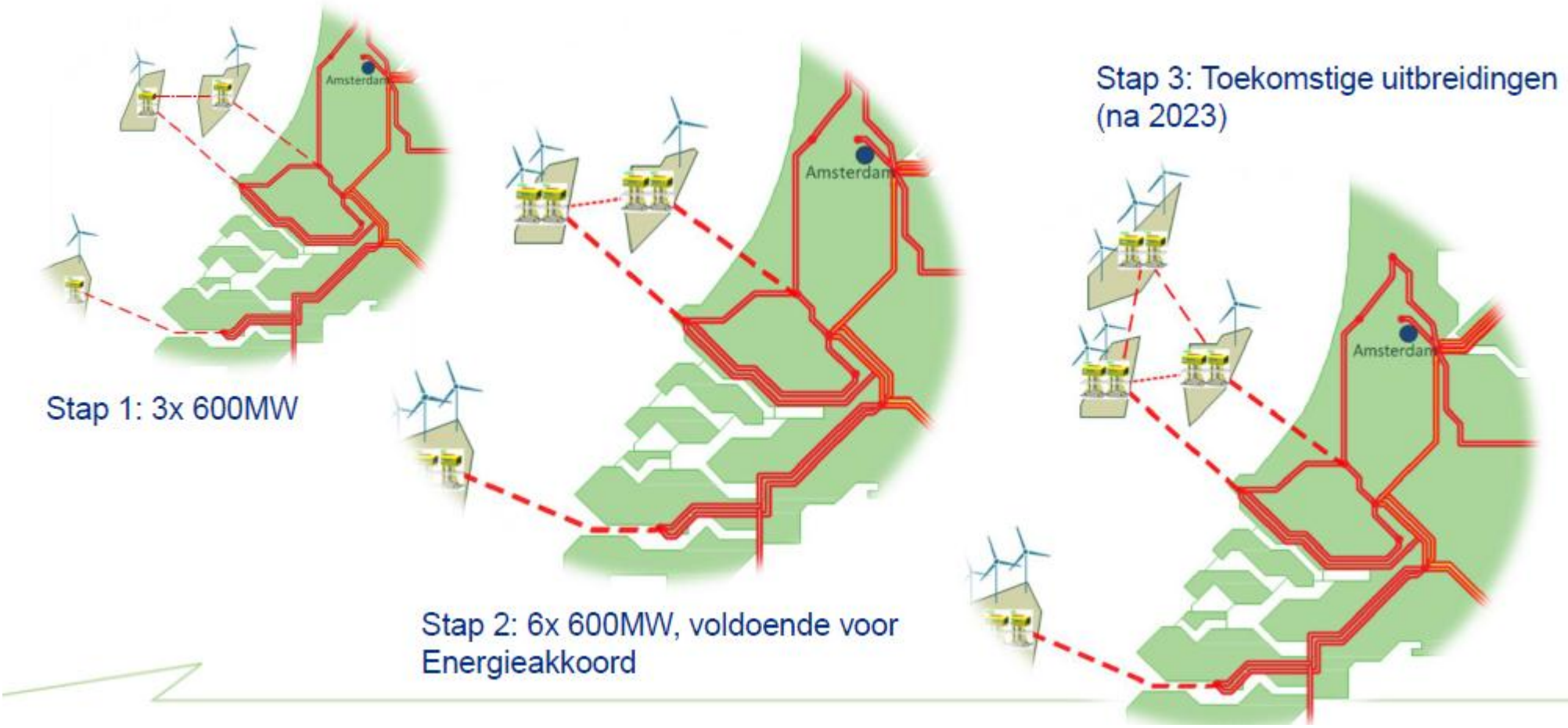
DNV·GL

Review

"Netontwerp en uitrolstrategie TenneT Wind op Zee"



Interne verantwoording

Review Uitrolstrategie TenneT Wind op Zee, publieksversie	DNV GL - Energy Utrechtseweg 310 P.O. Box 9035 6800 ET Arnhem The Netherlands Tel: +31 26 356 91 11 Fax: +31 26 442 97 81 http://www.dnvgl.com
For: KEMA Nederland B.V. Utrechtseweg 310 P.O. Box 718 6800 AS Arnhem The Netherlands	
[redacted]	

Date of issue:	21-07-2014	Project No.:	74105984
Report No.:	14-1437, Publieksversie	Org. Unit:	MPD-AS
Contract No.:	74105984-MPD/AS 14-1437 Rev.4	Subject Group:	Advisory Services

Prepared by:	[redacted]
Verified by:	
Approved by:	

x	No distribution without permission from the client or responsible organizational unit (however, free distribution for internal use within DNV after 3 years)	**Indexing terms**	
x	No distribution without permission from the client or responsible organizational unit	Key Words:	Wind op Zee
☐	Strictly confidential	Service Area:	QA
☐	Unrestricted distribution	Market Segment:	Transmission

Disclaimer

Dit document is auteursrechtelijk beschermd en mag alleen aan derden beschikbaar worden gesteld in zijn geheel en voorzien van deze mededeling en disclaimer. Dit document noch een gedeelte ervan mag openbaar worden gemaakt in het kader van een openbare aanbieding of prospectus dan wel een beursnotering of een circulaire of mededeling op de beurs, zonder de uitdrukkelijke voorafgaande schriftelijke toestemming van de DNV GL entiteit die dit document heeft opgesteld ("DNV GL").

Indien en voor zover de wet dat toelaat, is noch DNV GL noch enige groepsmaatschappij ("de Groep") verantwoordelijk op grond van een contract, onrechtmatige daad, nalatigheid daarbij inbegrepen, of op enige andere wijze, jegens derden (daarvan uitgezonderd de Klant). Geen van de Groep deel uitmakende entiteit is aansprakelijk voor enig verlies of schade hoe dan ook geleden als gevolg van enig handelen, nalaten of verzuim (ontstaan door onachtzaamheid of anderszins) door DNV GL, de Groep or diens medewerkers, onderaannemers dan wel agenten. Dit inhoud van dit document vormt één geheel met de aannames en voorbehouden die daarin zijn opgenomen dan wel in hetzelfde verband anderszins zijn gecommuniceerd. Dit document bevat mogelijk technische detailinformatie die uitsluitend bedoeld is voor personen met de relevante expertise.

Dit document is samengesteld op basis van informatie beschikbaar ten tijde van het opstellen ervan. Het is niet uitgesloten dat dergelijke informatie daarna verandert of is veranderd. Behalve indien en voor zover een opdracht tot het verifiëren van informatie en gegevens uitdrukkelijk met de Klant is overeengekomen, is DNV GL op geen enkele wijze verantwoordelijk in verband met onjuiste informatie of gegevens die zij van haar Klant of een derde heeft ontvangen, dan wel voor de gevolgen van dergelijke onjuiste informatie of gegevens, die al dan niet in dit document is opgenomen of waarnaar in dit document wordt verwezen.

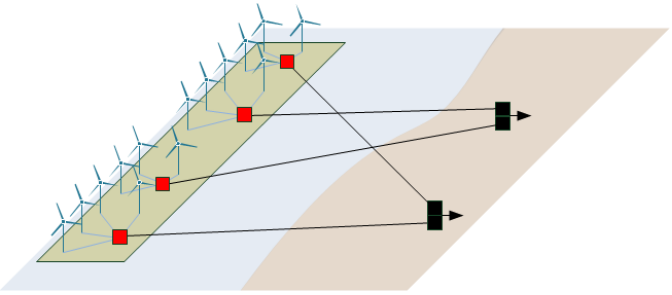
Dit reviewrapport is afgeleid van het oorspronkelijke rapport "Review Netontwerp en uitrolstrategie TenneT Wind op Zee " d.d. 14-05-2014 en is opgesteld op verzoek van TenneT B.V. bedoeld voor publicatie. Mocht er verschil van interpretatie optreden tussen dit reviewrapport en het oorspronkelijke niet openbare rapport, dan is het oorspronkelijke niet openbare rapport leidend wat betreft uitleg en interpretatie.

Managementsamenvatting – Algemeen en uitrolstrategie (1/3)

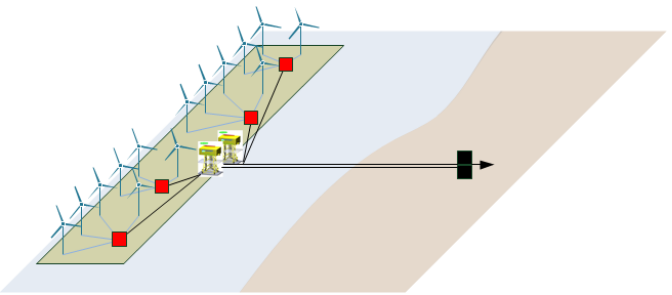
Algemeen

Nederland heeft in haar milieudoelstellingen opgenomen dat er in 2023 4.450 MW aan offshore windvermogen moet staan. Dit windvermogen moet aangesloten worden op het Nederlandse elektriciteitsnet. Het SER Energie-Akkoord wijst TenneT aan als netbeheerder op zee, daar waar dat een hogere efficiëntie met zich meebrengt.
TenneT wil deze rol op zich nemen en heeft daartoe, vooruitlopend op de aanwijzing, een visiedocument opgesteld waarin zij haar strategie toont met betrekking tot de uitrol van een net op zee. In dit modulaire hub-concept sluiten de strengen van meerdere OWF's direct aan op een verzamelplatform, die het vermogen naar land brengt. Deze strategie wordt vergeleken met twee andere opties voor het aansluiten van de kavels. De ene optie is de standaardconfiguratie, waarin ieder OWF een eigen verzamelplatform heeft, en het vermogen vanaf dat platform naar land transporteert. Het tweede alternatief is een stopcontact op zee, waar een schakelstation op zee het vermogen van meerdere OWF's verzamelt door aan te sluiten op de OWF-platforms.
Op basis van dit vergelijk maakt TenneT zichtbaar welke voordelen de gekozen strategie biedt boven de andere opties. TenneT heeft DNV GL verzocht het visiedocument te reviewen op de technische en financiële aannames en de daarop gebaseerde voordelen.

