

OFFSHORE SERVICE FACILITIES



IJVERTECH

Verkenning van technische aspecten van een multi-
functioneel energie eiland op IJmuiden Ver

OPENBAAR

Titel
IJVERTECH

Version	Date	Author	Initials	Review	Initials	Approval	Initials
1.0	oktober 2019	Offshore Service Facilities					
		Marin					
		Deltares					
		RHDHV					

Status
eindversie

“Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland binnen het programma van het TKI Wind op Zee.”

Contents

1	Introductie	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstellingen	3
1.3	Betrokken partners	4
1.4	Aanpak	4
2	Functionele eisen en terreinbehoefte	5
2.1	Introductie	5
2.2	Eilandfuncties en gekoppelde gebruikerseisen	5
2.3	Benodigde oppervlak per functie en voor eiland totaal	7
2.4	Resultaat en conclusies	8
3	Omgevingscondities impactverkenning	10
3.1	Introductie	10
3.2	Resultaten omgevingscondities	10
3.3	Ontwerpcondities	19
3.4	Resultaten impactverkenning	20
3.5	Conclusies	21
4	Conceptueel ontwerp en alternatieven	23
4.1	Introductie	23
4.2	Eiland lay-out en hoofdonderdelen	23
4.3	Initieel ontwerp multifunctioneel eiland (referentie eiland, ca 60 ha)	25
4.4	Eilandkosten als functie van de terreinbehoefte (referentie eiland)	27
4.5	Lagune oplossing versus Terp oplossing	28
4.6	Haalbaarheid van een kunstmatig eiland ten noorden van de Wadden	29
4.7	Conclusies	30
5	Mogelijkheden voor hybride oplossingen	32
5.1	Introductie	32
5.2	Aanpak	32
5.3	Resultaten	33
5.4	Conclusies	35
6	Conclusies en volgende stappen	36
6.1	Conclusies	36
A	Appendix voor Hoofdstuk 2	37
B	Appendix voor Hoofdstuk 3	38
C	Appendix voor Hoofdstuk 4	44
D	Appendix voor Hoofdstuk 5	54

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Windenergie op zee speelt een grote rol in de energietransitie. Het aantal offshore windturbineparken op de Noordzee zal in de komende decennia gestaag toenemen door het gedegen overheidsbeleid dat met het Energieakkoord voor duurzame groei is ingezet. In 2019 stonden er windmolens in zee met een gezamenlijk vermogen van ongeveer 1 gigawatt (GW). Maar in 2023 staat er volgens het akkoord voor minimaal 4,5 GW windvermogen op zee en zal 16 % van alle energie duurzaam zijn. In het regeerakkoord en het Klimaatakkoord (2019) is afgesproken om het succesvolle beleid van windenergie op zee door te zetten zodat in 2030 ca. 11 GW aan windturbineparken op zee staat. Deze leveren dan 8,5% van alle energie in Nederland en 40% van ons huidige elektriciteitsverbruik.



Figuur 1.1 Deze kaart toont bestaande en toekomstige windturbineparken op zee voor de Nederlandse kust. (bron: Rijksoverheid.nl/windopzee)

Van 2024 tot en met 2030 worden windturbineparken ver op zee gebouwd; voor de Hollandse Kust, ten noorden van de Waddeneilanden en IJmuiden Ver. De windturbineparken dichtbij de kust worden door de Nederlandse Offshore Transmission System Operator (OTSO) aangesloten door middel van transformator-stations op jackets; vijf identieke platformen met een totaalvermogen van 3.500 MW voor transport van windenergie naar het vasteland.

Voor het aansluiten van windturbineparken verder op zee kunnen net als in Duitsland converter stations op jackets worden gebouwd maar ook op een eiland. Verkenningen laten zien dat elektrische infrastructuur op een eiland goedkoper is dan op een jacket.

Al in 2008 werd serieus aan kunstmatige multifunctionele eilanden voor windenergie op zee gewerkt. Eilanden die naast elektrische infrastructuur ook het onderhoud van de windenergie installaties faciliteerden met een haven accommodatie voor technici. De Stichting HEDEN (Haven Eiland Duurzame Energie Noordzee) met aan boord, Ballast Nedam, TNO, Bureau Lieveense, ECN, OTSO, van Oord en ATO ontwierp een eiland met een doorsnede van 1 km voor locaties op de Noordzee: IJmuiden-Ver, Doggersbank en boven Schiermonnikoog. De vergunningprocedure werd gestart door het indienen van een MER-startnotitie bij het toenmalige ministerie van VROM (Rijkswaterstaat, directie Noordzee). De notities werden compleet en ontvankelijk verklaard en de minister van Economische Zaken, mevrouw Maria van der Hoeven, had een subsidie toegezegd van een miljoen euro voor een haalbaarheidsstudie op basis van een advies van het ECN. Met het vallen van het kabinet Balkenende IV, verdween deze toezegging en het draagvlak voor de eilanden. De Stichting HEDEN werd geliquideerd.

In 2016 kwam TenneT, de Nederlandse Offshore Transmission System Operator (OTSO) in het samenwerkingsverband "Het consortium North Sea Wind Power Hub" met het idee om een groter eiland met de benodigde elektrische infrastructuur op de Doggersbank te bouwen. Maar na twee jaar rekenen en studeren is dit idee verlaten en komt TenneT met plannen om ca. 10 kleine energie-eilanden op zee aan te leggen. Hoewel er nog veel onzekerheden zijn, wil men dat elk eiland maximaal 10 tot 15 gigawatt aan elektriciteit moet kunnen verwerken voor een rendabele exploitatie. Er kan ook stroom op de eilanden worden omgezet in waterstof om de energie te transporteren. Transport van gas is volgens berekeningen 10 tot 20 keer goedkoper dan stroomtransport en scheelt dus ook geld. De aanleg van infrastructuur voor windparken wordt met een eiland 30 % goedkoper, denkt TenneT.

Een of meerdere offshore eilanden biedt potentiële voordelen ten opzichte van de tot nu toe veel gebruikte platforms. Offshore eilanden geven de mogelijkheid om de opschaling van offshore wind te faciliteren en gegenereerde energie op een slimme manier te verzamelen, op te slaan en te distribueren. Op een eiland kunnen faciliteiten worden gerealiseerd voor aanleg en onderhoud van bestaande en aanleg van nieuwe windturbineparken, transformatorstations, accommodaties voor personeel en een haven voor de aan- en afvoer van materieel/materiaal. Daarnaast kan een eiland ruimte bieden aan andere belangrijke functies en gebruikers van de Noordzee zoals ecologie en natuur, energieconversie, visserij, defensie en andere economische activiteiten. Het combineren van meerdere faciliteiten voor verdere ontwikkeling en het onderhouden van de offshore energiemarkt en het bieden van ruimte aan andere gebruikers geeft in potentie grote economische, maatschappelijke en ecologische voordelen, terwijl het ook de kans biedt aan de Nederlandse waterbouwsector om haar kennis en kunde te tonen en innovaties te ontwikkelen.

Het ontwikkelingsbedrijf Offshore Service Facilities BV, heeft het initiatief genomen om een pilot multifunctioneel eiland te ontwikkelen op of nabij de locatie IJmuiden-Ver. Een eiland met meer functies dan alleen elektrisch infrastructuur om meervoudig ruimtegebruik te faciliteren zoals een haven voor de onderhoudsschepen, een hotel voor onderhoudstechnici, ruimte voor zeewierverwerking, opslagplaats voor reserve-onderdelen, ecologisch onderzoek en experimenteerruimte voor nieuwe energiesystemen zoals waterstofproductie. Op deze manier worden energiemarkten en sectoren met elkaar verbonden en wordt de windenergie slim

geïntegreerd in het onshore energienetwerk. Met de ontwikkeling en aanleg van een demonstratie-eiland kan veel worden geleerd over juridische, technische en ecologische aspecten van zo'n service eiland. Al lerende kunnen de eilanden verder worden ontwikkeld (pilot concept) en meerdere eilanden worden gebouwd die kunnen inspelen op de mogelijke verandering van behoeften en systemen.

OSF wil van het eiland een icoon maken van waterbouwkundige innovatie (wijze van aanleg, gebruikte materialen), ecologisch herstel (natuurbouw), duurzaamheid en meervoudig ruimtegebruik (waterstofproductie en zeewierteelt). Hiervoor is het nodig om een brede verkenning van beschikbare kennis bij aannemers, ingenieursbureaus, universiteiten, hogescholen en kennisinstellingen te verzamelen. In deze verkennende studie zullen we een inventarisatie maken van de beschikbare kennis en partijen en van de leemtes in de kennis, zodat in vervolgproject(en) hier invulling aan gegeven kan worden. In parallelle trajecten wordt o.a. naar de mogelijkheden van waterstofproductie gekeken en naar interconnectie, en de mogelijke rol in onderhoud en beheer van windturbineparken. De Nederlandse overheid streeft uitdrukkelijk naar meervoudig ruimtegebruik binnen de gereserveerde gebieden voor windenergie. Men denkt daarbij vooral aan marine aquacultuur.

In deze verkennende studie willen we vooral technische uitgangspunten verkennen. Het storten van stenen, het opspuiten van zand (en het winnen daarvan in de omgeving), het neerleggen van caissons, de bouw van havens, het onderhoud, de ecologische aspecten (natuur en milieu), de eventuele toepassing van drijvende elementen of hybride oplossingen zijn allemaal elementen die zeker op de Noordzee nog niet eerder bij een zelfstandig eiland zijn toegepast hoewel er op veel gebieden al wel ervaring mee is opgedaan. De partners die in deze studie meewerken hebben allemaal op hun terrein veel ervaring. Het resultaat van deze studie moet dus een goed inzicht geven in de huidige 'state of art' kennis en kennisleemtes.

De aanleg van de elektrische infrastructuur zelf maakt geen onderdeel uit van deze studie omdat dat past in de scope van TenneT. Hetzelfde geldt voor de potentiële andere gebruikers van het eiland. Informatie van TenneT over afmetingen en aantallen verbindingen zijn in hoofdlijnen beschikbaar bij OSF. Naast de technische aspecten zijn ook wetgeving (de overheid ontwikkelt momenteel beleid voor de aanleg van kunstmatige eilanden) en ecologie van belang. Beide vormen de randvoorwaarden voor de ontwikkeling van het eiland (er zijn kansen en voorwaarden), maar deze verkenning focust op technische aspecten en ruimtegebruik van medegebruikers en zal indien nodig aandachtspunten voor andere aspecten vastleggen.

1.2 Doelstellingen

Het doel is het verstrekken van inzicht in de globale technische haalbaarheid van het werkeiland in diverse technische varianten, vanuit de verschillende functies die het eiland kan hebben en wat de technische vereisten dan zijn. De voor- en nadelen van de verschillende technische varianten worden in beeld gebracht, inclusief een inschatting van de aanlegkosten, op basis van de beste huidige inzichten.

De volgende technische varianten voor een eiland worden beschouwd.

- Terp
- Caisson
- Lagune
- Hybride oplossingen, zoals combinatie terp met drijvende modules
- Vergelijking met conventioneel (jackets)

Hierbij is een belangrijk doel te identificeren waar de kennisleemtes zitten en wat de onderzoeksvragen zijn die in vervolgprojecten kunnen worden uitgewerkt.

1.3 Betrokken partners

De volgende deelnemers zijn actief betrokken in het project

	Naam deelnemer	Rol in het project
1	Offshore Service Facilities	Probleemeigenaar; initiatiefnemer kunstmatig eiland IJmuiden Ver
2	Deltares	Research Partner
3	MARIN	Research Partner
4	RHDHV	Consortium Partner
5	Boskalis	Consortium Partner
6	Van Oord	Consortium Partner

Binnen deze verkennende studie hebben Boskalis en Van Oord deel genomen aan de verschillende workshops.

1.4 Aanpak

De uitvoering van de studie is opgesplitst in enkele werkpakketten. De eindverantwoordelijkheid voor de werkpakketten is verdeeld onder de betrokken partners in het project. De volgende werkpakketten zijn als volgt geformuleerd:

WP	Korte beschrijving	Eindverantwoordelijk heid	Resultaat
1	A: Functionele eisen	OSF	Functionele eisen
	B: Omgevingscondities	Deltares	Overzicht van de omgevingscondities en verkenning van impact op de golfpropagatie
2	Conceptuele ontwerpen + varianten	RHDHV	Initieel ontwerp van drie onderscheidende eilandvarianten, incl. globale bouwplanning en -kosten
3	Evaluatie ontwerpen	Lead: OSF Support: allen	Score van beschouwde varianten op basis van functionaliteit, planning, kosten, duurzaamheid en vergunningscriteria
4	Mogelijkheden hybride oplossingen	MARIN	Uitbreiding van de analyse voor de hybride oplossingen
5	Next steps	allen	Aanpak voor vervolgproject
6	Project management	Deltares	Coördinatie

2 Functionele eisen en terreinbehoefte

2.1 Introductie

Een offshore energie eiland is relatief kostbaar vanwege de grote waterdiepte en vanwege de hoge kosten die verbonden zijn aan de aanleg van een betrouwbare en veilige verdedigingsrand (zeewering en kade). Dit betekent dat de vierkante meterprijs van een Noordzee eiland op orde 50-100 km van de kust al gauw 5 keer zo hoog is als de prijs van landaanwinning in ondiep water aan de kust. Met andere woorden teneinde de aanlegkosten onder controle te houden is het essentieel om een juiste en scherpe analyse te maken van het benodigde droge 'land' oppervlak en havenbasin, waarmee alle gevraagde functionele eisen op een efficiënte manier kunnen worden ingevuld.

Ten behoeve van het conceptueel eilandontwerp zijn een aantal nuttige en relevante functies gekozen, welke in het gehele ontwerptraject zijn aangehouden. Het grondgebruik van de meeste van die functies is afhankelijk gemaakt van de grootte (aantal GigaWatt) van het windpark. Bovendien zijn voor iedere specifiek benoemde functie ruimtegebruik parameters gekozen. De gekozen functies met ruimtegebruik parameters zijn in een interactief rekenmodel gezet, waarmee het benodigde grondgebruik als functie van het aantal GW's nader is geanalyseerd.

2.2 Eilandfuncties en gekoppelde gebruikerseisen

Een IJmuiden Ver (IJVER) eiland heeft als primaire functie het op een betaalbare manier ruimte bieden aan zogenaamde AC-DC converters. De aanneming is gedaan dat deze transformatoren (eigendom van de Offshore Transmission System Operator = OTSO; we refereren verder niet specifiek aan TenneT omdat de gepresenteerde gegevens niet door TenneT maar door OSF zijn vergaard) zijn gekoppeld aan een eilandgrondgebruik dat qua grootte min of meer gelijk is aan de aanleg op het vasteland. Het door de OTSO te gebruiken eilandterrein biedt daarnaast plaats aan ruimte voor:

- Kabelaansluitingen tussen windpark en eiland, en tussen vasteland en eiland
- Kabelaansluitingen naar andere platformen en/of eilanden (inter-connectie)
- Controlekamer
- Werkplaats
- Accommodatie
- Lokale infrastructuur
- Havenbasin met eigen kade.

In onderstaande tabel is als voorbeeld het conceptuele ruimtegebruik gegeven voor de OTSO functie gekoppeld aan een 4 GW windpark. Deze 4 GW functie heeft bruto ca 24 ha (inclusief haven) terrein nodig, waarvan ruim 15 ha voor de transformatoren.

Offshore Transmission System Operator (OTSO)									
Collection and distribution of Wind Power from surrounding wind farms									
1.	Total GW =	4				23,92 ha			
	Land/floating area					19,42 ha			
	Port area (incl. quay area)					4,50 ha			
1.1	Land footprint Converters	Land Use per X-GW	X=		L =	m			
					W =	m			
					Gross factor of			10% extra space as contingency	
					Area	ha/X-GW			
	Land use at platform level					15,40 ha			
1.2	Cable entry	AC cables per GW				no AC			
		DC cables per GW				no DC			
		Width required for 1 cable entry				m/cable	AC	DC	
		Total width cable entries				m			width [m]
		Length required for cable entries				m			
	Cable entry area at platform level					0,29 ha	0,26	0,03	area [ha]
1.3	Interconnections	DC cables				no DC			
		Width required for 1 cable entry				m/cable			
		Total width cable entries				m			
		Length required for cable entries				m			
	Cable entry area at platform level					0,08 ha			
1.4	Operations building	m2 per GW				m2/GW			
		Total m2				m2			
		No of floors				No			
		Building footprint				m2			
					Gross factor of				for parking, outdoor space, etc
	Land use Operations Building					0,08 ha			
1.5	Workshop OTSO	Floorspace per GW				m2			
					workshop area	m2			1 floor!
					Gross factor of				for parking, outdoor space, etc
	Land use Workshop					0,20 ha			
1.6	Accommodation OTSO	fte per GW			fte/GW				
		Minimum is 6 fte			fte				
		Space per fte				m2			
		Shared space				m2			
		floorspace				m2			
		No of floors				No			
		Building footprint				m2			
					Gross factor of				for parking, outdoor activities, etc
	Land use Accommodation					0,10 ha			
1.7	OTSO roads + inefficiencies	% of nett area		%	Land use	3,23 ha			
1.8	Basin & Quay OTSO	QW Length per 4 GW				m			
		Basin Depth				m			
		Basin Area (Tennet)				3,00 ha			
		Quay wall Depth				m			
		Quay area (Tennet)				1,50 ha			

Naast de OTSO gebruikersfunctie, zijn in deze studie naar een conceptueel eilandontwerp de volgende 'aanpalende' functies in ogenschouw genomen:

- Power to Gas (P2G) terrein als functie van het aantal GW's
- Heli platform(s)
- Kustwachtvoorziening met eigen kade
- Data centre(s)

- Operation & Maintenance (O&M) terrein met kade als functie van het aantal GW's
- Offshore Supply Base (OSB) terrein met kade als functie van het aantal GW's.

2.3 Benodigde oppervlak per functie en voor eiland totaal

Met de in de vorige paragraaf beschreven functies is een toegesneden rekenmodel opgezet voor het als functie van het aantal GW's kunnen bepalen van het eilandoppervlak, zowel per te onderscheiden functie als voor het totale eiland inclusief de haven.

Bij het opzetten van het model bleek dat er relatief weinig kennis bestaat over wat een haalbaar en efficiënt ruimtegebruik is voor de verschillende functies wanneer deze op een relatief klein offshore eiland worden geplaatst. *Nader onderzoek hiernaar wordt ten eerste aanbevolen.*

In onderstaande tabel is een samenvattend overzicht gegeven voor een 4 GW eiland (OTSO, O&M en OSB), met een P2G-faciliteit voor 2 GW (50% van de windcapaciteit), een data centre en een kustwachtvoorziening.

IJVER Tech - User Footprints										sept 2019																	
63.10		total footprint [ha]																									
		GW				GW				GW				GW													
OTSO		4		Heli		4		O&M		4		P2G		2		OSB		4		Data centre				Coast Guard			
		[ha]				[ha]				[ha]				[ha]				[ha]				[ha]					
1.1 Land footprint Converters		15,40		2.1 Heliplatform		1,13		3.1 Open Storage area		4,80		4.1 Hydrogen plant		8,80		5.1 Open Storage area		2,40		6.1 Data Centre		0,38					
1.2 Cable entry		0,29						3.2 Warehouse Storage		0,60						5.2 Warehouse Storage		1,20									
1.3 Interconnections		0,08										4.2 Operations building		0,04													
1.4 Operations building		0,08										4.3 Workshop P2G		0,15		5.3 Accommodation OSB		0,32						7.1 Accommodation			
1.5 Workshop OTSO		0,20						3.3 Workshop O&M		0,30		4.4 Accomodation P2G		0,18		5.4 OSB roads + inefficiencies		0,78									
1.6 Accomodation OTSO		0,14						3.4 Accommodation O&M		0,36						5.5a Basin OSB		5,00						7.2a Basin CG&M			
1.7 OTSO roads + inefficiencies		3,24						3.5 O&M roads + inefficiencies		1,21		4.5 P2G roads + inefficiencies		1,83		5.5b Quay OSB		2,50						7.2b Quay CG&M			
1.8a Basin OTSO		3,00						3.6a Basin O&M		2,50																	
1.8a Quay OTSO		1,50						3.6b Quay O&M		1,25																	
50.60		land/float total [ha]		20.92						8.52				11.00				7.20									
12.50		port basin total [ha]		3.00		1.13				2.50								5.00				0.38					

Kijkend naar dit 63,1 hectare grote eiland, kan worden geconcludeerd dat om en nabij twee derde van het eiland benodigd is voor de industrie & proces functies (40,3 ha). Het haven met kade deel vraagt ca 30% van de footprint van het eiland, terwijl de werk- en woon-/leef-faciliteiten een relatief bescheiden 6% voor hun rekening nemen. Zie voor de details onderstaande tabel.

