

## Verkenning haalbaarheid diepe zandwinning Noordzee



## Verkenning haalbaarheid diepe zandwinning Noordzee

### Auteur(s)

Tommer Vermaas

Pim Willemsen

Rick Veldhuizen

Sebastiaan Mestdagh

## Verkenning haalbaarheid diepe zandwinning Noordzee

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Zee en Delta
<b>Contactpersoon</b>	Wout van Dijk
<b>Projectreferenties</b>	-
<b>Trefwoorden</b>	Zandwinning, diepe winning, ecologie, morfologie, geologie

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	2.0
<b>Datum</b>	13-02-2026
<b>Projectnummer</b>	11212147-002
<b>Document ID</b>	11212147-002-BGS-0002
<b>Pagina's</b>	45
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	Definitief

### Auteur(s)

	Tommer Vermaas Pim Willemsen Rick Veldhuizen Sebastiaan Mestdagh	

# Samenvatting

Deze verkenning onderzoekt de haalbaarheid van diepe zandwinning tot 12 m onder de zeebodem in de Noordzee als alternatief voor het huidige beleid van winning tot 4 en soms 6 m diepte. Ook is gekeken naar zandwinning in voormalige windparken en mogelijkheden voor meervoudig ruimtegebruik van kabeltracés. De aanleiding voor beide onderdelen is een verwachte toename van zandbehoefte voor kustverdediging en ophoogzand door zeespiegelstijging.

Dit rapport is voornamelijk gebaseerd op bestaande literatuur en expert kennis. Daarnaast is gebruik gemaakt van het offshore model van de ondergrond ten behoeve van zandwinning – het Delfstoffen Informatie Systeem (DIS). Er zijn vragen rondom drie onderwerpen onderzocht:

## Geologie:

- Op welke gebieden is het mogelijk dieper te winnen?
- Hoe kan er rekening gehouden worden met de aanleg van kabels?

## Morfodynamiek:

- Wat is het effect van dieper winnen op de morfologie van de omliggende zeebodem en welke risico's zijn er ten aanzien van de afstand tot bestaande infrastructuur?
- Is het mogelijk om na ontmanteling van een windpark op deze locatie zand te winnen?

## Ecologie:

- Welk effect heeft diepe zandwinning op de natuur, rekening houdend met de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) en Natura 2000 doelstellingen?

De belangrijkste bevindingen zijn:

## Geologie:

- Ook op grotere diepte is geschikt zand aanwezig, maar in mindere mate dan in de eerste 6 meter. Het type zand is voor de meeste delen van de kust vergelijkbaar qua korrelgrootte op grotere diepte, alleen bij Zeeland is er duidelijk meer grof zand op grotere diepte aanwezig.
- Wanneer er zand wordt gewonnen vóórdat kabels worden aangelegd levert geen problemen op voor kabelaanleg mits de helling niet te steil is. Langs een volledig kabeltracé komt wel een groot volume in één keer beschikbaar, waar een geschikte suppletielocatie voor moet zijn. Technisch is het mogelijk om kabels veel dieper te leggen, waarna erboven zand zou kunnen worden gewonnen. Hiervoor is echter wel aanpassing van bestaande wetgeving nodig en zijn er verschillende vraagstukken rondom risico's die nader uitgewerkt zouden moeten worden.

## Morfodynamiek:

- Diepe putten vullen zich langzaam (decennia tot eeuwen) en migreren beperkt (meters per jaar). Er is geen significante invloed op de kustlijn bij putten gemaakt in waterdieptes >14 m.
- Het is aannemelijk dat voormalige windparken geschikt zijn voor zandwinning, waarbij wel rekening moet worden gehouden met de minimale afstand tot een (oude) turbine en andere infrastructuur. Hiertussen blijft echter nog een gebied met een significante oppervlakte over voor zandwinning.

## Ecologie:

- Door verandering van abiotiek (bathymetrie, initieel verdieping, waarna (beperkte) opvulling plaatsvindt; sedimentkarakteristieken, waaronder korrelgrootte en slibgehalte; en hydrodynamiek, waaronder bodemschuifspanningen) na zandextractie in (middel)diepe winputten veranderen benthische gemeenschappen,

veelal resulterend in minder diversiteit van benthos. Volledige herkolonisatie vindt niet plaats op een tijdschaal van decennia in (middel)diepe winputten. Of dit op langere tijdschalen wel het geval is, valt te betwijfelen door een veranderde koloniatiegeschiedenis van de winlocatie en blijvend veranderde abiotiek. Door een blijvend veranderde abiotiek, gaat – in de geest van KRM – ook de kwaliteit van de habitat achteruit.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>7</b>
1.1	Uitgangspunten	7
1.2	Onderzoeksvragen	7
1.2.1	Geologie	8
1.2.2	Morfodynamiek	8
1.2.3	Ecologie	8
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>9</b>
2.1	Geologie	9
2.2	Morfodynamiek	10
2.3	Ecologie	11
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>12</b>
3.1	Geologie	12
3.1.1	Type zand	12
3.1.2	Hoeveelheid winbaar zand	14
3.1.3	Zandwinning en kabels & leidingen	17
3.2	Morfodynamiek	19
3.2.1	Introductie	19
3.2.2	Opvulsnelheden van een zandwinput	19
3.2.3	Migratiesnelheden van een zandwinput	20
3.2.4	Invloed zandwinput op kustlijn	21
3.2.5	Zand winnen in voormalige windparken	22
3.3	Ecologie	23
3.3.1	Introductie	23
3.3.2	Sedimentkarakteristieken	24
3.3.3	Benthos in voormalige zandwinputten	27
3.3.4	Kaderrichtlijn Mariene strategie en Natura 2000	31
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>38</b>
4.1	Geologie	38
4.2	Morfodynamiek	38
4.3	Ecologie	39
	<b>Referenties</b>	<b>41</b>

# 1 Introductie

Sinds 2000 wordt er in Nederland jaarlijks ca. 25 miljoen m<sup>3</sup> zand uit de Noordzee gewonnen. Ongeveer de helft hiervan wordt door de industrie gebruikt – voornamelijk voor ophoogzand – de andere helft voor kustverdediging in de vorm van suppleties.

Onder het huidige beleid wordt zand op zee gewonnen tot 2 of 4 meter onder de oorspronkelijke zeebodem, soms tot 6 m. Als in de toekomst de zandbehoefte toeneemt, bijvoorbeeld om de kustlijn in stand te houden bij zeespiegelstijging, moet er gekeken worden naar alternatieven voor het huidige beleid. Een mogelijke oplossingsrichting is om tot grotere dieptes zand te gaan winnen, tot 12 meter onder de zeebodem. Ook zou er mogelijk in de toekomst weer zand gewonnen kunnen worden binnen voormalige windparken, nadat deze ontmanteld zijn.

In deze verkenning richten we ons op drie aspecten van diepere winning en brengen we hier een advies over uit. Het gaat daarbij over de lange termijn ontwikkeling op deze drie onderwerpen:

## 1. Geologie

Om dieper te winnen, moet er op grotere diepte geschikt zand zijn, en er geen stoorlagen (klei of veenlagen) aanwezig zijn.

## 2. Morfodynamiek

Tot grotere diepte winnen kan invloed hebben op nabijgelegen kabels en leidingen, door bijvoorbeeld verplaatsing van de put of het verflauwen van de randen. Daarnaast brengt het winnen van zand in voormalige windparken ook vragen met zich mee.

Of en hoeveel zand er na ontmanteling van een windpark kan worden gewonnen hangt af van de manier van ontmantelen: blijven oude kabels liggen, en tot welke diepte worden de turbines/funderingen verwijderd?

## 3. Ecologie

De bestaande benthosgemeenschap op een locatie wordt bepaald door een combinatie van abiotische omstandigheden. Het dieper winnen van zand heeft impact op deze abiotiek, doordat de hydrodynamica wordt beïnvloed en daarmee de sedimentsamentelling in en om de put, maar ook doordat er verstoring plaatsvindt bij de winning zelf. Ook kan (grootschalige) zandwinning sedimentatie-erosie patronen beïnvloeden. Beiden kunnen een effect hebben op de bodemecologie.

Per discipline worden de onderzoeksvragen gegeven en worden vervolgens de methodes beschreven.

## 1.1 Uitgangspunten

Het uitgangspunt van deze studie is het winnen tot 12 m onder de oorspronkelijke zeebodem. Dit wordt bekeken ten opzichte van 4 tot maximaal 6 m als huidig beleid.

## 1.2 Onderzoeksvragen

Onderstaande door Rijkswaterstaat gestelde vragen zullen worden onderzocht.

### 1.2.1 Geologie

- In welke gebieden is het mogelijk tot dieper te winnen, rekening houdend met stoorlagen en karakteristieken van het zand?
- Hoe kan er rekening gehouden worden met de aanleg van kabels? Ofwel: Is het mogelijk dat vooraf zand gewonnen kan worden en hoe? Wat zijn efficiënte routes voor kabeltracés? En hoe kan er strategisch gebruikt worden gemaakt van tracés en zandwinning?

### 1.2.2 Morfodynamiek

- Wat is het effect van dieper winnen op de omliggende zeebodem, en specifiek: Welke morfologische veranderingen van de put zijn belangrijk ten aanzien van de afstand tussen een zandwinput en een kabel of leiding? Voor het bepalen van deze afstand zal gekeken worden bij de ontwikkeling van een zandwinput naar een morfologisch evenwicht of tot maximaal 50 jaar na zandwinning.
- Is het mogelijk om na ontmanteling van een windpark op deze locatie zand te winnen? Zo ja, wat zijn de minimale eisen en wat betekenen verschillende ontmantelingsmethoden op de hoeveelheid winbaar zand?

### 1.2.3 Ecologie

Welk effect heeft diepe zandwinning op de natuur, rekening houdend met de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) en Natura 2000 doelstellingen?

## 2 Methoden

### 2.1 Geologie

Om de winbaarheid van het zand en de karakteristieken ervan in beeld te brengen is het Delfstoffen Informatie Systeem (DIS) voxelmodel bevraagd. Het voxelmodel is een driedimensionaal geostatistisch ondergrondmodel gebaseerd op boringen (DIS 2.1) en boringen met geïnterpreteerde seismische data (DIS 3.1).

Het DIS geeft informatie over de eerste twaalf meter onder zeebodem voor het reserveringsgebied zand (gelegen tussen de 'doorgaande NAP -20 m dieptelijn' en de 12 nautische mijl grens). DIS 3.1 is ook deels landwaarts van de doorgaande NAP -20 m lijn beschikbaar. Per cell van 250x250 m (DIS 2.1) en 200x200 (DIS 3.1) is er per 50 cm laag het meest waarschijnlijke sedimenttype aangegeven (klei/leem/veen/schelpen en zand met meerdere klassen in korrelgroottes). Er is voor het onderscheiden van types zand alleen gebruikt van de korrelgrootte klasse. De klassen zand verschillen tussen DIS 2.1 en DIS 3.1, in DIS 3.1 is één van de klassen opgesplitst (zie Tabel 2.1).

Doordat er weinig boringen zijn dieper dan 6 m, is het model onzekerder voor 6 tot 12 m diepte. Dit betekent voor de analyse dat er een grotere onzekerheid bestaat over de informatie op grotere diepte.

Meer informatie over het DIS is te vinden op <https://publicwiki.deltares.nl/>.

Het bevragen is gedaan voor DIS 2.1 voor heel Nederland en DIS 3.1, vanwege beschikbaarheid, voor het reserveringsgebied voor zandwinning voor de kust van Zeeland en Zuid-Holland. In dit rapport worden deelgebieden verder aangeduid met locaties, provincies of gebieden op land, waarmee naar het reserveringsgebied zand voor de kust hiervan wordt gerefereerd.

Tabel 2.1 Zand types in DIS 2.1 en DIS 3.1

Klassen DIS 2.1 D50 in micrometer	Klassen DIS 3.1 D50 in micrometer
Zand uiterst fijn: 63-105	Zand uiterst fijn: 63-105
Zand matig fijn-zeer fijn: 105-210	Zand matig fijn-zeer fijn: 105-210
Zand matig en zeer grof: 210-420	Zand matig grof: 210-300
Zand uiterst grof: 420-2000 (inclusief grind, >2000)	Zand zeer grof: 300-420
	Zand uiterst grof: 420-2000 (inclusief grind, >2000)

De bevraging van de modellen is gedaan met nieuwe functionaliteit van het GeoST python-package (The Geological Subsurface Toolbox (GeoST) package<sup>1</sup>). Met de nieuwe functionaliteit zijn snel eigenschappen van het DIS voor verschillende diepte intervallen te verkrijgen, zoals het meest voorkomende sedimenttype of de totale dikte (per gridcell) van een specifiek sedimenttype. Hierbij is het makkelijk om andere informatie mee te nemen, zoals een stoorlaag of andere referentie van de zeebodem – bijvoorbeeld de zeebodem vóór zandwinning (zie onder). De functionaliteit is ook makkelijk te combineren met reeds bestaande functies in andere python packages.

Momenteel is de nieuwe functionaliteit alleen beschikbaar voor ontwikkelaars, op termijn

<sup>1</sup> <https://deltares-research.github.io/geost/index.html>

wordt deze functionaliteit toegevoegd aan de via *pypi* beschikbare versie<sup>2</sup>, die gemakkelijk door anderen is te installeren.

Bij de bevraging van het model is rekening gehouden met:

- De oorspronkelijke zeebodem: deze is zo goed mogelijk gereconstrueerd op basis van oudere metingen, hoewel hier nog verbetering in mogelijk is. Deze bodem is samengesteld met metingen uit verschillende jaren, waarbij visueel is bekeken wat de recentste meting van vóór de zandwinning is (NB: er is geen zandwininput in te zien). Door het gebruiken van de oorspronkelijke zeebodem wordt rekening gehouden met eerdere zandwinning en daarmee op de juiste dieptes bevraged. Dit geldt alleen voor de plekken waar zandwinning al in de referentiebodem van het DIS heeft plaatsgevonden.
- De diepte van stoorlagen, waarbij 50 cm klei, leem of veen als stoorlaag is gehanteerd. Zand onder een stoorlaag is als niet-winbaar beschouwd.

Op basis hiervan zijn voor de eerste zes meter onder de zeebodem (0-6 m) en de tweede zes meter (6-12 m) kaarten gemaakt van 1) meest voorkomende lithologie (zandsoort) en 2) diktes meest geschikte suppletiezand. Deze kaarten geven aan hoeveel geschikt zand er gewonnen kan worden op grotere diepte en wat voor type zand dit is.

