op 380kV-verbindingen in Noord-Brabant, met name op de verbinding tussen Tilburg en Eindhoven. Deze knelpunten worden verminderd door diepe aanlanding in een van deze regio's (of in beide regio's). Dit geldt zowel voor 2040 als voor 2050 en voor zowel de scenario's met hoge aannames voor elektrische aansluiting van windenergie op zee (tot 50 GW in 2050) en de scenario's met lagere aannames voor elektrische aansluiting van windenergie op zee (zoals de doorrekening met 30 GW windenergie op zee uit pVAWOZ).

Dit effect is niet of slechts in beperkte mate van toepassing bij de regio's Flevoland en Overijssel. In de regio Overijssel is de toekomstige vraag naar elektriciteit in de scenario's beperkt, zowel ten opzichte van andere regio's als ten opzichte van het aanbod van elektriciteit van een diepe aanlanding (2 GW). In de regio Flevoland is de vraag een stuk hoger, maar is er veel lokaal aanbod van windenergie op land. Op momenten met hoge productie van windenergie op zee wordt de lokale vraag in Flevoland al grotendeels ingevuld met de productie van windenergie op land. Als de vraag in Flevoland nog een stuk sterker toeneemt dan in de doorgerekende scenario's doordat er

fors meer vraag van datacenters komt, dan zal een diepe aanlanding voor het invullen van de lokale vraag wel gunstig kunnen zijn.

Het tweede effect, de potentiële ontlasting van het 380kV-netwerk doordat er minder windenergie op zee aan de kust aangesloten hoeft te worden, is van toepassing op elk van de potentiële aansluitstations van diepe aanlanding. Er zit een grens zit aan de hoeveelheid windenergie op zee die aan de kust aangeland kan worden zonder dat grote ingrepen aan 380kV-verbindingen nodig zijn die de stroom vanuit de aansluitstations aan de kust moeten afvoeren. Met de huidige routekaart voor windenergie op zee en de voorkeursalternatieven vanuit pVAWOZ wordt tot ruim 30 GW elektrische aansluiting van windenergie op zee aan de kust gerealiseerd. Mogelijk zijn richting 2050 nog extra aansluitingen aan de kust mogelijk. Maar bij een forse doorgroei van het vermogen voor windenergie op zee wordt de grens aan de kust bereikt en is het niet meer mogelijk om daar aansluitingen aan te sluiten zonder dat grote ingrepen aan 380kV-verbindingen noodzakelijk zijn. Dan kan diepe aanlanding een oplossing bieden. Hoeveel windenergie aan de kust aangesloten kan worden is afhankelijk van de ontwikkeling van (flexibele) vraag en aanbod aan de kust. Daarnaast kunnen ook ruimtelijke en technische factoren een beperking zijn voor de hoeveelheid aansluitingen van windenergie op zee aan de kust gerealiseerd kunnen worden.

Voorgaande betekent dat diepe aanlanding in Limburg/Eindhoven en/of Gelderland/Noord-Brabant naar verwachting in alle gevallen tot vermindering van de belasting op 380kV-verbindingen kan leiden, en daarmee altijd gunstig is voor het energiesysteem. Diepe aanlanding in Flevoland en Overijssel lijken met name gunstig voor het energiesysteem als aansluitingen aan de kust technisch, ruimtelijk of energetisch niet meer haalbaar lijken.

Naast de mogelijke positieve impact van diepe aanlandingen is voor de geschiktheid van een regio voor diepe aanlanding ook van belang of er geen nieuwe ingrepen nodig zijn aan 380kV-verbindingen in de regio. In alle regio's lijkt diepe aanlanding mogelijk zonder grote ingrepen aan 380kV-verbindingen. Alleen in de regio Overijssel is er een risico dat een grote ingreep nodig is als er gekozen wordt voor diepe aanlanding bij Almelo. Bij aansluiting in Hengelo lijkt dit risico kleiner.

Voor de afweging tussen aansluitstations binnen de regio's is de aansluitcapaciteit bij de 380kV-hoogspanningsstations en lokale vraag, aanbod en de locatie in het netwerk van belang. Onderstaande Tabel 6-1 geeft hier een overzicht van. Daarnaast gaan we bij de resultaten per regio (hoofdstuk 5) in op de afweging tussen de verschillende locaties binnen een regio.