Working & living Facilities				Port basin and quay			
Ware houses Total [ha]	Operation buildings Total [ha]	Workshops Total [ha]	Accommodations Total [ha]	Facilities Total [ha]	200m Basin Total [ha]	100m Quay Total [ha]	Industry & process
							32,90
1,80				1,80			0,29
							0,08
	0,12			0,12			
		0,65		0,65			
			1,45	1,45			
							7,06
					12,50		
						6,25	
				4,02	12,50	6,25	40,33
							63,10

Eventueel kunnen bepaalde functies zeer waarschijnlijk op een drijvende ondergrond worden geplaatst, namelijk de werk- en woon-/leef-faciliteiten, het heliplatform, het data centre, het open opslagterrein en de P2G plant (kleinere modules). Kijkend naar een 4GW eiland blijkt dat

de grootte van de eventueel toe te passen drijvende ondergrond varieert van 1000 m² (small size/0,1ha), via 10.000 m² (medium size/1ha) tot 50.000 m² (large size/5ha). Zie de tabel hieronder voor de details.

Floating options					
Type		Min [m ²]	Max [m ²]	Typical size [m ²]	
A	Warehouse / DataCtr / Heli	3750	12000	100 x 100	medium
B	Operations building	400	800	25 x 25	small
C	Workshop	1500	2000	50 x 50	small
D	Accommodation	1350	3600	75 x 75	medium
E	Open storage / hydro plant	24000	48000	200 x 200	large
				Example	
B, C	small size	1.000	m ²	25x 40 m ²	
A, D	medium size	10.000	m ²	100 x 100 m ²	
E	large size	50.000	m ²	200 x 250 m ²	

2.4 Resultaat en conclusies

Door toepassing van het rekenmodel voor een 1 tot 8 GW range van de windparkcapaciteit, is voor de verschillende gebruikersfuncties de volgende behoefte aan terreinoppervlak bepaald (Nb: t.o.v. de modeluitkomsten nette/afgeronde getallen).

Windparkgrootte: 1- 8 GW				
Functie	Bruto oppervlak (=100%)	Industrie & proces terrein, incl infra	Havenbasin en kade	Overig (kabels, controlekamer, werkplaats, accommodatie)
	[ha/GW-wind]	[%]	[%]	[%]
OTSO	100%	77	19	4
P2G (voor 50% wind capaciteit)	100%	96	nvt	4
O&M	100%	60	34	6
OSB	100%	% stijgt met GW's	7,5 ha fixed	2
Heli	100%	100	nvt	nvt
Data Centre	100%	100	nvt	nvt
Kustwacht	100%	nvt	85	15
Alle functies	11,8 + 12,8/GW			

Een multifunctioneel eiland dat naast de AC-DC transformator hoofdfunctie, ook plaats biedt aan een P2G-plant (aanneem: voor 50% van de windparkcapaciteit), O&M functie, OSB functie, heli-platform, kustwachtvoorziening, een data-centre en 'last but not least' een proces ondersteunende haven, vraagt een eilandoppervlak op "maaiveld"-niveau van ongeveer 25 ha (500 x 500 m²) om een windpark van 1 GW te kunnen faciliteren.

Dit oppervlak neemt tot een capaciteit van 8 GW lineair toe met ongeveer 12,5 ha per GW. Zodoende bedraagt het eilandoppervlak op maaiveldniveau 63 ha voor 4 GW windenergie en 114 ha voor 8 GW windenergie (Opp. in ha = 11,8 + 12,8/GW).

Deze lineaire oppervlaktetoename bij een capaciteitstoename van 1 naar 8 GW, is feitelijk een direct gevolg van de aanname dat de ruimtegebruikparameters voor het overgrote deel lineair afhankelijk zijn gemaakt van het aantal te faciliteren windenergie GW's. Men kan zich voorstellen dat bij een toename van het eilandoppervlak, door de "economy of scale", er een efficiënter ruimtegebruik mogelijk is. Zodoende wordt aanbevolen om *dit mogelijke effect nader te onderzoeken aangezien dit een duidelijk voordeel kan opleveren voor de aanlegkosten van het kunstmatige eiland.*

3 Omgevingscondities impactverkenning

3.1 Introductie

Dit hoofdstuk beschrijft de omgevingscondities van aanwezige infrastructuur en andere aandachtgebieden, bodemligging, hydrodynamica, wind, golven, bodemgesteldheid en geologie in het windparkgebied IJmuiden Ver. Voor het verkrijgen van deze informatie zijn openbare databronnen geraadpleegd.

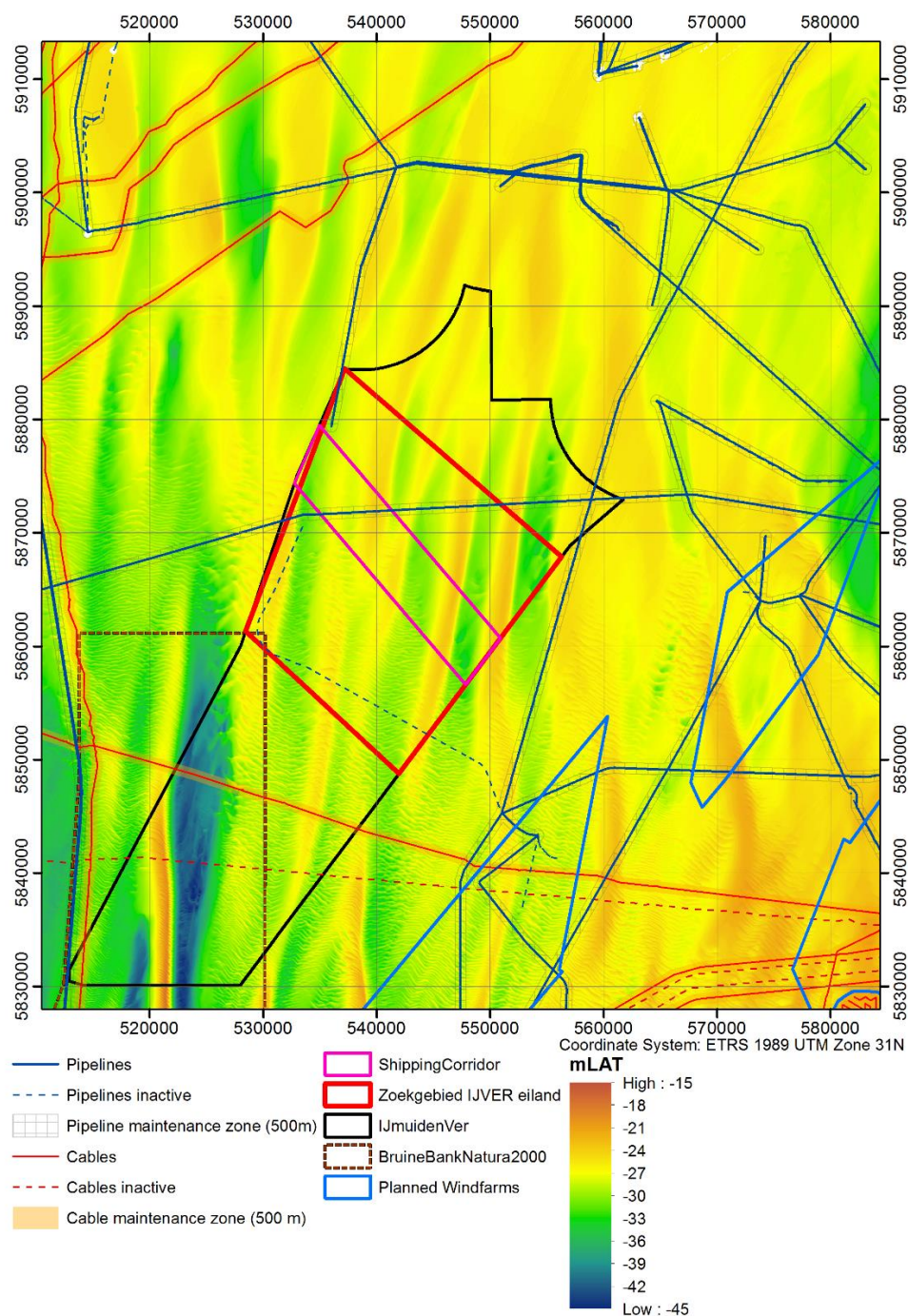
Naast een beschrijving van de omgevingscondities is er een verkenning gedaan van de impact van het eiland concept op de aanwezige golf condities. Hiervoor is een bestaand Delft3D model gebruikt dat is ontwikkeld voor het beoordelen van grootschalige ontwikkeling van offshore wind op het golfklimaat in de Noordzee.

3.2 Resultaten omgevingscondities

3.2.1 Bodemligging, infrastructuur en natuurgebieden

Figuur 3.1 geeft een overzicht van het windparkgebied IJmuiden Ver (zwarte polygoon) en de lokale bodemligging in de Noordzee. De andere kleuren en polygonen geven respectievelijk de aanwezige infrastructuur (kabels en pijpleidingen) en andere aandachtsgebieden. Zo overlapt het Natura2000 gebied 'de Bruine Bank' (bruine lijn) met het zuidelijke deel van IJmuiden Ver. De roze polygoon geeft aan waar mogelijk een doorgang voor schepen wordt ontwikkeld (de shipping corridor). Het zoekgebied voor het eiland is gedefinieerd rondom de shipping corridor in het noordelijk deel van het windparkgebied, om te voorkomen dat het overlapt met 'de Bruine Bank'.

De bodemligging in het windpark IJmuiden Ver varieert van ongeveer -15 m LAT tot -45 m LAT (Lowest Astronomical Tide). De grootste diepte ligt in het zuidelijk deel van het windpark, in het Natura 2000 gebied de Bruine Bank. De bodem in het windparkgebied wordt gekarakteriseerd door enkele grote, noord-zuid georiënteerde zandbanken, met typische lengtes van enkele kilometers. Dit zijn statische bodemvormen. In het gebied zijn tevens zandgolven aanwezig met een typische lengte van enkele honderden meters en amplitudes tot op 10 m. De oriëntatie van de zandgolven is noord-west – zuid-oost. In tegenstelling tot de zandbanken migreren zandgolven wel, onder invloed en in de richting van het getij in de Noordzee (zuid-west – noord-oost). De migratie snelheid is typisch in de orde van enkele meters per jaar. Dit betekent dat de bodemligging ter plekke van bijvoorbeeld een windturbine in het windpark kan variëren ter grootte van de amplitude, aangenomen dat de levensduur van een windpark op 25-50 jaar ligt.



Figuur 3.1 Overzichtkaart van het windparkgebied IJmuiden Ver. De kleuren geven de bodeligging weer ten opzichte van Lowest Astromical Tide (LAT). De gekleurde lijnen en polygonen geven de aanwezige infrastructuur en gebiedsmarkeringen weer (zie legenda). Bron: xxx

3.2.2 Hydrodynamica en wind

Figuur 3.2 en Figuur 3.3 geven respectievelijk een windroos van het windklimaat en een stroomroos van het stromingsklimaat weer op een locatie ter hoogte van de shipping corridor, midden in het zoekgebied van het eiland. De klimaten zijn gebaseerd op data in de periode 1979 – 2015 en afgeleid uit de *Metoccean Data Portal*¹, ontwikkeld door DHI.

De richting van de roosbladeren in Figuur 3.2 geven aan uit welke richting de wind afkomstig is. De roos geeft aan dat de sector zuid-west tot west de dominante windrichting is. De windsnelheid is doorgaans niet hoger dan 20 m/s (windkracht 8 op de schaal van Beaufort). De windsnelheid en -richting zijn representatief voor de wind op ongeveer 100 m boven het zeewater oppervlak.

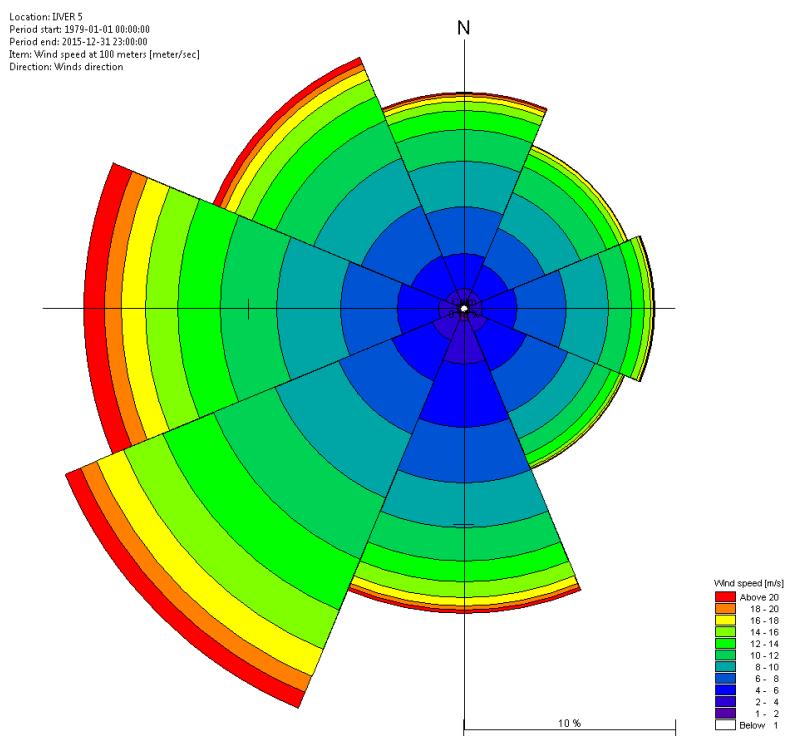
De richting van de roosbladeren in Figuur 3.3 geven weer in welke richting de stroming staat (in tegenstelling tot de windrichting). De stroming in de diepere delen van de Noordzee (>10 m) wordt voornamelijk bepaald door het getij. Conform de dominante richting van het getij langs de Nederlandse kust is de dominante stroomrichting zuid / zuid-zuid-west tot noord / noord-noord-oost. De snelheden representeren diepte-gemiddelde stromingen en bereiken over het algemeen waarden in de orde van 0.4-0.6 m/s. Zeer zelden bereiken de maxima waarden van boven de 1 m/s.

Figuur 3.4, Figuur 3.5 en Figuur 3.6 geven de één in honderd jaar condities van respectievelijk de waterstand, windsnelheid en stroomrichting. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geeft een overzicht van de bandbreedte van de waarden die worden gevonden in het windparkgebied IJmuiden Ver.

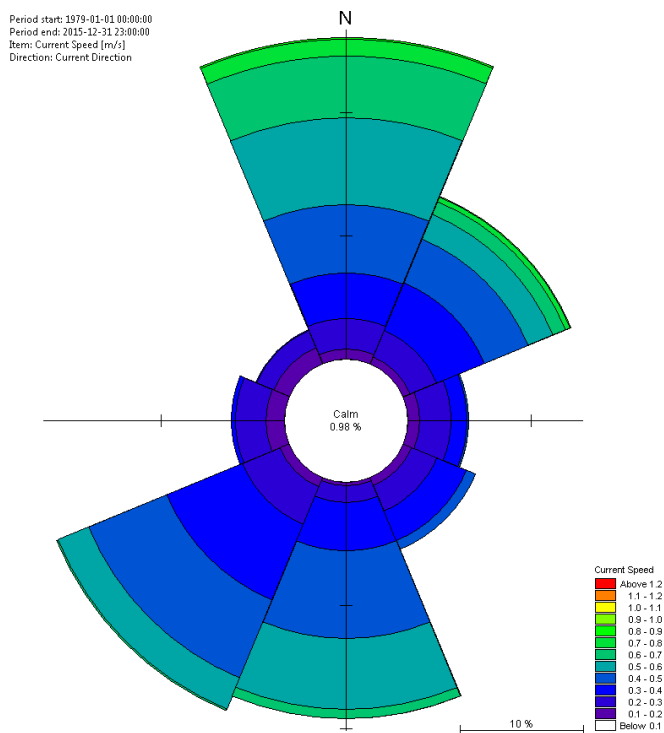
Tabel 3.1 Tabel met bandbreedtes van 1/100 jaar maximale waarden van de waterstand, windsnelheid en stroomsnelheid. (bron: Metoccean Data Portal, DHI)

Parameter	Waarde
1/100 jaar waterstand	3.1 m + LAT (zuid) – 3.8 m + LAT (noord)
1/100 jaar windsnelheid (100 m hoogte)	48 m/s (zuid) – 50 m/s (noord)
1/100 jaar stroomsnelheid	1.05 m/s – 1.15 m/s (zeer lokaal in Bruine Bank)

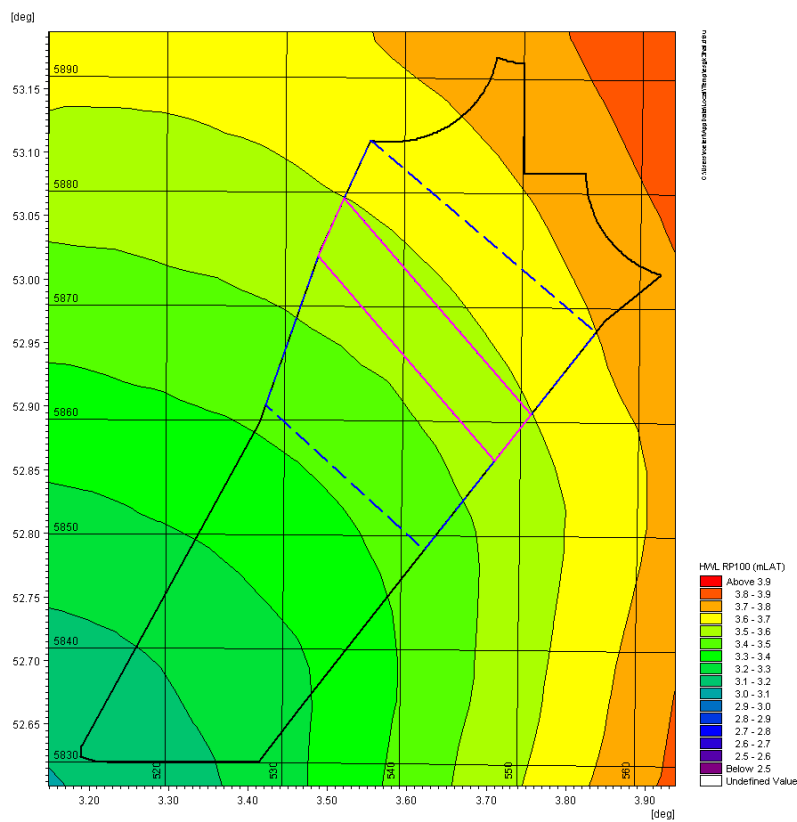
¹ Metoccean-on-demand.com



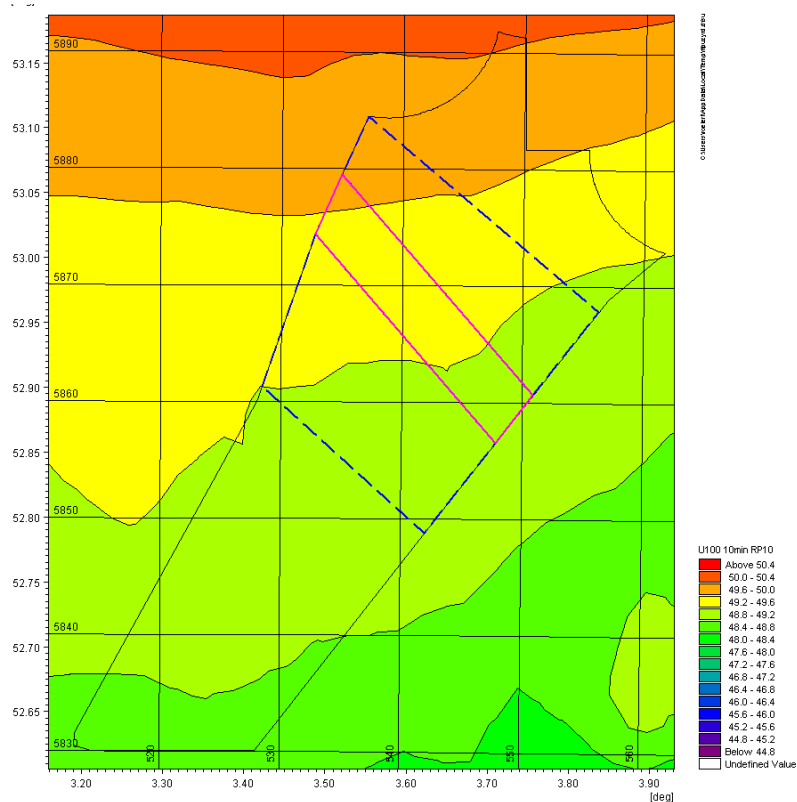
Figuur 3.2 Windroos van het windparkgebied IJmuiden Ver, ter hoogte van de shipping corridor midden in het zoekgebied van het eiland. Het windklimaat is gebaseerd op data van 1979 – 2015 en is representatief voor een hoogte van 100m boven het zeewater oppervlak.