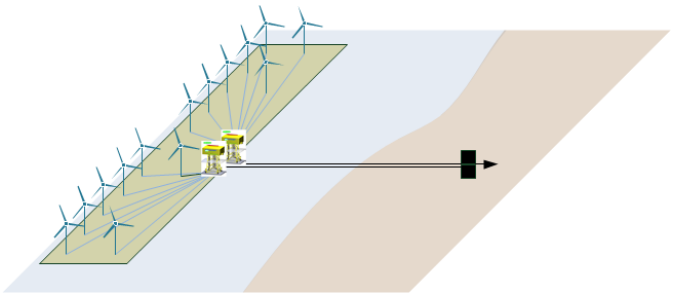
Standaardconfiguratie (individuele aansluitingen)



"Stopcontact op zee"



Modulair hub-concept, de uitrolstrategie



Uitrolstrategie

Met de gekozen uitrolstrategie is TenneT in staat de aansluiting van Wind op Zee op een toekomstgerichte manier te faciliteren. De modulaire opbouw van het netontwerp maakt het mogelijk dat TenneT op het juiste moment de landaansluiting voor de voorziene OWF's realiseert. De netbeheerder op zee kan hierdoor substantiële financiële en technische voordelen realiseren bij toekomstige ontwikkeling van OWF's en andere mogelijke vormen van energieopwekking. Het past bij de taak van een netbeheerder om een dergelijke toekomstgerichte visie mee te nemen in de ontwikkeling van een strategie voor het net op zee. Het introduceert wel het risico van stranded investments als OWF's niet als verwacht ontwikkelen. Dit risico wordt gering geacht indien de overheid bij de uitgifte van kavels en het daarop te realiseren windvermogen rekening houdt met het transportvermogen van de door TenneT te plaatsen aansluitingen op zee. Via een kleine meer-investering op de platformen, in verband met het hub-concept, is het mogelijk om de langetermijn filosofie van TenneT in te bouwen, en op deze wijze het huidige netontwerp meer toekomstgericht en toekomst vast te maken ten bate van later te ontwikkelen verder weg gelegen windgebieden.

Managementsamenvatting – Financieel (2/3)

De aanwijzing van TenneT als netbeheerder op zee heeft belangrijke consequenties voor de organisatie van de netaansluiting, de verdeling van de kosten over de verschillende stakeholders en het risicoprofiel dat daarmee gemoeid is. TenneT heeft deze effecten beschreven en komt tot de conclusie dat belangrijke kostenreducties zijn te behalen die de totale kosten voor de Nederlandse samenleving voor Wind op Zee aanzienlijk verlagen. Dit is voornamelijk het gevolg van (i) **lagere investeringen**; (ii) **lagere onderhoudskosten**; (iii) **lagere financieringskosten**; (iv) een **hogere beschikbaarheid** door meer redundantie en (v) een **langere gebruiksduur** van de elektrische infrastructuur. TenneT schat dat deze effecten kunnen leiden tot een verlaging van de totale productiekosten per kWh van offshore windenergie (Levelized Cost of Energy - LCOE) met 10-15%, en daarmee een significante bijdrage leveren aan de doelstelling van 40% kostprijsverlaging die in het Energieakkoord is opgenomen.

DNV GL heeft de stellingen van TenneT gereviewd en komt tot de volgende conclusies (Standaard scenario is gehanteerd als base case):

Bij het schatten van de totale kostprijsverlaging is TenneT enigszins voorzichtig te werk gegaan en heeft een lagere kostprijsreductie aangenomen dan zou volgen uit de sommatie van de individuele elementen (i)-(v). DNV GL vindt dit een verstandige aanpak. DNV GL schat dat het aanwijzen van TenneT als offshore netbeheerder kan leiden tot een LCOE-reductie in de orde van 10%. Deze reductie is grotendeels onafhankelijk van het gekozen aansluitconcept. Het verschil met het percentage door TenneT gehanteerd, wordt voornamelijk verklaard doordat DNV GL de mogelijkheden voor een verlaging van de investeringskosten (CapEx) lager inschat dan TenneT.

De precieze omvang van de mogelijke LCOE-reductie is door DNV GL nog niet vast te stellen, omdat op een aantal aspecten een volledige onderbouwing ontbreekt of er nog onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Wel is het voldoende om een inschatting te maken van de grootteorde van de mogelijke kostprijsreductie.

TenneT berekent dat de productie-opbrengst met 4% kan toenemen en als gevolg daarvan de LCOE met 4% afneemt (iv). DNV GL onderschrijft dat een hogere beschikbaarheid kan worden gehaald door de ‘inherente redundantie’. Omdat er nog geen faalstatistiek beschikbaar is over de gebruikte kabels, is het voor DNV GL niet mogelijk om de omvang van dit effect zonder detailstudie precies vast te stellen. DNV GL schat nu in dat het tussen de 0.1% en 2% ligt (zie ook pagina 6).

DNV GL onderschrijft de mogelijkheid om ongeveer 10% op de kosten van onderhoud te besparen (ii). Dit heeft slechts een beperkte invloed (0,1%) op de LCOE-reductie. TenneT kan infrastructurele projecten goedkoper financieren dan particuliere ondernemingen (iii). Dit leidt tot een geschatte 0,5% lagere waarde voor de kosten voor kapitaal (WACC), en daarmee een verlaging van de LCOE van 3%. DNV GL kan zich vinden in deze stelling. De precieze grootte van dit effect hangt nog wel af van de (financiële) marktomstandigheden.

Er is een verschil geconstateerd tussen de investeringskosten die TenneT en DNV GL hanteren voor de offshore platforms (i). TenneT heeft een marktconsultatie uitgevoerd en gebruikt de bedragen verkregen uit de consultatie voor het bepalen van investeringsniveaus. Op basis van een onafhankelijke kostprijsbepaling vindt DNV GL aanzienlijk lagere investeringskosten voor de offshore platforms. Het is van belang om meer inzicht te krijgen in de investeringskosten. Het geconstateerde verschil geeft aanleiding tot een verlaging van de LCOE voor het modulaire hub-concept met 1% ten opzichte van de door TenneT aangegeven LCOE-verlaging.

Als gevolg van de andere inschatting van de CapEx vindt DNV GL kleinere verschillen tussen de gepresenteerde netconfiguraties dan TenneT.

Managementsamenvatting – Technisch (3/3)

DNV GL heeft het voorgestelde netconcept op basis van modulaire hubs van TenneT technisch gereviewd. DNV GL beoordeelt het concept als technisch haalbaar en onderschrijft de voordelen die TenneT beschrijft grotendeels. Onderstaande samenvatting geeft de belangrijkste conclusies weer.

De 220 kV AC-techniek in het voorgestelde modulaire hub-concept is een bestaande, beproefde en bewezen techniek. De omvang van het platform, en daarmee het vermogen, zijn zo gekozen dat het door conventionele hijsschepen getild kan worden en aansluit bij de capaciteit van de 220kV-kabels. Het begrenzen van het gewicht beperkt de installatiekosten van de platforms. DNV GL beoordeelt dit als een juiste overweging en onderschrijft de keuze voor 220 kV.
Op de langere termijn wil TenneT overschakelen naar 380 kV AC-techniek, die momenteel door diverse marktpartijen ontwikkeld wordt. DNV GL acht het onwaarschijnlijk dat 380kV-techniek binnen de zichtperiode van 2023 toepasbaar zal zijn, maar ziet wel toepassingen in de verdere toekomst. DNV GL acht het zinvol om bij de uitrol van een net op zee rekening te houden met de mogelijkheden van deze techniek. Dit sluit aan bij de visie van TenneT.

DNV GL onderschrijft dat het modulaire hub-concept mogelijkheden biedt om met AC-technologie verder offshore te reiken dan de twee andere overwogen aansluitconcepten. De capacitieve werking van de kabel , die de maximaal bruikbare lengte van de kabel beperkt, kan op de platforms worden gecompenseerd. Door ruimte voor extra compensatiespoelen te creëren, komt op relatief goedkope wijze een hub-mogelijkheid beschikbaar. DNV GL concludeert dat deze hub-functionaliteit voor de windclusters binnen de zichtperiode 2023 waarschijnlijk niet noodzakelijk is. Echter, op de langere termijn kan deze functionaliteit wel nuttig zijn in de clusters Hollandse Kust voor het ontsluiten van verder weg gelegen OWF's, of in de situaties waarbij de huidige windgebieden voor de 2023 doelstelling onvoldoende capaciteit bieden. Aangezien TenneT in de toekomst over wil schakelen naar 380kV-techniek, moet bij het definitief platformontwerp rekening worden gehouden met ruimte voor 380kV-compensatiespoelen. Aanvullend onderzoek is nodig om de financiële en technische haalbaarheid te bevestigen.

Bij het modulaire hub-concept kan het aantal benodigde platforms op zee worden gereduceerd doordat OWF-platforms worden uitgespaard. Verder bestaat door de bundeling van het vermogen de mogelijkheid om het aantal kabeltracés naar land en duindoorkruisingen te reduceren, zeker wanneer in de toekomst van 380kV-techniek gebruik gemaakt kan worden. Een goede coördinatie van kaveluitgifte is voor het welslagen van deze voordelen van belang.
DNV GL beveelt aan in het detailontwerp rekening te houden met langere middenspanningskabels tussen de windturbines en de modulaire hub. Door de grotere lengte neemt de kans op kabelkruisingen toe, wat installatie en reparatie complexer en kostbaarder kan maken.

DNV GL onderschrijft dat een volledig netconcept op zee met modulaire hubs een hoger niveau van beschikbaarheid zal genereren dan wanneer gebruik gemaakt wordt van de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen). Daardoor zal de productie-opbrengst hoger zijn dan bij de standaardconfiguratie. TenneT schat deze verhoging in productie-opbrengst in op 4%. DNV GL komt in een schatting lager uit, de verhoging in productie-opbrengst inschattend tussen de 0,1% en 2%. Doordat er wereldwijd te weinig faalgegevens beschikbaar zijn voor 220kV-kabels op zee, is het nog niet nauwkeurig in te schatten en is het resultaat van de analyse een bandbreedte. Een nadere betrouwbaarheidsstudie kan resulteren in een nauwkeurigere inschatting van de verhoging in de productie-opbrengst.
De hub-functionaliteit biedt met additionele investeringen de mogelijkheid om de platforms in verschillende clusters aan elkaar te koppelen, waardoor de beschikbaarheid verder kan toenemen. Deze vorm van redundantie is niet mogelijk in de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen).

Enkele onzekere factoren, zoals impact de van harmonischen, instabiliteit, transiënten en resonanties, zullen nog verder onderzocht moeten worden. Indien dit tot problemen leidt zal dit additionele kosten kunnen veroorzaken, welke naar verwachting in het net op zee-concept met modulaire hubs hoger uit zullen vallen dan in de standaardconfiguratie.