De vragen gerelateerd aan de interactie tussen kabels & leidingen en zandwinning zijn op basis van expert judgement beantwoord. Hiervoor is gesproken met collega's en Wino Snip van TenneT.

## 2.2 Morfodynamiek

Een diepe zandwininput kan op de volgende drie manieren invloed hebben op het omliggende gebied:

1. In de put treedt sedimentatie op, waardoor er een negatief sedimentbudget kan ontstaan in de naastgelegen gebieden.
2. De put kan met de tijd migreren door erosie en depositie van sediment op de verschillende randen.
3. De put heeft invloed op de lokale hydrodynamica, hetgeen een negatief effect kan hebben op de kustlijn.

Voor alle drie de mechanismen zal er veel afhankelijk zijn van de lokale situatie: afmetingen van de put, locatie langs de kust, oriëntatie ten opzichte van het getij, etc. Gedetailleerde studies aan de hand van schaalproeven of numerieke modellen, passen niet binnen de scope van dit project. Aan de hand van een literatuuronderzoek zullen daarom theoretische situaties schetsmatig worden uitgewerkt, en volgt er op basis van expert judgement een aantal eerste conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

De mogelijkheden voor zandwinning in een windpark na ontmanteling zijn op basis van expert judgement bekeken. Hierbij is gebruik gemaakt van de ruimtelijke indelingen van bestaande windparken en is gekeken naar de effecten van zowel restanten van funderingen als bodembescherming rondom turbines tegen ontgroning/erosie.

---

<sup>2</sup> <https://pypi.org/project/geost/>

## 2.3 Ecologie

Voor ecologische effecten is gekeken naar lokale effecten, d.w.z. het verlies en/of de verandering van benthische habitats als gevolg van diepe zandwinning. Dit is onderzocht via een beperkte literatuurstudie en expert judgement. Op basis hiervan zijn een aantal eerste conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek geformuleerd.

In het literatuuronderzoek is de nadruk gelegd op wat de verandering van de zeebodem door zandwinning voor effect heeft op benthische habitats, door lokale verandering van:

- Hydrodynamica
- Morfodynamica, en
- Sedimentkarakteristieken

Vervolgens is er gekeken in welke mate er verwacht wordt dat deze veranderingen blijvend zijn in relatie tot de situatie voor zandwinning/in referentiegebieden, voor putten met verschillende dieptes. Ten slotte wordt KRM-descriptor D6, beschouwd in relatie tot de veranderingen in benthische habitats: "Integriteit van de zeebodem is zodanig dat de structuur en de functies van de ecosystemen gewaarborgd zijn en dat met name benthische ecosystemen niet onevenredig worden aangetast."

## 3 Resultaten

### 3.1 Geologie

#### 3.1.1 Type zand

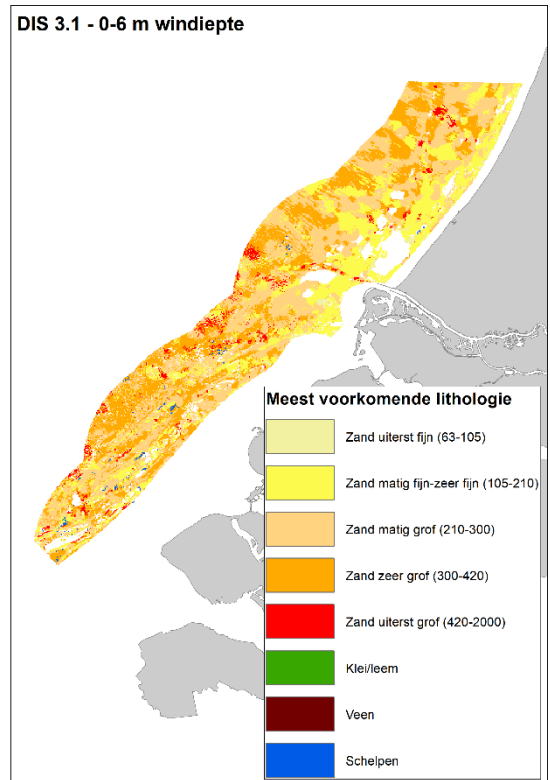
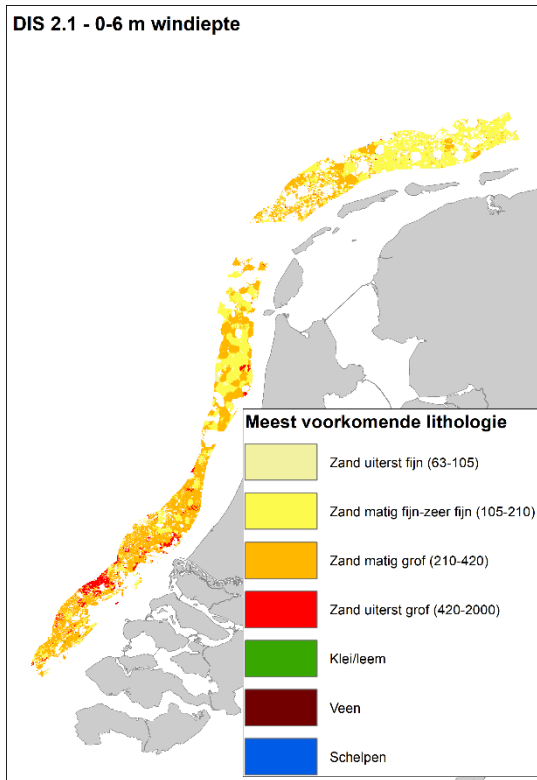
Het type zand dat het meest voorkomt in de eerste 6 meter en van 6 tot 12 m onder de oorspronkelijke zeebodem is weergegeven in Figuur 3.1 en Figuur 3.2.

De meest voorkomende klassen zijn matig tot zeer fijn zand (105-210  $\mu\text{m}$ ) en matig tot zeer grof zand (in DIS 2.1 210-420  $\mu\text{m}$ , in DIS 3.1 zijn dit twee klassen: 210-300  $\mu\text{m}$  en 300-420  $\mu\text{m}$ ). Voor de kust van met name Zeeland is er ook wat uiterst grof zand aanwezig: 420-2000  $\mu\text{m}$  (in deze klasse wordt ook grind, korrels >2000  $\mu\text{m}$ , meegerekend).

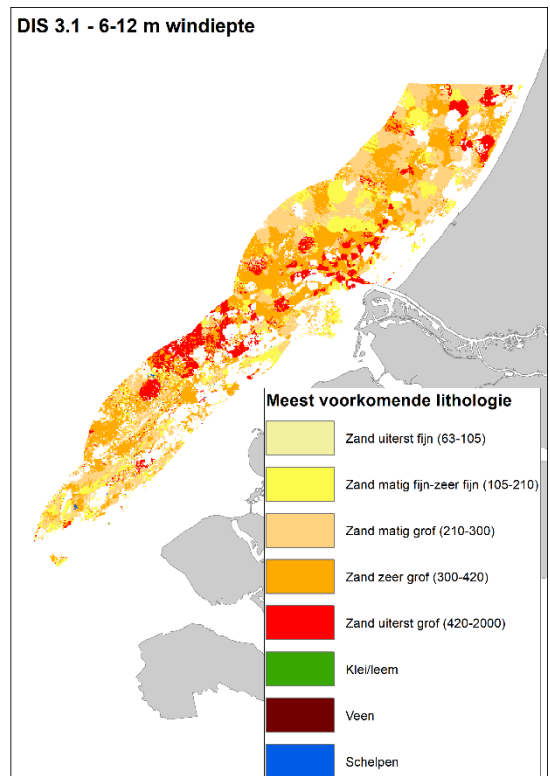
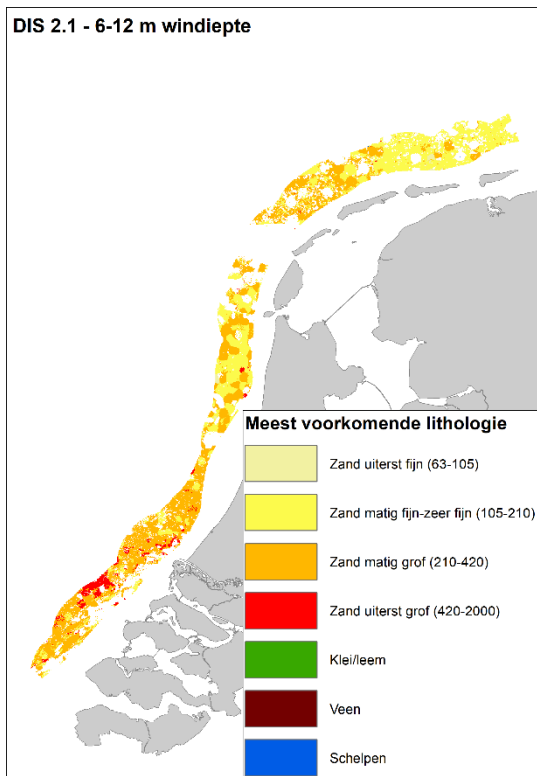
Globaal gezien komt bij Zeeland en Zuid-Holland matig grof zand het meeste voor in de eerste zes meter, bij Noord-Holland en de Wadden tot aan Terschelling een mix van matig grof en matig tot zeer fijn zand, en ten oosten van Terschelling vooral matig tot zeer fijn zand.

Op grotere diepte, 6 tot 12 m onder de zeebodem, is grotendeels een vergelijkbaar beeld te zien. De grootste verandering is de zien vanaf Rotterdam naar het zuiden toe: hier is uiterst grof zand het meest voorkomende type zand. In DIS 3.1 wordt dit het beste weergegeven. Deze grove zanden zijn afgezet door de Rijn rivier in de laatste ijstijd, en komen voor in een zone richting het zuidwesten vanaf Rotterdam. Bovenop deze zanden zijn dus recentere, fijnere zanden later afgezet, die dus (meer) in de eerste zes meter aanwezig zijn. De overige delen van de kust laten min of meer hetzelfde beeld zien als de eerste 6 meter, hoewel er door stoorlagen meer plekken zijn waar geen winbaar zand meer is (witte delen op de kaarten).

De cirkelvormige patronen die vooral op de kaart voor 6 tot 12 m diepte te zien zijn duiden op de lagere datadichtheid dan voor de eerst zes meter. Binnen de cirkel weegt de informatie uit de boring nog mee bij het bepalen van het sedimenttype, daarbuiten is het onzekerder en zal het vooral door statistiek worden bepaald.



*Figuur 3.1 Meest voorkomende sedimenttype (lithoklasse) voor 0 tot 6 meter onder de zeebodem – witte cellen bevatten geen winbaar zand. Let op: andere lithoklasses in DIS 3.1.*



*Figuur 3.2 Meest voorkomende sedimenttype (lithoklasse) voor 6 tot 12 meter onder de zeebodem – witte cellen bevatten geen winbaar zand. Let op: andere lithoklasses in DIS 3.1.*

### 3.1.2 Hoeveelheid winbaar zand

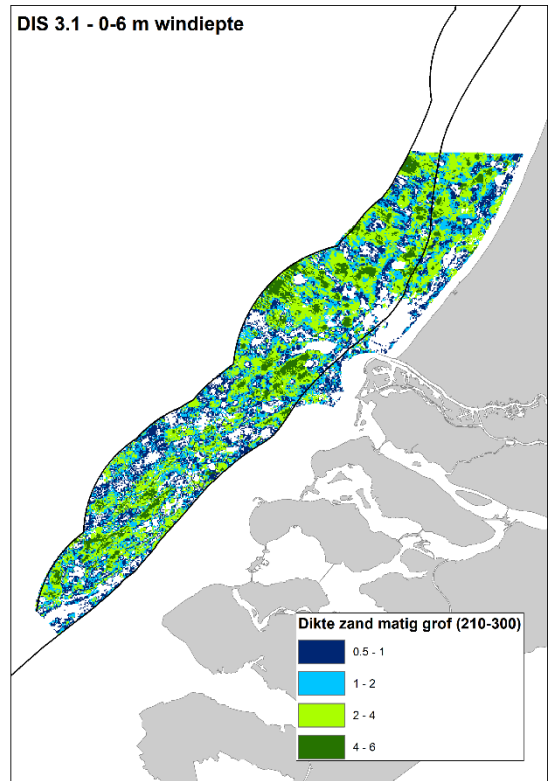
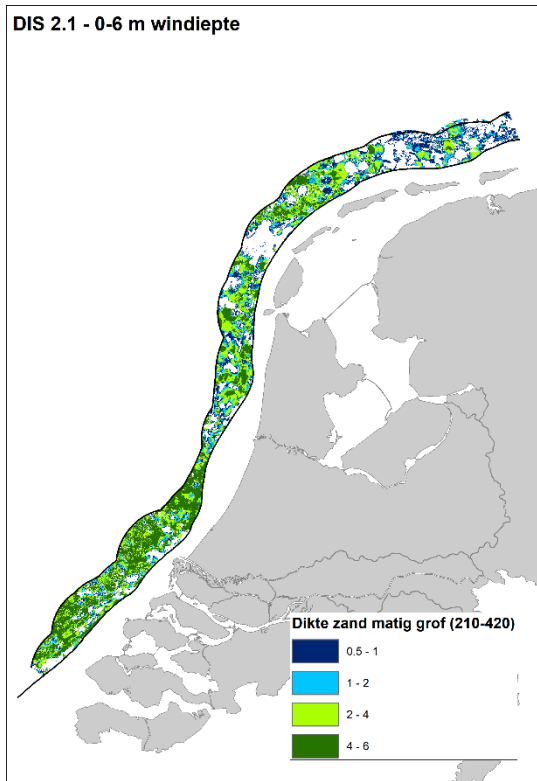
Voor suppleties wordt zand gebruikt dat vergelijkbaar is met het zand dat op de suppletielocatie aanwezig is. Dit is voor de suppleties van Zeeland tot en met Noord-Holland matig grof zand met een mediane korrelgrootte van 210-300  $\mu\text{m}$ , en voor de Wadden matig fijn zand 150-210  $\mu\text{m}$ .

In de diktekaarten voor deze klassen zand (Figuur 3.3 t/m Figuur 3.6) is te zien dat de beschikbaarheid in het reserveringsgebied zand aansluit bij de vraag: bij de Wadden is vooral matig fijn zand beschikbaar, terwijl langs andere delen van de kust juist meer matig grof zand te vinden is. Hierbij geldt wel de kanttekening dat de zandklasse zowel zeer fijn (105-150  $\mu\text{m}$ ) als matig fijn zand (150-210  $\mu\text{m}$ ) bevat, en in DIS 2.1 de zandklasse zowel matig grof (210-300  $\mu\text{m}$ ) als zeer grof zand (300-420  $\mu\text{m}$ ). Bij winning zal altijd een mengsel van verschillende types zand worden gewonnen. Het gaat in de kaarten daarom om het algemene beeld.