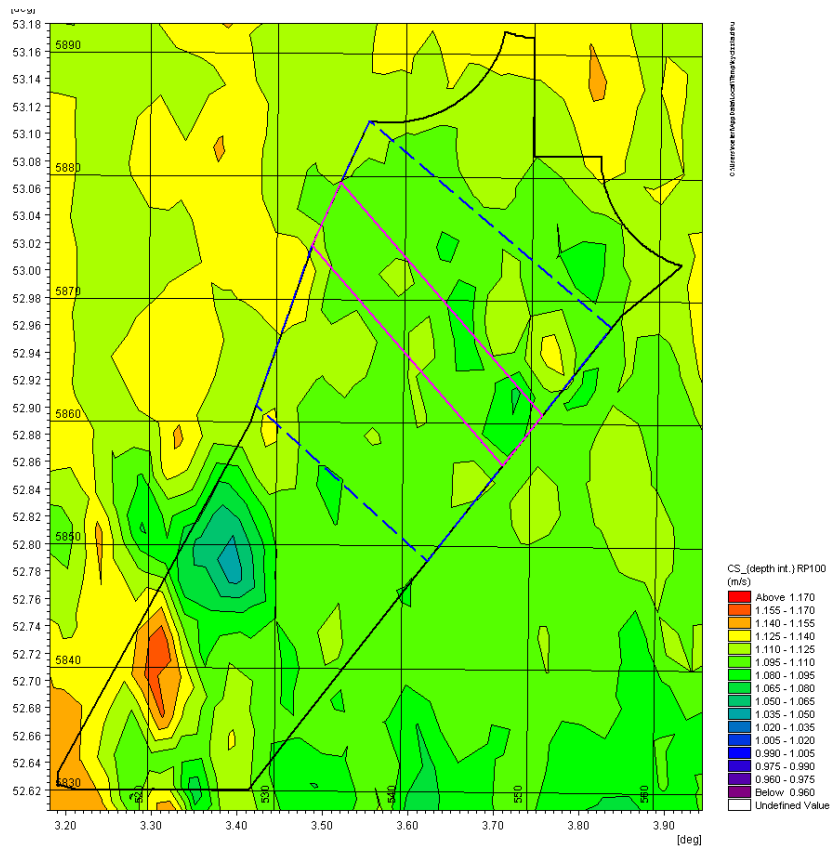
Figuur 3.3 Stroomroos van het windparkgebied IJmuiden Ver, ter hoogte van de shipping corridor midden in het zoekgebied van het eiland. Het stromingsklimaat is gebaseerd op modeldata van 1979 – 2015 en is representatief voor de diepte-gemiddelde stroming.



Figuur 3.4 Overzichtskaart van de 1/100 jaar maximale waterstand (t.o.v. LAT)



Figuur 3.5 Overzichtskaart van de 1/100 jaar maximale windsnelheid op 100m hoogte van het zeewater oppervlak



Figuur 3.6 Overzichtskaart van de 1/100 jaar maximale stroomsnelheid van de dieptegemiddelde stroming

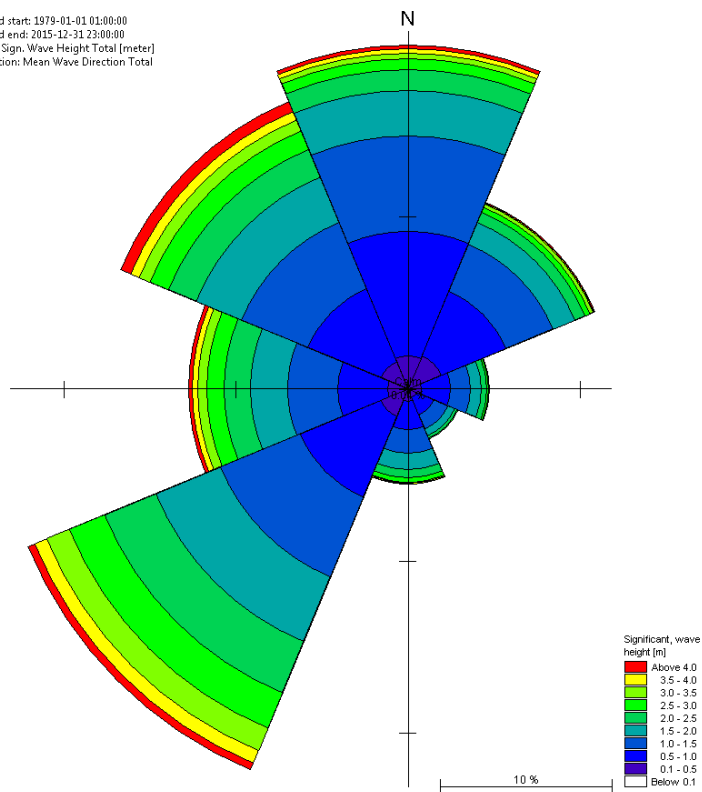
3.2.3 Golven

Figuur 3.7 and Figuur 3.8 geven respectievelijk het golfklimaat en de 1/100 jaar maximale golfhoogte weer voor IJmuiden Ver. Het golfklimaat is representatief voor een locatie ter hoogte van de shipping corridor, midden in het zoekgebied van het eiland. De richtingen in de golfroos geven aan uit welke richting de golven afkomstig zijn, vergelijkbaar met hoe het windklimaat is gepresenteerd. De data is afkomstig uit de *Metoccean Data Portal*, ontwikkeld door DHI

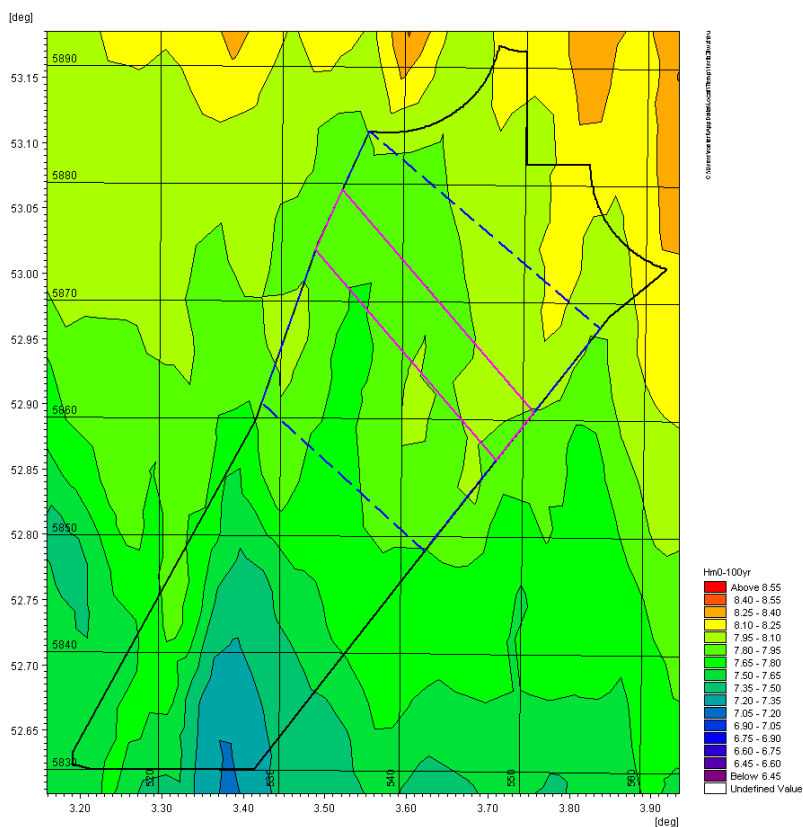
Golven in de Noordzee zijn voornamelijk windgedreven. Dat betekent dat de dominante richting overeenkomt met de dominante richting van het windklimaat, zuid-west. Golven afkomstig uit het noordwesten zijn lokaal opgewekt door wind, deels afkomstig opgewekt in en afkomstig uit de Atlantische Oceaan. Dit zijn over het algemeen golven met een hogere golfperiode, ook wel deining genoemd. 75% van de tijd zijn de golven onder de 2.0 m hoog.

De 1/100 jaar golfhoogte die is weergegeven in Figuur 3.8 laat zien dat de waarden variëren van ongeveer 7 m in het zuiden tot 8m in het noorden. De relatief lage waarden in het zuiden is waarschijnlijk te verklaren door de steile zandbank in die een deel van de golfenergie afkomstig uit het noordwesten of zuidwesten dempt.

Period start: 1979-01-01 01:00:00
Period end: 2015-12-31 23:00:00
Item: Sign. Wave Height Total [meter]
Direction: Mean Wave Direction Total



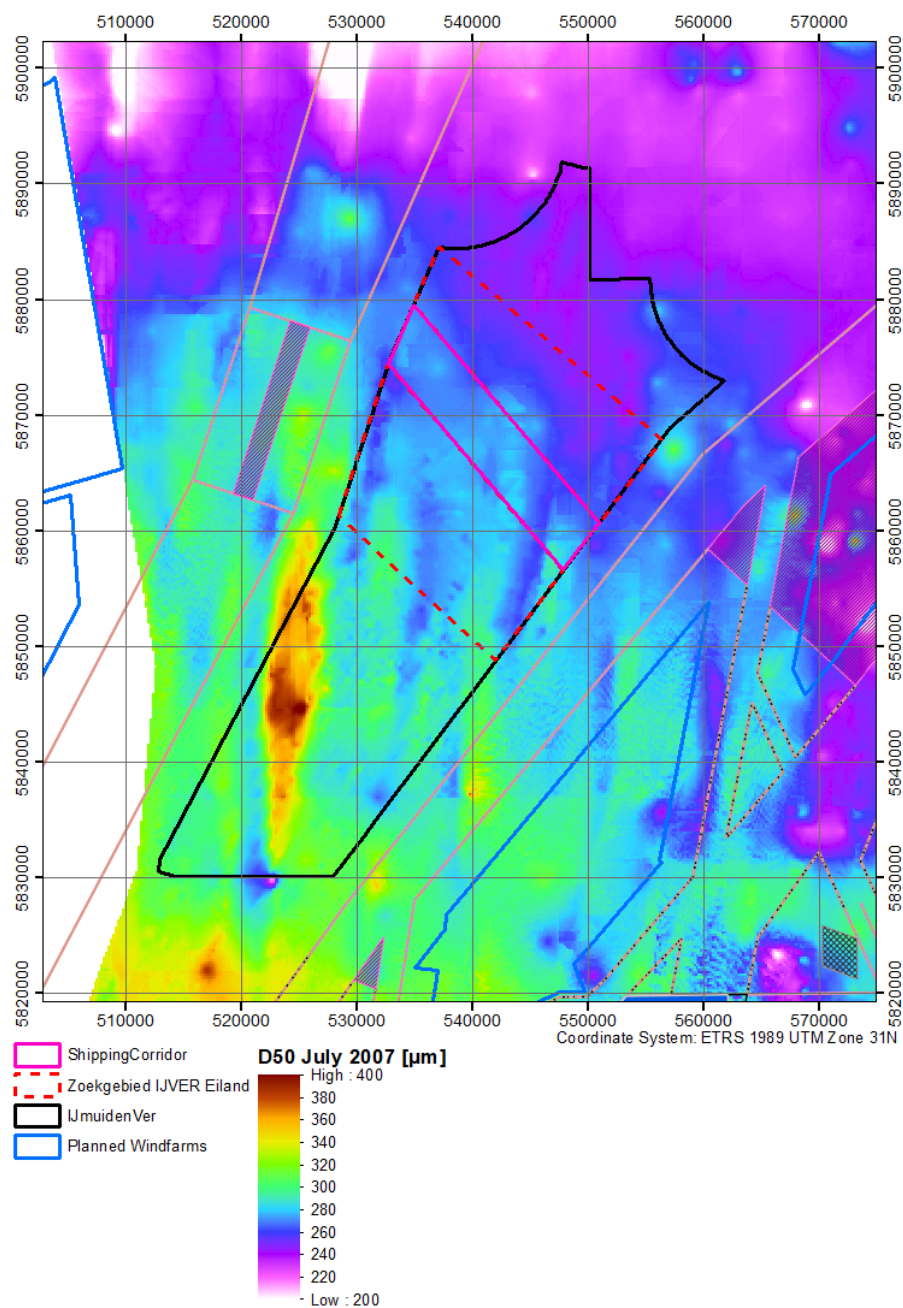
Figuur 3.7 Golfroos van het windparkgebied IJmuiden Ver, ter hoogte van de shipping corridor midden in het zoekgebied van het eiland. Het golf klimaat is gebaseerd op data van 1979 – 2015.



Figuur 3.8 Overzichtskaat van de 1/100 jaar maximale golfhoogte

3.2.4 Bodemgesteldheid en geologie

Figuur 3.9 geeft een overzichtskaat van de mediane korreldiameter (D_{50}) van het sediment op de zeebodem in en rondom het windpark IJmuiden Ver. De kaart laat zien dat de korreldiameter varieert van ongeveer 220 μm in het noorden, tot ongeveer 400 μm in het zuiden van het windpark op de Bruine Bank. De grootte van de korreldiameter hangt nauw samen met de lokale bodemligging. In dieper gelegen gebieden is de korreldiameter over het algemeen lager omdat de krachten van golven en stromingen die het sediment in beweging kunnen brengen minder groot zijn. In ondieper gelegen gebieden zijn de krachten van golven en stromingen en golven op de bodem groter waardoor het fijne sediment wegstroomt en het relatief grove sediment blijft liggen.



Figuur 3.9 Overzichtskaart van de mediane korreldiameter (D_{50}) van het sediment op de zeebodem.

Appendix 0 bevat informatie over de geologische onderlagen van de zeebodem te plekke van IJmuiden Ver. Geologische informatie is met name interessant om te bepalen in hoeverre zettingen zijn te verwachten onder invloed van een nieuwe belasting (lees: eiland) in de vorm van een pakket zand, zowel tijdens de constructie- als tijdens de exploitatiefase. Eventuele te verwachten zettingen dienen te worden meegenomen in het ontwerp van het eiland.

3.3 Ontwerpcondities

Ten behoeve van de uitwerking van het conceptuele ontwerp van het eiland in het volgende hoofdstuk, wordt in deze paragraaf een overzicht gegeven van de ontwerpcondities. Deze condities zijn afgeleid uit het *Metoccean Data Portal*² ontwikkeld door DHI.

De condities zijn afgeleid voor 2 verschillende locaties, zie Tabel 3.2. De eerste locatie is een locatie midden in het zoekgebied (zie rode markering in Figuur 3.1) van het windparkgebied IJmuiden Ver. Dezelfde condities zijn afgeleid voor een 2^e referentiegebied genaamd C6, ten noorden van de Waddeneilanden, om na te gaan wat het effect is van afwijkende omstandigheden op het conceptontwerp van een eiland (zie volgende hoofdstuk).

Tabel 3.2 Locatie en waterdiepte van 2 karakteristieke locaties in IJmuiden Ver en gebied 'C6' ten noorden van de Waddenzee

	IJmuiden Ver	'C6'
Locatie (UTM 31N)	543.988; 5.872.206	669.388; 6.016.724
Water diepte (m + MSL)	29.8	40.2
Water diepte (m + LAT)	28.8	39.4

Variable	Extreme value (omni) - Return Period [Year]							
	1	2	5	10	50	100	1000	10000
Wind speed, 100mMSL, 10-min [m/s]	33,8	35,5	37,5	38,9	42,0	43,2	47,2	
Water level, Total, High [mLAT]	2,7	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,9	
Water level, Total, Low [mLAT]	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	
Water level, Residual, High [m]	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,3	2,8	
Water level, Residual, Low [m]	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,8	
Current Speed, Total, Depth-Averaged [m/s]	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	
Current Speed, Residual, Depth-Averaged [m/s]	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	
Significant wave height, 3hr, Hm0 [m]	5,6	6,0	6,5	6,9	7,6	7,9	8,8	9,6
Peak wave period, Tp, ass. with Hm0,3h [s]	10,2	10,7	11,2	11,6	12,4	12,7	13,6	14,4
Maximum wave height, Hmax [m]	10,5	11,3	12,2	12,9	14,4	14,9	16,8	18,5
Wave period, T, ass. with Hmax [s]	8,8	9,2	9,7	9,9	10,4	10,5	11,2	11,4
Maximum crest level, Cmax, SWL [mSWL]	6,7	7,2	7,9	8,4	9,5	9,9	11,4	12,8
Maximum crest level, Cmax, MSL [mMSL]	7,7	8,4	9,2	9,8	11,0	11,5	13,1	14,6
Maximum crest level, Cmax, LAT [mLAT]	8,7	9,4	10,2	10,7	12,0	12,5	14,1	15,6

Figuur 3.10 Extreme waarden van waterstanden, stroomsnelheid en golven representatief voor Windpark gebied IJmuiden Ver

Variable	Extreme value (omni) - Return Period [Year]							
	1	2	5	10	50	100	1000	10000
Wind speed, 100mMSL, 10-min [m/s]	33,3	35,0	37,0	38,3	41,3	42,4	46,0	
Water level, Total, High [mLAT]	2,5	2,7	2,8	2,9	3,2	3,3	3,6	
Water level, Total, Low [mLAT]	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,1	-1,1	-1,4	
Water level, Residual, High [m]	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,5	
Water level, Residual, Low [m]	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3	-1,3	-1,6	
Current Speed, Total, Depth-Averaged [m/s]	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	
Current Speed, Residual, Depth-Averaged [m/s]	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1	
Significant wave height, 3hr, Hm0 [m]	6,9	7,4	8,1	8,5	9,4	9,7	10,8	11,7
Peak wave period, Tp, ass. with Hm0,3h [s]	11,4	11,9	12,4	12,8	13,7	13,9	14,8	15,6
Maximum wave height, Hmax [m]	12,9	13,8	15,1	15,9	17,7	18,5	20,7	22,8
Wave period, T, ass. with Hmax [s]	9,9	10,4	10,7	11,3	11,7	11,8	12,5	12,9
Maximum crest level, Cmax, SWL [mSWL]	8,1	8,7	9,6	10,1	11,4	12,0	13,7	15,3
Maximum crest level, Cmax, MSL [mMSL]	9,4	10,1	11,1	11,7	13,2	13,8	15,7	17,4
Maximum crest level, Cmax, LAT [mLAT]	10,1	10,9	11,9	12,5	14,0	14,6	16,4	18,2

Figuur 3.11 Extreme waarden van waterstanden, stroomsnelheid en golven representatief voor gebied 'C6'.