Inhoud

	Pagina
Managementsamenvatting	4
Afkortingenlijst	8
Aanleiding en opdrachtstelling	9
Toelichting uitrolstrategie	11
Review financieel	13
Review uitrolstrategie	18
Review netontwerp	22
Gereviewde openbare documenten	30
Gereviewde niet openbare documenten	31

Leeswijzer

Deze rapportage is een publieksversie van een reviewdocument, en dient te allen tijde samen met de publieksversie van het gereviewde TenneT-document (“Visie Netontwerp en uitrolstrategie”) gelezen te worden. De managementsamenvatting is bedoeld om op toegankelijke manier de totaalconclusies en bevindingen van de review weer te geven. De volledige conclusies, technische en financiële details worden beschreven in de hoofdtekst van het rapport. Dit zal altijd als een geheel beschouwd moeten worden.

Het rapport is in hoofdlijnen in drie delen opgebouwd: een financiële review, een review van de uitrolstrategie en een review van de technische haalbaarheid, vooral gericht op het door TenneT voorgestelde modulaire hub-concept. Omwille van de leesbaarheid is voorafgaand aan elk van de drie genoemde hoofdonderwerpen het betreffende deel uit de managementsamenvatting herhaald.

Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis
AC	Wisselstroom
CapEx	Kapitaalkosten (capital expenses)
DC	Gelijkstroom
GW	Gigawatt (actief vermogen)
HS	Hoogspanning
HVDC	Gelijkstroom op hoog spanningsniveau
km	Kilometer
kV	Kilovolt
LCOE	Levelized cost of energy
MinEZ	Ministerie van Economische Zaken
mm	Millimeter
MS	Middenspanning
MVA	Megavolt-ampère (schijnbaar vermogen)
Mvar	Megavolt-ampère-reactief (blindvermogen)
MW	Megawatt (actief vermogen)
OpEx	Operationele kosten
OWF	Windpark op zee (offshore wind farm)
RHDHV	Royal HaskoningDHV
SER	Sociaal-Economische Raad
WACC	Weighted average cost of capital
WoZ	Wind op Zee

Aanleiding en opdrachtstelling (1/2)

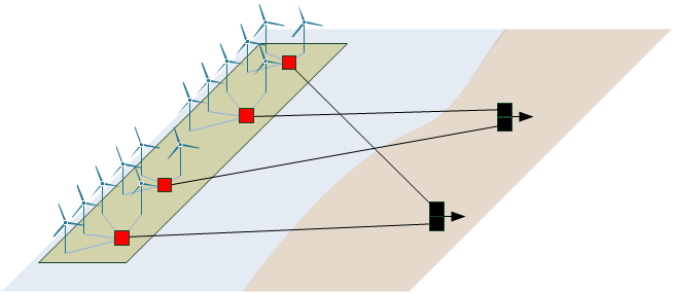
Aanleiding

Nederland heeft in haar milieudoelstellingen opgenomen dat er in 2023 4.450 MW aan offshore windvermogen moet staan. Dit windvermogen moet aangesloten worden op het Nederlandse elektriciteitsnet. Dat betekent dat er sprake moet zijn van een net op zee dat deze aansluitingen realiseert. Het SER Energie-Akkoord wijst TenneT aan als netbeheerder op zee, daar waar dat een hogere efficiëntie met zich meebrengt.

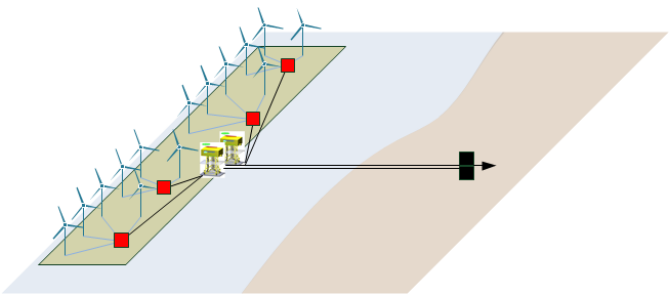
Momenteel is er een wetsvoorstel in voorbereiding dat de opschaling van windenergie op zee mogelijk maakt. Het betreft het wetsvoorstel “Windenergie op Zee”. Het introduceert een instrument genaamd “kavelbesluit”. Niet in de wet zelf, maar pas in het kavelbesluit wordt bepaald waar en onder welke voorwaarden een OWF gerealiseerd mag worden. Een vergunning bepaalt wie het OWF mag realiseren. In het wetsvoorstel krijgt de beheerder van het landelijk hoogspanningsnet de taak het net op zee voor te bereiden. De taak omvat in elk geval de uitvoering van de noodzakelijke technische onderzoeken en het voorbereiden van de verkrijging van vergunningen. Men verwacht dat minister Kamp deze wet na de zomer goed wil laten keuren door de Tweede Kamer.

TenneT wil deze rol op zich nemen en heeft daartoe, vooruitlopend op de aanwijzing, een visiedocument opgesteld waarin zij haar strategie toont met betrekking tot de uitrol van een net op zee. Deze strategie is faciliterend aan de Rijksstructuurvisie “Wind op Zee”. De strategie beschrijft de systeemopbouw van het net op zee, de globale planning van uitrol en de aansluiting van de verschillende aangewezen kavels, de toe te passen technologie en de financiële consequenties van deze keuzes. Deze strategie wordt vergeleken met twee andere opties voor het aansluiten van de kavels. Op basis van dit vergelijk maakt TenneT zichtbaar welke voordelen de gekozen strategie biedt boven de andere opties. Dit zijn niet alleen financiële voordelen. Functionele, maatschappelijke als ook milieutechnische voordelen worden belicht. Doel van het visiedocument is duidelijk te maken dat de aanwijzing van TenneT voor aanleg en exploitatie leidt tot het meest efficiënte netbeheer op zee voor de Nederlandse samenleving.

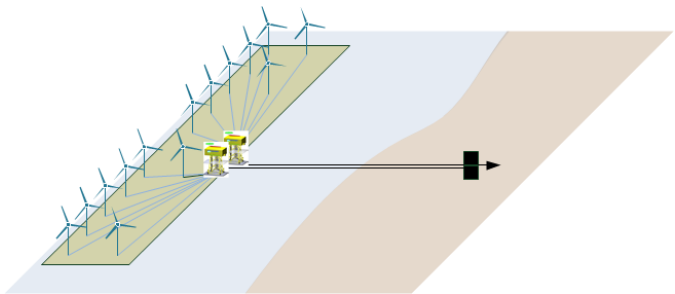
Standaardconfiguratie (individuele aansluitingen)



“Stopcontact op zee”



Modulair hub-concept, de uitrolstrategie



De drie beschouwde opties voor aansluiting van wind op zee. Het visiedocument vergelijkt de uitrolstrategie met de andere twee opties.

Aanleiding en opdrachtstelling (2/2)

Opdrachtstelling

Minister Kamp heeft de Tweede Kamer een brief toegezegd waarin onder andere een toelichting gegeven wordt op het net op zee. Het visiedocument van TenneT zal hierbij door het Ministerie van Economische Zaken benut worden als onderliggend document. Om die reden heeft TenneT gevraagd een niet openbare review uit te voeren op het niet openbare visiedocument (Presentatie EZ 3 april 2014.pdf). Deze review dient zich te richten op review van de technische en financiële aannames in het visiedocument en daarmee ook op de vraag of de door TenneT getoonde voordelen en claims gerechtvaardigd en onderbouwd zijn. Op deze wijze creëert TenneT meer inzicht en zekerheid.

Inmiddels heeft minister Kamp de aanwijzing verleend aan TenneT als Netbeheerder op zee. Als gevolg hiervan is in overleg tussen het Ministerie van EZ en TenneT besloten grote delen van het visiedocument als nog openbaar te maken in een publieksversie. Vele belanghebbenden hebben inzage gevraagd in de onderliggende verklaringen van het document. Als gevolg van dit besluit is ook DNV-GL gevraagd een bijpassende publieksversie van het oorspronkelijke reviewrapport op te stellen. DNV GL verklaart dat in deze publieksversie de conclusies onverminderd overeind gehouden zijn, zij het dat in deze versie bepaalde financiële inzichten niet getoond worden daar dit commerciële schade kan berokkenen aan de opdrachtgever

Het visiedocument van TenneT kent een zeker abstractieniveau passend bij de fase waarin de besluitvorming rond wind op zee zich bevindt. Detailstudies worden ook pas zinvol in een fase dat de uitgegeven kavels daadwerkelijk ontwikkeld worden. Een consequentie hiervan is dat de review het abstractieniveau weerspiegelt.

De review kent een top-down benadering. De volgorde is als volgt:

1. Review van de financiële onderbouwing
2. Review van de uitrolstrategie
3. Review van het netwerkconcept (systeembenadering)
4. Review van de in het systeem te benutten componenten

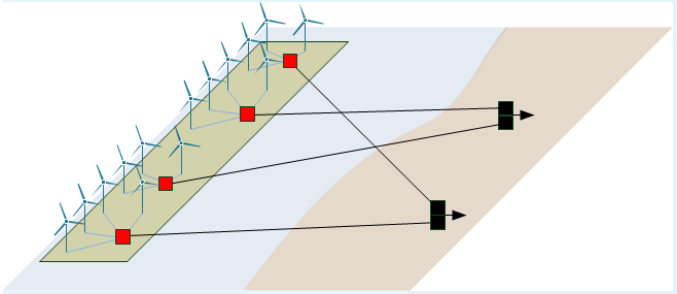
Bij de review wordt getoetst hoe reëel de aannames zijn, in welke mate het concept technisch uitvoerbaar is en of de genoemde voordelen ten opzichte van een andere wijze van uitrol daadwerkelijk optreden of aanwezig zijn.

Uitrolstrategie

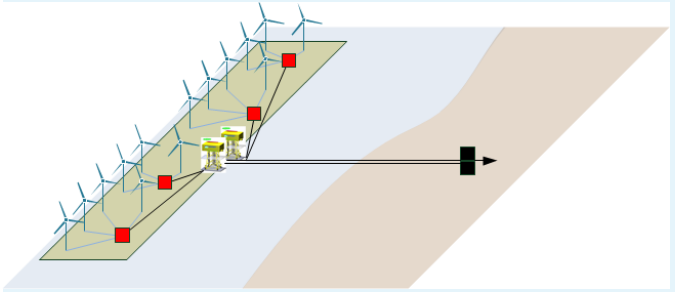
Toelichting uitrolstrategie

Overzicht van de te vergelijken opties voor uitrol van windenergie op zee

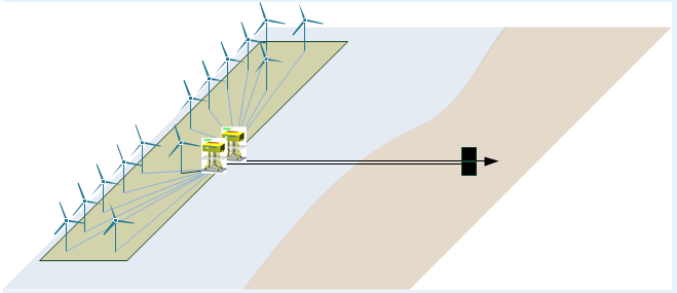
Het visiedocument van TenneT vergelijkt haar uitrolstrategie met twee andere opties voor aansluiting van wind op zee. Omdat het vergelijk aan de basis ligt van de beschreven voordelen worden de drie opties op een rij gezet. TenneT toont ook een vierde optie, gebaseerd op een 380kV-aansluiting (als variatie op de **Modulaire hubs**). De benodigde technologie is nog niet beschikbaar in de markt. In de uitrolstrategie tot 2023 is het ook niet waarschijnlijk dat deze optie benut wordt en is ook niet verder beschreven in het visiedocument. Deze optie is daarom niet gereviewd.