Tabel 6-1 Totaaloverzicht beoordeling energiesysteem

<table>
<tr><th rowspan="2">Aansluitstation</th><th rowspan="2">Aansluitcapaciteit</th><th colspan="3">Impact op 380kV-verbindingen</th></tr>
<tr><th>Inpasbaarheid in de regio</th><th>Voorkomen van ingrepen buiten de regio</th><th>Geschiktheid locatie</th></tr>
<tr><td>Flevoland</td><td></td><td rowspan="3">Er zijn geen grote ingrepen nodig bij diepe aanlanding, maar mogelijk wel beperkte ingrepen.</td><td rowspan="3">Afhankelijk van ontwikkelingen rond de aansluiting aan de kust of het ingrepen buiten de regio kan voorkomen. Het vooral gunstig om hier aan te landen als aansluiting in regio's aan kust technisch, ruimtelijk en energetisch niet haalbaar is.</td><td></td></tr>
<tr><td>Lelystad</td><td>Mogelijk op gepland station. Station nog in studiefase.</td><td>Er is relatief veel windenergie op land beschikbaar wat ongunstig is voor inpassing.</td></tr>
<tr><td>Almere</td><td>Mogelijk op gepland station. Station nog in studiefase.</td><td>Gunstiger dan Lelystad door grotere vraag naar elektriciteit en gunstigere locatie in netwerk.</td></tr>
</table>

Gelderland/Noord -Brabant		Geen grote ingrepen nodig om in te passen in de regio.	Diepe aanlanding kan grote knelpunten vanaf de kust naar zuidoost Nederland voorkomen of verminderen.	
Boxmeer	Diepe aanlanding alleen mogelijk als het station wordt uitgebreid (bovenop geplande uitbreiding).			Geen grote elektriciteitsvraag, maar lijkt een haalbare optie.
Doetinchem	Er is ruimte voor een diepe aanlanding na realisatie van het station. Realisatie station in fase voorbereiding/basisontwerp.			Verbinding met Duitsland is een voordeel.
Wijchen	Er is ruimte voor een diepe aanlanding na realisatie van het station. Realisatie station in fase voorbereiding/basisontwerp.			Geen grote elektriciteitsvraag, maar lijkt een haalbare optie.
Rivierenland	Onzeker of dit station gerealiseerd wordt.			Afhankelijk van netstructuur bij realisatie van het station.
Limburg en Eindhoven		Er zijn geen ingrepen nodig voor het aansluiten van diepe aanlanding.	Er kunnen grote knelpunten vanaf de kust naar Limburg voorkomen worden of verminderen.	
Maasbracht	Er is ruimte voor een diepe aanlanding op het bestaande station.			Gunstig vanwege verbindingen met Duitsland en België.
Einighausen	Twee diepe aanlandingen lijken mogelijk. Realisatie station in fase voorbereiding/basisontwerp			Gunstig vanwege hoge elektriciteitsvraag.
Metropoolregio Eindhoven	Mogelijk op gepland station. Station nog in studiefase.			Minder gunstig dan andere locaties, maar lijkt ook haalbaar zonder ingrepen en vergelijkbare positieve impact.
Overijssel		Er zijn mogelijk grote ingrepen nodig om te kunnen aansluiten.	Afhankelijk van ontwikkelingen rond de aansluiting aan de kust of het ingrepen buiten de regio kan voorkomen. Het vooral gunstig om hier aan te landen als aansluiting in regio's aan kust of in zuidoost Nederland technisch, ruimtelijk en energetisch niet haalbaar is.	
Hengelo	Er is ruimte voor een diepe aanlanding op het bestaande station.			Verbinding met Duitsland is een voordeel. Waarschijnlijk een minder groot knelpunt tussen Hengelo en Almelo bij aansluiting op dit station.
Almelo	Er is ruimte voor een diepe aanlanding na realisatie van het station. Realisatie station in fase voorbereiding/basisontwerp.			Geen grote vraag. Mogelijk grote ingreep op verbinding richting Hengelo bij aansluiting op dit station.