² Metoccean-on-demand.com

De volgende conclusies kunnen worden getrokken op basis van de gegevens die zijn gepresenteerd in bovenstaande tabellen:

- De waterdiepte van gebied IJmuiden Ver ligt op ongeveer 30 m en van gebied 'C6' op ongeveer 40 m.
- De waterdiepte heeft een directe invloed op de 1/10.000 jaar ontwerpgolf conditie. Voor IJmuiden Ver ligt deze op 9,6 m en voor 'C6' op 11.7 m (significante golfhoogte).
- De maximale waterstanden verschillen niet veel van elkaar. De 1/1.000 jaar waterstand voor IJmuiden Ver is 3,9 m en voor 'C6' is 3.6 m.
- Ook de maximale stroomsnelheden verschillen weinig. De 1/1.000 jaar diepte-gemiddelde stroomsnelheid is 1,2 m/s voor IJmuiden Ver en 1,1 m/s voor 'C6'.

3.4 Resultaten impactverkenning

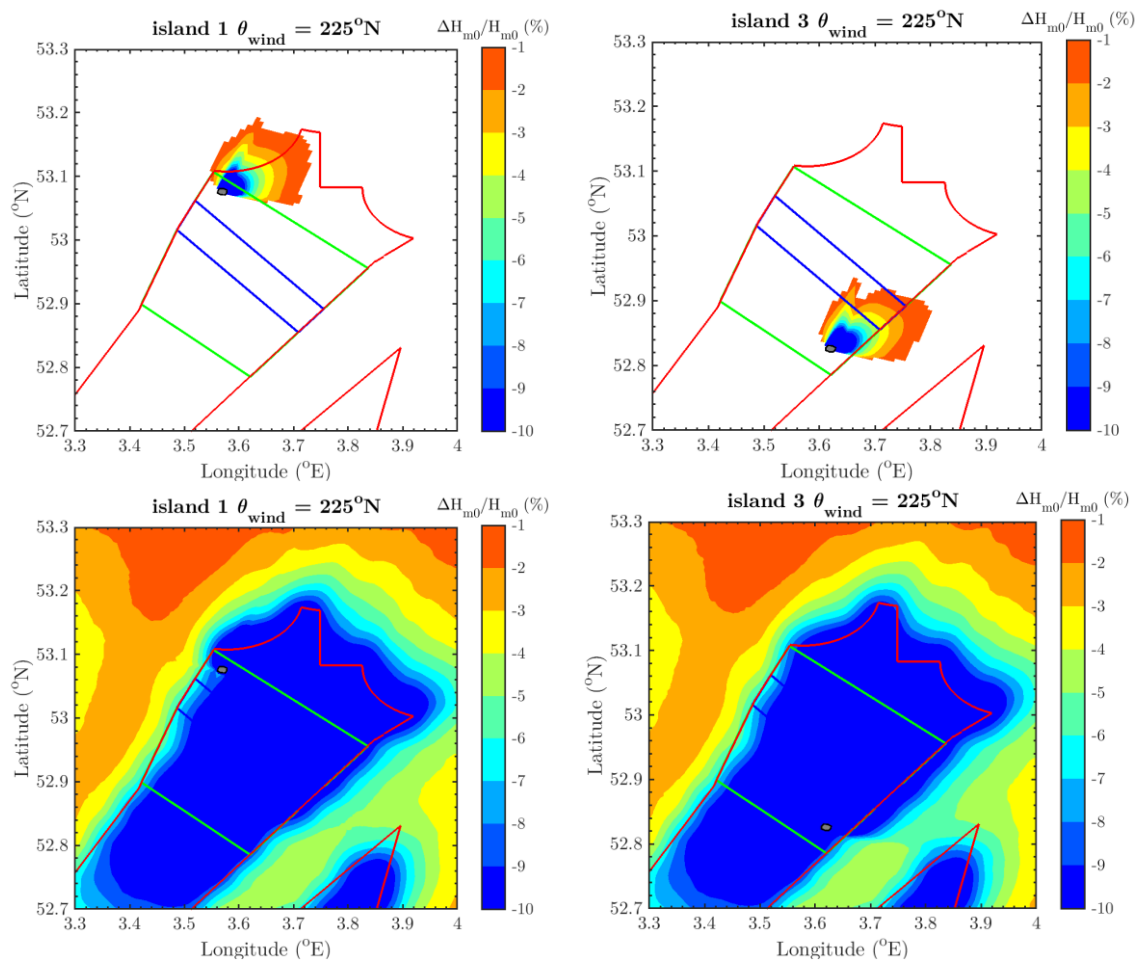
Op basis van een Delft3D – WAVE model is een verkenning gedaan naar de effecten van een eiland, al dan niet in combinatie met de wind turbines in het windpark, op de golfpropagatie in de Noordzee. Het eiland vormt een fysieke beperking voor de propagatie van de golven. De windturbines beïnvloeden het windklimaat en vervolgens de propagatie van golven. Het model is ontwikkeld voor het bepalen van de effecten van grootschalige ontwikkeling van offshore wind in de Noordzee, in het kader van een MSc thesis (Ballas, 2018)³.

Figuur 3.12 geeft de resultaten weer van de effecten van een eiland en windturbines op de golfhoogte, in relatieve zin ten opzichte van de situatie zonder eiland en windturbines. De bovenste figuren geven enkel het effect weer van een eiland, de onderste figuren van zowel het eiland als windturbines. De effecten van windturbines zijn geïmplementeerd als een constante reductie van 10% van de windsnelheid binnen de contouren van het windpark.

De bovenste figuren laten zien dat de effecten van een eiland een effect hebben op de propagatie van golven in de luwtezone van het eiland zelf en tot op enkele kilometers vanaf het eiland merkbaar is. De onderste figuren laten zien dat de gecombineerde effecten van een eiland en een windturbines op veel grotere schaal plaatsvinden. De belangrijkste conclusie die hieruit kan worden getrokken is dat de verwachte effecten van de windturbines in het windpark de effecten van een mogelijk eiland overschaduwen, althans op de schaal zoals deze wordt beschouwd in dit rapport.

Appendix 0 bevat alternatieve resultaten van simulaties met een windcondities uit het noordwesten. De resultaten zijn zeer vergelijkbaar met de resultaten die zijn getoond in het hoofdrapport, behalve dan dat de schaduwzone mee verandert met de windrichting. Daarnaast worden in de Appendix resultaten getoond van de effecten op de golfrichting.

³ MSc thesis Ballas (2018) is te downloaden van de TU Delft online repository (repository.tudelft.nl)



Figuur 3.12 Modelresultaten van de impact van een conceptueel eiland in de noord-west hoek (links) en de zuidoost hoek (rechts) van het zoekgebied in IJmuiden Ver op de golfhoogte. Boven: enkel de invloed van een eiland, onder: de invloed van het eiland plus aangenomen effecten van de windturbines. Golfcondities zijn op basis van een gemiddelde windconditie uit het zuid-westen.

3.5 Conclusies

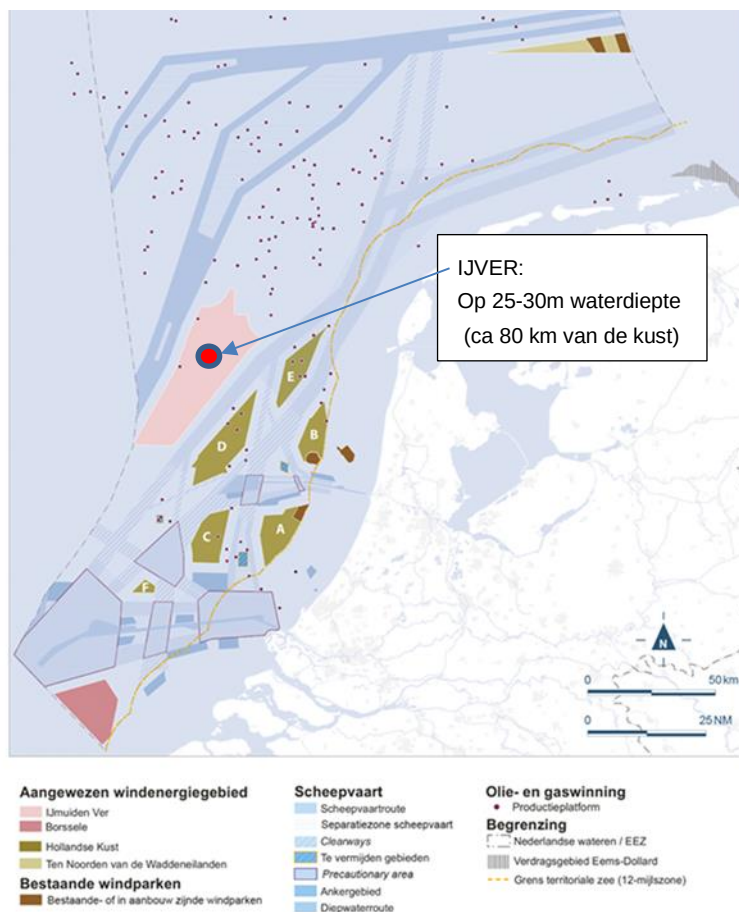
- De meest voor de hand liggende locatie van een eiland is de noordelijke helft van IJmuiden Ver, het 'zoekgebied'. Dit is ten noorden van het Natura 2000 gebied de 'Bruine Bank' en wordt doorkruist door een shipping corridor waardoor het eiland goed bereikbaar is voor schepen.
- Door de aanwezigheid van noord-zuid georiënteerde zandbanken in IJmuiden Ver kan de lokale diepte binnen het zoekgebied van het eiland variëren van 25 - 35m. Dit kan van invloed zijn voor de benodigde hoeveelheid zand die nodig is voor het (gedeeltelijk) aanleggen van het eiland.
- Binnen het zoekgebied voor het eiland (noordelijke helft IJmuiden Ver) verschillen de windcondities waterstanden, stromingen en golven niet significant. Richting het noorden neemt de afstand tot het amfidromisch punt in de Noordzee toe, waardoor de getij amplitude en de maximale waterstand van zuid naar noord kan toenemen met 0,5 – 1,0 m.
- In de diepe ondergrond (tot enkele tientallen meters) ter plaatse van IJmuiden Ver zijn enkele zachte, klei en fijn sediment houdende lagen aanwezig. Het is onduidelijk in hoeverre deze lagen al zijn geconsolideerd en of er tijdens de bouw en exploitatiefase

rekening gehouden dient te worden met zettingen. Daarvoor zijn meer gedetailleerde metingen nodig.

4 Conceptueel ontwerp en alternatieven

4.1 Introductie

Het kunstmatige energie-eiland IJVER is op ca 80 km van de Nederlandse kust gelegen op een waterdiepte van orde 25 tot 30 m. Deze locatie, welke blootstaat aan zware stormen (zie hoofdstuk 3) stelt met name eisen aan de stabiliteit en golfoverslag van de verdedigingsrand van het eiland. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het feit dat aanleg op open zee moet plaatsvinden (wind-, golf- en stroombelastingen), in relatief diep water (hoog materiaalgebruik) en ver van de kust (logistieke uitdaging).



4.2 Eiland lay-out en hoofdonderdelen

Om de extreme stormcondities het hoofd te bieden is een veilige bescherming in de vorm van een zeewering nodig voor het eiland. Gezien de zwaarte van de hydrodynamische randvoorwaarden en bovendien vanwege de fikse waterdiepte, valt deze zeewering relatief groot en zwaar uit en is daarmee de doorslaggevende factor in de aanlegkosten. Globaal gesproken zijn de kosten van de zeewering (voor energie eilanden ter grootte van orde 50 ha) gelijk aan ca de helft van de totale aanlegkosten van het eiland.

Aangezien de lengte (lees aanlegkosten) van de zeewering direct wordt beïnvloed door de vorm van het eiland, zou het voor de hand liggen om een zo efficiënt mogelijke eilandvorm te kiezen, namelijk een cirkelvorm. Echter een eerste globale analyse geeft aan dat voor een multifunctioneel eiland, zoals vanuit de gebruikerseisen in hoofdstuk 2 beschreven, rechthoekige (deel)terreinen het meest praktisch zijn. Zodoende is in deze verkennende studie 'enkel en alleen' naar rechthoekige eiland lay-outs gekeken.

Nb: het is duidelijk dat een vervolgstudie naar efficiënt ruimtegebruik in relatie tot de eilandvorm nadere studie behoeft, omdat iedere aanscherping van de terreinvorm/-behoefte zich direct vertaalt in lagere bouwkosten.

Een eiland op de IJVER locatie bestaat uit een aantal hoofdonderdelen of bouwstenen, namelijk:

- Een “zandpannenkoek”, feitelijk een goedkope manier om de zeebodemfundatie op te hogen tot het ondiepere onderwaterniveau waar vanaf de hydrodynamische omgevingscondities een rol gaan spelen
- De buitenring (primaire zeewering), met daarin:
 - Landaanwinning en/of
 - eventueel drijvende bouwgrond (opgebouwd uit betonnen drijflichamen) en
 - havenbekken met golfbrekers

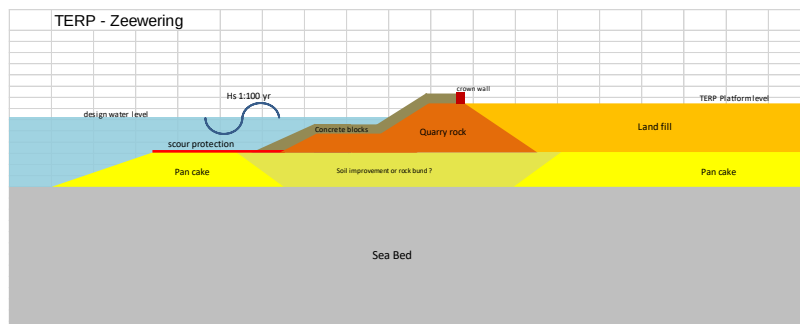
In het ontwerpproces worden op de vaste en/of drijvende bouwgrond de gebruikersfuncties vertaald naar een efficiënte terreinindeling, waarna de benodigde zeewering wordt afgestemd op de richtingsafhankelijke hydrodynamische randvoorwaarden die zich rond het eiland voordoen.

Drie typen zeewering/eiland-oplossingen

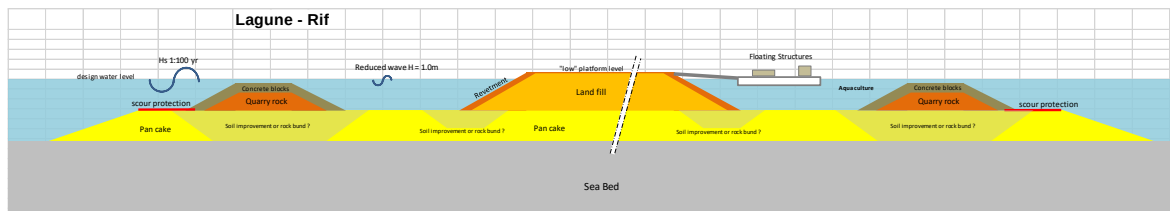
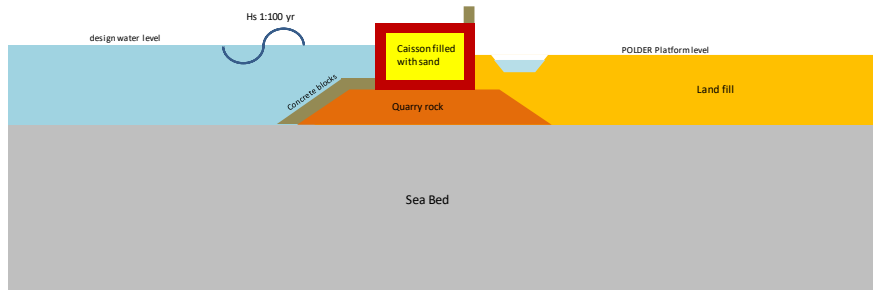
Uitgaande van de bovengenoemde hoofdonderdelen, kan onderscheid worden gemaakt in drie verschillende eilandtypen, te weten:

1. De “hoge” zandterp, voorzien van een ‘traditionele’ zeewering (opgebouwd uit rotstalud met zware betonblokken en kruinmuur)
2. De “lage” polder, voorzien van een smalle en zo goed als waterdichte buitenring (opgebouwd uit betonnen caissons)
3. De lagune, voorzien van een buitenring in de vorm van een kunstmatig rif. Binnen de lagune kan naar behoefte met vaste grond (inclusief een lichte taludbekleding) en/of drijvende “grond” worden gewerkt.

Schetsmatig zijn de drie oplossingen hieronder weergegeven.



POLDER - Caisson



Na initiële uitwerking van deze 3 typen zeewering, is gebleken dat:

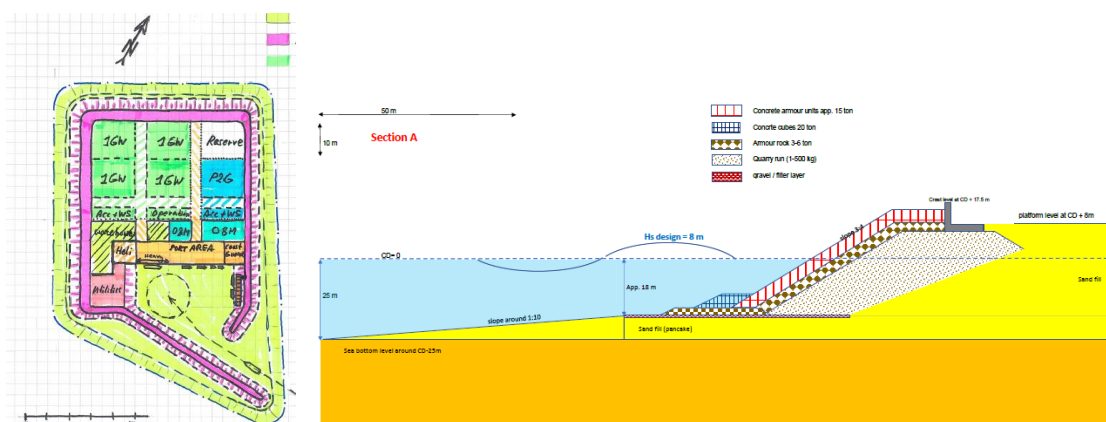
- De materiaalkosten van de rots/blokken- en van de caissonzeewering elkaar niet veel ontlopen
- De caissonoplossing logistiek een uitdaging is (zeetransport en afzinken); risico voor bouwplanning
- De rifoplossing iets duurder is dan de andere twee typen, maar duidelijk meer flexibiliteit geeft m.b.t. een stapsgewijze terreinontwikkeling en met name m.b.t. de mogelijkheid van drijvend bouwen in een relatief beschutte omgeving.

Zodoende is besloten om in de verdere layout- en kostenanalyses, naar twee onderscheidende oplossingen te kijken, namelijk de Terp en de Lagune. Ten aanzien van het functioneel gebruik is als basis de 'nominale' terreinbehoefte gehanteerd zoals toegelicht in sectie 2.3 voor het multifunctionele 4 GW eiland (ca 50 ha bouwgrond en ca 12 ha haven). Dit heet in het vervolg het Referentie-eiland.

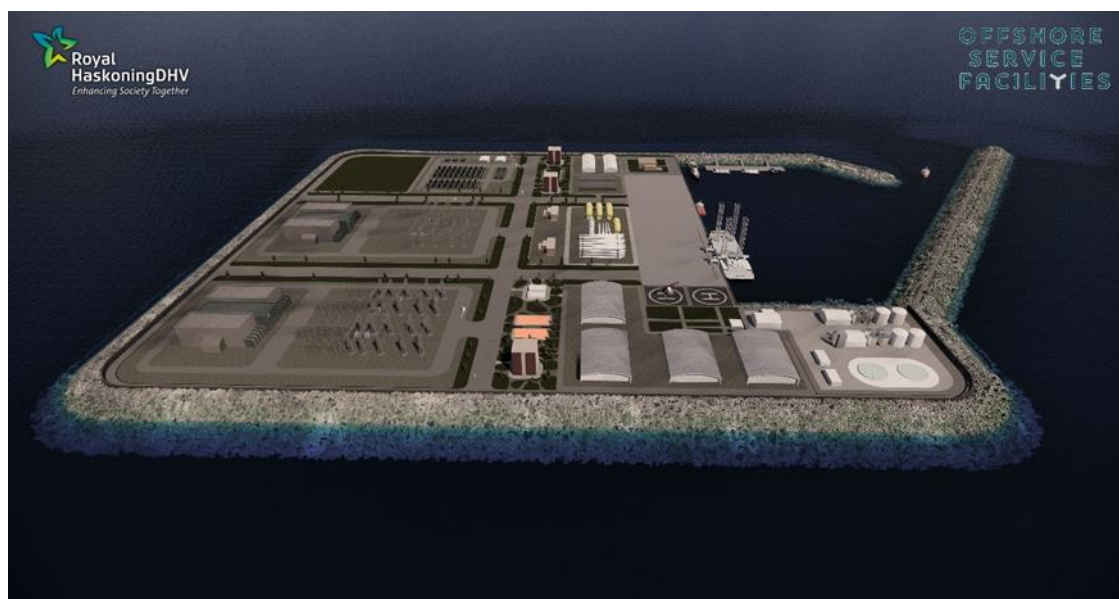
4.3 Initieel ontwerp multifunctioneel eiland (referentie eiland, ca 60 ha)

De meest voor de hand liggende keuze is om voor de traditionele Terp oplossing te gaan. Zowel de waterbouwkundige ontwerp- als uitvoeringservaring zijn ruim voorhanden in Nederland. Daarmee zijn ook de aanlegkosten redelijk goed in te schatten.