De **Standaardconfiguratie**. Hierbij wordt door de ontwikkelaar van elk OWF het OWF individueel door middel van een 150kV- of 220kV-kabel aangesloten op een landzijdig station, dat vervolgens weer is aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet (380 kV). Elk OWF heeft een zeezijdig (offshore) substation. De individuele windturbines van het OWF zijn hierop (strengsgewijs) aangesloten. TenneT vervult geen rol bij realisatie van de aansluitingen op zee.



Het “**Stopcontact op zee**”. Hierbij plaatst TenneT zeezijdig (offshore) een gestandaardiseerd 600MW-substation dat met 2x220kV-kabels aangesloten wordt op het landelijk hoogspanningsnet (380 kV). De dubbele aansluitkabel levert beperkte redundantie. Op het substation van TenneT kunnen meerdere OWF’s worden aangesloten door middel van een 150kV- of 220kV-kabel vanaf het substation van het OWF. Op deze wijze kunnen meerdere OWF’s aangesloten worden op één substation van TenneT. Indien nodig (afhankelijk van het totaal aan te sluiten windvermogen) is het “**Stopcontact op zee**” van TenneT uit te breiden met een tweede substation, wat op dezelfde wijze wordt aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet. (De afbeelding laat twee **“Stopcontacten op zee”** zien .)



Modulaire hubs, als basis voor de uitrolstrategie. Hierbij plaatst TenneT zeezijdig een gestandaardiseerd 600MW-substation dat met 2x220kV-kabels wordt aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet (380 kV). De dubbele aansluitkabel levert beperkte redundantie. Op het substation van TenneT worden de windturbines van de individuele OWF’s rechtstreeks (strengsgewijs) aangesloten. Op deze wijze wordt het substation van het individuele OWF uitgespaard. Uitbreiding is identiek aan het **“Stopcontact op zee”**. Tussen twee substations kan een brug gerealiseerd worden die de redundantie van het systeem vergoot. (De afbeelding laat twee **Modulaire hubs** zien.)
Het gestandaardiseerde substation kan ook dienst doen als hub. Als een verder gelegen OWF aangesloten moet worden, kunnen vanaf de hub via een dubbele 220kV-kabel verder gelegen OWF’s worden aangesloten via daar door TenneT te plaatsen substations, ook weer 600 MW en gestandaardiseerd.

Review financieel

Review financieel – Samenvatting

De aanwijzing van TenneT als netbeheerder op zee heeft belangrijke consequenties voor de organisatie van de netaansluiting, de verdeling van de kosten over de verschillende stakeholders en het risicoprofiel dat daarmee gemoeid is. TenneT heeft deze effecten beschreven en komt tot de conclusie dat belangrijke kostenreducties zijn te behalen die de totale kosten voor de Nederlandse samenleving voor Wind op Zee aanzienlijk verlagen. Dit is voornamelijk het gevolg van (i) **lagere investeringen**; (ii) **lagere onderhoudskosten**; (iii) **lagere financieringskosten**; (iv) een **hogere beschikbaarheid** door meer redundantie en (v) een **langere gebruiksduur** van de elektrische infrastructuur. TenneT schat dat deze effecten kunnen leiden tot een verlaging van de totale productiekosten van offshore windenergie (LCOE) met 10-15%, en daarmee een significante bijdrage leveren aan de doelstelling van 40% kostprijsverlaging die in het Energieakkoord is opgenomen.

DNV GL heeft de stellingen van TenneT gereviewd en komt tot de volgende conclusies(Standaard scenario is gehanteerd als base case):

Bij het schatten van de totale kostprijsverlaging is TenneT enigszins voorzichtig te werk gegaan en heeft een lagere kostprijsreductie aangenomen dan zou volgen uit de sommatie van de individuele elementen (i)-(v). DNV GL vindt dit een verstandige aanpak. DNV GL schat dat het aanwijzen van TenneT als offshore netbeheerder kan leiden tot een LCOE-reductie in de orde van 10%. Deze reductie is grotendeels onafhankelijk van het gekozen aansluitconcept. Het verschil met het percentage door TenneT gehanteerd, wordt voornamelijk verklaard doordat DNV GL de mogelijkheden voor een verlaging van de investeringskosten (CapEx) kleiner inschat dan TenneT.

De precieze omvang van de mogelijke LCOE-reductie is door DNV GL nog niet vast te stellen, omdat op een aantal aspecten een volledige onderbouwing ontbreekt of er nog onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Wel is het voldoende om een inschatting te maken van de grootteorde van de mogelijke kostprijsreductie.

TenneT berekent dat de productie-opbrengst met 4% kan toenemen en als gevolg daarvan de LCOE met 4% afneemt (iv). DNV GL onderschrijft dat een hogere beschikbaarheid kan worden gehaald door de ‘inherente redundantie’. Omdat er nog geen faalstatistiek beschikbaar is over de gebruikte kabels, is het voor DNV GL niet mogelijk om de omvang van dit effect zonder detailstudie precies vast te stellen. DNV GL schat nu in dat het tussen de 0.1% en 2% ligt (zie ook pagina 5).

DNV GL onderschrijft de mogelijkheid om ongeveer 10% op de kosten van onderhoud te besparen (ii). Dit heeft slechts een beperkte invloed (0,1%) op de LCOE-reductie. TenneT kan infrastructurele projecten goedkoper financieren dan particuliere ondernemingen (iii). Dit leidt tot een geschatte 0,5% lagere waarde voor de kosten voor kapitaal (WACC), en daarmee een verlaging van de LCOE van 3%. DNV GL kan zich vinden in deze stelling. De precieze grootte van dit effect hangt nog wel af van de (financiële) marktomstandigheden.

Er is een verschil geconstateerd tussen de investeringskosten die TenneT en DNV GL hanteren voor de offshore platforms (i). TenneT heeft een marktconsultatie uitgevoerd en gebruikt de bedragen verkregen uit de consultatie voor het bepalen van investeringsniveaus. Op basis van een onafhankelijke kostprijsbepaling vindt DNV GL aanzienlijk lagere investeringskosten voor de offshore platforms. Het is van belang om meer inzicht te krijgen in de investeringskosten. Het geconstateerde verschil geeft aanleiding tot een verlaging van de LCOE voor het modulaire hub-concept met 1% ten opzichte van de door TenneT aangegeven LCOE-verlaging.

Als gevolg van de andere inschatting van de CapEx vindt DNV GL kleinere verschillen tussen de gepresenteerde netconfiguraties dan TenneT.

Review financieel – Afname LCOE

Beschreven voordeel: Door het aanwijzen van TenneT als netbeheerder op zee wordt de Levelized Cost of Energy (LCOE) significant lager

Lagere investeringskosten (CapEx) (20-30%): TenneT hanteert een totaalschatting voor kostenreductie op investeringen in de infrastructuur, opgebouwd uit de volgende elementen met bijbehorende kostenreductieschattingen:

1. Inkoopvoordelen kabels en platforms: 5%
2. Installatiekosten door eenmalige mobilisatie en gezamenlijke kustdoorkruisingen: 3%
3. Offshore ervaring en leereffecten: 5-10%
4. Netoptimalisatie: 25-40%.

Vervolgens heeft TenneT de totaalschatting voorzichtigheidshalve significant lager verondersteld dan het totaal van deze kostenreductiemogelijkheden (38-58%) tot de genoemde 20-30%. DNV GL onderschrijft de kostenvoordelen die te halen zijn uit 1, 2 en 3 (pagina 16). Zoals uit pagina 17 blijkt, wordt de reductiemogelijkheden in verband met de netoptimalisatie (4) door DNV GL lager ingeschat. Hiermee schat DNV GL de mogelijkheden voor CapEx-reductie in op ongeveer 13-18%. Het effect van deze voordelen op de LCOE is ongeveer 3% (pagina 16).

Lagere onderhoudskosten (OpEx) (10%): Onderhoudskosten van kabelverbindingen en platforms kunnen worden gereduceerd door schaalvoordelen. Bij aanwijzing als beheerder, zou TenneT overwegen om één gemeenschappelijk onderhoudscentrum op te richten voor Nederlandse, en wellicht Duitse, activa. DNV GL onderschrijft de conclusie dat kostenverlaging in onderhoud kan worden bereikt. Het effect op de LCOE is gering (0,1%).

Lagere financieringskosten als gevolg van lagere WACC: TenneT heeft lagere rendementseisen dan particuliere ondernemingen. Bovendien kan TenneT via de eigen balans financieren. DNV GL heeft onvoldoende inzicht in de huidige rentes en rendementseisen voor eigen vermogen om hier definitieve conclusies aan te verbinden, maar een WACC-verlaging in de orde van 0,5%-punt ligt in de rede. Als gevolg hiervan kan de LCOE dalen met ongeveer 3%.

Langere afschrijvingstermijn: TenneT geeft aan dat elektrische infrastructuur over een langere termijn kan worden afgeschreven dan nu gebruikelijk is in de windindustrie (40 jaar in plaats van 20 jaar). Dit kan leiden tot een verlaging van de LCOE met enkele procenten. DNV GL onderschrijft deze conclusie. In de huidige berekening heeft TenneT dit effect nog niet meegenomen. Dit vormt eventueel een aanvullende besparingsmogelijkheid die door DNV GL daarom wel is meegenomen in de mogelijke kostprijsreductie.

Hogere beschikbaarheid door redundantie (4%): Bij aansluiting van OWF's met meerdere kabels kan een hogere productie-opbrengst worden bereikt. Dit wordt door DNV GL onderschreven. Een hogere productie-opbrengst werkt 1-op-1 door in de LCOE. De geclaimde toename van 4% zou dus tot een LCOE-daling van 4% leiden. DNV GL heeft op basis van eigen schattingen voor de bepaling van de mogelijke kostenreducties 0.1-2% aangehouden (zie ook pagina 29).