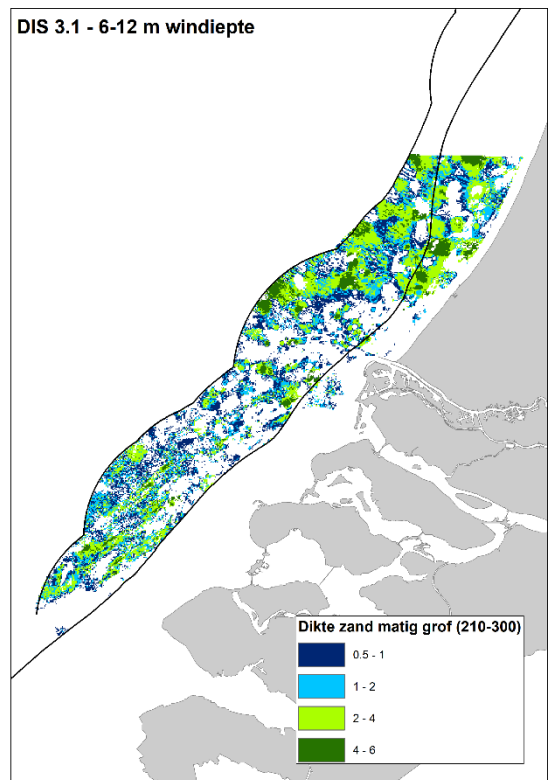
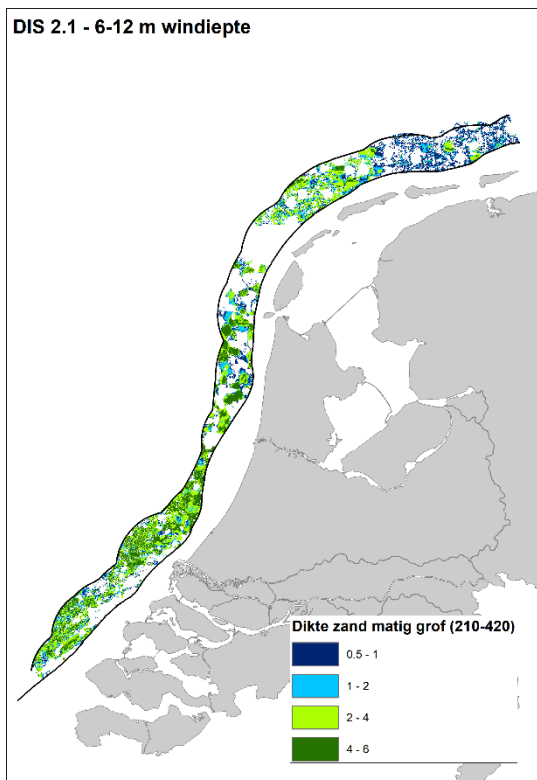
Op grotere diepte is er voor de matig grove zand klassen (zie Figuur 3.3 vs. Figuur 3.4) vooral voor de kust van Zeeland, bij Texel en ten oosten van Terschelling minder zand beschikbaar, en deels bij Noord-Holland. Bij Texel zorgt een stoorlaag (keileem afkomstig uit de een na laatste ijstijd) voor een groot gebied waar geen zand meer beschikbaar is. De huidige kartering is echter gedateerd, met nieuwe informatie (boringen en seismiek) die sindsdien beschikbaar is gekomen zal dit beeld daarom naar verwachting veranderen. Dit is onder andere al gebleken uit recente boringen die in dit gebied zijn gezet (zie bijvoorbeeld deelgebied 'Vlieland zuid' in Vermaas, 2023) Dit zal in het DIS 3.1 verder worden uitgewerkt en duidelijk worden.

Het fijnere zand (zie Figuur 3.5 vs. Figuur 3.6) is ten zuiden van IJmuiden in de eerste zes meter beperkt beschikbaar. Daarnaast is het boven de Wadden ook in minder aanwezig op grotere diepte. Het gebied bij Vlieland en Terschelling bevat op grotere diepte veel minder (fijn) zand, maar ook ten oosten van Terschelling is een afname te zien – hoewel hier nog significante diktes van 2 tot 4 m voorkomen. Ook voor het fijne zand geldt dat de kartering van de stoorlaag bij Texel gedateerd is maar een groot effect heeft op de beschikbaarheid.

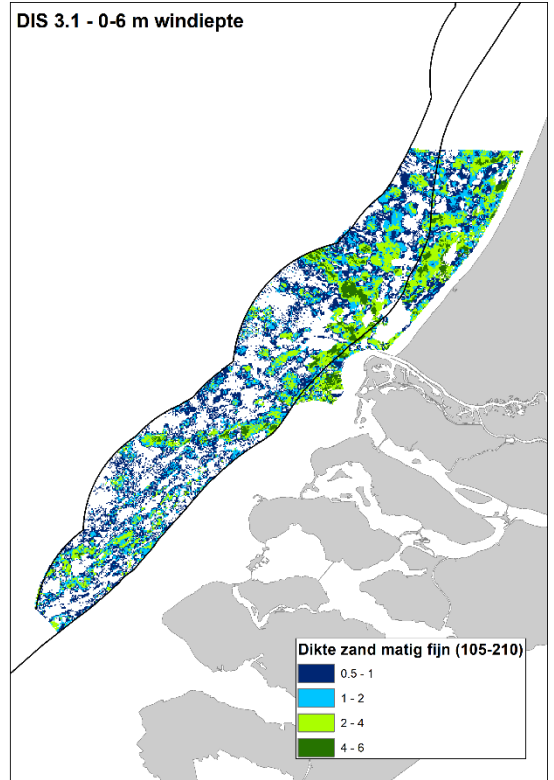
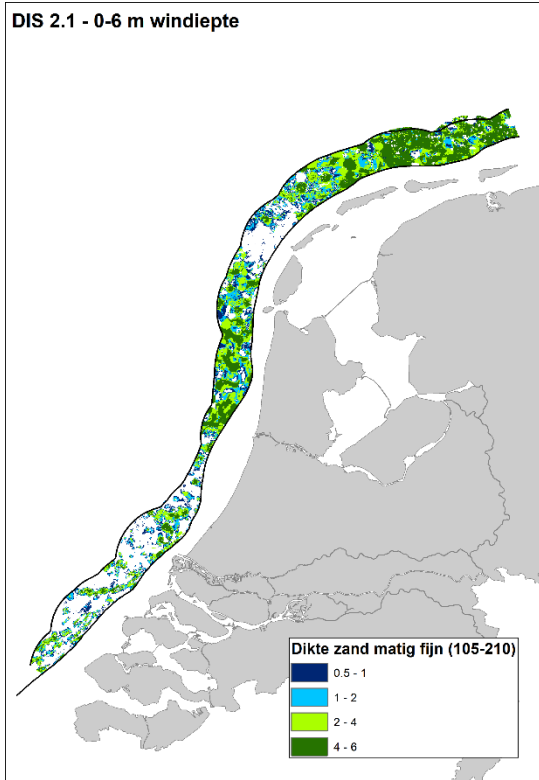
Zowel naar het matig grove als het matig fijne zand kijkend, is er met name in de regio Zeeland minder geschikt zand beschikbaar op grotere diepte. Dit komt zowel door de aanwezigheid van stoorlagen als te grof zand. Dit is ook in iets mindere mate het geval voor IJmuiden en de Westelijke Wadden.



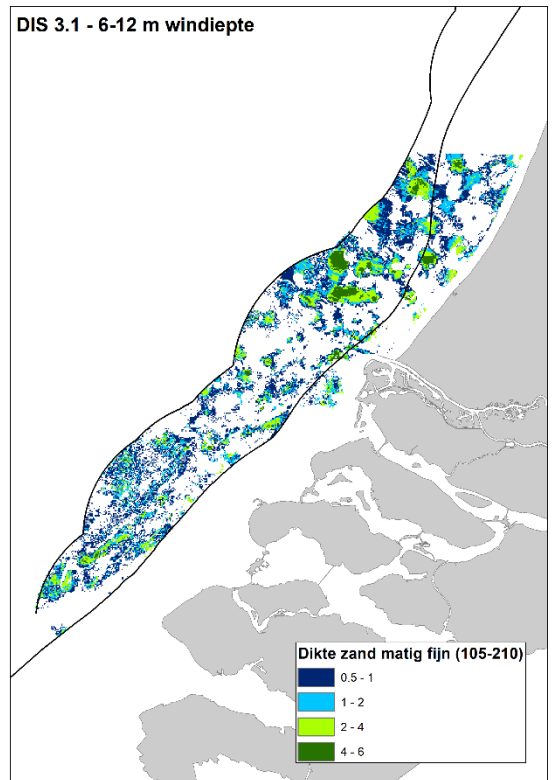
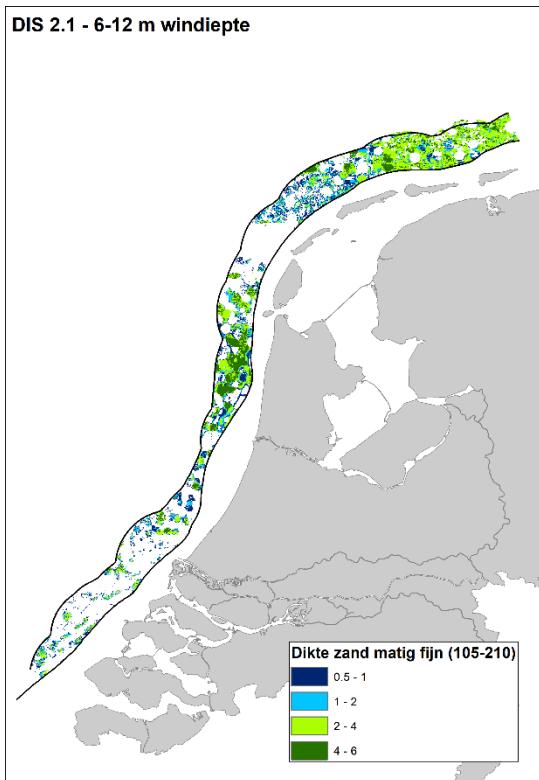
Figuur 3.3 Dikte winbaar matig grof zand (210-420 µm DIS 2.1, 210-300 µm DIS 3.1) voor 0 tot 6 meter onder de zeebodem – witte cellen bevatten geen winbaar zand van deze lithoklasse.



Figuur 3.4 Dikte winbaar matig grof zand (210-420 µm DIS 2.1, 210-300 µm DIS 3.1) voor 6 tot 12 meter onder de zeebodem – witte cellen bevatten geen winbaar zand van deze lithoklasse.



Figuur 3.5 Dikte winbaar matig fijn zand (105-210  $\mu\text{m}$ ) voor 0 tot 6 meter onder de zeebodem – witte cellen bevatten geen winbaar zand van deze lithoklasse.



Figuur 3.6 Dikte winbaar matig fijn zand (105-210  $\mu\text{m}$ ) voor 6 tot 12 meter onder de zeebodem – witte cellen bevatten geen winbaar zand van deze lithoklasse.

### 3.1.3 Zandwinning en kabels & leidingen

#### Zandwinning vóór kabelaanleg

Technisch gezien is het mogelijk om een kabel door een zandwininput te leggen; dit is reeds toegepast bij de aanlandkabel van het offshore windpark Hollandse Kust Zuid (HKZ). De diepte van de zandwininput, ook van 12 m diep, vormt op zichzelf geen belemmering voor kabelaanleg. Wel dient rekening gehouden te worden met de hellingshoek aan de randen van de putten: deze mag niet steiler zijn dan circa 10 graden om geen belemmering voor de kabellegapparatuur te vormen.

Een geleidelijke opvulling van de zandwininput na winning levert geen significante problemen op. Het belangrijkste aandachtspunt is de minimale dekkingsdikte boven de kabel. Een te geringe dekking kan leiden tot verhoogde onderhoudsbehoefte. Hiervoor bestaan operationele afspraken en richtlijnen.

Bij zandwinning voorafgaand aan kabelaanleg moeten ruimtelijke aspecten worden beoordeeld. Binnen de huidige wetten is ontgroning binnen 500 meter van kabels en leidingen niet toegestaan<sup>3</sup>. De zandwinning vóór de aanleg van de kabel zou dus in de eerste plaats zijn om het zand binnen de strook van 1 km, de 500 m buffer aan weerszijde van de kabel, te winnen. Het gaat daarom om smalle zones (één kilometer breed) die zich over een aanzienlijke lengte (circa 10–20 km) uitstrekken, vaak dwars op de getijstrooming. De breedte van het reserveringsgebied zand ligt vrijwel langs de hele kust tussen de ca. 12 tot ca. 17 km – de kortste afstand tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en de 12 nautische mijl. Alleen ter hoogte van Zandvoort, waar de zone het smalste is, is de breedte ca. 5 km. De hoeveelheid zand die gewonnen zou worden is ca. 10 miljoen m<sup>3</sup>, bij een winddiepte van 2 m en op het kortste tracé 2 m x 5 km x 1 km. Langs andere delen van de kust, of wanneer een tracé schuin en niet dwars door het zandwingebied loopt, is het volume 24 miljoen m<sup>3</sup> bij 12 km tracé en 34 miljoen m<sup>3</sup> bij 17 km (beiden bij 2 m winddiepte). Zelfs het kortste tracé levert bij geringe winddiepte dus een groot volume zand op voor één suppletie – orde grootte de helft van het volume van de zandmotor. Er moet daarom worden bepaald waar het gewonnen zand kan worden toegepast.

#### Relatie tussen kabeltracés en zandwinning

Om een efficiënte route voor kabeltracés te bepalen, gezien de geologie, is er gekeken naar de overlap of juist verschil in voorkeur voor een bepaalde ondergrond tussen kabeltracés en zandwinning.

De bodemgesteldheid speelt een rol bij zowel kabelaanleg als zandwinning. Aanwezigheid van klei- of veenlagen bemoeilijkt de aanleg van kabels en verhoogt de kosten. Gebieden die vanwege stoorlagen ongunstig zijn voor zandwinning zijn dat dus ook voor de kabeltracés. Op basis van geologie is er dus geen logisch efficiënt kabeltracé voor te stellen, wat gunstig is voor de zandwinning.