Voor het Referentie-eiland (Terp) is een initieel ontwerp gemaakt, met gebruikmaking van de relevante ervaring die aanwezig is bij de deelnemende partijen aan deze IJVER-Tech studie. Zoals geïllustreerd in de onderstaande schetsen is 'gekozen' voor een rechthoekige eiland layout en zijn de maatgevende zeeweringdoorsneden op voorontwerpniveau ontwikkeld. In Appendix C1 bij dit hoofdstuk, zijn de voorontwerpinspanningen zowel voor de Terp als de Lagune (Rif) oplossing globaal nader toegelicht. Appendix C2 geeft inzicht in de nut en noodzaak van een klimaat-adaptief energie-eiland ontwerp, zoals deze tot zijn recht kan komen bij de lagune oplossing.



Het Terp referentie-ontwerp, voorzien van een mogelijke bovenbouw invulling, ziet er in 3D visualisatie als volgt uit:



De orde grootte totale aanlegkosten van een 60 ha Terp eiland zijn op basis van het initiële conceptontwerp vastgesteld op circa 950 miljoen Euro (bouwsom onderbouw, prijspeil 2019). Dit betekent dat voor het referentie-eiland de all-inclusive aanlegprijs van een vierkante meter bouwgrond om en nabij 1.800 euro bedraagt. Deze m² prijs is IJVER-locatie gebonden (afstand tot kust, diepte en stormklimaat).

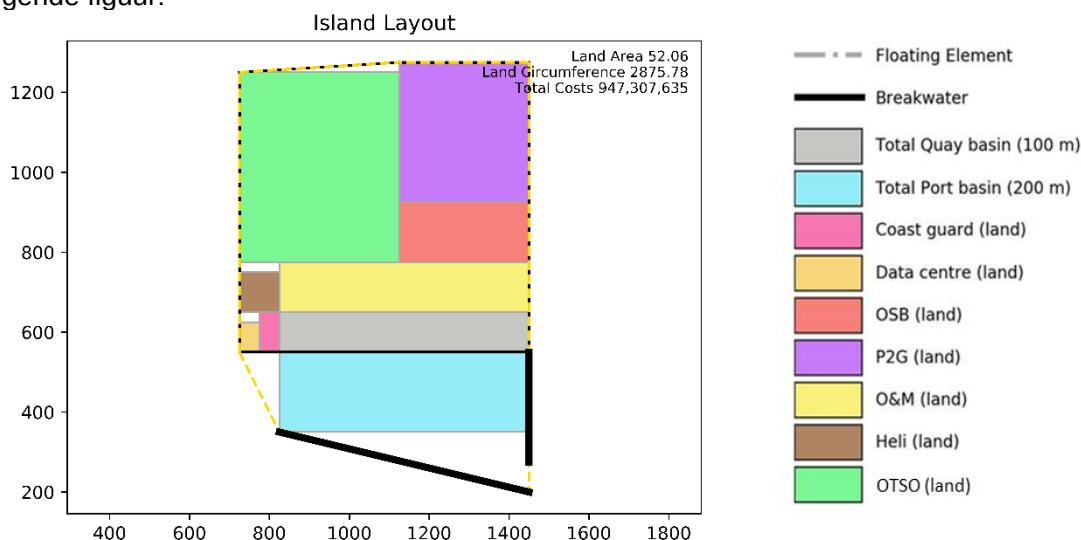
Tevens is op globaal niveau afgeschat dat de aanleg (onderbouw) in ca 3 jaar tijd kan worden gerealiseerd, vanaf het moment dat het ontwerp en bestek akkoord zijn bevonden en aanbesteed. Bij de bouwplanning is uitgegaan van een acceptabel winterverlet van ca 3 maanden (2 winters).

4.4 Eilandkosten als functie van de terreinbehoefte (referentie eiland)

Met behulp van een op maat gesneden layout-ontwerpgereedschap en een gekoppeld kostenmodel zijn de aanlegkosten van een Terp-eiland voor verschillende windenergiecapaciteiten van 2 tot 8 GW afgeschat. De relatieve bruto eenheidsprijzen welke hierbij gehanteerd zijn staan in onderstaande tabel.

Element	Kosten	
Sand fill	Orde 10–15 Euro	per m3
Strong revetment island	167 %	per m
Normal revetment island (and quay wall)	100 %	per m
Breakwater	100 %	per m

Een typische layout-uitvoer van het ontwerpgereedschap voor 4 GW windcapaciteit is de volgende figuur:



De hiermee afgeschatte aanleg- en grondkosten voor vier specifieke eilandafmetingen zijn in onderstaande tabel samengevat.

Terp Eiland IJVER						
Aanleg- en grondkosten als functie terreinbehoefte						
Windenergie GW	P2G GW	Land+kade ha	havenbekken ha	footprint ha	2019 Eilandkosten 10 ⁶ Euro	2019 Landprijs Euro/m ²
2	1	29	8	37	720	2.483
4	2	52	11	63	945	1.817
6	3	73	15	88	1.145	1.568
8	4	96	18	114	1.365	1.422
	P2G is 50% van windcapaciteit				ca. 505 + (108*GW)	

Het voor IJVER voorgestelde multifunctionele Terp eiland, met een voor de P2G functionaliteit aangenomen capaciteit ter grootte van 50% van de windenergiecapaciteit, en tevens plaats biedend aan terrein voor OSB, O&M, Heliplatform, Coast Guard en een Data Centre, kost in

totaal als functie van het aantal geïnstalleerde Wind-GW's ca. 505+108xGW miljoen Euro (toe te passen voor een windcapaciteit range van 2-8 GW). Het betreft het "bruto bouwsomniveau", prijspeil 2019. Het zijn best guess aanlegkosten met een redelijk grote onnauwkeurighedsband gezien het initiële ontwerpniveau, die wordt ingeschat op -20/+40%.

Uit de initiële analyse volgt duidelijk dat de grondprijs sterk afneemt bij toenemende footprint van het eiland. Een 2 GW multifunctioneel eiland (37 ha footprint), heeft een grondprijs van ca 2.500 Euro per m². Een drie maal zo groot eiland (114 ha, voor 8 GW multifunctioneel), heeft een grondprijs van ruim 1.400 Euro per m², dus bijna de helft!

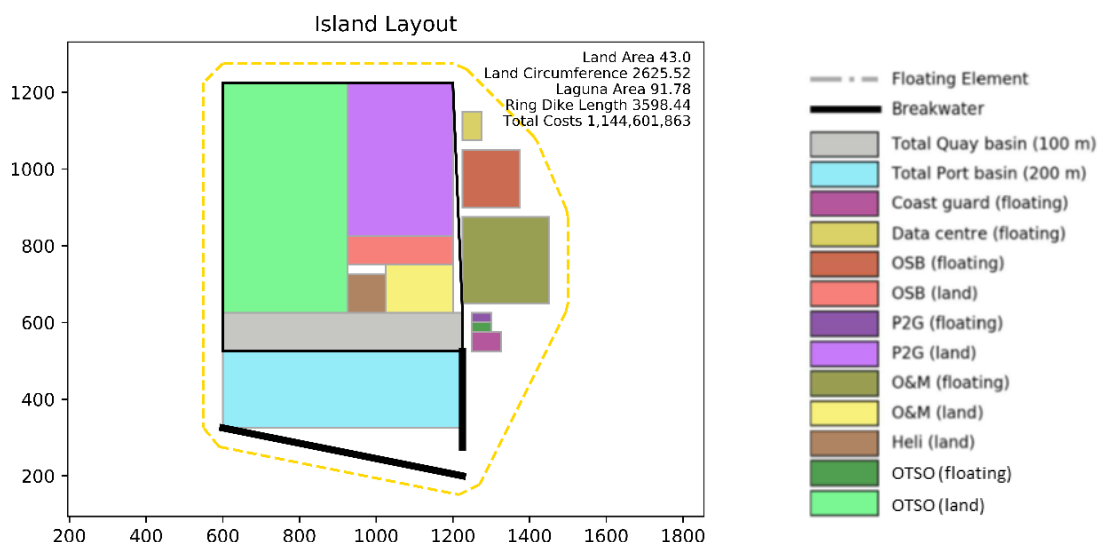
4.5 Lagune oplossing versus Terp oplossing

Met als uitgangspunt het 4 GW Terp eiland (met een footprint van ca. 63 ha), is gekeken wat de layout/footprint wordt van een lagune oplossing indien ongeveer 20% van de terreinbehoefte op drijvende bouwgrond wordt ondergebracht. Deze 20% kan alle accommodaties, de open storage (voor O&M en voor OSB) en het data centre herbergen.

Met hetzelfde reken-/layout gereedschap als besproken in sectie 4.4, is een berekening gemaakt voor deze lagune oplossing waarbij dus ongeveer een vijfde deel van de functies als drijvende bouwgrond is uitgevoerd. De gehanteerde globale eenheidsprijzen zijn te vinden in de volgende tabel.

Element	Kosten	
Sand fill	orde 10-15 Euro	per m3
Strong revetment island	167 %	per m
Normal revetment island and quay	100 %	per m
Ring dike laguna	83 %	per m
Inner revetment laguna	50 %	per m
Breakwater	100 %	per m
Floating element	orde 1.500 Euro	per m2
Laguna Offset	50	m

De resulterende lagune layout is als aangegeven in onderstaande figuur.



Het blijkt dat voor het referentie eiland (4 GW wind, multifunctioneel), de lagune variant beschermd door een kunstmatig Rif ca. een factor 1,2 duurder uitvalt dan de traditionele zandterp met een steile zeewering uit rots/blokken en een kruinmuur. De meerkosten voor de Lagune oplossing is een substantieel bedrag, ter grootte van ca. 200 miljoen Euro. De vraag kan gesteld worden of deze meerkosten (positief) opwegen tegen (1) nog ongebruikte binnenmeerruimte welke reserve in de toekomst voor aanvullende drijvende bouwgrond kan worden gebruikt, (2) flexibiliteit bij het vervangen/aanpassen van drijvende bouwgrond, (3) minder volledige afdekking van de bestaande zeebodem en (4) de ecologisch toegevoegde waarde van het kunstmatige Rif. *Deze vragen zijn zonder aanvullend onderzoek, momenteel niet te beantwoorden.*

4.6 Haalbaarheid van een kunstmatig eiland ten noorden van de Wadden

Tijdens het onderzoek kwam de vraag op of een IJVER eiland ook op een offshore locatie ten noorden van de wadden in vak 6C (zie paragraaf 3.3), op zo'n 70 km ten noorden van de Nederlandse kust/Wadden, haalbaar zou zijn.

De lokale condities in Vak 6C zijn als volgt:

- Waterdiepte: CD-39m
- Ontwerpstorm-golfhoogte uit NW is ca. $H_s=10\text{m}$ (i.p.v. ca. 8m voor IJVER)
- Ontwerpstorm-golfhoogte uit het oosten is identiek aan die voor IJVER (ca. $H_s=5\text{m}$)

De grotere waterdiepte kan overbrugd worden door het aanbrengen van een diepere onderwater zandpannenkoek, terwijl de 'strong revetment' die op het NW is gericht ivm het zwaardere golfklimaat zwaarder moet worden uitgevoerd.

Ten aanzien van de mogelijke aanleg van een multifunctioneel 4GW Terp eiland op ca 70 km ten noorden van de Wadden wordt geconcludeerd dat:

- De technische haalbaarheid globaal gelijk is aan die voor IJVER. Hooguit een iets langere bouwtijd (iets meer verlet en een zwaardere zeewering). De toegenomen aanlegtijd van de diepere zandpannenkoek heeft geen wezenlijke invloed op de totale bouwplanning.
- De aanlegkosten (en daarmee de grondkosten) nemen wel merkbaar toe t.o.v. de IJVER locatie, namelijk met orde 20%

4.7 Conclusies

Een eiland op de IJVER locatie bestaat uit een aantal hoofdonderdelen of bouwstenen, namelijk:

- Een "zandpannenkoek", feitelijk een goedkope manier om de zeebodemfundatie op te hogen tot het ondiepere onderwaterniveau waar vanaf de hydrodynamische omgevingscondities een rol gaan spelen
- De buitenring (primaire zeewering), met daarbinnen:
 - Landaanwinning en/of
 - eventueel drijvende bouwgrond (opgebouwd uit betonnen drijflichamen) en
 - havenbekken met golfbrekers

Uitgaande van de bovengenoemde hoofdonderdelen, kan onderscheid worden gemaakt in drie verschillende eilandtypen, te weten:

1. De "hoge" zandterp, voorzien van een 'traditionele' zeewering (opgebouwd uit rotstalud met zware betonblokken en kruinmuur)
2. De "lage" polder, voorzien van een smalle en zo goed als waterdichte buitenring (opgebouwd uit betonnen caissons)
3. De lagune, voorzien van een buitenring in de vorm van een kunstmatig rif. Binnen de lagune kan naar behoefte met vaste grond (inclusief een lichte taludbekleding) en/of drijvende "grond" worden gewerkt.

Na initiële uitwerking van deze 3 typen zeewering, is gebleken dat:

- De materiaalkosten van de rots/blokken- en van de caissonzeewering elkaar niet veel ontlopen
- De caissonoplossing logistiek een uitdaging is (zeetransport en afzinken); risico voor bouwplanning

- De rifoplossing iets duurder is dan de andere twee typen, maar duidelijk meer flexibiliteit geeft m.b.t. een stapsgewijze terreinontwikkeling en met name m.b.t. de mogelijkheid van drijvend bouwen in een relatief beschutte omgeving.

De meest voor de hand liggende keuze is om voor de traditionele Terp oplossing te gaan. Zowel de waterbouwkundige ontwerp- als uitvoeringservaring zijn ruim voorhanden in Nederland. Daarmee zijn ook de aanlegkosten redelijk goed in te schatten.

De orde grootte totale aanlegkosten van een 60 ha Terp eiland zijn op basis van het initiële conceptontwerp vastgesteld op circa 950 miljoen Euro (bouwsom onderbouw, prijspeil 2019). Dit betekent dat voor het referentie-eiland de all-inclusive aanlegprijs van een vierkante meter bouwgrond om en nabij 1.800 euro bedraagt. Deze m² prijs is IJVER-locatie gebonden (afstand tot kust, diepte en stormklimaat). Tevens is op globaal niveau afgeschat dat de aanleg (onderbouw) in ca 3 jaar tijd kan worden gerealiseerd, vanaf het moment dat het ontwerp en bestek akkoord zijn bevonden en aanbesteed. Bij de bouwplanning is uitgegaan van een acceptabel winterverlet van ca 3 maanden (2 winters).

Eilandkosten als functie van de terreinbehoefte (referentie eiland)

Het voor IJVER voorgestelde multifunctionele Terp eiland, met een voor de P2G functionaliteit aangenomen capaciteit ter grootte van 50% van de windenergiecapaciteit, en tevens plaats biedend aan terrein voor OSB, O&M, Heliplatform, Coast Guard en een Data Centre, kost in totaal als functie van het aantal geïnstalleerde Wind-GW's ca. 505+108xGW miljoen Euro (toe te passen voor een windcapaciteitsrange van 2-8 GW). Het betreft het "bruto bouwsomniveau", prijspeil 2019. Het zijn 'best guess' aanlegkosten met een redelijk grote onnauwkeurighedsband gezien het initiële ontwerpniveau, die wordt ingeschat op -20/+40%.

Uit de initiële analyse volgt duidelijk dat de grondprijs sterk afneemt bij toenemende footprint van het eiland. Een 2 GW multifunctioneel eiland (37 ha footprint), heeft een grondprijs van ca 2.500 Euro per m². Een drie maal zo groot eiland (114 ha, voor 8 GW multifunctioneel), heeft een grondprijs van ruim 1.400 Euro per m², dus bijna de helft!

Lagune oplossing versus Terp oplossing

Het blijkt dat voor het referentie eiland (4 GW wind, multifunctioneel), de lagune variant beschermd door een kunstmatig Rif ca. een factor 1,2 duurder uitvalt dan de traditionele zandterp met een steile zeewering uit rots/blokken en een kruinmuur. De meerkosten voor de Lagune oplossing is een substantieel bedrag, ter grootte van ca. 200 miljoen Euro. De vraag kan gesteld worden of deze meerkosten (positief) opwegen tegen (1) nog ongebruikte binnenmeerruimte welke reserve in de toekomst voor aanvullende drijvende bouwgrond kan worden gebruikt, (2) flexibiliteit bij het vervangen/aanpassen van drijvende bouwgrond, (3) minder volledige afdekking van de bestaande zeebodem en (4) de ecologisch toegevoegde waarde van het kunstmatige Rif. Deze vragen zijn zonder aanvullend onderzoek, momenteel niet te beantwoorden.

5 Mogelijkheden voor hybride oplossingen

5.1 Introductie

Een hybride vorm van kunstmatige eilanden zou kunnen bestaan uit een combinatie van landaanwinning en drijvende pontons. Deze pontons zouden kunnen profiteren van de luwte van het nieuwe aangewonnen land. Deze drijvende toevoeging kan een flexibele, modulaire en wellicht ook kosten efficiënte toevoeging zijn aan de hoeveelheid beschikbare ruimte op zee. De drijvende elementen zouden zelfs van tijdelijke aard kunnen zijn en worden verplaatst van eiland naar eiland, afhankelijk van de tijdsgebonden vraag naar ruimte.

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de golf geïnduceerde bewegingen van dit soort drijvende pontons in de luwte van een eiland. Dit is een eerste, indicatieve haalbaarheidsstudie waarbij er qua hydrodynamica een aantal versimpelingen en afschattingen zijn gemaakt. Mede gebaseerd op deze uitkomsten is er een initiatief opgezet voor een vervolgproject waarin deze complexe hydrodynamica verder wordt onderzocht.

5.2 Aanpak

Er zijn in totaal drie verschillende eiland configuraties bekeken, welke staan omschreven in Appendix D. De golf hoogte in de luwte van het eiland is van te voren afgeschat op basis van ervaringsgetallen. Los van de aangepaste golfhoogte is de directe interactie tussen pontons en het eiland niet meegenomen. De interactie tussen de pontons onderling is wel meegenomen in de berekening. Gezien de relatief lage golfhoogtes is er gebruik gemaakt van lineaire berekeningen met een eenheidsgolfhoogte (1m). Omdat lineariteit is aangenomen, kan de response bij iedere andere golfhoogte worden verkregen door de response te vermenigvuldigen met de golfhoogte.

Het spreekt voor zich dat het verstandig is om deze studie in een vervolgstudie met meer geavanceerdere methodes op een nauwkeurigere manier te herhalen. Voor de huidige status van het project lijkt de gebruikte versimpelde aanpak echter afdoende.

Naast het berekenen van de bewegingen is het vaststellen van de bewegingscriteria ook een belangrijk onderzoeksgebied. Omdat het niet eenvoudig is om tot goede criteria te komen, en deze ook vaak confidentieel zijn, is er op dit moment van de studie voor gekozen om rekening te houden met de criteria zoals opgesteld in Tabel 5.1. Gezien de complexiteit van het Offshore installatie-, operatie- en onderhoudswerk is er voor gekozen om het 'Intellectual work' criterium te gebruiken. De RMS limieten zijn daarom $0,98 \text{ m/s}^2$ in verticale richting, $0,49 \text{ m/s}^2$ in horizontale richting en 3,0 graden slingeren. Het wordt erkent dat dit geen recente bron is en deze criteria lijken wellicht aan de hoge kant. Daarom is het een sterke aanbeveling voor een vervolgtraject om deze criteria nader te onderzoeken.