Conclusie: Als gevolg van de aanwijzing van TenneT kan een significante kostprijsreductie worden gerealiseerd. DNV GL schat de effecten daarvan lager in dan TenneT (zoals hierboven onderbouwd), maar acht het waarschijnlijk dat een kostprijsreductie in de orde van 10% te verwachten is. Deze reductie is grotendeels onafhankelijk van het gekozen aansluitconcept.

Review financieel – CapEx-inschattingen

Review: Proces van kostprijsbepaling

TenneT heeft een marktconsultatie uitgevoerd om inzicht te krijgen in de huidige marktprijs voor netaansluitingen. Drie partijen is gevraagd een niet-bindende aanbieding te maken voor een complete aansluiting op basis van het modulaire hub-concept. Bij de uitvraag zijn de hoofdcomponenten schriftelijk gespecificeerd en deze specificaties zijn aan DNV GL ter review voorgelegd. De specificaties komen niet overeen met de enkellijnschema's die DNV GL ter review heeft ontvangen. TenneT heeft in gesprek met de geconsulteerde bedrijven de specificatie nader toegelicht en aangepast, en heeft aan DNV GL verklaard dat de uitkomst van deze gesprekken prevaleert boven de op schrift gesteld specificatie die met de uitvraag is meegestuurd. Aangezien deze gesprekken over de specificaties niet zijn vastgelegd, kan DNV GL niet met zekerheid zeggen dat de kostenbegroting op de juiste specificaties is gebaseerd.
TenneT heeft de ontvangen biedingen gebruikt om de kosten van offshore verbindingen te onderbouwen. De gevraagde partijen hebben ruim ervaring in het bouwen van offshore substations en hebben allen zoals gevraagd een niet-bindende aanbieding ingeleverd. Locatie specifieke gegevens ontbreken in de tenderdocumentatie, maar zijn in de gesprekken globaal benoemd.

Beschreven voordeel: Lagere investeringen - Inkoopvoordelen en kostenreductie resulteren in een lagere CapEx

TenneT geeft aan dat bij de inkoop van componenten belangrijke voordelen zijn te behalen wanneer het ontwerp wordt gestandaardiseerd en er voldoende zekerheid over de uitrol aan leveranciers kan worden gegeven. DNV GL onderschrijft deze conclusie en heeft dit in haar niet openbare studie van 2009 voor TenneT ook becijferd. Besparingen kunnen mogelijk ook worden gerealiseerd door andere partijen die ervaring hebben met grootschalige aanleg van offshore windinfrastructuur. Bij de berekening van de CapEx heeft TenneT deze kostenverlagingen nog niet meegenomen. Op pagina 15 staat wat het effect hiervan is op de Levelized Cost of Energy (LCOE).

Om maximale kostenreductie op inkoop te realiseren, is een goede planning nodig van de aanleg van de OWF's, gegeven de marktcapaciteit (constructie, transport en installatie). Dit vereist dat het overheidsbeleid in overeenstemming moet zijn met deze planning (zoals grootte van OWF's, vergunningen voor OWF's en aansluitingen) om de marktcapaciteit optimaal te benutten (in verband met plannen door ontwikkelaars en leveranciers). Bovendien laat het technische concept genoeg ruimte voor een competitieve aanbesteding.

Standaardisatie van het concept leidt tot een lager risicoprofiel per project, kortere bouwperiodes, en besparing in engineeringkosten, waardoor kostenreducties kunnen worden gerealiseerd.

Review financieel – Significante reducties in CapEx

Beschreven voordeel: Lagere investeringen - Netoptimalisatie levert 25%- 40% kostenreductie

DNV GL heeft de totale CapEx van het modulaire hub-concept gereviewd. Op basis van de gewichten en afmetingen van de elektrische componenten is een onafhankelijke schatting gemaakt van de constructie- en installatiekosten. DNV GL schat de totale CapEx van een modulaire hub-aansluiting gelijk aan de totale CapEx van de Standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) maar lager dan de totale CapEx van het “Stopcontact op Zee”. Dit verschil in CapEx van de TenneT-schatting en de DNV GL-schatting wordt in belangrijke mate bepaald door de andere kosteninschatting van het platform.

De benodigde platforms zijn in geval van de Standaardconfiguratie dus naar verhouding even duur. Het voordeel dat TenneT behaalt door minder installatiekosten, wordt teniet gedaan door de kosten die worden gemaakt voor de extra functionaliteit van het platform. TenneT heeft meer schakelmateriaal nodig om een redundantievoordeel te kunnen bereiken. Bovendien vereist de reservering voor compensatiespoelen dat het platform groter en zwaarder wordt uitgevoerd.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de volatiliteit in installatiekosten groot is en de markt voor platformen sterk afhankelijk is van de vraag naar deze constructies. Het verschil in platformkosten kan hieruit naar de mening van DNV GL echter niet afdoende verklaard worden.

DNV GL heeft de kostenschatting (afkomstig uit de marktconsultatie) van de overige componenten gereviewd. DNV GL heeft daarbij de volgende opmerkingen:

- De opgegeven kosten voor schakelinstallaties zijn alleszins redelijk
- De opgegeven kosten voor transformatoren en blindvermogencompensatiespoelen zijn hoog te noemen.
- De opgegeven kosten voor zee- en landkabels zijn hoog maar vallen binnen de onzekerheidsmarge behorend bij dit stadium van het project.

Review uitrolstrategie

Review uitrolstrategie – Samenvatting

Met de gekozen uitrolstrategie is TenneT in staat de aansluiting van Wind op Zee op een toekomstgerichte manier te faciliteren. De modulaire opbouw van het netontwerp maakt het mogelijk dat TenneT op het juiste moment de landaansluiting voor de voorziene OWF's realiseert. De netbeheerder op zee kan hierdoor substantiële voordelen realiseren bij toekomstige ontwikkeling van OWF's en andere mogelijke vormen van energieopwekking. Het past bij de taak van een netbeheerder om een dergelijke toekomstgerichte visie mee te nemen in de ontwikkeling van een strategie voor het net op zee. Het introduceert wel het risico van stranded investments als OWF's niet als verwacht ontwikkelen. Dit risico wordt gering geacht indien de overheid bij de uitgifte van kavels en het daarop te realiseren windvermogen rekening houdt met het transportvermogen van de door TenneT te plaatsen aansluitingen op zee. Via een kleine meer-investering op de platformen, in verband met het hub-concept, is het mogelijk om de langetermijnfilosofie van TenneT in te bouwen, en op deze wijze het huidige netontwerp meer toekomstgericht en toekomstvast te maken ten bate van later te ontwikkelen verder weg gelegen windgebieden.

Beschreven voordeel: Modulair concept maakt het eenvoudig om op gelijke voet met de OWF's het net te realiseren

De platforms en kabels kunnen inderdaad in gelijke tred met de OWF's ontwikkeld worden, doordat de kapitaalsintensieve onderdelen, zoals de kabels en de smoorspoelen gelegd/geplaatst kunnen worden gelijk met de OWF-ontwikkeling. Om deze flexibiliteit mogelijk te maken is een substation noodzakelijk dat meer functionaliteiten herbergt. De extra investering die hiervoor benodigd is, is echter relatief klein ten opzichte van de totale investering van het substation. DNV GL schat dit in op minder dan 10% van de kosten van het substation op basis van haar interne kostendatabase.

De gekozen strategie met de modulaire opbouw zal het meest succesvol zijn als vanuit de Rijksoverheid de uitrol van de OWF's goed gepland wordt. Als de kaveluitgiftes qua locatie en omvang zijn afgestemd op het gestandaardiseerde concept van TenneT (600 MW) is de kans op stranded investments gering. De huidige ontwikkeling van wetgeving wind op zee biedt hiervoor mogelijkheden. Bij hantering van het modulaire hub-concept is de volgorde van uitgifte van de kavels van belang; de dichtstbijzijnde kavel moet dan als eerste worden uitgegeven en aangesloten. Op deze wijze kan dan de verst liggende kavel via de al aanwezige hub worden aangesloten. Indien het verst liggende windcluster als eerste wordt aangesloten, dan zal mogelijkerwijs een hub specifiek gebouwd moeten worden voor blindvermogencompensatie. Het voordeel van de combinatie van verzamelplatform en hub komt dan te vervallen. Bij de standaardconfiguratie is de volgorde van uitgifte van de kavels van minder belang.

Het wetsvoorstel voor wind op zee stelt een relatief korte vergunningsaanvraag voor de offshore vergunningen. Echter, vergunningen van de onshore tracés en stationslocaties zullen ook gelijke tred moeten houden met de vergunningen voor het OWF. TenneT is als netbeheerder vertrouwd met vergunningen voor netwerktracés op land en op zee (NorNed, Cobra, BritNed en offshore Duitsland).

Beschreven voordeel: Centrale aanpak garandeert minimale belasting van de leefomgeving en bewaakt langetermijnbelangen van de samenleving

De door TenneT gekozen strategie biedt mogelijkheden om het aantal duindoorkruisingen te minimaliseren en realiseert door een vorm van redundantie een verhoogde betrouwbaarheid van de netaansluiting van de OWF's. Deze vorm van redundantie is niet aanwezig in de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen). De onderbouwing van de duindoorkruisingen en de verhoogde betrouwbaarheid zijn beschreven in de review van het netontwerp (pagina28 en 29).

Beschreven voordeel: Centrale coördinatie door TenneT is cruciaal voor vereiste snelheid

DNV GL heeft in deze review geen specifiek onderzoek gedaan ter onderbouwing van het door TenneT gestelde. Echter, ook zonder onderbouwing is het helder dat als de netbeheerder op zee en de netbeheerder op land één en dezelfde organisatie vormen, dit de sterkste optie is voor het managen van de interfaces tussen een net op zee en het landelijk hoogspanningsnet. Dit minimaliseert wrijvingsverliezen op de interfaces.

Holistische langetermijnvisie

TenneT heeft met het modulaire hub-concept, zoals in dit document gereviewd, een langetermijnconcept ontwikkeld. Het biedt mogelijkheden om met behulp van AC grote vermogens uit OWF's over grotere afstanden aan te sluiten op het landelijk hoogspanningsnet. Het huidige concept, gebaseerd op 220 kV AC, is een voorbereiding op de optie voor 380 kV AC. De 380kV-techniek is op dit moment nog onvoldoende ontwikkeld om toegepast te worden, maar biedt zicht op technische voordelen op langere termijn. Zo kan het aantal benodigde kabelverbindingen met land in vergelijking met de lagere spanningsniveaus (150 kV en 220 kV) worden gereduceerd, en biedt 380 kV de mogelijkheid om ver verwijderde gebieden zonder HVDC-technologie aan te sluiten. Een netbeheerder op zee kan hierdoor substantiële voordelen realiseren voor aansluiting van OWF's en andere mogelijke vormen van energieopwekking op zee. Het past bij de taak van een landelijk netbeheerder om een dergelijke toekomstgerichte visie mee te nemen in de ontwikkeling van een strategie voor het net op zee.