#### Zandwinning ná kabelaanleg

Momenteel worden kabels doorgaans op een diepte van 1 tot 1,5 meter onder het zogenaamde *non-mobile reference level* (NMRL) geïnstalleerd. Het NMRL bevindt zich meestal circa 50 cm onder de basis van zandgolven. Technisch is het mogelijk om kabels aanzienlijk dieper te begraven, tot ten minste 14 m onder de zeebodem en mogelijk zelfs tot 20 m. Dit wordt al gedaan in gebieden met getijdegeulen die kunnen migreren (bv. Wadden) en de dynamische bankenzone bij de aanlanding van exportkabels van de windparken.

---

<sup>3</sup> Beleidsregels ontgroningen in rijkswateren 2022: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0046536/2022-04-09>

Diepere aanleg brengt hogere kosten met zich mee, maar deze meerkosten kunnen relatief beperkt blijven, afhankelijk van factoren zoals:

- Beschikbaarheid van geschikte installatiemachines
- Bodemgesteldheid en geotechnische eigenschappen van het tracé
- Aanpassingen in kabelisolatie vanwege warmteontwikkeling bij grotere dieptes

Indien een kabel op grotere diepte is aangelegd, kan er in theorie boven de kabel zand worden gewonnen, hoewel dat gezien de wetgeving op dit moment niet is toegestaan. Er zijn hieraan wel allerlei risico's verbonden, die niet volledig zijn uitgewerkt in deze notitie. Bijvoorbeeld vragen omtrent acceptabele veiligheidsmarge die er boven de kabel zou moeten worden aangehouden bij zandwinning, en de mogelijke noodzaak voor tussentijds onderhoud aan de kabel. De diepere kabelaanleg in getijdegebieden laat echter zien dat dit technisch mogelijk is: ook hier wordt rekening gehouden met 'ontgroning' boven de kabel – door natuurlijke erosie – en zal er ook rekening zijn gehouden met tussentijds onderhoud. Hoewel het theoretisch dus wel mogelijk is zullen er wettelijke aanpassingen nodig zijn om dit mogelijk te maken en zijn er verschillende vraagstukken die nader uitgewerkt zouden moeten worden.

## 3.2 Morfodynamiek

### 3.2.1 Introductie

Grootschalige zandwinputten kunnen een aanzienlijke impact hebben op de lokale hydrodynamica en dus ook de morfologie in en rondom de put. Stroomsnelheden en golfbelasting op de bodem van een put nemen af, hetgeen leidt tot een reductie in de capaciteit van sedimenttransport (Van Rijn, 1986; Van Rijn, 1987). Hierdoor kan sediment makkelijker bezinken en zal de put zich na verloop van tijd opvullen. Dit kan weer leiden tot erosie van de zeebodem rondom de put, waaronder in het kustgebied. Daarnaast bestaat de kans dat een zandwinput, net als bijvoorbeeld ribbels en zandgolven op de zeebodem, gaat migreren. Dit kan leiden tot een kleinere afstand tussen de zandwinput en kwetsbare offshore infrastructuur zoals kabels, leidingen en funderingen.

In deze sectie zal daarom dieper worden ingegaan op het effect van dieper zand winnen op de morfologie in en rondom de put. Hiervoor worden resultaten gebruikt uit diverse literatuurbronnen. De drie belangrijkste onderwerpen met betrekking tot de put – opvulling, migratiesnelheid en invloed op de kustlijn - worden hieronder afzonderlijk beschreven.

In de laatste sectie wordt daarnaast een kort overzicht gepresenteerd van de potentie om zand te winnen in voormalige offshore windparken.

### 3.2.2 Opvulsnelheden van een zandwinput

Zoals aangegeven leidt een vertraagde stroming in een zandwindgebied doorgaans tot sedimentatie in de put, waardoor deze zich na verloop van tijd opvult. De meest relevante processen hierbij zijn:

- Convectie van sedimentdeeltjes door horizontale en verticale stromingscomponenten,
- Menging van sedimentdeeltjes door turbulente en orbitale bewegingen,
- Bezinking van sediment onder invloed van zwaartekracht,
- Het opwoelen van sediment van de bodem door stroming en golf-geïnduceerde schuifspanningen aan de bodem.

Wereldwijd is onderzoek gedaan naar opvulsnelheden van diverse soorten zandwinputten voor verschillende waterdieptes. In Van Rijn en Walstra (2002) wordt een overzicht gegeven van de resultaten van zandwinputten langs de kust van de VS, VK, Japan en Frankrijk. Recentere studies in Europa worden beschreven in onder anderen González et al. (2010), Gonçalves et al. (2014) en Mielck et al. (2019). Voorbeelden van studies met betrekking tot zandwinputten voor de Nederlandse kust zijn die van Rijkswaterstaat (1990), Van Rijn & Walstra (2004), Boers (2005) en de Jong et al. (2015).

In al deze studies wordt aan de hand van analytische methoden, metingen en numerieke modellen een inschatting gemaakt van sedimentatiesnelheden van putten van diverse afmetingen. Vanwege inconsistente data, het gebrek aan lange tijdreeksen of validatie, en de toepassing van verschillende methoden binnen de verschillende studies, zijn de resultaten niet eenvoudig met elkaar te vergelijken. Toch kunnen er een aantal trends en overeenkomsten worden geïdentificeerd. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste resultaten, waarbij alleen studies zijn meegenomen voor een zeebodem < -20 mMSL en voor putdieptes > 5 m.

Het PUTMOR-project (Boers, 2005) rapporteert een opvultijd van enkele eeuwen voor een putdiepte van 5-12 m op een waterdiepte van -24 mMSL in de Noordzee. Vergelijkbare getallen volgen uit González et al. (2010), waarbij de morfologische respons van een 5 m diepe put op een waterdiepte van 20 m voor de kust van de Balearen is onderzocht. Hieruit volgt een opvultijd van 75 jaar. Een zandwinput voor de kust van Terschelling liet geen sedimentatie zien

binnen twee jaar (van Dalftsen, 1999). Zowel Klein en van den Boomgaard (2013) als Groen (2015) kwamen op vergelijkbare tijdschalen uit en berekenden een opvulsnelheid van ongeveer 5 m in dertig jaar tijd voor de Maasvlakte 2-put. Deze putten waren 10-20 m diep ten opzichte van de omringende zeebodem. Ook uit de resultaten van fysieke modeltesten van Migniot and Viguier (1980) bleek dat sedimentatie voor putten < -20 mMSL zeer beperkt is. Wel volgen hogere snelheden uit een studie van Thatje et al. (1999), al deden zij onderzoek naar een relatief diepe krater van 31 m ten opzichte van de zeebodem.

Op basis van de gevonden literatuur concluderen we dat opvulsnelheden voor putten < -20 mMSL en dieper dan 5 m in de orde van decennia liggen. Een toename in putdiepte (van bijvoorbeeld 5 m naar 12 m) leidt niet tot substantieel grotere opvulsnelheden.

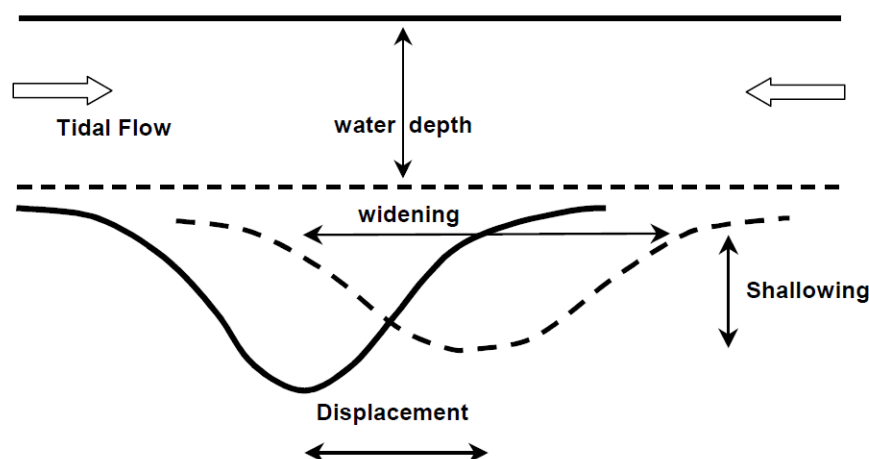
De diepte van de zandwinput lijkt maatgevend te zijn voor de mate waarin deze dichtslibt. Van Rijn & Walstra (2004) hebben de onderzochte putten geïnclassificeerd op basis van de diepte van de omringende zeebodem. Hoewel de resultaten van de verschillende studies enigszins uiteenlopen, wordt in dit onderzoek geconcludeerd dat dicht bij de kust sedimentatiesnelheden van enkele decimeters per jaar kunnen voorkomen. Een samenvatting van resultaten wordt gegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Overzicht van verwachte opvultijden voor verschillende putdieptes.

Putdiepte (m)	Opvultijd (jaar)
5 – 15	5 – 10
15 – 25	100
> 25	> 100

### 3.2.3 Migratiesnelheden van een zandwinput

Verondersteld wordt dat de morfologische ontwikkeling van zandwinputten gedreven wordt door kustlangse en -dwarse stromingen. Deze stromingen vergroten de capaciteit van het sedimenttransport rondom de putten. Zoals in Sectie 3.1.3 staat beschreven moet een zandwinput op een afstand van minimaal 500 m tot offshore infrastructuur (waaronder leidingen, kabels en funderingen) blijven. De migratiesnelheid van een put is daarom een belangrijk aspect in de toewijzing van een zandwingsgebied. Figuur 3.7 laat een schematisatie zien van een migrerende put.



Figuur 3.7 Migratie van een put met een Gaussische vorm (van Rijn en Walstra, 2004).

Net als voor de opvulsnelheden van een put geldt ook hier dat de waterdiepte maatgevend is voor de mate van migratie. Uit van Rijn en Walstra (2004) blijkt dat migratiesnelheden worden gehalveerd wanneer de waterdiepte toeneemt van -15 mMSL naar -20 mMSL. De morfologische tijdschaal wordt ook gehalveerd. Wel kan de initiële geometrie van de put invloed hebben op de dominante richting van het sedimenttransport. Zo zal voor een put met een meer langgerekte geometrie sedimentatie plaatsvinden aan de stroomopwaartse helling en erosie aan de stroomafwaartse helling van de put, indien de stroming schuin of loodrecht op de hoofdas van de put staat. Voor een parallelle stroming is dit effect veel minder groot. Voor putten waarin de breedte en lengte dezelfde ordergrootte hebben is de oriëntatie ten opzichte van de getijas niet relevant voor de richting van migratie. Omdat de kustlangse stromingen doorgaans groter zijn, zal de migratiesnelheid parallel aan de kust ook groter zijn. Wel kunnen migratiesnelheden toenemen wanneer de put na verloop van tijd in kustdwarse richting opschuift en in kleinere waterdieptes terecht komt.

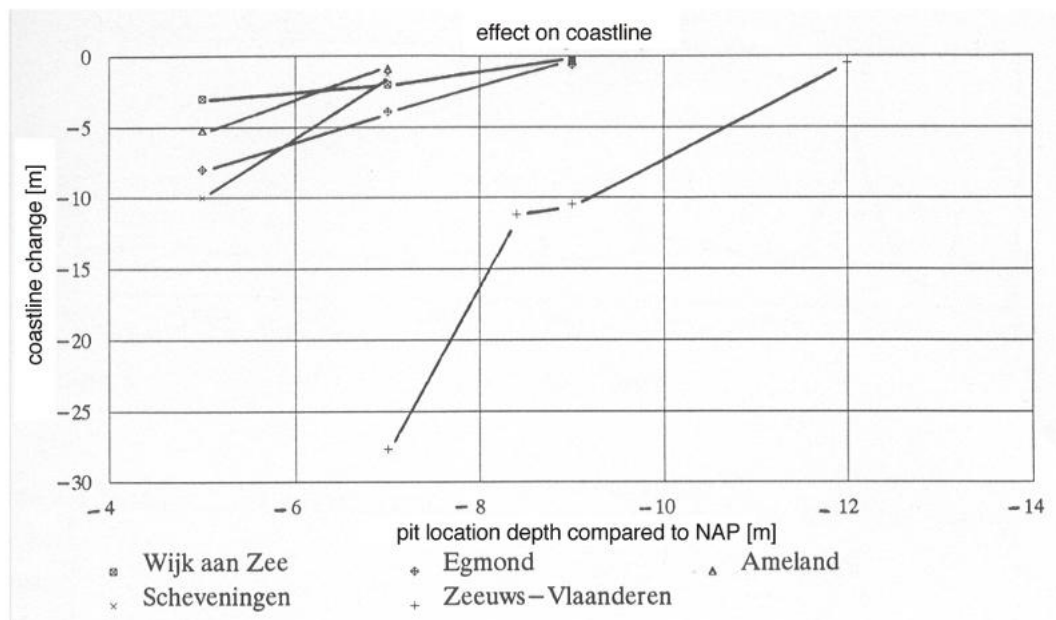
Kwantitatief onderzoek naar migrerende putten is beperkt. Wel berekende Rijkswaterstaat (1990) in een numerieke studie naar migratie van diverse putten voor de Nederlandse kust (Scheveningen, Bergen, Texel en Ameland) snelheden in kustdwarse richting van 0.2 m/jaar op een waterdiepte van -20 mMSL. Dit liep op naar snelheden van 0.5 m/jaar en 1.5 m/jaar voor waterdieptes van respectievelijk -16 mMSL en -10 mMSL. Voor zandwinputten ten behoeve van de aanleg van de Maasvlakte 2 noemen zowel Van Rijn en Walstra (2004) als Groen (2014) hogere snelheden van 10-15 m/jaar, maar deze snelheden hadden enkel betrekking op het diepste punt van de twee onderzochte putten. In bredere zin vond er nauwelijks migratie langs de randen plaats.

De uiteenlopende resultaten binnen de literatuur tonen aan dat migratiesnelheden lastig te kwantificeren zijn en moeten worden gezien als een grove schatting. Gesteld kan worden dat het onwaarschijnlijk is dat een zandwinput zich enkele honderden meters verplaatst over een tijdschaal van vijftig jaar, waarbij geen duidelijke verschillende in migratiesnelheden zijn gevonden tussen putten van 5 m en 12 m diep.

### **3.2.4 Invloed zandwinput op kustlijn**

De verandering van stromingspatronen en golfkarakteristieken door de aanwezigheid van een zandwinput kan invloed hebben op de morfologie van de kustlijn. Een uitgebreid onderzoek naar deze invloed valt buiten de kaders van de huidige studie. Wel wordt hieronder een kort overzicht gegeven van een aantal studies waarbij het effect van zandwinputten op de kustlijn is onderzocht.