Tabel 5.1 Workability criteria according to NORDFORSK, 1987

Criteria for Accelerations and Roll (NORDFORSK, 1987)			
Description	<i>RMS</i> vertical acceleration	<i>RMS</i> lateral acceleration	<i>RMS</i> roll
Light manual work	0.20 g	0.10 g	6.0 deg
Heavy manual work	0.15 g	0.07 g	4.0 deg
Intellectual work	0.10 g	0.05 g	3.0 deg
Transit passengers	0.05 g	0.04 g	2.5 deg
Cruise liner	0.02 g	0.03 g	2.0 deg

5.3 Resultaten

Small case scenario (1 ponton)

De resulterende bewegingen zijn gerapporteerd op de hoekpunten (in dit geval bakboord voor) van het ponton op dek niveau. Aangezien het ponton voornamelijk slingert en stampt zijn de bewegingen op de hoekpunten aanzienlijk hoger dan op het zwaartepunt. Door te kiezen voor de hoekpunten houden we dus rekening met het slechtste geval. De standaard deviaties staan gerapporteerd in Tabel 5.2.

Tabel 5.2: Standard deviaties van golf gegenereerde bewegingen (small case scenario)

	Tp [s]	Hs [m]	AX PSF [m/s ²]	AZ PSF [m/s ²]	pitch [deg]
Harbour Basin	10	0.5	0.04	0.12	0.45
Behind Reef	10	1.5	0.13	0.36	1.35
Leeside Island	10	5.0	0.45	1.19	4.51
Harbour Basin	16	0.2	0.02	0.02	0.12
Behind Reef	16	0.2	0.02	0.02	0.12
Leeside Island	16	1.0	0.08	0.11	0.60

De resultaten die de criteria overschrijden zijn rood gekleurd. In deze tabel valt te zien dat alleen de conditie met 'wind seas at the leeside of the island' resulteert in een niet werkbare situatie. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat 'light manual work' in deze conditie (Hs=5m) wel zou kunnen.

5.3.1 Medium case scenario

Dit scenario bestaat uit vier pontons. Er zijn globaal gezien twee manieren waarop pontons gekoppeld kunnen worden, op een 'losse' manier met zachte fenders en elastische lijnen of

meer rigide met een hoge stijfheid. Op de eerste wijze kunnen de pontons zich tot op grote mate onafhankelijk van elkaar bewegen, met de grootste versnellingen tot gevolg, terwijl met een meer rigide koppeling de bewegingen over het algemeen zullen afnemen ten koste van een hogere koppelingskracht. Ook hier is er gekozen voor het minst gunstige scenario, de koppeling met lage stijfheid. De resulterende bewegingen staan weergegeven in Tabel 5.3.

Tabel 5.3: Standard deviaties van golf gegenereerde bewegingen (medium case scenario)

	Tp [s]	Hs [m]	AX PSF [m/s ²]	AZ PSF [m/s ²]	pitch [deg]
Harbour Basin	10	0.5	0.05	0.12	0.61
Behind Reef	10	1.5	0.16	0.36	1.82
Leeside Island	10	5.0	0.53	1.20	6.08
Harbour Basin	16	0.2	0.01	0.02	0.13
Behind Reef	16	0.2	0.01	0.02	0.13
Leeside Island	16	1.0	0.07	0.12	0.64

De werkbaarheidsniveaus zijn vergelijkbaar met het voorgaande scenario. Het is waarschijnlijk dat het werkbaarheidsniveau kan worden vergroot door de pontons onderling stijver met elkaar te verbinden. Dit is een interessant concept voor een vervolgtraject.

5.3.2 Large case scenario

Overeenkomstig met het voorgaande scenario zijn ook hier de golf geïnduceerde bewegingen uitgerekend voor pontons aan elkaar gekoppeld met lage stijfheid. De resultaten staan in Tabel 5.4.

Tabel 5.4: Standard deviaties van golf gegenereerde bewegingen (large case scenario)

	Tp [s]	Hs [m]	AX PSF [m/s ²]	AZ PSF [m/s ²]	pitch [deg]
Harbour Basin	10	0.5	0.04	0.09	0.44
Behind Reef	10	1.5	0.13	0.28	1.32
Leeside Island	10	5.0	0.42	0.92	4.40
Harbour Basin	16	0.2	0.01	0.02	0.12
Behind Reef	16	0.2	0.01	0.02	0.12
Leeside Island	16	1.0	0.07	0.12	0.62

Ook hier valt te zien dat de werkbaarheid niveaus vergelijkbaar zijn met de twee voorgaande scenario's. De hoofdreden hierachter is dat de effectieve breedte per ponton niet wordt vergroot. Hierbij moet worden aangemerkt dat een andere lengte/breedte van de pontons mogelijk wel voor een verbetering had kunnen zorgen. Naast de mogelijkheid om de koppelingsstijfheid te variëren, is ook de lengte/breedte verhouding een interessante parameter voor nader onderzoek in een vervolgtraject.

5.4 Conclusies

Een indicatieve, exploratieve studie is uitgevoerd naar het werkbaarheidsniveau van een hybride kunstmatig eiland, bestaande uit drijvende pontons in de luwte van aangewonnen land. De golf geïnduceerde bewegingen zijn berekend voor drie verschillende scenario's en vergeleken met werkbaarheidscriteria. Voor alle drie de scenario's zijn de uitgerekende bewegingen lager dan de criteria, behalve in de conditie 'wind seas at the leeside of the island (zonder bescherming van een kunstmatig rif)'.

Mogelijke verbeteringen om de werkbaarheid nog verder op te voeren kan onder andere gezocht worden in de (stijvere) onderlinge koppeling tussen de pontons. Verder kan de lengte/breedte verhouding van pontons nog worden geoptimaliseerd.

Tevens moet worden aangemerkt dat deze studie is gedaan aan de hand van relatief simpele berekeningen en aannames. Een meer geavanceerdere modellering is aan te bevelen in een vervolgtraject. Ook de beoordelingscriteria zelf verdienen meer aandacht in een vervolgtraject.

6 Conclusies en volgende stappen

6.1 Conclusies

De doelstelling van deze studie is om een verkenning te doen naar de haalbaarheid van technische aspecten van een multifunctioneel energie eiland in windparkgebied IJmuiden Ver. Op basis van de informatie die is verzameld ten behoeve van het uitwerken van enkele conceptuele ontwerpen kan worden geconcludeerd dat het technisch gezien mogelijk is om een eiland te bouwen in IJmuiden Ver. Hierbij dient te worden opgemerkt dat alle gerapporteerde bevindingen zijn gebaseerd op bestaande informatie en relatief simpele berekeningen. De belangrijkste conclusies met betrekking tot het conceptuele ontwerp van het eiland zijn als volgt:

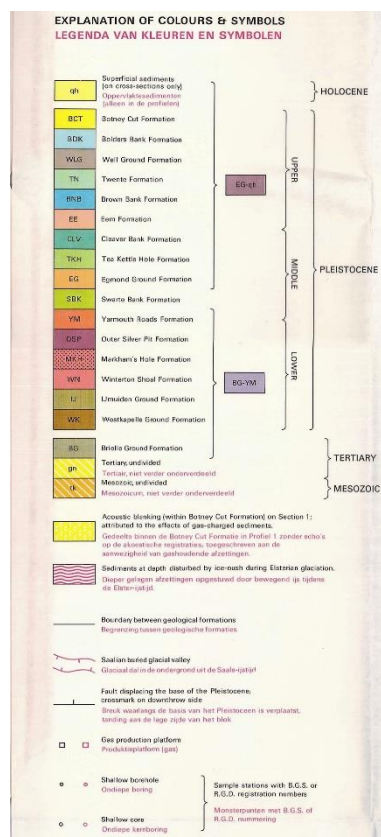
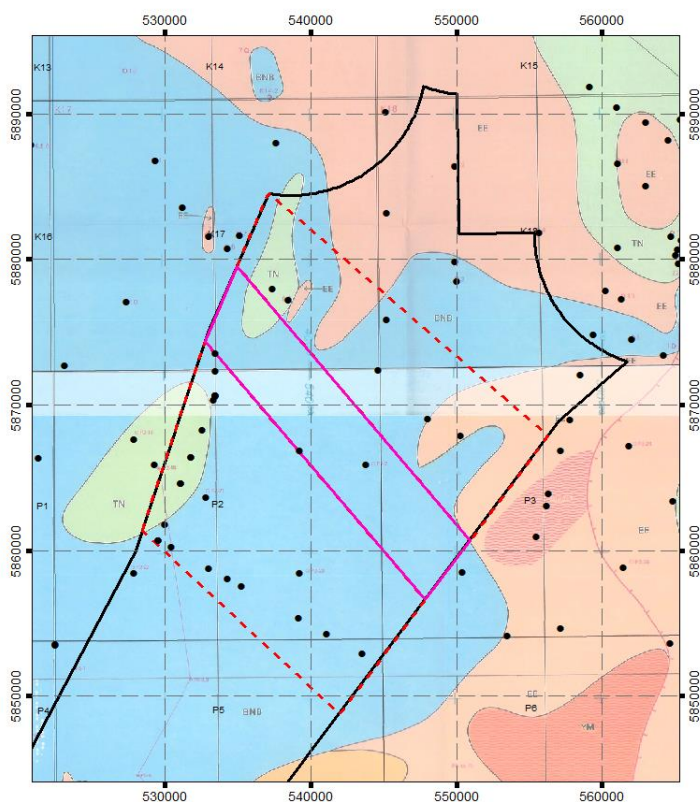
- Een multifunctioneel eiland dat naast de AC-DC transformator hoofdfunctie, ook plaats biedt aan een P2G-plant (aanneem: voor 50% van de windparkcapaciteit), O&M functie, OSB functie, heli-platform, kustwachtvoorziening, een data-centre en 'last but not least' een proces-ondersteunende haven, vraagt een eilandoppervlak op "maaiveld"-niveau van ongeveer 25 ha (500 x 500 m²) om een windpark van 1 GW te kunnen faciliteren.
- De meest voor de hand liggende locatie van een eiland is de noordelijke helft van IJmuiden Ver, het 'zoekgebied'. Dit is ten noorden van het Natura 2000 gebied de 'Bruine Bank' en wordt doorkruist door een shipping corridor waardoor het eiland goed bereikbaar is voor schepen.
- Door de aanwezigheid van noord-zuid georiënteerde zandbanken in IJmuiden Ver kan de lokale diepte binnen het zoekgebied van het eiland variëren van 25 - 35m. Dit kan van invloed zijn voor de benodigde hoeveelheid zand die nodig is voor het (gedeeltelijk) aanleggen van het eiland.
- Binnen het zoekgebied voor het eiland (noordelijke helft IJmuiden Ver) verschillen de windcondities waterstanden, stromingen en golven niet significant. Richting het noorden neemt de afstand tot het amfidromisch punt in de Noordzee toe, waardoor de getij amplitude en de maximale waterstand van zuid naar noord kan toenemen met 0.5 – 1.0 m.
- Er is een onderscheid gemaakt tussen drie verschillende eilandtypen, te weten de 'hoge' terp, de 'lage' polder en de lagune. De terp oplossing lijkt de meest voor de hand liggende type te zijn aangezien er binnen Nederland veel ervaring is met betrekking tot het ontwerp en de uitvoering. Daarmee zijn de kosten ook goed in te schatten.
- Het voor IJVER voorgestelde multifunctionele Terp eiland, met een voor de P2G functionaliteit aangenomen capaciteit ter grootte van 50% van de windenergiecapaciteit, en tevens plaats biedend aan terrein voor OSB, O&M, Heliplatform, Coast Guard en een Data Centre, kost in totaal als functie van het aantal geïnstalleerde Wind-GW's ca. 505+108xGW miljoen Euro (toe te passen voor een windcapaciteit range van 2-8 GW).
- Ten aanzien van de mogelijke aanleg van een multifunctioneel 4GW Terp eiland op ca 70 km ten noorden van de Wadden wordt geconcludeerd dat de technische haalbaarheid tevens goed is, maar de aanlegkosten merkbaar toenemen t.o.v. de IJVER locatie, namelijk met orde 20%.
- Verkennende berekeningen zijn uitgevoerd voor golf geïnduceerde bewegingen van drie verschillende configuraties van hybride eiland oplossingen. Deze berekeningen laten zien dat in alle gevallen de bewegingen voldoen aan algemeen gehanteerde criteria. Condities met wind-gedreven aan de lijzijde van de drijvende eilanden kunnen bewegingen veroorzaken die niet voldoen aan de criteria.

A Appendix voor Hoofdstuk 2

CONFIDENTIEEL

B Appendix voor Hoofdstuk 3

B.1 Geologie: Pleistoceen



Pleistoceen (basis ~500m onder zeeniveau)

2,58 miljoen (Ma) - 11,7 duizend jaar (ka) geleden

Eem Formatie (EE, in rood)

Fijn-gemiddeld schelprijk zand, afwisseling ondiepe mariene, strand(wal) en intergetijde afzettingen, dikte tot ongeveer 10m, Eemien

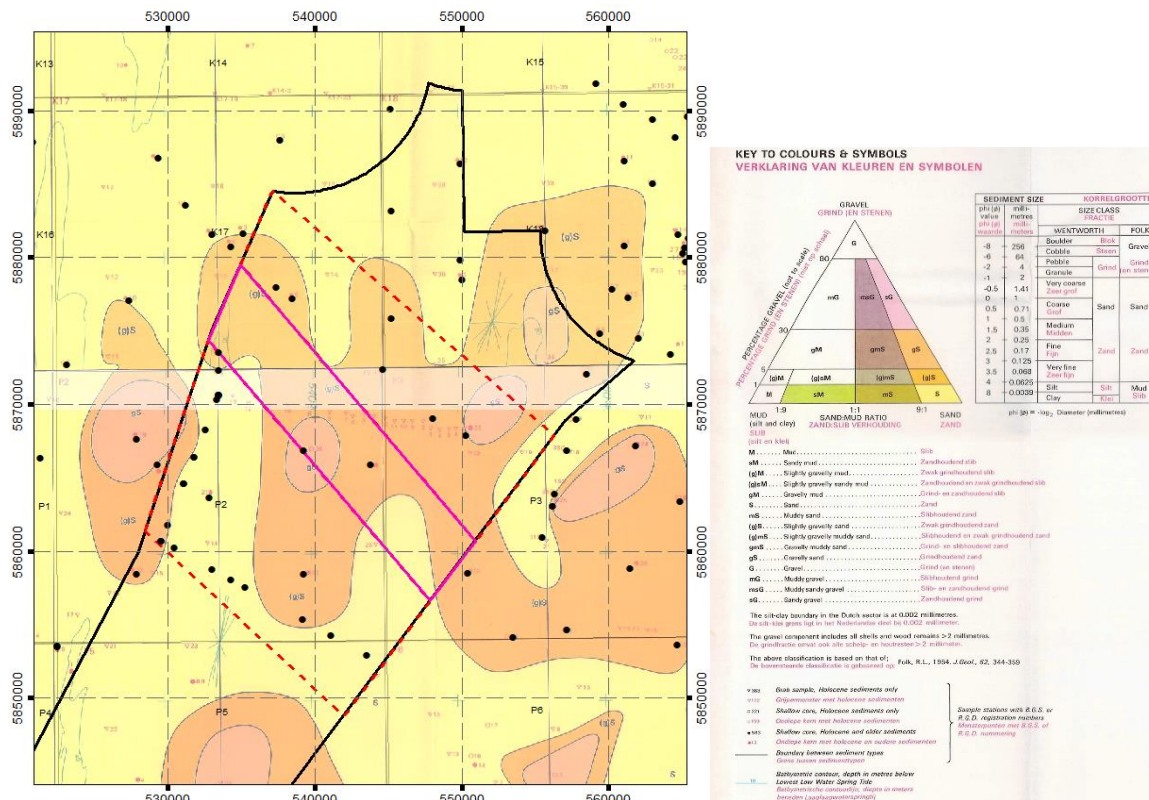
Brown Bank Formatie (BNB, in blauw)

Vnl. Klei, siltig, enkele schelprijke grindlagen aan basis, opeenvolging mariene-brakwater-lacustriene (soms fluviatiele) afzettingen door regressie, dikte tot ongeveer 10 m, vroeg Weichselien.

Boxtel Formatie (BX) (voorheen Twente Formatie - TN op kaart, licht groen)

Goed gesorteerd fijn zand, aeolische peri-glaciale afzetting, voorkomen beperkt (zie geologische kaart) dikte max ~1 m, midden-laag Weichselien

B.2 Geologie: Holocene



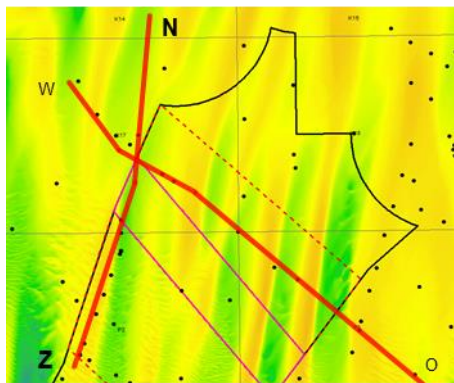
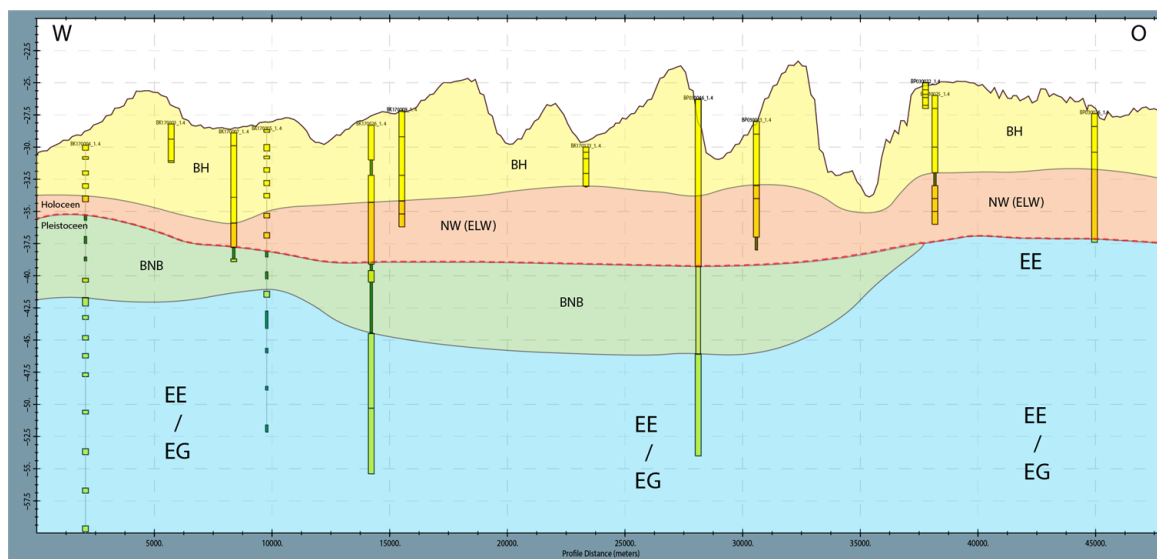
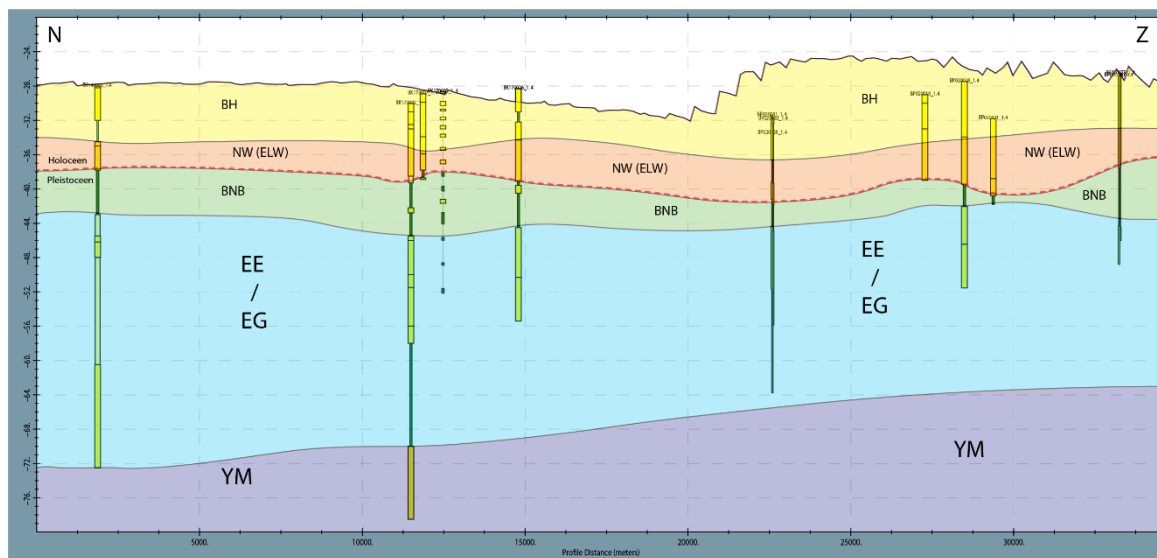
Holoceen