Het 380 kV AC-netconcept is niet in detail beschreven in de huidige documentatie van TenneT. In de gesprekken is het echter wel ter sprake gekomen en zijn de voordelen belicht. DNV GL beveelt aan om de technische haalbaarheid en financiële doelmatigheid van deze optie in een verdiepingsslag verder uit te werken.

De voorgestelde hub-filosofie faciliteert de langetermijn-aansluitfilosofie op 380 kV AC, maar is voor een 220 kV AC-aansluiting voor de gebieden binnen de zichtperiode tot 2023 niet strikt noodzakelijk als de benodigde capaciteit inderdaad te realiseren is zonder verder weggelegen gebieden. Echter, met een kleine meer-investering op de platformen is het mogelijk om de langetermijnfilosofie van TenneT in te bouwen, en op deze wijze het huidige netontwerp meer toekomstgericht en toekomstvast te maken.

Welk type ontsluiting van windenergie op zee?

Binnen de scope van dit onderzoek, de zichtperiode 2023, zijn de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) en het modulaire hub-concept qua benodigde investering gelijkwaardig. De verschillen vallen ruim binnen de bandbreedte van de financiële analyse. Het "Stopcontact op zee"-concept wordt wel ingeschat als een significant duurdere optie. Een keuze voor de beste optie is daarom binnen de huidige zichtperiode en technische scope niet zuiver op financiële gronden te maken. Een verdiepingsslag van de 380kV-optie zou de financiële prognoses verscherpen en meer inzicht geven in de waarde van de optionaliteit en technische haalbaarheid. Als na de verdiepingsslag de kosten gelijk blijven, de technische haalbaarheid aangetoond is en de optionaliteitswaarde aanzienlijk is, dan lijkt daarmee de keuze voor een net op zee evident.

Review netontwerp

Review netontwerp – Samenvatting

DNV GL heeft het voorgestelde netconcept op basis van modulaire hubs van TenneT technisch gereviewd. DNV GL beoordeelt het concept als technisch haalbaar en onderschrijft de voordelen die TenneT beschrijft grotendeels. Onderstaande samenvatting geeft de belangrijkste conclusies weer.

De 220 kV AC-techniek in het voorgestelde modulaire hub-concept is een bestaande, beproefde en bewezen techniek. De omvang van het platform, en daarmee het vermogen, zijn zo gekozen dat het door conventionele hijsschepen getild kan worden en aansluit bij de capaciteit van de 220kV-kabels. Het begrenzen van het gewicht beperkt de installatiekosten van de platforms. DNV GL beoordeelt dit als een juiste overweging en onderschrijft de keuze voor 220 kV.
Op de langere termijn wil TenneT overschakelen naar 380 kV AC-techniek, die momenteel door diverse marktpartijen ontwikkeld wordt. DNV GL acht het onwaarschijnlijk dat 380kV-techniek binnen de zichtperiode van 2023 toepasbaar zal zijn, maar ziet wel toepassingen in de verdere toekomst. DNV GL acht het zinvol om bij de uitrol van een net op zee rekening te houden met de mogelijkheden van deze techniek. Dit sluit aan bij de visie van TenneT.

DNV GL onderschrijft dat het modulaire hub-concept mogelijkheden biedt om met AC-technologie verder offshore te reiken dan de twee andere overwogen aansluitconcepten. De capacitieve werking van de kabel , die de maximaal bruikbare lengte van de kabel beperkt, kan op de platforms worden gecompenseerd. Door ruimte voor extra compensatiespoelen te creëren, komt op relatief goedkope wijze een hub-mogelijkheid beschikbaar. DNV GL concludeert dat deze hub-functionaliteit voor de windclusters binnen de zichtperiode 2023 waarschijnlijk niet noodzakelijk is. Echter, op de langere termijn kan deze functionaliteit wel nuttig zijn in de clusters Hollandse Kust voor het ontsluiten van verder weg gelegen OWF's, of in de situaties waarbij de huidige windgebieden voor de 2023 doelstelling onvoldoende capaciteit bieden. Aangezien TenneT in de toekomst over wil schakelen naar 380kV-techniek, moet bij het definitief platformontwerp rekening worden gehouden met ruimte voor 380kV-compensatiespoelen. Aanvullend onderzoek is nodig om de financiële en technische haalbaarheid te bevestigen.

Bij het modulaire hub-concept kan het aantal benodigde platforms op zee worden gereduceerd doordat OWF-platforms worden uitgespaard. Verder bestaat door de bundeling van het vermogen de mogelijkheid om het aantal kabeltracés naar land en duindoorkruisingen te reduceren, zeker wanneer in de toekomst van 380kV-techniek gebruik gemaakt kan worden. Een goede coördinatie van kaveluitgifte is voor het welslagen van deze voordelen van belang.
DNV GL beveelt aan in het detailontwerp rekening te houden met langere middenspanningskabels tussen de windturbines en de modulaire hub. Door de grotere lengte neemt de kans op kabelkruisingen toe, wat installatie en reparatie complexer en kostbaarder kan maken.

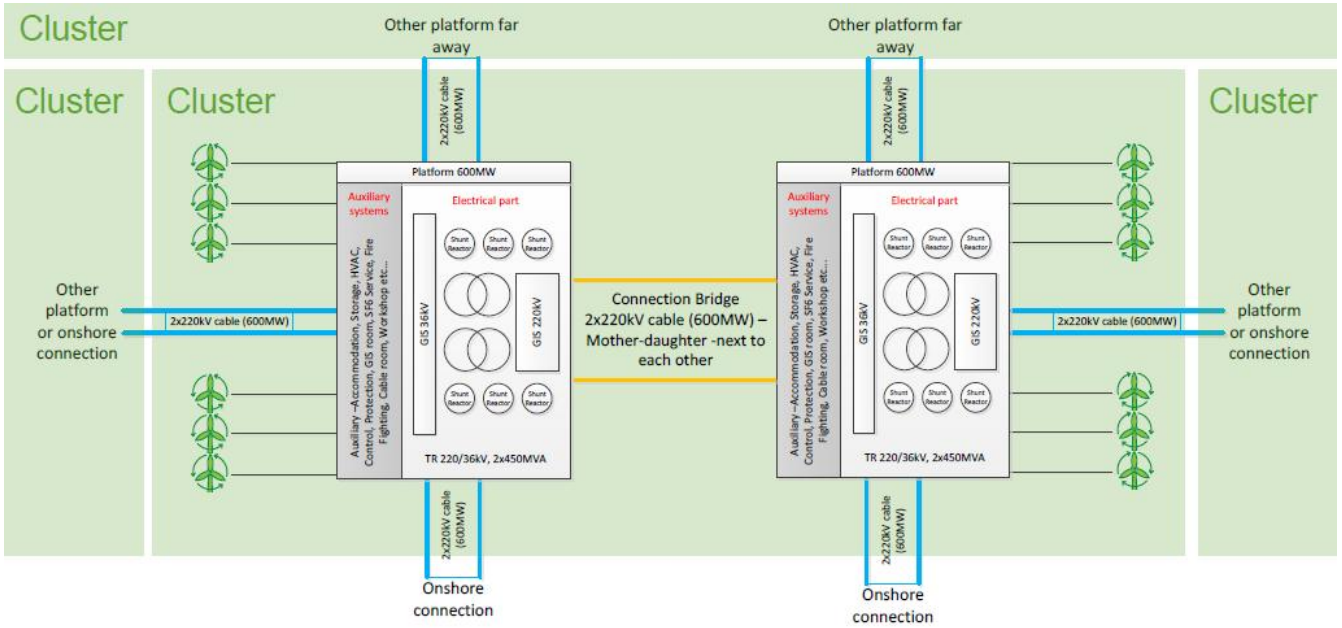
DNV GL onderschrijft dat een volledig netconcept op zee met modulaire hubs een hoger niveau van beschikbaarheid zal genereren dan wanneer gebruik gemaakt wordt van de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen). Daardoor zal de productie-opbrengst hoger zijn dan bij de standaardconfiguratie. TenneT schat deze verhoging in productie-opbrengst in op 4%. DNV GL komt in een schatting lager uit, de verhoging in productie-opbrengst inschattend tussen de 0,1% en 2%. Doordat er wereldwijd te weinig faalgegevens beschikbaar zijn voor 220kV-kabels op zee, is het nog niet nauwkeurig in te schatten en is het resultaat van de analyse een bandbreedte. Een nadere betrouwbaarheidsstudie kan resulteren in een nauwkeurigere inschatting van de verhoging in de productie-opbrengst.
De hub-functionaliteit biedt met additionele investeringen de mogelijkheid om de platforms in verschillende clusters aan elkaar te koppelen, waardoor de beschikbaarheid verder kan toenemen. Deze vorm van redundantie is niet mogelijk in de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen).

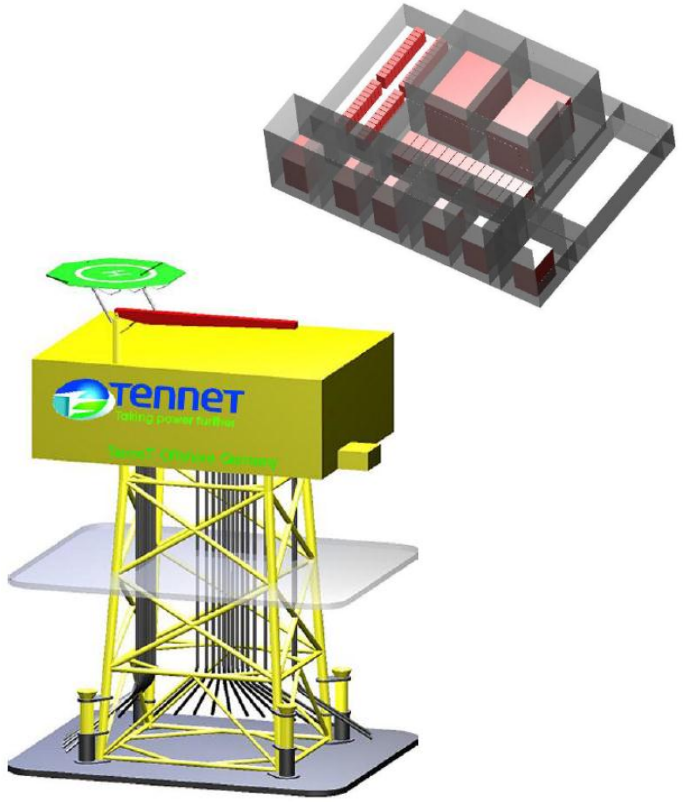
Enkele onzekere factoren, zoals impact de van harmonischen, instabiliteit, transiënten en resonanties, zullen nog verder onderzocht moeten worden. Indien dit tot problemen leidt zal dit additionele kosten kunnen veroorzaken, welke naar verwachting in het net op zee-concept met modulaire hubs hoger uit zullen vallen dan in de standaardconfiguratie.