Aan de hand van metingen concludeerde Boers (2005) dat de hydrodynamica slechts beperkt beïnvloed wordt door relatief wijde (en dus ondiepe) putten. Uit het onderzoek van Motyka en Willis (1974) en Price et al. (1978) volgt dat erosie van de kust toeneemt bij toenemende putdiepte en afnemende waterdiepte. Er vond geen noemenswaardige kusterosie plaats voor putten op een waterdiepte  $\leq -14$  mMSL. Dit wordt ook bevestigd in een studie van Klomp (1996), waar het effect van diverse putten voor de Nederlandse kust op de kustlijnligging nihil was. Figuur 3.8 toont een illustratie van het afnemende effect op de kustlijn voor deze putten.



Figuur 3.8 Invloed van diverse putten in de Noordzee op de kust (Klomp, 1996).

### 3.2.5 Zand winnen in voormalige windparken

Voormalige windparken op zee bieden mogelijk een geschikt zandwingebied wanneer deze na hun levensduur ontmanteld zijn. In deze sectie wordt een inschatting gemaakt van het potentieel aan zand dat hier mogelijk gewonnen kan worden. Hiervoor is het van belang de verschillende onderdelen van een windpark in kaart te brengen. In het algemeen geldt dat de infrastructuur op de zeebodem bestaat uit:

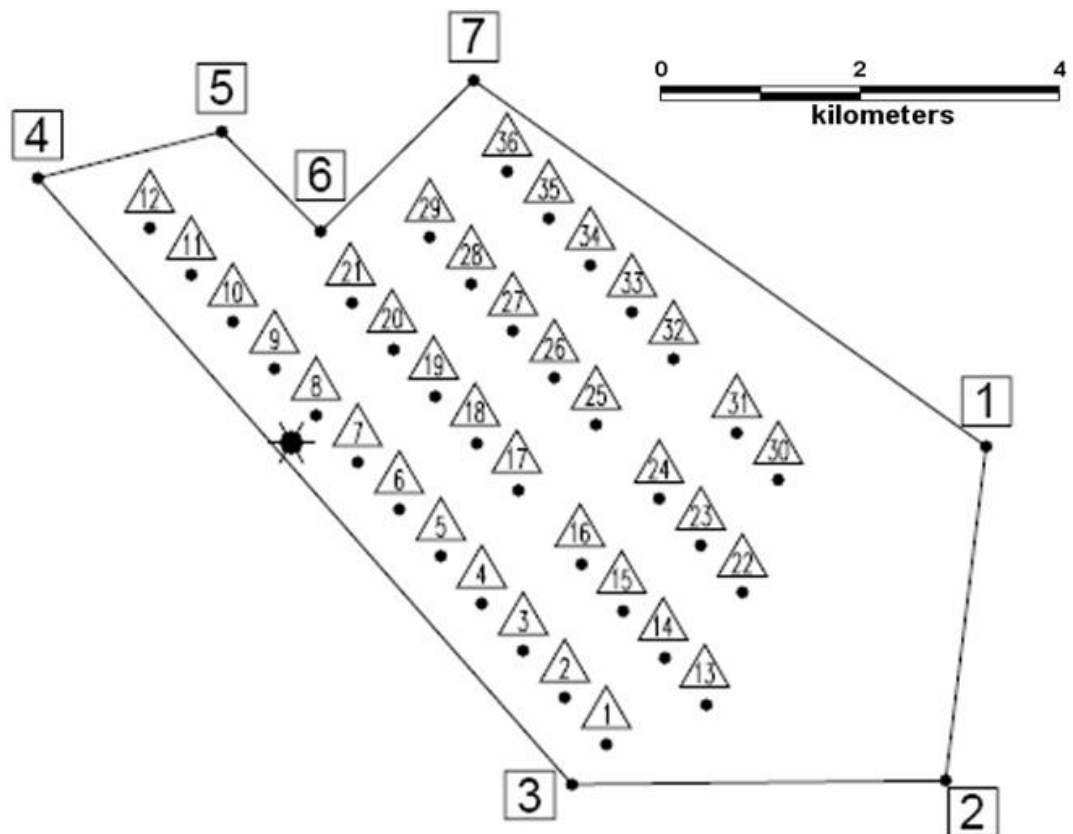
- Funderingen, meestal van het type monopile of jacket.
- Kabels en leidingen, zowel tussen windturbines en een offshore transformatorstation, als naar het landelijke elektriciteitsnet.

Daarnaast worden in de regel bodembeschermingen rondom de funderingen aangelegd, ter voorkoming van plaatselijke ontgraving. Deze bodembeschermingen bestaan voornamelijk uit losse stenen die in een cirkel rondom de fundering worden geïnstalleerd. Volgens de afspraken vastgelegd in het OSPAR-verdrag (OSPAR Decision 98/3<sup>4</sup>) dient een windpark na de levensduur volledig te worden ontmanteld. Wel vindt er nog discussie plaats of de bodembeschermingen, die zijn aangelegd ter preventie van lokale erosie rondom de funderingen, ook verwijderd moet worden.

Alleen Offshore Windpark Egmond aan Zee (OWEZ) ligt volledig binnen het reserveringsgebied voor zandwinning. Dit windpark is sinds 2007 in gebruik en zal tot ten minste 2031 operationeel blijven. OWEZ bestaat uit 36 windturbines en heeft een totale oppervlakte van 27 km<sup>2</sup>. De meeste windturbines binnen het windpark liggen ongeveer 640 m uit elkaar zie Figuur 3.9 (KEMA, 2010). De diameter van de monopiles is 4.6 m. De bodembeschermingen die rondom de palen liggen ter preventie van lokale ontgraving hebben een minimale diameter van 24 m (Deltares, 2009). Ook binnen windparken Hollandse Kust Zuid (kavels III and IV) en Hollandse Kust Noord (kavel V) ligt een aantal windturbines binnen het reserveringsgebied voor zandwinning. Hoewel de diameters van de monopiles groter zijn dan die van OWEZ, bestaat ook hier slechts een fractie van het totale oppervlak van de kavels

<sup>4</sup> OSPAR Decision 98/3 on the Disposal of Disused Offshore Installations (as amended by OSPAR Decision 2024/01)

uit restanten van eventuele overgebleven bodembeschermingen. Voor alle windparken geldt dat deze restanten (en de minimale afstand hiertoe die door baggeraars worden gehanteerd) nauwelijks invloed zullen hebben op het totaal aan zand dat hier gewonnen kan worden.



Figuur 3.9 Overzicht van windturbinelocaties in Offshore Windpark Egmond aan Zee (KEMA, 2010).

### 3.3 Ecologie

#### 3.3.1 Introductie

Extractie van materiaal van de zeebodem kan directe en indirecte schadelijke effecten hebben op benthische organismen en habitats (Matear et al, 2023). Morfologische veranderingen gedreven door zandwinning (Sectie 3.2) resulteren op korte termijn in abiotische verandering en een verandering van habitat en bijbehorende gemeenschap. Tevens kan de abiotiek in de winput gewijzigd blijven ten opzichte van de referentiesituatie voor de langere termijn (tientallen jaren en meer). Zandwinning resulteert dus in een tijdelijke versterking van benthische habitats door het verwijderen van de toplaag met daarmee het bodemleven, en mogelijk een lange-termijn versterking door het veranderen van de abiotische leefomgeving van benthische habitats. Belangrijke fysische parameters voor de mate van versterking relateren aan verandering van hydrodynamiek (Getij, golven en daarmee bodemschuifspanningen), morfodynamiek (grootte en diepte van de put), alsook sedimentkarakteristieken (korrelgrootte en slibgehalte) in de zandwinput (e.g. Degraer et al., 2008; Hendriks et al., 2020).

Door gebruik te maken van eerder uitgevoerd onderzoek en literatuur, wordt uiteengezet wat de mogelijke ecologische effecten zijn van diepere zandwinning. De literatuurstudie focust op:

- Fijn sediment in de Noordzee en het nieuwe materiaal dat te vinden is op de bodem van zandwinputten
- Het voorkomen van benthische organismen en gemeenschappen in de Noordzee
- Herkolonisatie van benthische organismen en gemeenschappen.

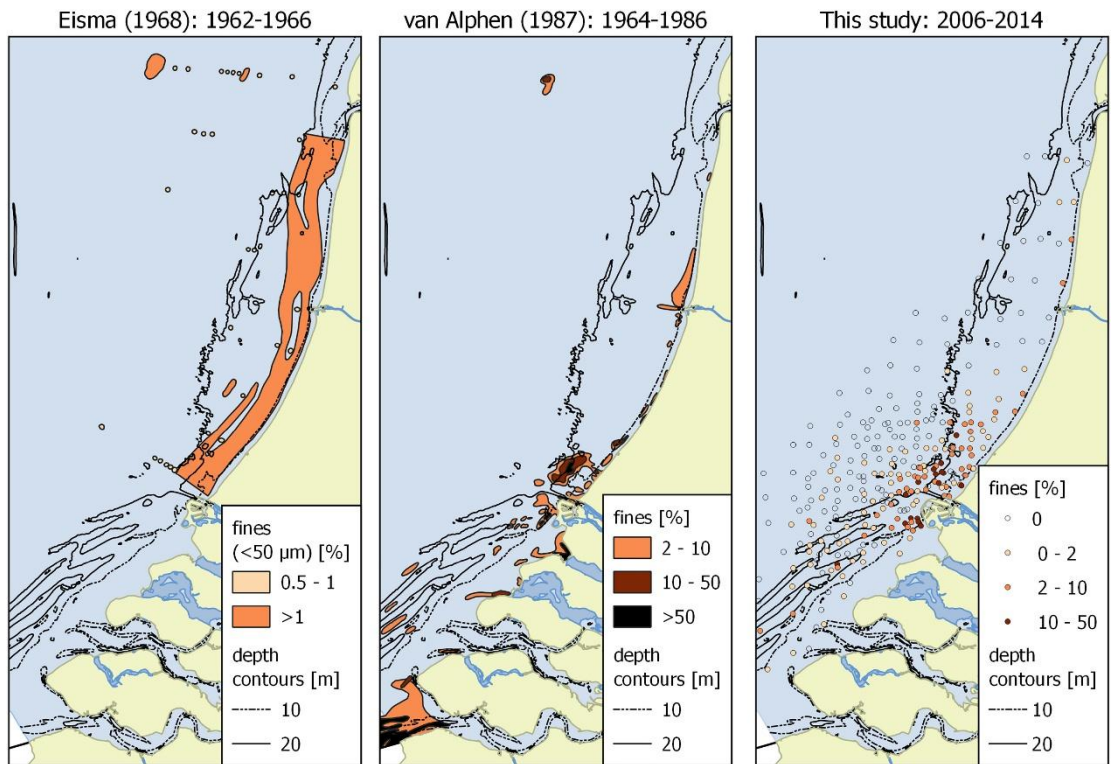
Eerst wordt ingegaan op sediment en slibgehalte, waarna expliciet benthos en herkolonisatie wordt beschouwd. Vervolgens wordt beschreven wat dit betekent in relatie tot natuurwaarden met name beschreven in KRM-descriptor D6 integriteit zeebodem (habitats).

### 3.3.2 Sedimentkarakteristieken

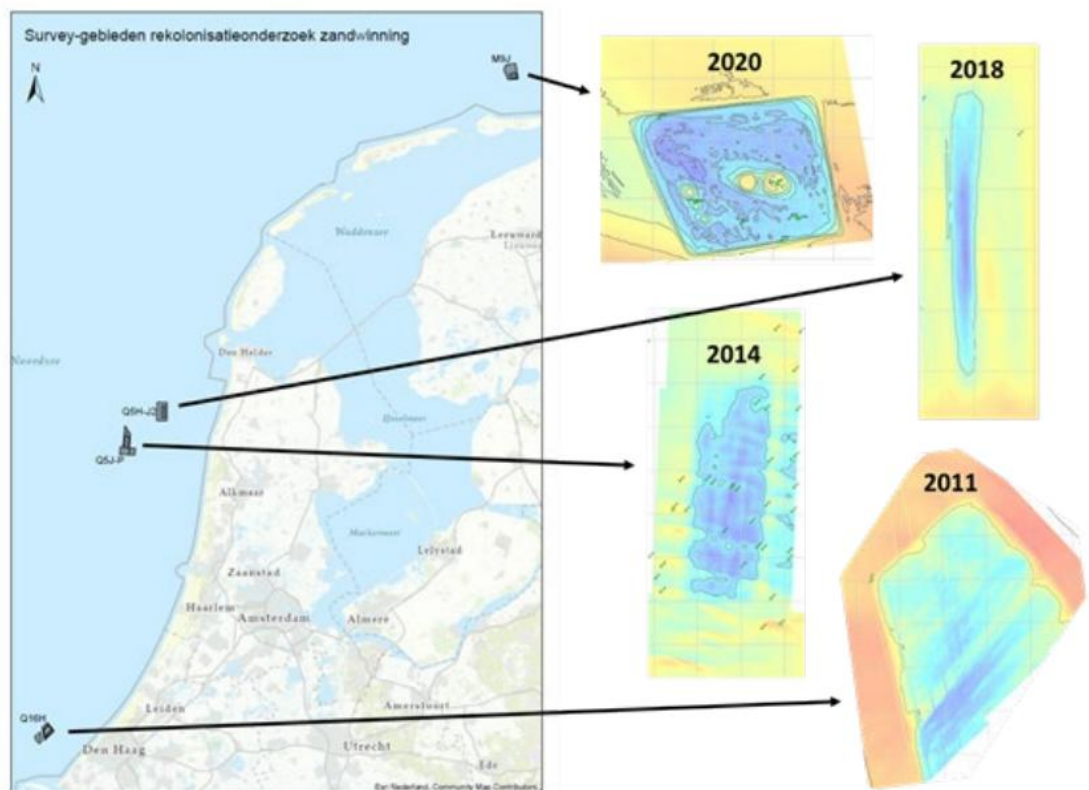
De zeebodem van de Nederlandse kustzone bestaat voornamelijk uit zand met een relatief kleine fractie van fijn sediment (klei en silt) (Figuur 3.10, Eisma et al., 1987; Hutnance, 1991; Irion en Zollmer, 1999). Eerdere studies laten zien dat een kleine fractie van fijn sediment een duidelijke invloed heeft op benthische habitats en benthische organismen die leven op en in de zeebodem (Degraer et al., 2008; van Ledden et al., 2004, De Jong et al., 2015). Generiek gezien lijken benthosgemeenschappen meer divers te zijn als er een grotere fractie fijn sediment in de zeebodem aanwezig is, in vergelijking met alleen zandig sediment (Van Hoey et al., 2004).