11,7 duizend jaar (ka) geleden – nu

Kaart geeft lithologie van bovenste 10cm van de zeebodem

Noordelijk deel van IJmuiden Ver ligt op bodem van zand, op veel plaatsen matig grindhoudend

B.3 Bodemprofielen

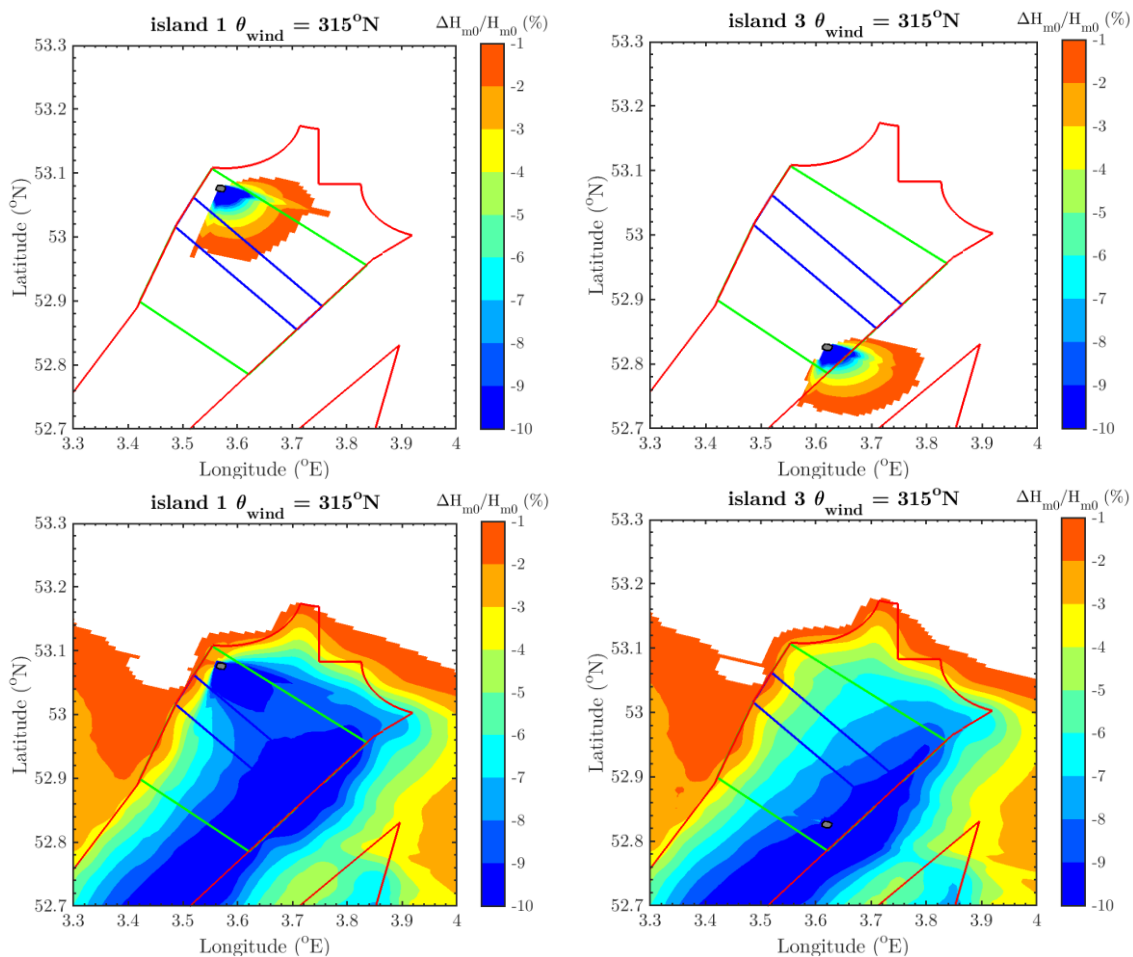


Formatie	Dikte (m)	Lithologie	Bijzonderheden
BH	~5, min 1, max 8	Matig fijn - matig grof zand. Enkele dunne kleilagen. Op veel plekken grindig aan oppervlak.	Schelprijk (fragmenten / gruis / heet)
NW	~5, min 2, max 6	Matig fijn - matig grof zand. Kleig en met klei gelaagd, meer klei en silt dan in BH. Vaak grindig aan de basis.	Schelprijk (fragmenten / gruis / heet), veenbrokjes*
BNB	~5, min 2, max 7	Stugge klei, dunne zandlaagjes van zeer fijn tot matig fijn zand. In oosten mogelijk leem met kleibandjes.	Kalkrijk, schelpresten
EE	24-30	Zeer variabel. Meest voorkomend: zeer tot matig fijn zand met kleilaagjes. Aan de top vaak grindig. Soms dominant klei met lagen van fijn zand.	Kalkrijk, schelpresten en hele schelpen, organisch materiaal, kleibroekjes. Kan keien bevatten
EG			
YM	>80	Matig fijn zand, weinig**. Naar verwachting verschillende lithologiën mogelijk binnen het gebied. Hoofdzakelijk fijn tot matig fijn zand met kleibandjes.	Kalkarm, veenbrokjes

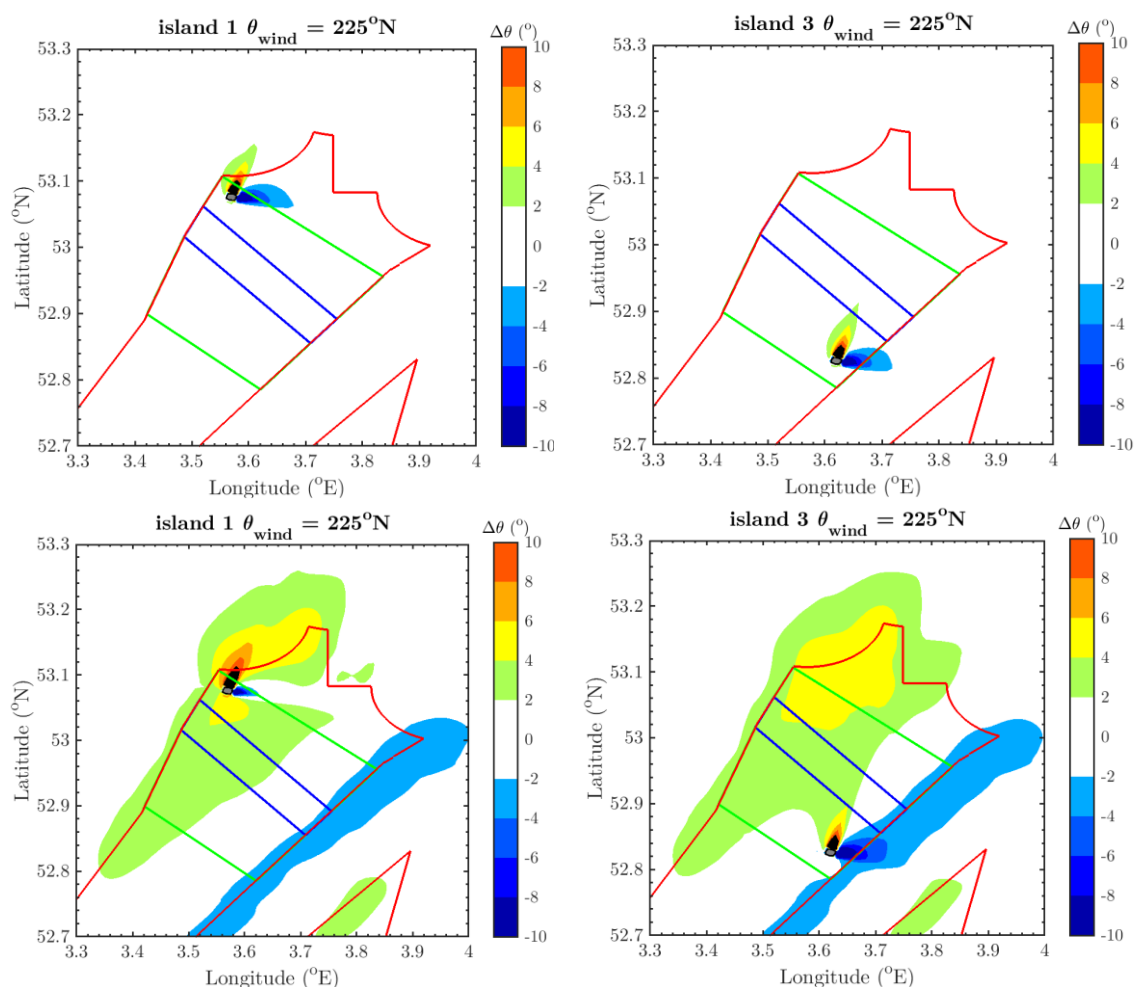
*In het noordwesten (BK160005) is basisveen aangetroffen aan de basis van de Naaldwijk formatie

**De Yarmouth Roads formatie met hierboven beschreven lithologie is in slechts één boring (BK170002) aangetroffen.

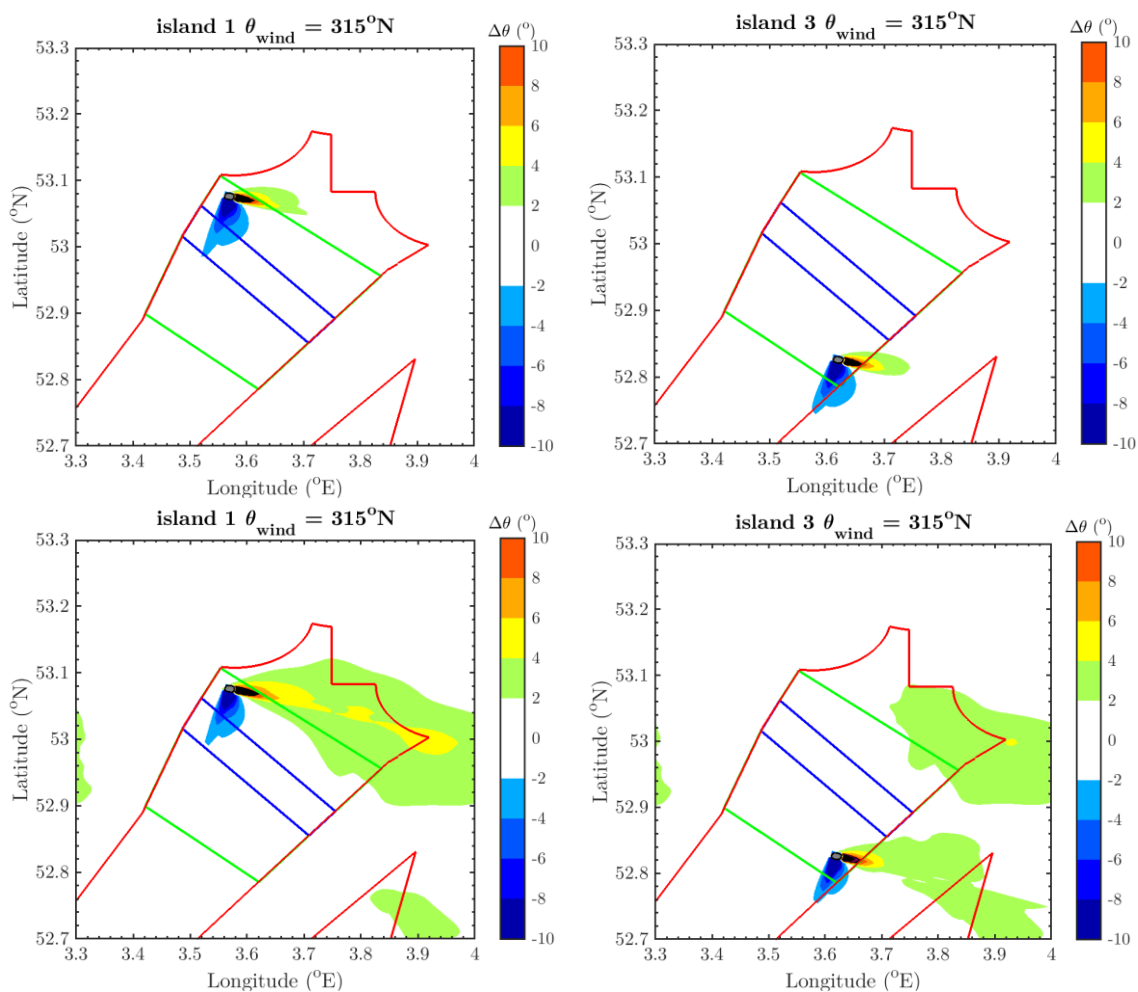
B.4 Impact op golfpropagatie



Figuur 6.1 Modelresultaten van de impact van een conceptueel eiland in de noord-west hoek (links) en de zuidoost hoek (rechts) van het zoekgebied in IJmuiden Ver op de golfhoogte. Boven: enkel de invloed van een eiland, onder: de invloed van het eiland plus aangenomen effecten van de windturbines. Golfcondities zijn op basis van een gemiddelde windconditie uit het noord-westen.



Figuur 6.2 Modelresultaten van de impact van een conceptueel eiland in de noord-west hoek (links) en de zuid-oost hoek (rechts) van het zoekgebied in IJmuiden Ver op de golfrichting. Boven: enkel de invloed van een eiland, onder: de invloed van het eiland plus aangenomen effecten van de windturbines. Golfcondities zijn op basis van een gemiddelde windconditie uit het zuid-westen.



Figuur 6.3 Modelresultaten van de impact van een conceptueel eiland in de noord-west hoek (links) en de zuidoost hoek (rechts) van het zoekgebied in IJmuiden Ver op de golfrichting. Boven: enkel de invloed van een eiland, onder: de invloed van het eiland plus aangenomen effecten van de windturbines. Golfcondities zijn op basis van een gemiddelde windconditie uit het noord-westen.

C Appendix voor Hoofdstuk 4

Appendix C1:

**Samenvatting concept ontwerp golfbreker en oeverbescherming
IJmuiden Ver Referentie-ontwerp (ca 60 ha, incl haven)
2019**

1 Introductie

Een consortium bestaande uit Offshore Service Facilities (OSF), Boskalis, Royal Haskoning DHV en Van Oord onderzoekt de mogelijkheden voor de constructie van een eiland in het toekomstige windmolenpark IJmuiden Ver.

Voor de bouw van het eiland is een tweetal alternatieven uitgewerkt tot een initieel concept ontwerp;

- Terp, een hoog maaiveld, breuksteen golfbreker type
- Meer/rif, twee golfbrekers een relatief lage breuksteen golfbreker met daarachter een meer met een tweede breuksteen golfbreker

In deze memo wordt een beknopte analyse beschreven voor het concept ontwerp van de terp en de meer/rif steen bescherming.

2 Referenties

- [1] CIRIA, CUR, CETMEF, 2007. The Rock Manual: The Use of Rock in Hydraulic Engineering (2nd edition), reprinted 2012. ed, C683. CIRIA, London.
- [2] EurOtop, Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, August 2007
- [3] Design guidelines of single layer concrete armour units

3 Ontwerpuitsgangspunten

De ontwerpuitsgangspunten zijn vastgelegd tijdens meerdere overleggen tussen de Joint Venture partners.

Startpunt is een eiland met voldoende hoog maaiveld om het benodigde functionele gebied (ha) te bieden met droge voeten, waarbij rondom bescherming tegen golfaanval en toegang tot het havengebied worden verzorgd door oeververdediging en golfbrekers.

3.1 Verticaal referentie vlak

Alle ontwerpen worden gerelateerd aan Chart Datum (CD), welke gelijk is aan laagst astronomisch getij (LAT).

3.2 Algemene ontwerpcondities

Tabel 6.1 Algemene ontwerpcondities

Parameter	Symbool	Eenheid	Grootheid
Dichtheid water	ρ_w	[kg/m ³]	1030
Dichtheid steen	ρ_s	[kg/m ³]	2650
Dichtheid beton	ρ_c	[kg/m ³]	2400
Zwaartekracht versnelling	g	[m/s ²]	9.81

3.3 Eisen

Tabel 6.2 Functionele eisen

Parameter	Eenheid	Grootheid
Oppervlakte bruikbare land (excl. Haven)	[ha]	45
Oppervlakte droog haventrein	[ha]	5
Oppervlakte haven bassin	[ha]	10
Lengte zware kademuur	[m]	150
Lengte gewone kademuur	[m]	350
Lengte drijvende steigers	[m]	150
Niveau eiland	[m CD]	8
Niveau haven bassin	[m CD]	-15

De eisen aan het ontwerp zijn opgesomd in de onderstaande tabel. Deze eisen gelden tijdens de maatgevende storm (zie 3.5). Stabiliteitseisen zijn belangrijk voor de veiligheid van de constructie tijdens storm, golfoverslageisen zijn belangrijk voor de bescherming van de activiteiten, gebouwen en installaties op het eiland. Golfoverslageisen vergen nadere afweging in een volgende fase, waarbij de bescherming van gebouwen en installaties nabij de oeverbeschermingen moet worden meegewogen.

Tabel 6.3 Stabiliteit en overslag eisen

Parameter	Symbool	Eenheid	Grootheid	Opmerking
Overslag op bruikbare land grens	q	[l/m/s]	5.0	Mogelijk bescherming gebouwen nodig
Stabiliteit natuursteen (teen / armour)	N_{od} / S_d	[-]	"start of damage"	veilige ontwerpwaarde, exacte waarde afhankelijk van faalmechanisme en talud

Wanneer betonnen elementen worden toegepast wordt de betreffende ontwerprichtlijn gevolgd, met uitgangspunt weinig tot geen schade tijdens de ontwerpstorm.