Review netontwerp – Inleiding

Algemene inleiding

In de modulaire hubs-uitrolstrategie voorziet TenneT in elk van de windclusters twee 600MW-platforms. Elk 600MW-platform verzamelt het vermogen van aangrenzende OWF's middels de 30 MW 36kV-strengen van de OWF's. Het verzamelde vermogen wordt getransformeerd naar 220 kV door twee 450 MVA 36/220kV-transformatoren. Vervolgens wordt het vermogen met twee 300 MW 220kV-kabels naar land getransporteerd. Om maximaal vermogen te kunnen transporteren, wordt de capaciteit van de kabels aan beide zijden (op zee en op land) gecompenseerd met smoorspoelen.
De twee hubs in een cluster zijn met een brug met elkaar verbonden, waar ook twee 300 MW 220kV-kabels op liggen. Hierdoor kan het vermogen van een hub bij het uitvallen van een van zijn kabels naar land, middels de andere hub (ten dele) toch nog aan land worden gebracht. Naast dat de hubs binnen een cluster met elkaar verbonden kunnen worden, kunnen ook hubs uit verschillende clusters met elkaar worden verbonden. Dit kan toegevoegde waarde hebben om clusters die verder van de kust af liggen – en daardoor normaalgesproken niet met AC aangesloten zouden kunnen worden – toch met AC te kunnen ontsluiten. De beperkende factor, de capaciteit van de kabel, kan worden teruggedrongen door op hubs halverwege de verbinding de kabelcapaciteit al ten dele te compenseren.





Review netontwerp – Gekozen spanningsniveau

Bewering: 220 kV AC is het meest geschikte spanningsniveau

Bij een AC 150kV-concept zullen bij een clustergrootte van 1.200 MW zes kabelverbindingen nodig zijn, in vergelijking met vier kabelverbindingen op AC 220kV-niveau. De platformkosten voor de twee spanningsniveaus zullen onderling niet veel verschillen. Dat betekent dat het aansluiten van alle parken op 150 kV AC duurder zal zijn dan op 220 kV AC. Zowel 150kV- als 220kV-kabeltechnologie voor AC kan beschouwd worden als een bewezen technologie. Daarom onderschrijft DNV GL de keuze voor 220 kV als netconcept, ook in ogenschouw nemende dat 380kV-kabeltechnologie voor AC op dit moment nog niet beschikbaar is.

Bewering: Driefasige 380kV-kabels zullen in de nabije toekomst beschikbaar worden

De 380kV-kabeltechnologie is op dit moment nog onvoldoende volwassen om al offshore toegepast te worden. DNV GL onderschrijft de door TenneT benoemde risico's voor het toepassen van deze technologie. DNV GL verwacht dat de benodigde 380kV-kabeltechnologie binnen 10 jaar beschikbaar zal zijn. Het is twijfelachtig of deze technologie uitrolbaar zal zijn binnen de zichtperiode van dit plan (2023).
Het netconcept voorziet in de mogelijkheid om op de bestaande 220kV-platforms 380kV-verbindingen (of 220kV-verbindingen) voor verder weg gelegen OWF's te compenseren. De grootte van de ruimtes voor de smoorspoelen limiteren het maximaal te compenseren blindvermogen per platform. Vooralsnog is het onzeker of de ontworpen platforms afdoende zijn om het benodigde aantal spoelen voor blindvermogencompensatie van 380kV-kabels te herbergen. Nadere studie zal meer duidelijkheid omtrent nut en haalbaarheid voor een 380kV-concept moeten geven.
TenneT heeft in haar studie geen uitspraken gedaan over de dimensies, rating en het passend maken van het platform voor de benodigde 380kV-componenten. Het ontwerp is geoptimaliseerd voor 220 kV en nog niet voor 380 kV. Dat is ook bevestigd in de interviews met TenneT.
DNV GL onderschrijft dat het modulaire hub-concept dit mogelijk maakt, echter kan op dit moment niet bevestigen of het huidig platformontwerp (met name dimensies) geschikt is voor 380kV-componenten. Deze overweging zal meegenomen moeten worden in het detailontwerp.
Uit ervaring is gebleken dat kwaliteitscontrole van kabelontwerp, -productie en -testen belangrijk en complex is. Indien de hoogspanningskabels, en andere componenten, meermaals door dezelfde partij aangeschaft worden, zal dit positief werken en het leereffect versterkt worden. Hierdoor zal naar verwachting de kwaliteit ofwel de betrouwbaarheid van de verbindingen verhogen.

Beschreven voordeel: Het aantal kabels zal gereduceerd worden wanneer 380 kV wordt toegepast

Het toepassen van 380kV-verbindingen zal meer transportvermogen per kabelverbinding mogelijk maken. Dit maakt het mogelijk om het aantal kabels te reduceren indien de clustergrootte of de OWF-grootte afgestemd wordt op het transportvermogen van de 380kV-kabelverbinding. Er zal echter rekening gehouden moeten worden met een toenemende noodzaak voor blindvermogencompensatie en een kortere reikwijdte van een 380kV-verbinding. Indien een optimale afstemming tussen het OWF-vermogen en het transportvermogen van de 380kV-kabel niet gerealiseerd wordt, zal niet noodzakelijkerwijs een reductie van het aantal kabels gerealiseerd worden.
Bij het toepassen van 380kV-techniek zal de impact van uitval van de kabel tussen de hub en het land groter worden en door het lagere aantal kabels de 'inherente redundantie' lager worden.
Het 220kV-ontwerp is gebaseerd op een kabeldiameter van 1000 mm^2. DNV GL beveelt aan om de invloed van een diameter van 1200 mm^2 met groter transportvermogen te onderzoeken.

Review netontwerp – Platformontwerp

Beschreven voordeel: Een 600MW-platform als standaard is schaalbaar en 'stapelbaar', en maakt optimaal gebruik van schaalvoordelen

Het woord stapelbaar kan hier niet letterlijk geïnterpreteerd worden. Er zullen niet twee topsides op elkaar geplaatst worden. Het moet gezien worden in relatie tot de modulariteit. Met het woord schaalbaar wordt bedoeld dat het concept met volledige modules van 600 MW herhaald kan worden. De schaalbaarheid naar afwijkende vermogens is, door de standaardisatie in kabels en platforms, niet mogelijk. TenneT geeft aan dat standaardisatie kostenbesparend werkt in verband met besparing op engineeringskosten. TenneT zal in het detailontwerp onderzoeken of 600 MW gezien de clustergrootte en het kavelbesluit de optimale vermogenskeuze is. DNV GL beveelt aan om te onderzoeken of standaardisatie voldoende besparing oplevert indien de ontwikkeling van de clusters niet passend is op de standaard.

Bewering: Een 1.200MW-platform is zo zwaar dat het door een heel beperkt aantal schepen getild kan worden

De maximale hef van courante hefschepen is 5.000 ton. Echter, rekening houdend met het gewicht van de tuigage en de benodigde reikwijdte in verband met de afmetingen van het platform wordt een maximaal topgewicht in "single lift" geschat op 3.000 ton. Dat is lager dan het door TenneT afgegeven maximale top gewicht van 4.500 ton. Indien er echter vanuit gegaan wordt dat vier smoorspoelen later gemonteerd worden (in verband met de gefaseerde ontwikkeling van OWF's), zal het topgewicht van het platform in de buurt van het maximale hijsgewicht van de courante hijsschepen liggen. Dat betekent dat het installeren van het huidige platform met een capaciteit van 600 MW volgens het single lift principe gehesen kan worden.
Een platform van 1.200 MW is veel zwaarder, waardoor slechts enkele hefschepen geschikt zijn voor de installatie. De kosten voor transport en installatie worden daarmee significant hoger. Het hijsgewicht kan gereduceerd worden door componenten later te monteren op het platform. Dat levert echter onvoldoende gewichtsvermindering op, om in de hefklasse van de courante hefschepen te komen en dit leidt tot additionele kosten en risico's. DNV GL bevestigt dat een platform van 1.200 MW te zwaar is, gezien de risico's die het met zich mee brengt.

Overige bevindingen

Het platform is zodanig ontworpen dat de kabels aan twee van de vier zijden aangesloten worden, rekening houdend met geplande jack-upposities voor installatie en onderhoudbaarheid. Dit reduceert de kans op kabelschade.

In het modulaire hub-concept kunnen meerdere hubs aan elkaar gekoppeld worden, waarbij de kabelcapaciteit tussen de twee platforms op het platform het dichtst bij de kust deels gecompenseerd kan worden. Het gevolg hiervan is dat het platform het dichtst bij de kust beschikbaar moet zijn gedurende de levensduur van het verste platform. Wanneer het verste platform aanzienlijk later is geïnstalleerd dan het platform het dichtst bij de kust, vereist dit extra conservering van het staalwerk van het laatstgenoemde platform tot na de ontwerplevensduur van het platform. Dit zal vermoedelijk een lage impact hebben op de kosten.