6.2 Afhankelijkheden tussen regio's

In bovenstaande paragraaf is per regio besproken of een diepe aanlanding mogelijk is zonder grote ingrepen en of het grote ingrepen elders in het land kan voorkomen. Diepe aanlanding in de ene regio kan echter ook impact hebben op de effecten van diepe aanlanding in een andere regio. In deze paragraaf worden de afhankelijkheden tussen de mogelijkheid voor aansluiting in verschillende regio's besproken:

- Diepe aanlanding in de regio's Limburg/Eindhoven en Gelderland/Noord-Brabant lijken tot op zekere hoogte inwisselbaar. In beide regio's wordt richting 2040 en 2050 een hoge elektriciteitsvraag verwacht en beide regio's hebben verbindingen richting het buitenland. Diepe aanlanding in beide regio's kan het transport van elektriciteit vanaf de kust richting zuidoost Nederland verminderen en daarmee mogelijk grote ingrepen op 380kV-verbindingen in Noord-Brabant voorkomen. Daarnaast liggen de regio's nabij elkaar en zijn deze verbonden met de 380kV-verbinding tussen Boxmeer en Maasbracht, waarvoor in geen van de onderzochte scenario's en varianten grote ingrepen nodig zijn. Dit betekent dat er ook benodigd transport tussen beide regio's mogelijk lijkt en het daardoor voor het benodigd aantal ingrepen 380kV-net naar verwachting beperkt uitmaakt in welke van beide regio's diepe aanlanding gerealiseerd wordt. Het is op basis van de netdoorrekeningen niet mogelijk om te concluderen of diepe aanlanding in één van beide regio's gunstiger is voor het energiesysteem dan aansluiting in de andere regio.
  Er lijkt in ieder geval 4 GW diepe aanlanding in totaal inpasbaar in beide regio's zonder dat grote ingrepen nodig zijn. Er is niet onderzocht of 6 GW diepe aanlanding gezamenlijk in beide regio's inpasbaar. Daarnaast is niet onderzocht of 4 GW diepe aanlanding in Limburg/Eindhoven of 2 GW in beide regio's gunstiger is voor het energiesysteem.
- De effecten van diepe aanlanding in Overijssel kunnen mogelijk beïnvloed worden door diepe aanlanding in Gelderland/Noord-Brabant, aangezien de regio's bij elkaar in de buurt liggen. Maar op basis van de netdoorrekening lijkt de mogelijkheid voor diepe aanlanding in Overijssel niet beperkt te worden door diepe aanlanding in Gelderland-Zuid/Noord-Brabant Oost en vice versa.
- De effecten van diepe aanlanding in Flevoland zijn naar verwachting niet significant afhankelijk van diepe aanlanding in de andere regio's, aangezien dit op een ander deel van het netwerk ligt dan de andere regio's.

6.3 Algemene afhankelijkheden en onzekerheden

Zoals eerder besproken staat de inpassing van wind op zee en de impact van diepe aanlandingen op het energiesysteem niet op zichzelf, maar is dit afhankelijk van andere ontwikkelingen in het energiesysteem. Gezien de grote afhankelijkheid van andere ontwikkelingen in het energiesysteem is het van belang om integraal keuzes te maken over diepe aanlandingen en andere ontwikkelingen van het energiesysteem. In het PEH II en Nationaal Plan Energiesysteem wordt integraal naar de verschillende (mogelijke) ontwikkelingen in het energiesysteem gekeken. In deze voorverkenning ligt de focus op de diepe aanlandingen, maar wordt wel een beschouwing gegeven op de belangrijkste afhankelijkheden en onzekerheden.

De belangrijkste onzekerheden en afhankelijkheden per regio zijn besproken bij de beoordeling per regio in hoofdstuk 5. In deze paragraaf worden de belangrijkste overkoepelende onzekerheden en afhankelijkheden besproken, en hoe deze impact hebben op de diepe aanlandingen. De belangrijkste afhankelijkheden en onzekerheden zijn de ontwikkeling van aansluiting van

windenergie op zee aan de kust en de totale ambitie voor wind op zee, de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag en flexibiliteit, de ontwikkeling van kerncentrales, de uitwisseling van elektriciteit met het buitenland en de tijdige realisatie van geplande uitbreidingen aan de elektriciteitsinfrastructuur:

- **Aansluiting windenergie op zee aan de kust en totale ambitie windenergie op zee.** Zoals eerder besproken kan diepe aanlanding op twee manieren een positieve impact hebben op het energiesysteem: doordat het nabij vraag in het binnenland gerealiseerd wordt en minder transport richting het binnenland nodig is en doordat minder aansluitingen van windparken op zee aan de kust gerealiseerd hoeft te worden. Het eerste voordeel gaat altijd op, onafhankelijk van de hoeveelheid windenergie op zee die aan de kust gerealiseerd wordt. Maar in welke mate het tweede voordeel optreedt is afhankelijk van de totale ambitie voor windenergie op zee. Hoe hoger de totale ambitie voor windenergie op zee, hoe groter de noodzaak voor diepe aanlanding. Dit komt doordat er een grens zit aan de hoeveelheid windenergie op zee die aan de kust aangeland kan worden, en bij een hoge ambitie voor windenergie op zee wordt deze grens aan de kust bereikt. Het is dan niet meer mogelijk om de volledige ambitie voor windenergie op zee aan de kust te realiseren zonder grote ingrepen aan het 380kV-net.
- **Elektriciteitsvraag.** De scenario's voor 2040 en 2050 gaan uit van een forse toename van de elektriciteitsvraag ten opzichte van de huidige situatie. De aangenomen elektriciteitsvraag ligt in de scenario's voor 2050 3 tot 5 keer zo hoog als nu. Het is echter geen zekerheid dat de elektriciteitsvraag zoveel stijgt. Het scenario Koersvaste Middenweg, waarvoor de variant met diepe aanlanding in Flevoland, Overijssel en Gelderland-Zuid/Noord-Brabant Oost onderzocht is[16] (zie paragraaf 3.2), gaat uit van een relatief hoge groei van de elektriciteitsvraag. Als deze elektriciteitsvraag minder sterk stijgt[17], dan kan op twee manieren de impact van diepe aanlanding van windenergie op zee op het energiesysteem beïnvloeden:
    - Lokale elektriciteitsvraag zorgt ervoor dat een groter deel van de elektriciteit van windparken op zee direct benut wordt bij de aansluitstations. Als de elektriciteitsvraag minder toeneemt dan aangenomen in de scenario's, dan is het risico groter dat nabij de aansluitstations nieuwe knelpunten ontstaan door diepe aanlanding.
    - Als de elektriciteitsvraag aan de kust minder toeneemt, dan zijn minder elektrische aansluitingen aan de kust inpasbaar en neemt de noodzaak voor het realiseren van diepe aanlandingen in het binnenland toe.
- **Ontwikkeling bronnen van flexibiliteit**. In de scenario's voor 2040 en 2050 wordt een forse ontwikkeling van bronnen van flexibiliteit, zoals opslag van elektriciteit met batterijen en elektrolyse, aangenomen. Deze bronnen van flexibiliteit kunnen knelpunten door afvoer van windenergie op zee reduceren doordat meer elektriciteit lokaal benut wordt. Uit analyses van de Integrale Effectenanalyse van pVAWOZ volgt dat vooral elektrolyse een grote impact heeft op het verminderen van potentiële knelpunten door windenergie op zee. De impact van batterijen is beperkter, aangezien bij windenergie op zee doorgaans sprake is van langere periodes van productie (tot meerdere dagen) en de batterijen een beperkte opslagcapaciteit hebben. De ontwikkeling van de bronnen van flexibiliteit kan op twee manieren de impact van diepe aanlanding van windenergie op zee op het energiesysteem beïnvloeden:

[16] Er zijn meerdere scenario's, ook met een stuk lagere elektriciteitsvraag (scenario Gezamenlijke Balans), doorgerekend met diepe aanlanding in Limburg.

[17] In theorie is het ook mogelijk dat de elektriciteitsvraag sterker stijgt dan in het scenario Koersvaste Middenweg. Dan zijn de besproken effecten omgekeerd. Aangezien de aannames voor toename van de elektriciteitsvraag in dit scenario al groot zijn, zien we een sterkere toename niet als waarschijnlijk. In specifieke regio's is het wel mogelijk dat de elektriciteitsvraag sterker toeneemt dan aangenomen in de scenario's, bijvoorbeeld in Flevoland als daar veel nieuwe datacenters gerealiseerd worden.