Na verstoring van de bestaande zeebodem, door zandwinning, wordt fijn sediment ingevangen in de dieper gelegen zandwinputten. De netto slib invang van de zandwinput kan benaderd worden door de balans van slib dat bezinkt en erodeert uit de zandwinput. De slib invang kan zo ingeschat worden middels een methodiek beschreven in (Hendriks en Schuurman, 2017). Van Kessel et al. (2025) laat vervolgens zien dat in zandwinputten een netto slib invang plaatsvindt als de put een diepte heeft van 4 m of meer ten opzichte van de omgeving. Hoe dieper de put, hoe groter de netto slib invang en veranderingen op de bodem van de winput in relatie tot slib en bathymetrie toenemen. Deze inschatting suggereert dat in diepere winputten een grotere hoeveelheid slib wordt ingevangen dan in ondiepe winputten, waardoor het bodemleven zich mogelijk voortdurend sterk moet aanpassen. Met name in de eerste jaren na zandwinning in diepe winputten. Dit volgt de bevindingen omtrent morfodynamiek (Sectie 3.2), waarin wordt gesteld dat diepere winputten meer tijd nodig hebben om op te vullen. Echter, lijkt de winput niet volledig op te vullen met slib, aangezien er bij een diepte van de put van ongeveer 4 m een balans is tussen invang en erosie.

Meer specifieke ervaringen uit vier zandwinputten in het Nederlands kustgebied (Figuur 3.11) laten na metingen in 2022 (2 tot 11 jaar na extractie) verschillen zien in sedimentkarakteristieken, mogelijk gedreven door de geologische laag tot waarop extractie plaatsvindt (Sectie 3.1), alsook het materiaal waarmee de winput gevuld zal worden. De geologische laag tot waarop extractie van de zandwinput plaatsvindt kan zowel uit fijner als grover materiaal bestaan dan de oorspronkelijke zeebodem (Sectie 3.1). De mediaan (D50) van korrelgrootte blijft vrijwel gelijk of wordt lager, terwijl het percentage fijn materiaal (<63 µm), en ook het percentage organische stof stijgt op de bodem van de put in vergelijking met het omliggende gebied (Tabel 3.2) (Witbaard & Craeymeersch, 2023).



Figuur 3.10. Distributie van de fractie fijn sediment in de Dutch Coastal zone, geobserveerd in de periodes genoemd boven de drie panelen (Hendriks et al, 2020).



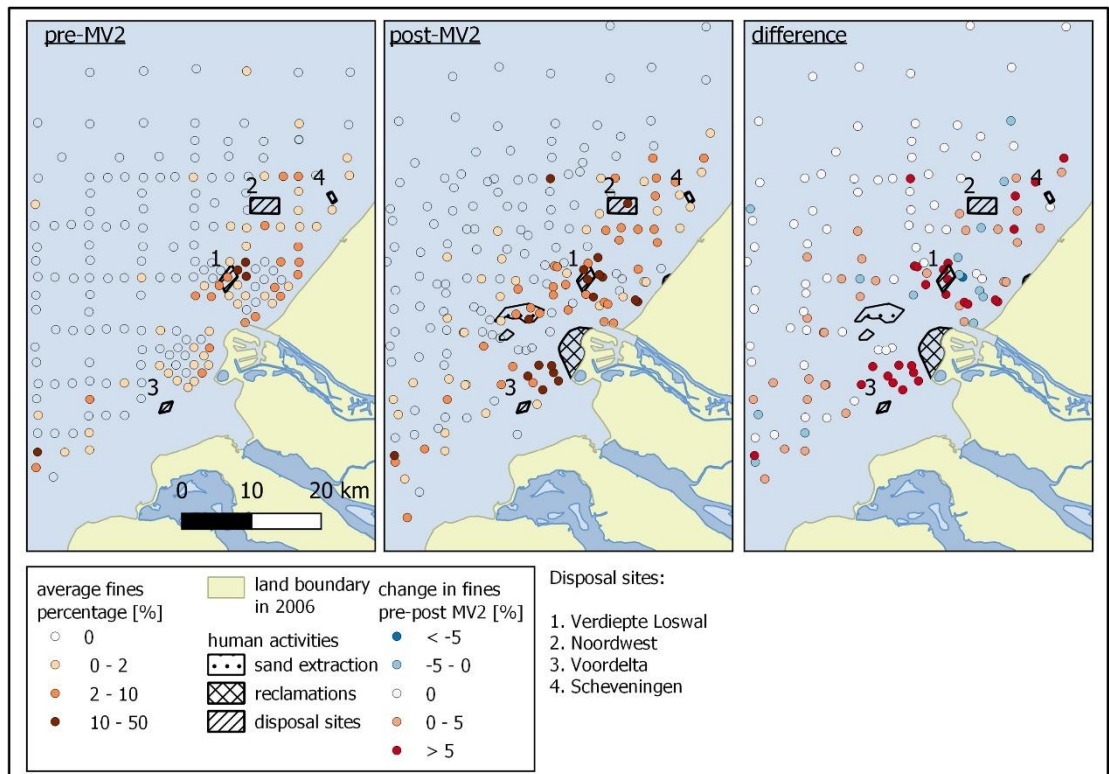
Figuur 3.11. Zandwinputten waar zandextractie heeft plaatsgevonden tussen 2011 en 2020. Van noord naar zuid; M9J (nabij Ameland), Q5HJ2 (nabij Petten noord), Q5JP (nabij Petten zuid) en Q16H (nabij Scheveningen) (uit: Witbaard & Craeymeersch, 2023).

Tabel 3.2. Kenmerken en sedimentkarakteristieken van zandwinputten en omliggende referentiegebieden voor de Nederlandse kust, met: oppervlakte, mediane korrelgrootte, slibgehalte, organisch stofgehalte en diepte van de put (in rood) en referentiegebied (in groen) (tabel is overgenomen uit Witbaard & Craeymeersch, 2023).

Gebied	Jaar	Op p. (km <sup>2</sup> )	d50 put	d50 ref	<63µm put	<63µm ref	%Org put	%Org ref	Diepte put LAT	Diepte ref LAT
M9J	2020	1.9	195	299	2.5	1.3	0.70	0.58	28.4	24.3
Q5JP	2014	2.8	319	314	1.2	0.3	0.59	0.48	26.7	23.1
Q5HJ2	2018	1.9	256	238	2.5	0.3	0.90	0.88	26.1	22.7
Q16H	2010	4.1	125	288	30	6.2	3.9	1.42	25.7	21.0

Een voorbeeld van een diepere zandwinput voor de Nederlandse kust, is de zandwinput van Maasvlakte 2, met een maximale diepte van 20 meter onder de oorspronkelijke zeebodem. Deze zandwinput laat een vergelijkbaar beeld zien de eerdergenoemde winputten voor de Nederlandse kust (M9J, Q5HJ2, Q5JP en Q16H; Figuur 3.11), na extractie tussen 2009 en 2010 is de fijne fractie toegenomen van 3.7 % in 2006, naar 5 tot 6 % in de periode 2008 – 2011 tot 9.3% in 2012 (Hendriks et al., 2020). Tegelijkertijd is de fijne fractie ook in de omgeving van de zandwinput toegenomen (Figuur 3.12). Deze observaties worden bevestigd door de Jong et al., (2015).

Studies buiten de Nederlandse kust laten een vergelijkbaar beeld zien qua accumulatie van fijn sediment in middeldiepe tot diepe winputten. Thatje et al. (1999) vinden in een krater met een bodem 65 m onder zeeniveau (omliggend gebied 34 m onder zeeniveau), gevormd in 1963 in de Duitse Bocht, fijnere fracties. In 1995, na 32 jaar, wordt een siltfractie van 30% in de krater gevonden, terwijl deze fractie in het omliggende gebied te verwaarlozen is. Mielck et al. (2019), observeert meer dan 30 jaar na extractie van zand in putten tot 20 m diep, blijvende afwijkingen ten opzichte van de oorspronkelijke zeebodem. Naast het uitblijven van volledige opvulling, bestaat het materiaal in de put na extractie uit fijner sediment. In de studie van Mielck et al. (2019) is natuurlijke regeneratie is alleen geobserveerd aan de ondiepe randen van de oudere winputten (tientallen jaren). Deze randen zijn gegroeid in hoogteligging en de diepere delen van de putten al wat zijn opgevuld, waardoor topografische gradiënten minder steil zijn en de bathymetrie van de omliggende zeebodem benaderd wordt. De genoemde studies bevestigen dat tot op de middellange termijn (decennia), sedimentkarakteristieken blijvend veranderd zijn, resulterend in andere abiotische omstandigheden voor lokale benthische gemeenschappen, in vergelijking met de situatie voor zandwinning. Mogelijk resulteert dit in een blijvend andere samenstelling van benthos en benthische gemeenschappen



Figuur 3.12. Fractie fijn sediment voor (linker paneel) en na (middenpaneel) Maasvlakte 2 activiteiten, alsook het verschil tussen voor en na (rechter paneel) (Hendriks et al., 2020).

### 3.3.3 Benthos in voormalige zandwinputten

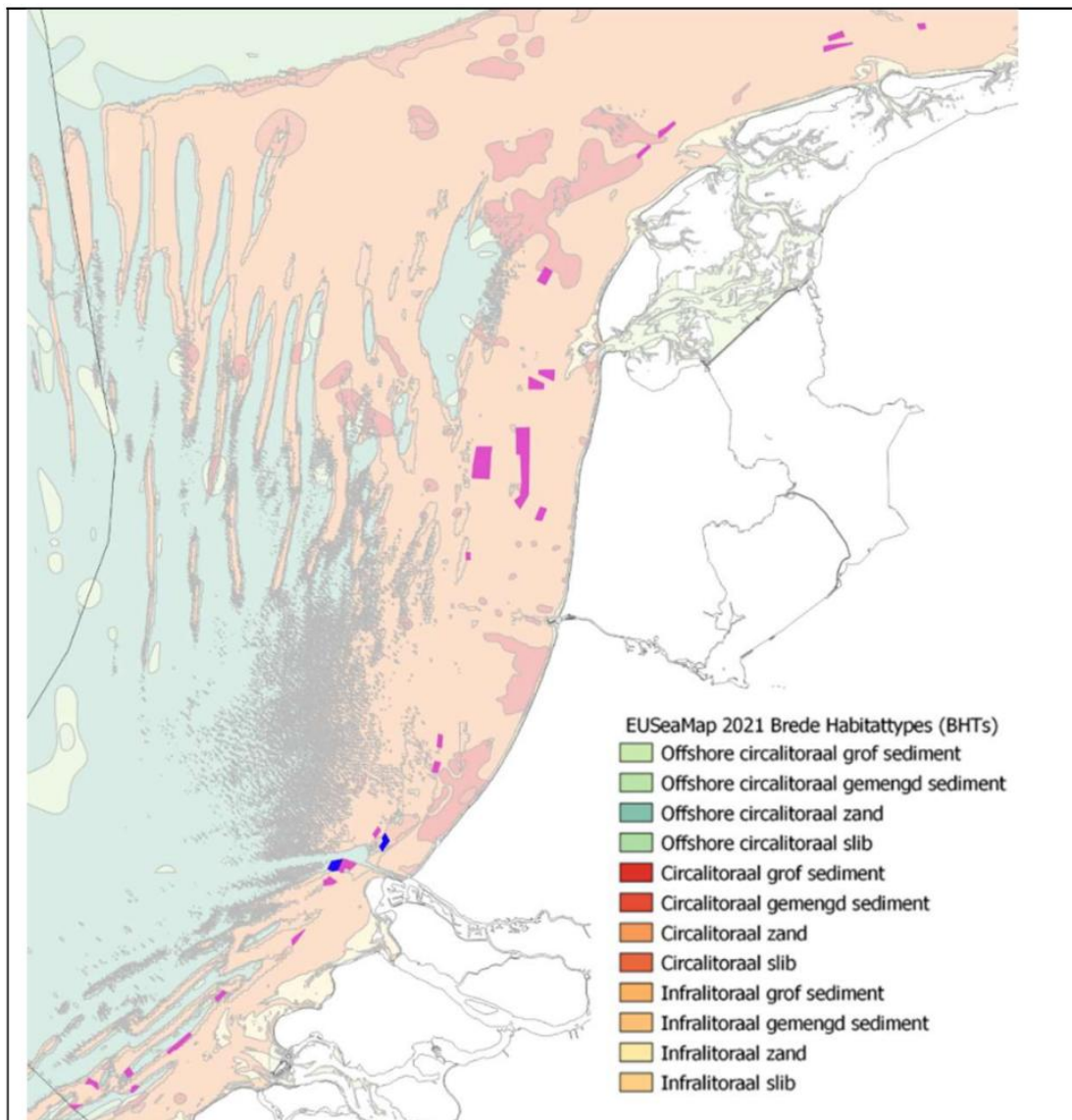
Op de schaal van het volledige Nederlandse deel van de Noordzee leidt zandwinning tot 0.018 % aan habitatverlies (D6C1/C4, D7C2) op het totaal aan zeebodem (Figuur 3.13). Ten opzichte van voor 2010 is het habitatsverlies door zandwinning en verdiepte loswallen waar gebaggerd (haven)slib wordt gestort iets toegenomen (Figuur 3.14; Wijnhoven, 2023). Schulz et al. (2025) laat recentelijk zien dat op de volledige schaal van de Nederlandse Noordzee, zowel in als buiten zandwinputten, de soorten-specifieke relatie van benthos met abiotische parameters uitgelegd kan worden door verandering in hydrodynamiek en sedimentatie. Dus verandering van abiotische parameters als sedimentsamenstelling, hydrodynamica en de bathymetrie van de zeebodem spelen een grote rol in het voorkomen van bentische habitats en organismen. Wijnhoven (2023) spreekt de verwachting uit dat habitatsverlies de komende jaren zeer beperkt zal toenemen wanneer gebruik wordt gemaakt van ondiepe winning, gezien hydrodynamische veranderingen beperkt en van tijdelijke aard zijn. Bij middeldiep en diepe winning is de verwachting in Wijnhoven (2023) wel dat veranderingen in potentie van permanente aard zijn en daarmee verstoringen opleveren voor bentische habitats. Diepe zandwinning zal vooral tot verlies van zandige habitats leiden, echter komen deze al in grote arealen voor.