Review netontwerp – Modulariteitsvoordelen

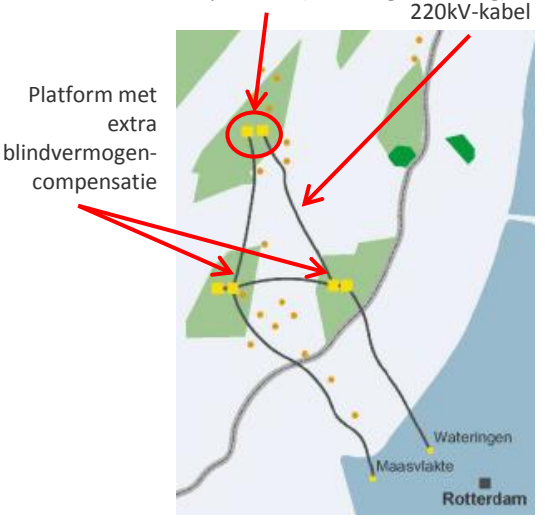
Beschreven voordeel: Het modulaire hub-concept geeft de mogelijkheid om een langere afstand af te leggen met AC

DNV GL onderschrijft dat door toepassing van het door TenneT beschreven netconcept met modulaire hubs, verder weg gelegen gebieden zoals IJmuiden Ver aangesloten kunnen worden met AC. Gezien het omvangrijke potentieel beschikbare windvermogen wordt IJmuiden Ver idealiter aangesloten op een hoger spanningsniveau, zoals 380 kV AC of HVDC. De afstand is echter te groot voor een rechtstreekse 380kV-aansluiting, vanwege de hoge capaciteit van de kabel die veel blindvermogen opneemt. Het modulaire hub-concept zal in deze situatie voordelen geven, omdat er op de bestaande hubs in de Hollandse Kust-clusters blindvermogencompensatie voor de 380kV-verbindingen gerealiseerd kan worden. Naar alle waarschijnlijkheid zullen de kosten voor een dergelijke oplossing lager uitvallen dan een aansluiting middels HVDC. Nadere studie zal hier echter uitsluitsel over moeten geven.
Het creëren van een dergelijk net op zee is nog niet eerder gedaan. Wereldwijd is er dan ook weinig kennis en ervaring ten aanzien van de impact van resonanties, harmonische vervuiling, dynamische instabiliteit en transiënten op een net op zee. Een risico bestaat dat corrigerende maatregelen genomen moeten worden, die nu niet in het concept zijn opgenomen. Dit zal kostenverhogend werken, temeer indien dit op zee geïnstalleerd moet worden. Een voordeel is dat in het huidige platformontwerp ruimte is gereserveerd die, indien die niet gebruikt wordt voor de hub-functionaliteit, bijvoorbeeld gebruikt kan worden voor harmonische filters. Bij de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) zal dit risico naar verwachting lager zijn, omdat eventuele corrigerende maatregelen dan naar verwachting eerder op land genomen kunnen worden.

Beschreven voordeel: Een modulaire hub kan dienen als platform waarop kabelcapaciteit kan worden gecompenseerd

De basisfunctionaliteit van het platform is het bundelen van vermogen en aansluiten van de OWF's. Voor een relatief beperkte meerprijs (circa 10% van de platformkosten) kan het platform worden uitgebreid met mogelijkheden voor extra blindvermogencompensatie halverwege een kabelverbinding. Langere kabelverbindingen vereisen meer blindvermogencompensatie. Bij compensatie op land en op zee is de reikwijdte voor een 220kV-kabel beperkt tot circa 100 km. Dit betekent dat voor de 2023-doelstelling de extra investering voor de hub-functionaliteit niet noodzakelijk is, omdat de windclusters die onderdeel zijn van de 2023-doelstelling binnen de genoemde reikwijdte liggen.
Gebruikmaking van de hub-functionaliteit betekent ook dat andere, naar verwachting langere, kabeltracés gehanteerd moeten worden, wanneer vergeleken met rechtstreekse verbindingen. Dit leidt tot hogere kabelkosten. Kabeltracéstudies moeten uitwijzen wat de definitieve meerkosten zullen zijn.
De hub-functionaliteit kan wel gerechtvaardigd worden indien een hoger niveau van redundantie wordt vereist.

2x600 MW TenneT-platform (met brugverbinding)
220kV-kabel



Review netontwerp – Verminderde complexiteit

Beschreven voordeel: Het aansluiten van de OWF's op het TenneT-platform spaart OWF-platformen uit

DNV GL onderschrijft dat in het net op zee concept minder platforms noodzakelijk zijn. In de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) heeft elk OWF een eigen verzamelplatform, met een MS/HS-transformatiestap. In het modulaire hubs-concept wordt dit per cluster gerealiseerd met twee TenneT-platforms van 600 MW. Bij een aanname van vier OWF's á 300 MW worden derhalve in het modulaire hubs-concept twee platforms bespaard. De mate van besparing hangt af van het aantal en de grootte van de OWF's.

Door het clusteren van de OWF's zal het platform waarop de OWF's strengsgewijs aangesloten worden minder centraal gelegen zijn dan bij de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) met platforms bij ieder OWF. Dit leidt tot langere middenspanningskabels naar het clusterplatform. Technisch gezien is het binnen de huidige geschatte omvang van de beoogde windclusters mogelijk om langere strengen te gebruiken. Wel zullen de investeringskosten op het middenspanningsvlak hoger zijn. Verder neemt de kans op kabelkruisingen toe, met name bij OWF's die op een verder weg gelegen platform aangesloten moet worden. Kabelkruisingen op zee zijn complex, vooral bij aanleg en bij storingsverhelping.

OWF-platforms zijn meestal in de OWF's zelf opgesteld, en zijn daarmee inherent beschermd door de windturbines tegen aanvaring. Het TenneT-platform zal tussen de OWF's staan, waardoor bescherming door windturbines niet noodzakelijkerwijs aanwezig is. Hierdoor kan de kans op aanvaringen worden verhoogd. In combinatie met het geconcentreerde grotere vermogen wordt de impact van een aanvaring ook groter. DNV GL beveelt aan om hier bij de uitgifte van de kavels rekening mee te houden.

Beschreven voordeel: Minder kabeltracés en duindoorkruisingen benodigd

Modulaire hubs brengen de energie opgewekt door de OWF's gebundeld aan land. Per modulaire hub van 600 MW worden twee 220kV-kabels met een belastbaarheid van 300 MW gebruikt. Gegeven een windclustergrootte van 1.200 MW zijn vier 220kV-kabels benodigd.
Bij OWF-vermogens van 300 MW of een veelvoud daarvan zal het aantal benodigde kabels in de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) gelijk zijn aan het aantal benodigde kabels voor de modulaire hubs. Indien OWF's worden ontwikkeld met een vermogen afwijkend van een veelvoud van het kabeltransportvermogen (in deze studie gesteld op 300 MW), is het beschreven voordeel juist. De modulaire hubs combineren meerdere OWF's op een kabel, waardoor eenvoudiger een optimaal aantal kabels per windcluster tot stand kan komen.

Het beschreven voordeel is zeker aanwezig wanneer naar een spanningsniveau van 380 kV overgegaan kan worden. Een enkele 380kV-kabel vanaf de modulaire hub kan dan het vermogen van meer dan één individueel OWF aansluiten, waardoor het aantal kabels afneemt.
DNV GL beveelt aan om ook de mogelijkheden van gebundelde duindoorkruisingen te onderzoeken. Hiermee kan het aantal kruisingslocaties voor zowel het modulaire hub-concept als de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen) worden gereduceerd.

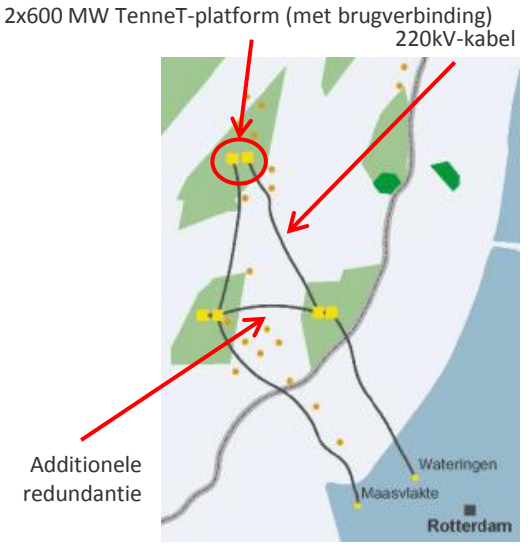
Review netontwerp – Redundantievoordelen

Beschreven voordeel: 4% meer productie-opbrengst gerealiseerd door 'inherente redundantie'

DNV GL onderschrijft dat het modulaire hub-concept een hoger niveau van beschikbaarheid geeft dan de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen). Het concept met modulaire hubs is niet standaard uitgelegd op volledige redundantie, maar door een niet-kapitaal-intensieve brugverbinding tussen twee naburige hubs (ca. 30 meter uiteen) kan bij uitval van een van de 220kV-kabels een deel van het vermogen via de overige 220kV-kabels getransporteerd worden. Dynamic rating kan het beschikbare vermogen in die omstandigheden nog verder verhogen.
DNV GL onderschrijft dat het modulaire hub-concept naar verwachting een beschikbaarheidstoename zal realiseren ten opzichte van de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen). De door TenneT beschreven toename in productie-opbrengst van 4% kan DNV GL op basis van door TenneT aangeleverde documentatie niet verifiëren. Het door TenneT gerefereerde CIGRE-rapport uit 1998 behandelt een andere techniek (HVDC-verbindingen) en de CIGRE Technical Brochure 379 uit 2009 over kabelfalen bevat een zeer beperkte dataset van offshore-kabels. Een nadere studie zal daarom meer duidelijkheid moeten geven over de absolute hoogte van de verwachte beschikbaarheidstoename. Een schatting van DNV GL geeft een indicatie dat de verhoogde productie-opbrengsten zullen liggen tussen 0,1% en 2%.

Beschreven voordeel: Additionele redundantieverhoging is mogelijk door hubs onderling te verbinden

In vergelijking met de standaardconfiguratie (individuele aansluitingen), bieden de modulaire hubs bij gelijke kosten, naast de redundantiemogelijkheid zoals beschreven in voorgaande paragraaf, meer mogelijkheden voor redundantie. De mogelijkheid bestaat om, indien gewenst, extra kabelverbindingen aan te leggen tussen clusters. Deze vorm van redundantie is echter kostbaar. en is door TenneT niet meegenomen in de financiële afweging, en heeft derhalve geen invloed op de financiële onderbouwing. Indien gewenst zal een separate business case de technische en financiële haalbaarheid hiervan moeten aantonen.



Gereviewde openbare documenten

Openbare documenten	Documenttype	Beschrijving
Visie Netontwerp en Uitrolstrategie; publieksversie, 1 juli 2014	Presentatie (TenneT)	Visie Netontwerp en uitrolstrategie Toekomstbestendige netoptimalisatie
20140404_Rapport Verbinding Windenergie op Zee - definitief.pdf	Rapport (Royal HaskoningDHV)	Technische, ruimtelijke en organisatorische aspecten van het elektriciteitsnet voor de verbinding van windparken op zee op het landelijke hoogspanningsnet
Presentatie TKI WoZ Royal Haskoning mei 2013.pdf	Presentatie (Royal HaskoningDHV)	TKI Wind op Zee Workshop Financiering Met welk support regime worden ambities offshore wind NL bereikt?

Gereviewde niet openbare documenten

Niet-openbare documenten	Documenttype	Beschrijving
ECN WoZ fase II.pdf	Presentatie (ECN)	Resultaten inclusief kabel- en netaansluiting voor Wind op Zee scenario's (Fase II)
Net op Zee	Presentatie (KEMA)	Kwantificeren kostenverschillen: landelijk netbeheerder versus private partijen (26 november 2014)
Diverse interne TenneT notities en presentaties aangaande Wind op Zee	TenneT	Visie Netontwerp en uitrolstrategie Toekomstbestendige netoptimalisatie