- Lokale flexibiliteit zorgt ervoor dat een groter deel van de elektriciteit van windparken op zee direct benut wordt bij de aansluitstations. Als de elektriciteitsvraag minder toeneemt dan aangenomen in de scenario's, dan is het risico groter dat nabij de aansluitstations nieuwe knelpunten ontstaan door diepe aanlanding. Er wordt in de scenario's aangenomen dat bij de aansluitstations forse vermogens aan batterijen gerealiseerd worden, maar er is aangenomen dat geen elektrolyse bij de aansluitstations gerealiseerd wordt[18]. Dit betekent dat de impact van de lokale flexibiliteit in de scenario's op de resultaten beperkt is.
- In de scenario's worden forse vermogens aan flexibele bronnen, waaronder elektrolyse, aangenomen aan de kust. Als de ontwikkeling van flexibele bronnen, en dan met name elektrolyse, aan de kust minder toeneemt, dan zijn minder elektrische aansluitingen aan de kust inpasbaar en neemt de noodzaak voor het realiseren van diepe aanlandingen in het binnenland toe.

- **Kerncentrales.** In het PEH II worden locaties voor een derde en vierde kerncentrale onderzocht. Hierbij worden ook locaties in het binnenland onderzocht. Eventuele ontwikkeling van grote kerncentrale (bij 2 centrales gaat het om circa 3,2 GW) in het energiesysteem kan leiden tot overschotten aan elektriciteitsproductie en dus nieuwe knelpunten. Deze verhouding wordt in PEH II nader onderzocht.
- **De uitwisseling van elektriciteit met het buitenland.** In drie van de regio's waarvoor diepe aanlanding onderzocht wordt (Overijssel, Gelderland/Noord-Brabant en Limburg) liggen verbindingen die het Nederlandse elektriciteitsnet verbinden met Duitsland en België. Naar verwachting zal Nederland op momenten met veel productie van windparken op zee regelmatig elektriciteit exporteren, en op momenten met weinig productie van windparken op zee elektriciteit importeren. Export van elektriciteit op momenten met veel productie van windparken op zee zorgt er extra transport nodig is vanaf Zeeland en de randstad richting het binnenland en de regio's die onderzocht worden voor diepe aanlanding. Meer export op momenten met veel productie van windparken op zee vergroot daarmee nut en noodzaak van diepe aanlanding. De import en export van elektriciteit is voornamelijk afhankelijk van twee factoren:
  - De nationale balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit, en de ontwikkelingen in het buitenland. Als er in Nederland op momenten met wind op zee grote overschotten zijn en als gevolg daarvan lage elektriciteitsprijzen, en dit in België en Duitsland minder het geval is, dan zal export plaatsvinden op die momenten.
  - Capaciteit verbindingen import en export. Er kan niet meer elektriciteit geïmporteerd of geëxporteerd worden dan de capaciteit van de verbindingen. De bestaande verbindingen richting Duitsland en België zullen worden opgewaardeerd. Daarnaast wordt door TenneT gekeken naar de mogelijkheid om, als er diepe aanlanding in Limburg gerealiseerd wordt, nieuwe gelijkstroomverbindingen richting België en/of Duitsland aan te leggen. Dan zou nog meer import en export mogelijk zijn. Voor Overijssel en Gelderland/Noord-Brabant wordt dit op dit moment niet onderzocht.
- **Tijdige realisatie van geplande uitbreidingen aan de elektriciteitsinfrastructuur.** In de netdoorrekeningen van TenneT is aangenomen dat de geplande netuitbreidingen uit het IP in

[18] We verwachten dat grootschalige elektrolyse bij diepe aanlanding, vanuit het perspectief van het energiesysteem, niet noodzakelijk en wenselijk. Diepe aanlanding wordt gerealiseerd omdat er vraag naar elektriciteit is in het binnenland. Het is naar verwachting efficiënter om de aangelande windstroom van diepe aanlanding door te voeren richting andere delen van Nederland of te exporteren richting België en Duitsland, en op andere locaties in Nederland (aan de kust) grootschalige elektrolyse toe te passen.