In zandwinputten in het Nederlandse deel van de Noordzee worden veranderingen geobserveerd in samenstelling en voorkomen van bentische organismen in vergelijking met de oorspronkelijk en/of omliggende zeebodem (e.g. Leewis et al., 2022). Door verandering van bathymetrie, bodemschuifspanningen en sedimentsamenstelling (e.g. De Jong et al., 2015) verandert de soortensamenstelling. Bij verlaten winputten in de Nederlandse Noordzee (Figuur 3.11) wordt meer variatie en diversiteit in referentiegebieden geobserveerd in vergelijking met de bodem van voormalige winputten zelf (Figuur 3.15). Rekolonisatie lijkt plaats te vinden, echter blijven in ieder geval tot 12 jaar na winning verschillen bestaan tussen winputten en referentiegebieden (Leewis et al., 2022). Dit wordt ondersteund door observaties van De Jong et al. (2016), waar met de diepte van de winput getijgemiddelde

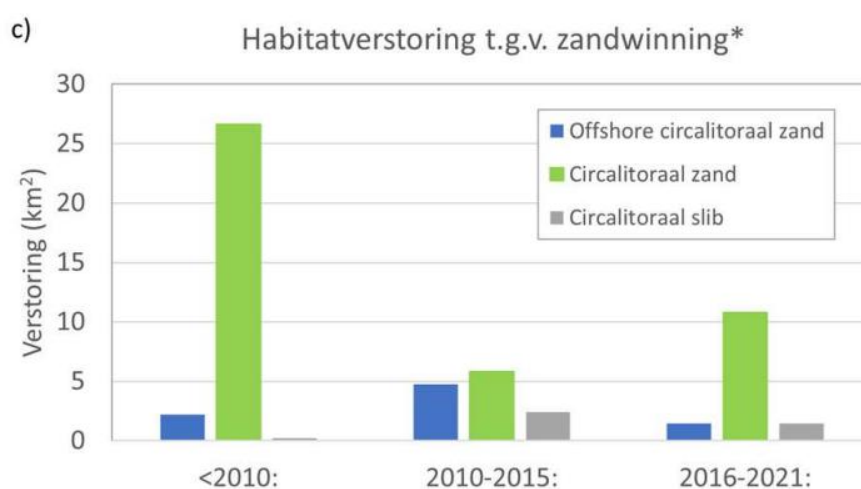
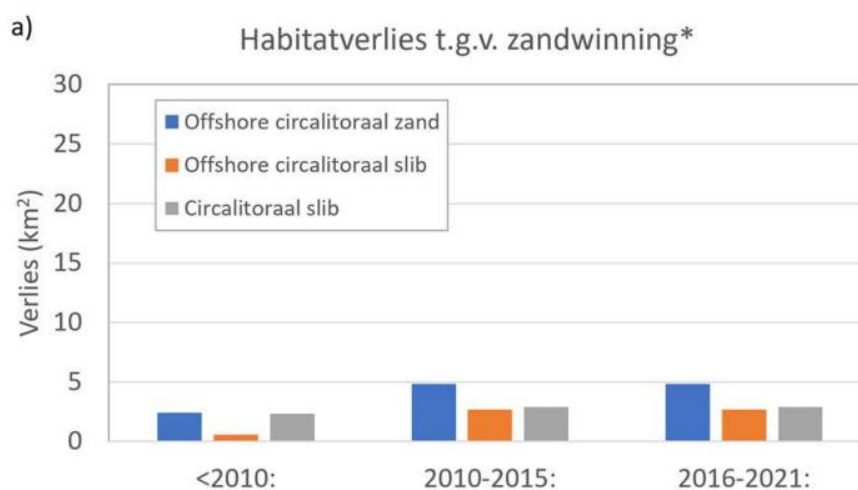
bodemschuifspanningen afnemen en daarmee andere soortensamenstellingen voorkomen (Figuur 3.16). In verschillende winputten in de Noordzee: 2 m diepe put nabij Terschelling, 8 m diepe Euromaasgeul, en 20 m tot 24 m diepe Maasvlakte 2 put, laat De Jong et al. (2016) zien dat herstel van benthos mogelijk is bij ondiepe putten (2 m diep). Dit komt overeen met bredere literatuur (Desprez, 2000; Desprez et al., 2010; Desprez & Lafite, 2014; Le Bot et al., 2010) en opvulsnelheden van de put (sectie 3.2). Bij grotere dieptes verandert de abiotiek en de samenstelling van bentische gemeenschappen overduidelijk (Figuur 3.16).

Ondanks dat in literatuur een toename van biomassa en dichtheden in winputten worden geobserveerd (Witbaard & Craeymeersch, 2023; De Jong et al., 2015; 2016; Sarda et al., 2000), lijkt alleen een deelverzameling van de oorspronkelijke soorten zich te vestigen en zijn het met name koloniserende wormen die zich vestigen. Tweekleppigen, als adulten weinig mobiel, komen terug door dispersie van larven en waarschijnlijk gefaciliteerd door een initiële lage aanwezigheid van predatoren (Rodríguez et al., 1993). Schultz et al. (2025) laat zien dat de verandering in abiotiek (slib fractie, bathymetrie en stroomsnelheid nabij de bodem) leidt tot voorkomen van opportunisten ten koste van gespecialiseerde sessiele organismen. Dat blijkt ook uit ander onderzoek. Kenmerkende soorten die op de bodem van Nederlandse winputten gevonden worden zijn: *Echinocardium cordatum* (een mobiele gravende zee-egel met weinig specifieke voedselvoorkeuren), *Ophiura* sp. (slangsterren met een brede waaier aan voedingsstrategieën) en *A. alba* (een tweekleppige die kenmerkend is voor habitats met fijner sediment) (Thatje et al., 1999; Witbaard & Craeymeersch, 2023).

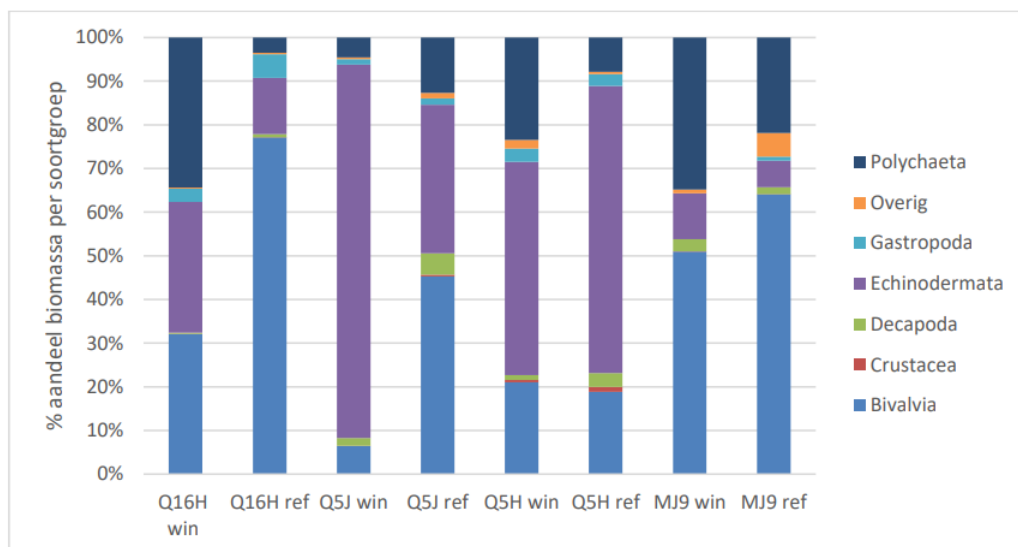
Ecologisch onderzoek laat zien dat er een sterke relatie is tussen benthos en abiotische parameters (bijv. Schultz et al., 2025; Witbaard & Craeymeersch, 2023). Dus leidend voor herkolonisatie van benthos in diepere winputten is de verandering van abiotiek van een ondiepe winput richting een diepere winput. Meer specifiek zijn van belang: bodemschuifspanning en stroomsnelheid nabij de bodem, opvulsnelheid, slib fractie en korrelgrootte. Op basis van bovenstaande literatuur volgt dat abiotiek blijvend veranderd lijkt te zijn, en daarmee volledig herstel van benthos naar de oorspronkelijk fauna niet plaats zal vinden. In ondiepe putten zijn er aanwijzingen dat de put weer volledig opvult, tegelijkertijd laat literatuur zien dat veel (middel)diepe putten niet volledig opvullen. Het sediment waarmee de put zich vult, onafhankelijk van de diepte, is anders dan het sediment van de oorspronkelijke bodem. Daarbij in acht genomen dat door de genoemde veranderende abiotische omstandigheden, de koloniatiegeschiedenis van de zandwinput sterk verschilt met deze van de oorspronkelijk zeebodem, is het dus sterk de vraag of een volledige herkolonisatie richting oorspronkelijke samenstelling plaats zal vinden.



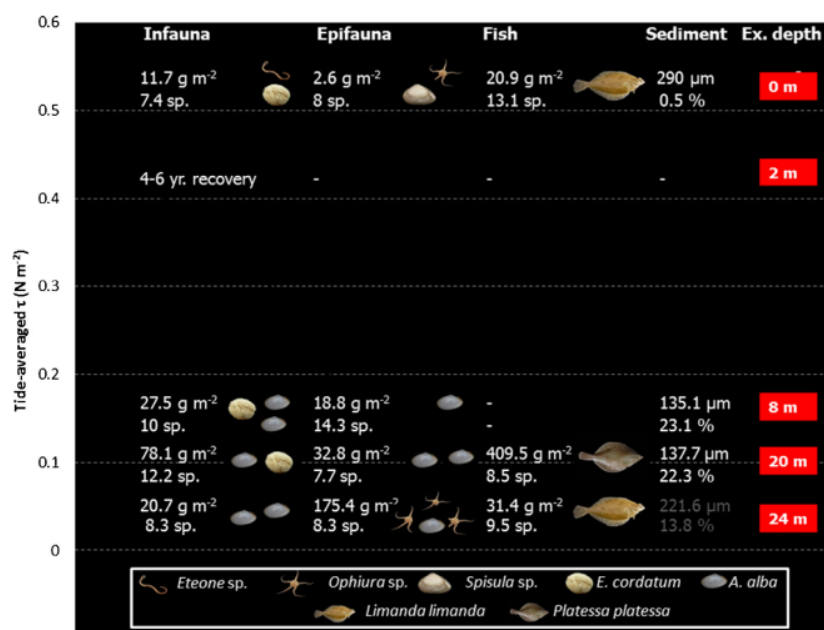
Figuur 3.13. Zandwingebieden in het Nederlandse deel van de Noordzee, die geresulteerd hebben in habitatverstoring (paars) en habitatverlies (blauw) (Wijnhoven, 2023).



Figuur 3.14. Habitatverlies (boven) en habitatverstoring (onder) per breed habitatype (offshore circalitoraal zand, slib en circalitoraal slib) in km<sup>2</sup> zeebodem ten gevolge van zandwinning in het Nederlandse deel van de Noordzee, in de jaren voor 2010, tussen 2010-2015 en tussen 2016-2021 (Wijnhoven, 2023).



Figuur 3.15. Relatief aandeel biomassa per benthische soortgroep in voormalig zandwinputten (win; Figuur 3.11) en referentiegebieden (ref). De locaties van de zandwinputten en referentie locaties zijn terug te vinden in Figuur 3.11: M9J (nabij Ameland), Q5HJ2 (nabij Petten noord), Q5JP (nabij Petten zuid) en Q16H (nabij Scheveningen) (Leewis et al., 2022).



Figuur 3.16. Overzicht van soortensamenstelling met diepte en afnemende getijgemiddelde schuifspanning in zandwinputten (De Jong et al., 2016). De diepte van de put neemt af van boven naar beneden (y-as rechterzijde, waarden in rode blokken) en daarmee de bodemschuifspanningen in de put (y-as linkerzijde; waarden). Dit resulteert in veranderende aanwezigheid van benthische organismen.

### 3.3.4 Kaderrichtlijn Mariene strategie en Natura 2000

De Kaderrichtlijn Mariene Strategie en Natura 2000 gebieden in de Nederlandse Noordzee (Figuur 3.17), hebben als doel om natuur en natuurwaarden onder andere in de Noordzee te beschermen en versterken.

Vanuit een breder perspectief relevant voor habitats, werd in de jaren '90 de Europese "[Habitats Directive](#)" aangenomen. Deze richtlijn heeft als doel om flora en fauna te beschermen (soortenbescherming en gebiedsbescherming) en ervoor te zorgen dat soorten en habitat types behouden of gerestaureerd worden richting een positieve en gewenste status. Samen met de eind jaren '70 vastgestelde "[Birds directive](#)", vormt de Habitats directive de juridische basis voor het beschermen en beheren van het netwerk van Natura 2000 sites. Zowel binnen als buiten Natura2000 gebieden geldt voor specifieke soorten onder andere een verbod op vangen en doden van soorten en het verslechteren en vernietigen van habitat. Tegelijkertijd met de "Habitats directive" werd in de jaren '90 ook het [OSPAR-verdrag](#) getekend. Dit trad in 1998 in werking ter bescherming van marine habitats in de noordoostelijke Atlantische oceaan.

De "[Water Framework Directive](#)" (Kaderrichtlijn Water) is vervolgens in 2000 ingesteld voor bescherming van waterlichamen (binnenlands-, overgangs-, kustwateren en grondwater). Van lidstaten wordt verlangd dat zij hun waterlichamen beschermen en indien nodig herstellen om een goede toestand te bereiken en verslechtering te voorkomen. Dit geldt zowel voor de chemische als ecologische toestand. Dit wordt gedaan middels het gebruik van "River Basin management plans" en "Programmes of Measures". De huidige kaderrichtlijn water is gebaseerd op twee dochterrichtlijnen. Eén daarvoor is gericht op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater, zowel op vervuiling middels chemische stoffen, als op de ecologische kwaliteit waaronder het herstellen van waterstructuren en biodiversiteit.