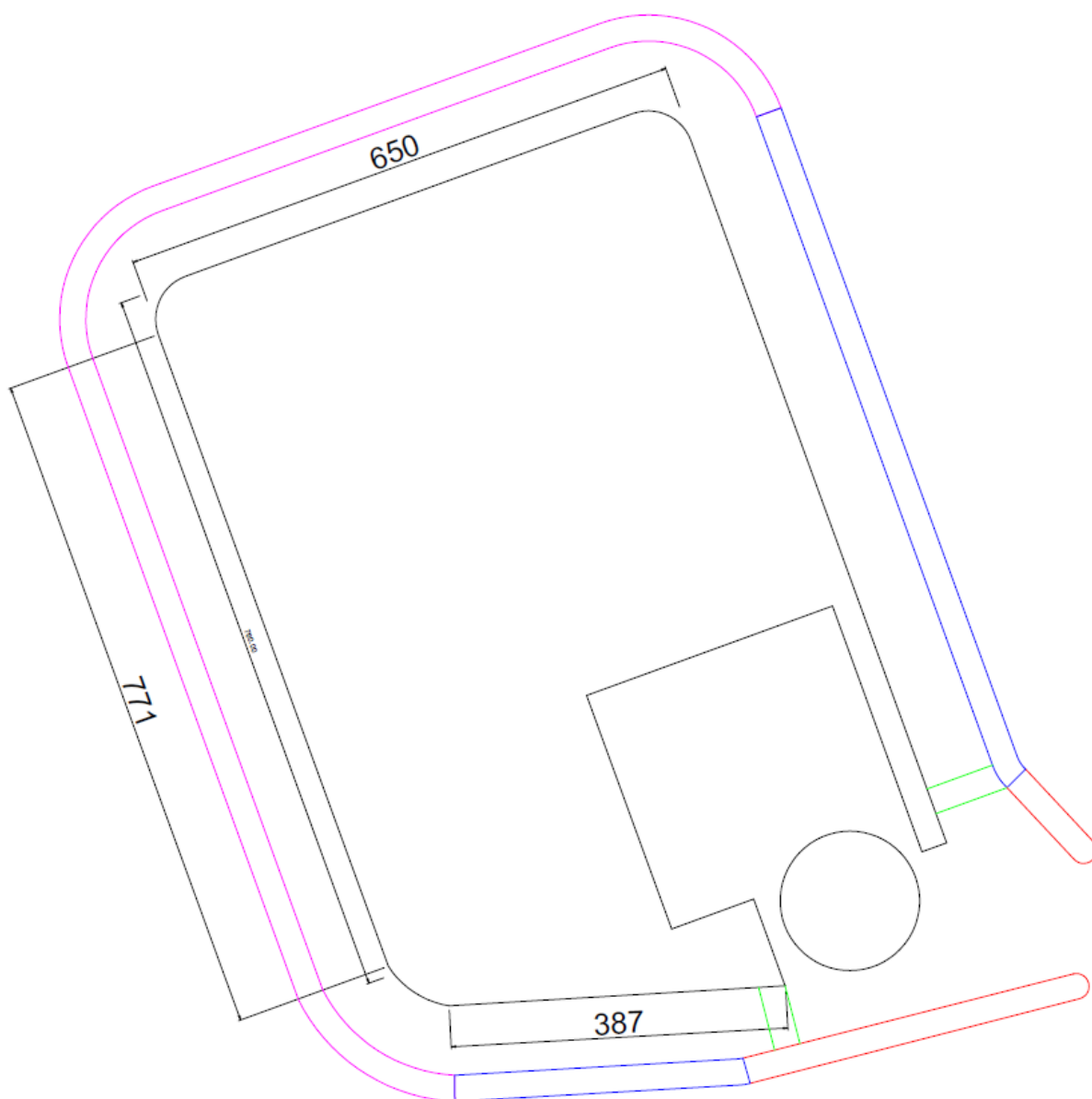
3.4 Bestaande zeebodem

De bestaande zeebodem wordt als gemiddeld CD – 23m aangehouden in dit ontwerp.

3.5 Hydraulische ontwerpcondities

De locatie van het eiland zorgt voor verschillende golfbelastingen per kant van het eiland. Voor het concept ontwerp is gekozen om de hydraulische condities in twee groepen te splitsen, een zwaar aangevallen (west en noord) met ontwerpgolven van $H_s = 8\text{m}$ en lichter aangevallen kant (zuid en oost) met ontwerpgolven van $H_s = 5\text{m}$.

Ontwerpwaterstanden zijn bepaald op basis van maximale stormwaterstand (wind-opzet) in combinatie met getij-opzet (springtij) en zeespiegelstijging. Dit resulteert in waterstanden tot boven CD + 4m.



Figuur 6.4 Indicatie van de layout

Kleur	Object
Zwart	Rand land oppervlakte, achterkant terp
Magenta	Rif, zwaar aangevallen
Blauw	Rif, licht aangevallen
Rood	Golfbreker
Groen	Overgangs bescherming (allen voor rif)

4 Ontwerpfilosofie

Twee conceptontwerpen zullen worden beschreven in dit rapport;

- rif concept
- terp concept

De ontwerpen volgen een verschillende ontwerpfilosofie en worden daarom elk kort toegelicht in de onderstaande paragrafen.

4.1 Rif concept

Het rif concept omvat twee constructies met daar tussen een water partij. Een relatief lage rif golfbreker reduceert de inkomende golfhoogte. Een beperkt deel van de golfenergie zal door en over de rif golfbreker komen.

Een relatief lichte oeverbescherming zal bestand zijn tegen de resulterende verlaagde golfbelasting.

4.2 Terp concept

Het terp concept omvat, in tegenstelling tot het rif concept, een enkelvoudige constructie. De constructie bestaat uit steile wade steile oeverbescherming. De bekleding zal bestaan uit betonnen elementen die in een enkele laag te plaatsen zijn, zoals bijvoorbeeld Xblocs, Accropodes (II), Corelocs, of Cubipods.

Op de kruin zal een keermuur worden geïnstalleerd om te voldoen aan de overslag criteria.

5 Ontwerp golfbrekers en oeverbescherming

5.1 Haven golfbrekers, golftransmissie en kruinhoogte

In zowel een rif als een terp concept zal een golfbreker opgenomen worden om een beschutte toegang tot de haven te realiseren.

De golfbreker wordt ontworpen om de inkomende golf ($H_s = 5.0 \text{ m}$) te reduceren tot een maximale golfhoogte van $H_s = 0.5 \text{ m}$ achter de golfbreker. Deze aanname zal, samen met de oriëntatie van de golfbrekers, verder worden onderzocht in een meer gedetailleerde ontwerpstep.

Dit resulteert in een kruinhoogte van CD + 6.5m, met steile taluds van de golfbreker (1:1.5).

5.2 Rif concept

5.2.1 Golftransmissie en kruinhoogte, rif golfbreker

De dimensies van de rif golfbreker nodig om de golf te reduceren tot orde $H_s = 1.5 \text{ m}$ zijn afhankelijk van de intensiteit van de golfaanval. Voor de zwaar aangevallen sectie volgt een kruinhoogte van CD + 9m, voor de lichter aangevallen sectie een hoogte van CD + 5m.

5.2.2 Stabiliteit beton elementen, rif golfbreker

De rif golfbreker zal worden uitgevoerd met betonnen elementen. Voor golfbrekers met hoge overslagvolumes is met name een element geschikt dat stabiliteit (deels) uit het gewicht haalt, zoals betonnen kubussen, of voor een enkellaags systeem de Cubipod. Elementen zoals Xbloc of Accropode (II) zijn ook mogelijk met speciale aandacht voor de stabiliteit van de kruin. Voor het concept ontwerp van de rif golfbreker is de Cubipod voorzien, met een massa van 10t tot 40t voor de lichtere en zwaardere aangevallen secties (enkellaags). De stabiliteit van de betonnen elementen wordt berekend met de Hudson formule ([1], p564).

5.2.3 Stabiliteit oeverbescherming, rif concept

De stabiliteit voor de tweede bescherming, de oeverbescherming, wordt bepaald aan de hand van de Van der Meer formules voor diep water ([1], p567).

De resulterende golf achter de rif golfbreker is beperkt tot orde $H_s = 1.5 \text{ m}$, waardoor een oeverbescherming met gradering 300-1000kg mogelijk is op een taludhelling van 1:3.

5.3 Terp concept

5.3.1 Stabiliteit beton elementen, terp concept

Voor de oeverbescherming van de terp is gekozen voor enkellaags betonnen elementen zoals Xbloc of Accropode (II). Deze elementen halen een deel van hun stabiliteit uit de haakweerstand tussen de elementen.

Het benodigde volume van deze elementen wordt bepaald a.d.h.v. de betreffende ontwerprichtlijnen, resulterend in orde 5 m^3 voor de minst aangevallen secties tot 20 m^3 voor de zwaarst aangevallen hoeken.

De stabiliteit van het talud zal worden getest doormiddel van fysische modelproeven. De gekozen afmetingen van de elementen kan tijdens deze proeven verder worden geoptimaliseerd.

5.3.2 Overslag, terp concept

Voor het conceptontwerp is een maximale overslag van 5 l/m/s op de rand van de bruikbare ruimte van het eiland vastgesteld (zie hoofdstuk 45). Het terp concept omvat een steile constructie met betonnen elementen en een keermuur. De overslag voor dit type constructies is onderzocht in [2] en in specifieke studies gebaseerd op ervaringen in andere projecten. Door de vrij grote golfaanval is een hoge kruin nodig om het debiet voldoende te beperken, mede afhankelijk van de breedte van de kruin (een grotere breedte reduceert de overslag).

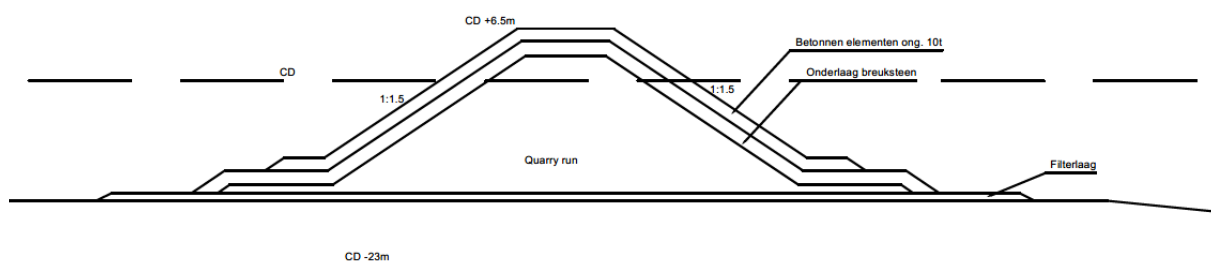
Voor het concept ontwerp resulteren kruinhoogtes (bovenkant keermuur) van CD+11m tot CD+17m.

5.3.3 Teen stabiliteit, terp concept

De benodigde stabiliteit van de teen wordt voor maatgevende laagwater en hoogwaterstand bepaald met de bijbehorende golfbelasting. De teenstabiliteit wordt bepaald met de methoden die in de Rock Manual ([1]) wordt vermeld, resulterend in steengraderingen tot 8-12t.

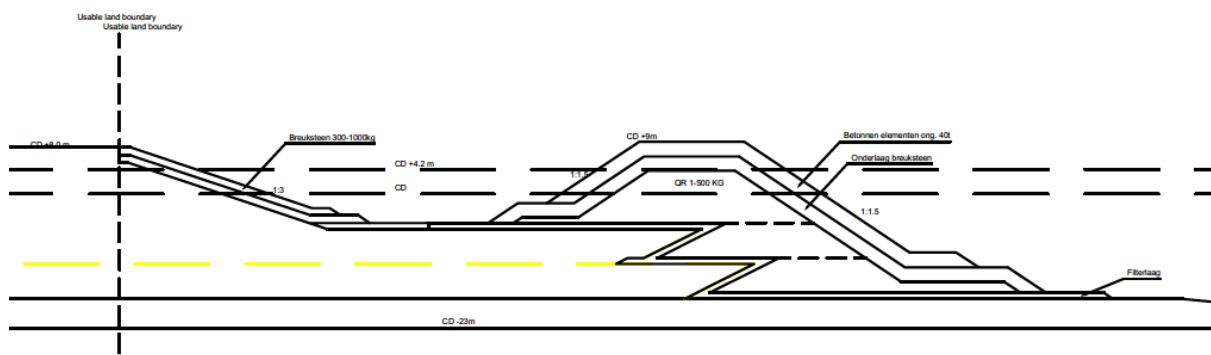
6 Resulterende doorsneden

6.1 Golfbreker



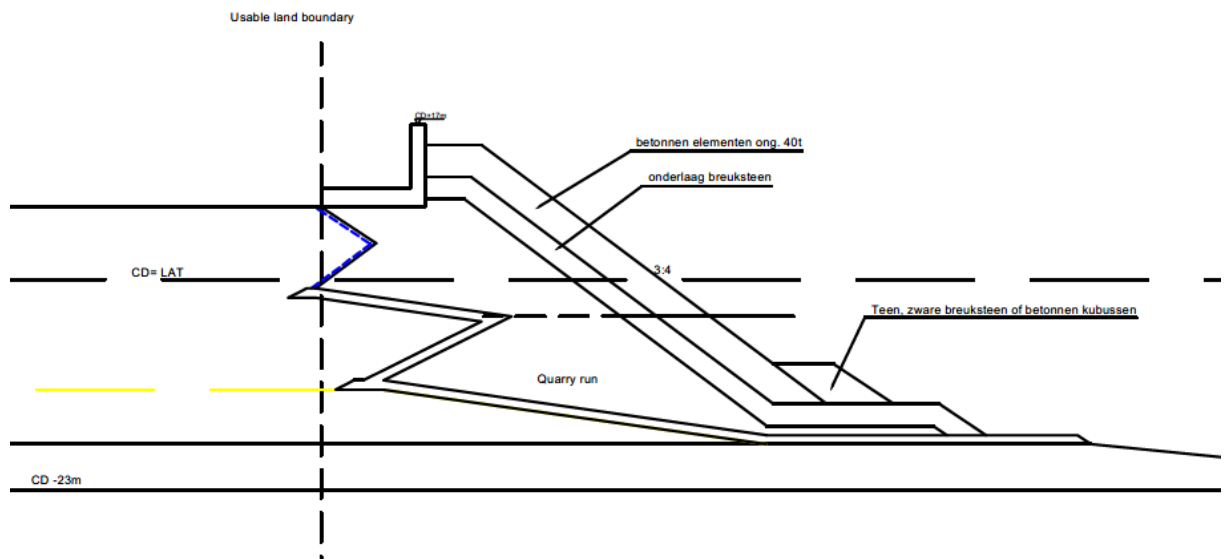
Figuur 6.5 Schets doorsneden golfbreker

6.2 Rif concept doorsneden



Figuur 6.6 Schets doorsneden rif concept zwaar aangevallen ($H_s=8m$)

6.3 Terp concept doorsneden



Figuur 6.7 Schets doorsneden terp concept zwaar (Hs=8m)

Appendix C2: Klimaat-adaptief concept

Bij Deltares wordt onderzoek gedaan naar concepten voor klimaat-adaptief bouwen van water-gerelateerde infrastructuur. In de principeoplossingen wordt rekening gehouden met onzekerheden in klimaatverandering. Echter, de voorspellingen van veranderingen van klimaatverandering zijn onderhevig aan grote onzekerheden.

Om infrastructuur robuust te kunnen ontwerpen en beheeren moet niet alleen de voorspelling van de klimaatverandering meegenomen worden in het ontwerp maar zeker ook de onzekerheid van deze voorspellingen. Het meenemen van deze onzekerheden in het ontwerp van infrastructuur vraagt om concepten van waterkerende en andere water-gerelateerd infrastructuur waarbij de constructies relatief gemakkelijk aangepast kunnen worden als de werkelijke klimaatverandering anders blijkt te zijn dan is voorspeld.

Dit vraagt om principeoplossingen waarbij een mate van flexibiliteit in het ontwerp van infrastructuur wordt ingebouwd. Een potentiële fysieke oplossing heeft in de oplossing dan een adaptief onderdeel, zoals bijvoorbeeld een energie-dissipatie-zone.

Een klimaat-adaptief concept is ook een mogelijke oplossing voor energie-eilanden. Deze wordt hieronder beschreven.

Het klimaat-adaptief concept dat hier nu is uitgewerkt, laat de inkomende golf van ongeveer 8m grootte breken op een flauw talud van stortsteen. Dit wordt de energie-dissipatiezone genoemd. Aan het einde van deze zone steekt een kruin van steen boven water. Achter deze kruin blijft dan een golfhoogte over van ongeveer 1m grootte. Het eiland dat hier weer achter ligt kan dan zowel als vast eiland met een lichte beschermingsconstructie als ook drijvend verder ontwikkeld worden.

Wanneer de golfcondities en de zeespiegel als gevolg van klimaatverandering in de toekomst toeneemt, kan de constructie afhankelijk van de mate van verandering worden aangepast, door bijvoorbeeld de kruin in zeerichting te verbreden, de energie-dissipatiezone met stroken van steen te verhogen of deze zone zelf te verbreden.

De onzekerheden behorende omtrent de discussie rondom klimaatverandering hoeven dan niet direct te worden vertaald in dure oplossingen en investeringen kunnen worden doorgeschoven naar later wanneer er meer duidelijkheid is over de trend.

Het toevoegen van natuur aan een klimaat-adaptief concept is ook mogelijk.

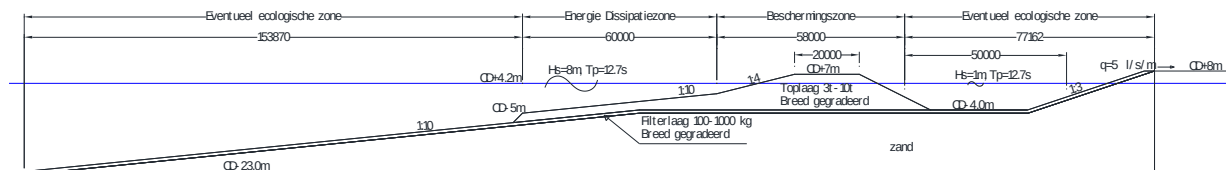
Achter de kruin, die boven water uitsteekt, kan op het binnentalud gekozen worden voor natuurlijke begroeiing (b.v. zout-water grassen). Deze extra demping kan dan ook bijdragen aan een vermindering van de golftransmissie in de richting van het vaste of drijvende eiland. De precieze effectiviteit van oplossing waarin ook de natuur een rol speelt dient nog wel verder uitgezocht te worden.

Doordat dit concept uitgaat van een lange energie-dissipatiezone zullen de reflecties beperkt blijven. Hierdoor ontstaan er ook kansen voor onderwaternatuur, zoals oesters en kunnen er kraamkamers ontstaan voor bijvoorbeeld kabeljauw en zeebaars.

De afmetingen van de constructie en de benodigde grootte van steengradering zijn bepaald op basis van de resultaten van fysische modelproeven op velerlei constructies die bij Deltares zijn uitgevoerd voor klanten en in onderzoeksprojecten.

Handboeken en richtlijnen voor het ontwerp van klimaat-adaptieve constructies bestaan nog niet. Optimalisaties voor dit ontwerp zijn dan ook alleen te bereiken door de constructie eerst als 2D model in een golfgoot en later als 3D model in een golfbasin op een juiste fysische modelschaal te testen.

Onderstaande figuur geeft het klimaat-adaptief concept weer voor stormcondities van ongeveer 8m significant golfhoogte.



Figuur 6.8: Klimaat-adaptief concept

D Appendix voor Hoofdstuk 5

	Small	Medium	Large	
<i>number</i>	1	4	10	[-]
<i>L</i>	40	50	100	m
<i>B</i>	25	50	50	m
<i>Total Area</i>	1,000	10,000	50,000	m ²
<i>T</i>	3.0	3.0	4.0	m
<i>KG</i>	5.0	5.0	5.0	m
<i>Rxx</i>	8.3	16.7	16.7	m
<i>Displ</i>	3,000	7,500	20,000	m ³
<i>It</i>	5.21E+04	5.21E+05	1.04E+06	m ⁴
<i>BM</i>	17.4	69.4	52.1	m
<i>KB</i>	1.5	1.5	2.0	m
<i>KM</i>	18.9	70.9	54.1	m
<i>GM</i>	13.9	65.9	49.1	m
<i>T roll</i>	5.8	5.4	6.2	s

Concrete floating building ground (box cellar type)	m ²	small size 1.000	medium size 10.000	large size 50.000
IJVER Functionality	Type	Operations Building, Workshop	Ware house, Heli Platform	Open Storage, Hydro Plant
Mooring solution		Flexbase (cables and anchor blocks), or vertical mono piles	Vertical mono piles	Vertical mono piles
Wave Conditions - Sea wind waves				
Spectrum type		JONSWAP	JONSWAP	JONSWAP
Protected (harbour) Basin	Hs, Tp	0.5m, 10s	0.5m, 10s	NA
"sheltered" sea behind (transmitting) Reef	Hs, Tp	1.5m, 10s	1.5m, 10s	1.5m, 10s
Lee side sea area, east of IJVER island	Hs, Tp	NA	NA	5.0m, 10s
Wave Conditions - Swell waves				
Protected harbour Basin	Hs, Tp	0.2m, 16s	0.2m, 16s	NA
"sheltered" sea behind (transmitting) Reef	Hs, Tp	0.2m, 16s	0.2m, 16s	0.2m, 16s
Lee side sea area, east of IJVER island	Hs, Tp	NA	NA	1.0m, 16s

Figuur 6.9: Frames of reference