2040 gerealiseerd zijn. Dit is echter geen zekerheid. Als de geplande uitbreidingen aan de elektriciteitsinfrastructuur niet tijdig gerealiseerd zijn, dan kan dit op de volgende manieren impact hebben op de mogelijkheden voor diepe aanlanding:

- **Tijdige realisatie aansluitstations.** Er worden verschillende aansluitstations onderzocht die op dit moment nog niet gerealiseerd zijn. Het gaat om de aansluitstations Almere, Almelo, Wijchen, Rivierenland, Einighausen en uitbreidingen/nieuwe stations bij Lelystad, Metropoolregio Eindhoven en Doetinchem. Er kan pas een diepe aanlanding gerealiseerd worden bij deze stations op het moment dat deze stations gereed zijn.
- **Capaciteit 380kV-verbindingen nabij aansluitstations.** Bij Limburg (380kV-verbinding Maasbracht-Einighausen, inclusief 3e en 4e circuit) en Flevoland (3e en 4e circuit 380kV-verbinding Vierverlaten – Ens – Lelystad – Diemen) zijn er nieuwe circuits voorzien die de capaciteit van 380kV-verbindingen nabij de aansluitstations vergroten. Daarnaast zijn in elke regio verzwaringen aan bestaande 380kV-verbindingen voorzien. Als deze uitbreidingen later (of niet) gerealiseerd worden, dan kan dit betekenen dat er meer knelpunten ontstaan nabij de aansluitstations.

6.4 Openstaande vragen vervolg

Deze energiesysteemanalyse geeft inzicht in de effecten van diepe aanlanding in verschillende regio's, maar geeft nog geen volledig overzicht om een keuze te kunnen maken. Hiervoor is op de volgende aspecten nog meer inzicht of een integrale afweging noodzakelijk:

- De energiesysteemanalyse laat zien dat diepe aanlanding in zowel de regio Gelderland/Noord-Brabant als de regio Limburg/Eindhoven gunstig is voor het energiesysteem. Het is echter nog onvoldoende duidelijk of er, vanuit het energiesysteem bezien, een voorkeur is voor één van beide locaties of dat een combinatie het meest gunstig is. In een volgende fase is hier nader onderzoek naar nodig, bijvoorbeeld door middel van doorrekeningen met diepe aanlandingen in beide regio's.
- De energiesysteemanalyse laat zien dat diepe aanlanding in Flevoland en Overijssel alleen onder bepaalde voorwaarden, met name als meer elektrische aansluitingen aan de kust niet mogelijk zijn, gunstig is. Er is verder onderzoek nodig naar de mogelijkheden voor aansluitingen aan de kust en de voorwaarden waaronder diepe aanlanding in Flevoland en Overijssel gunstig is.
- De impact van diepe aanlandingen is afhankelijk van overige ontwikkelingen in het energiesysteem, zoals de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag, flexibele bronnen en kernenergie. Dit vraagt om een integrale weging van de keuze voor diepe aanlanding met keuzes voor andere ontwikkelingen in het energiesysteem. Dit moet verder onderzocht worden in het PEH II.
- Dit onderzoek geeft een overzicht van de kosten van diepe aanlandingen en de effecten van diepe aanlandingen op milieu en ruimte en het energiesysteem. Voor een integrale afweging moet onderzocht worden hoe de hoge kosten voor diepe aanlandingen afwegen tegen de baten voor het energiesysteem en effecten op milieu en ruimte.
- Diepe aanlandingen kunnen mogelijk ook gerealiseerd worden in combinatie met HVDC-schakelstations (bij de diepe aanlanding en bij een aansluitstation aan de kust). Als ervoor wordt gekozen om HVDC-schakelstations te realiseren is het voor de keuze van een aansluitstation voor diepe aanlandingen ook van belang of deze locaties ook gunstig zijn bij realisatie van een HVDC-hub, wat niet per se het geval is. Hiervoor is van belang dat op die locatie veel aanbod is van elektriciteit (vanuit bijvoorbeeld elektriciteitscentrales of import) op momenten met weinig productie van windparken op zee zodat deze elektriciteit op die momenten richting de Randstad

getransporteerd kunnen worden via de gelijkstroomkabels. In de Voorverkenning Diepe Aanlandingen is geen energiesysteemanalyse gedaan voor HVDC-schakelstations. Dit moet verder onderzocht worden in het PEH II. De inzichten van de impact HVDC-schakelstations op het energiesysteem moeten meegewogen worden in de afweging rondom de keuze voor diepe aanlandingen.

COLOFON

Voorverkenning Diepe Aanlandingen

Datum
17-06-2026

Status
Definitief

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Haskoning B.V.
Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Nederland
+31 (0)88 348 20 00

www.haskoning.nl

CE Delft B.V.
Oude Delft 180
2611 HH Delft
+31 (0)15-2150150

www.ce.nl