De "[Marine Strategy Framework Directive](#)" (Kaderrichtlijn Mariene Strategie) is in Europa ingesteld in 2008 voor bescherming van het marine ecosysteem en biodiversiteit. Het oorspronkelijke doel was om een goede milieutoestand te bereiken voor mariene wateren in de EU in het jaar 2020. Een goede milieutoestand is gedefinieerd als "ecologische diverse en dynamische oceanen en zeeën die schoon, gezond en productief zijn", waarin het gebruik van mariene bronnen duurzaam is, zodat deze voor toekomstige generaties beschikbaar blijven. Dit wordt uiteengezet in 11 kwalitatieve descriptoren:

- D1 Biodiversiteit (vogels, vissen, zeezoogdieren)
- D2 Niet-inheemse soorten (exoten)
- D3 Commerciële vis, schaal- en schelpdieren
- D4 Voedselwebben
- D5 Eutrofiëring
- D6 Integriteit van de zeebodem (habitats)
- D7 Hydrografische eigenschappen
- D8 Vervuilende stoffen
- D9 Vervuilende stoffen in vis en visproducten
- D10 Zwerfvuil
- D11 Energietoevoer, onder meer onderwatergeluid

Per lidstaat vereist de Kaderrichtlijn Mariene Strategie monitoring en maatregelen voor behoud en verbetering. In Nederland is de Kaderrichtlijn Mariene Strategie geïntroduceerd in de omgevingswet, waardoor deze onderdeel is geworden van het Nederlandse recht. De verplichting is aangegaan om (aldus het [Noordzeeloket](#)):

- Aan de hand van door de KRM gegeven 'descriptoren' inventariseren en beoordelen wat de actuele milieutoestand is in het eigen zeegebied
- Doelen stellen en maatregelen nemen voor het herstel en behoud van de goede milieutoestand
- Een monitoringprogramma opstellen om te kunnen volgen hoe het marine milieu zich ontwikkelt en wat de effecten zijn van genomen maatregelen
- De KRM-verplichtingen opnemen in de eigen nationale wet- en regelgeving
- Periodiek aan Brussel rapporteren over alle onderdelen van de richtlijn Mariene Strategie voor Nederlandse deel Noordzee

Dit is vervolgens uitgewerkt in 3 delen met een looptijd van 6 jaar:

- Mariene Strategie deel 1 (2024-2030), een beschrijving van de huidige milieutoestand, de gewenste goede milieutoestand, milieudoelen, descriptor en indicatoren.
- Mariene Strategie deel 2 (2020-2026), dat het KRM-monitoringprogramma beschrijft en toelicht hoe Nederland dit uitvoert.
- Mariene Strategie deel 3 (2022-2027), het Programma van maatregelen dat Nederland heeft opgesteld en uitvoert om de goede milieutoestand te behalen.

Bij beoordeling van de toestand van het marine milieu in de Kaderrichtlijn Mariene Strategie, wordt van elke descriptor bepaald of deze voldoet aan de gegeven criteria. De indicatoren voor deze beoordeling zijn opgesteld binnen het OSPAR samenwerkingsverband. Ten slotte is in 2024 de Europese "[Nature Restoration Regulation](#)" (Natuurherstelwet) ingesteld. Dit is de eerste bindende wetgeving voor herstel van ecosystemen, waarmee verder biodiversiteitsverlies voorkomen dient te worden. Tevens is dit een hulpmiddel om aan internationale biodiversiteits afspraken te voldoen binnen het "Kunmig-Montreal Global Biodiversity framework". Op de schaal van de EU moet in 2030 minstens 20% van mariene ecosystemen en 20% van ecosystemen op het land hersteld zijn. Tegelijkertijd wordt verlangd dat 30% van habitats in slechte staat hersteld moeten zijn in 2030. De doelen lopen verder op richting 2050. Mogelijk is dit van invloed op werkzaamheden die habitats verstoren.

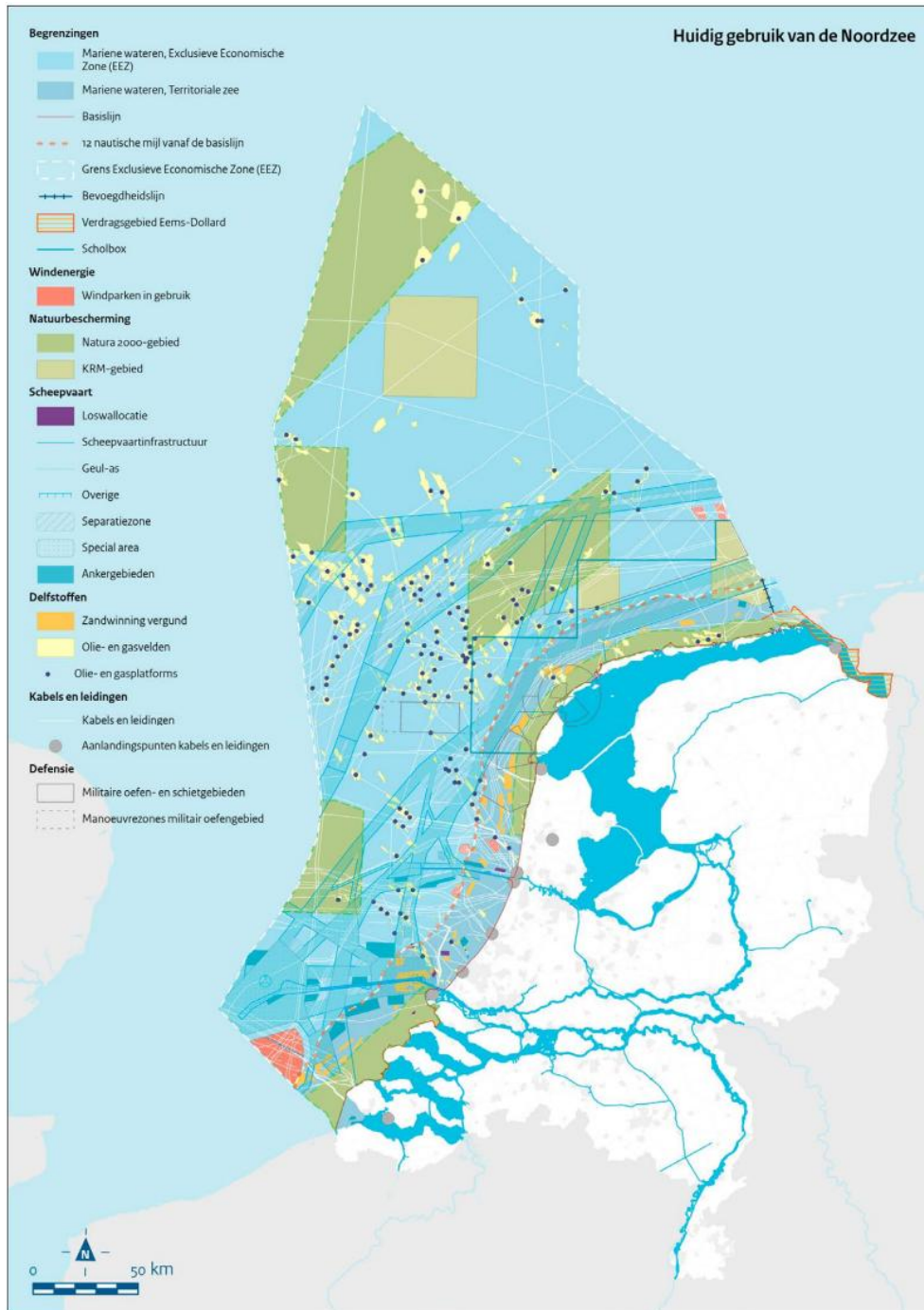
De huidige beschermde gebieden binnen KRM en Natura 2000 overlappen vrijwel niet met de huidige (potentiële) zandwingebieden (Figuur 3.17). Habitattype H1110 (permanent overstromde zandbanken) in Natura 2000 valt met name binnen een waterdiepte van 20 m, ondieper dan waarin de huidige zandwinputten te vinden zijn. Er zijn uitzonderingen waarin dieper gelegen gebieden als de Doggerbank vallen (uit profiel Permanent overstromde zandbanken (H1110)).

In KRM-descriptor D6 (Integriteit van de zeebodem (habitats) staan algemene milieutoestanden en doelen beschreven (Tabel 3.3). Binnen descriptor D6 wordt de integriteit van de zeebodem beschreven als zodanig dat de structuur en de functies van de ecosystemen gewaarborgd zijn en dat met name bentische ecosystemen niet onevenredig worden aangetast. Een goede milieutoestand (D6C5) wordt gezien als de diversiteit van bentos geen afnemende trend laat zien in de beschouwde gebieden. De fysieke verstoringen van de zeebodem worden beschouwd voor de gehele Noordzee en de Exclusieve Economische Zone (EEZ) (Tabel 3.3). In de Europese richtlijn ([Marine Strategy Framework](#)), worden specifieke drempelwaarden genoemd voor verlies en nadelige effecten: "het maximale percentage van een bentisch breed habitattype dat verloren mag gaan in een beoordelingsgebied bedraagt 2% van zijn natuurlijke omvang"; en "het maximale percentage van een bentisch breed habitattype dat negatief beïnvloed mag worden bedraagt 25%". In deze laatste drempelwaarde wordt negatief gezien als een onaanvaardbare afwijking van de referentietoestand van (a)biotische structuur en functies (e.g. typische soortensamenstelling, kwetsbare soorten, functioneren van habitats, etc.). Bentisch brede habitattypes zijn bijvoorbeeld circalitoraal zand en circalitoraal slib. In de "[Mariene Strategie deel 1 voor het Nederlandse deel van de Noordzee](#)" wordt de drempelwaarde van 2% voor habitatsverlies voor bentische habitats overgenomen. Tegelijkertijd wordt aangegeven dat de drempelwaarde van 25% voor negatieve beïnvloeding nog niet kan worden ingezet. Op dit moment vallen de verliezen binnen het Nederlandse deel van de Noordzee binnen de drempelwaarde van 2%. De OSPAR-analyse geeft aan dat door intensieve visserij 201 km<sup>2</sup>, oftewel 1.5% van het habitattype "offshore circalitoraal slib" als verloren beschouwd is. Buiten de visserij wordt het grootste verlies veroorzaakt door zandwinning, 3 km<sup>2</sup> (oftewel 0.56%) circalitoraal slib (Figuur 3.18). In de Mariene Strategie deel 1 wordt dit verklaard doordat dit habitattype juist in omvang is toegenomen door slib te dumpen in verdiepte loswallen waar eerst zand is gewonnen. In habitatkartering worden deze locaties als slibrijk habitat gezien,

terwijl het in het verleden mogelijk zandig habitat was (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, 2025).

Effecten van verlies en verstoringen (negatieve beïnvloeding) zijn naar verwachting sterk lokaal en daardoor waarschijnlijk beperkt van belang voor vogels en/of vissen, en zeezoogdieren. Wel is het zo (althans voor vogels) dat ze niet noodzakelijk makkelijk kunnen uitwijken, want ze zijn ook gebonden aan de kosten die te maken hebben met het op zoek gaan naar nieuwe foerageergebieden en de afstand tot hun kolonies. Voor het grootste deel van het zandwingebied is dat waarschijnlijk niet van toepassing, maar mogelijk wel als zandwinning op een plaats gebeurt waar schelpenbanken aanwezig zijn. Die zijn belangrijk voor sommige duikende vogelsoorten, en als die verstoord worden, is er niet noodzakelijk een alternatief in de buurt.

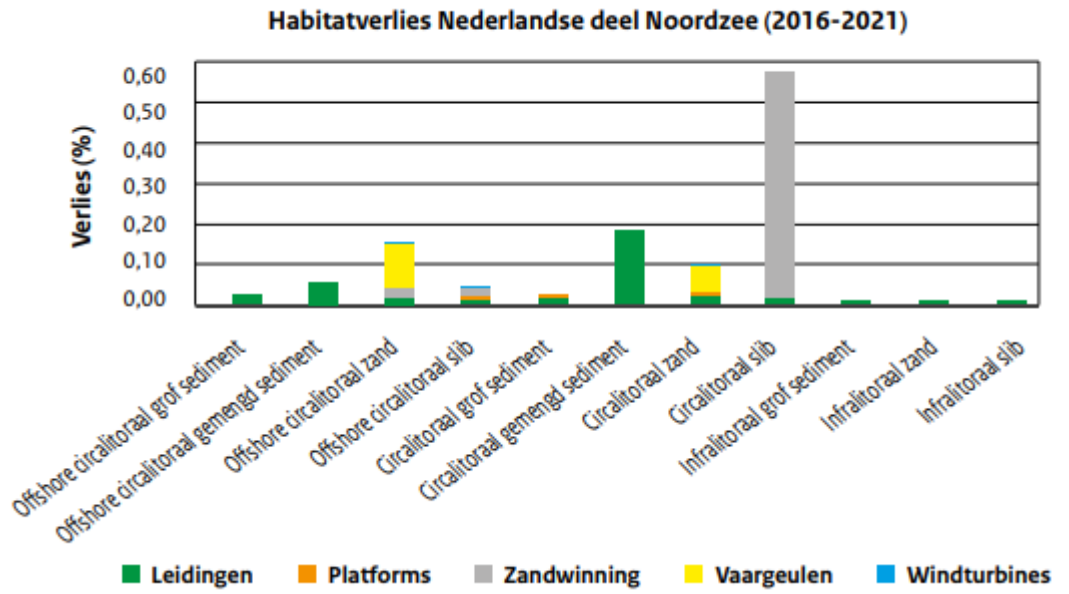
Ondanks dat huidige zandwingebieden niet binnen KRM en Natura 2000 gebieden vallen, zal er verstoring plaatsvinden van de zeebodem en benthische habitats zodra zandextractie plaatsvindt (zie voorgaande secties). Hoe dit in een beoordeling terecht komt, is sterk afhankelijk van het beoordeelde gebied en de schaal. Echter, in de geest van D6C5 wordt een verminderde diversiteit niet als "goede milieutoestand" beschouwd. Op de ruimtelijke schaal van het referentiegebied en wingebied, kan een mogelijke toename van diversiteit verwacht worden door een grotere diversiteit in abiotische condities en daarmee ook aan benthosgemeenschappen. Echter, zal na zandwinning lokaal in de zandwininput de diversiteit afnemen. Tegelijkertijd is deze afname op dit moment beperkt in omvang in relatie tot de totale Nederlandse Noordzee (Wijnhoven, 2023). Bij een stijging van zandwinning kunnen mogelijk cumulatieve effecten een rol spelen, indien er een snelle stijging is van zandwingebieden. Er is dus een sterke afhankelijkheid van de schaal die gebruikt wordt voor het perspectief. Bovenal geldt dat in KRM-descriptor D6 een toename van fysieke verstoringen en een afname van diversiteit van benthos niet gewenst is.



Figuur 3.17 Gebruik van de Noordzee inclusief KRM en Natura 2000 gebieden uit Programma Noordzee 2022-2027.

Tabel 3.3 KRM descriptor D6 Integriteit van de zeebodem (habitats).

<b>Benthische habitats</b>	
Goede milieutoestand	<p>Overkoepelend: verbetering van de omvang, conditie en globale verspreiding van populaties van de gemeenschap van benthosoorten.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D6C3: verbetering van de kwaliteit van de beoordeelde gebieden en habitats op het Nederlandse deel van de Noordzee (Benthische Indicator Soorten Index).</li> <li>• D6C5: de diversiteit van benthos vertoont geen afnemende trend in de beoordeelde gebieden (OSPAR- beoordelingswaarde).</li> </ul>
Milieudoelen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D6T1: 10-15 procent van het oppervlak van het Nederlandse deel van de Noordzee wordt niet noemenswaardig beroerd door menselijke activiteiten.</li> <li>• D6T2: verbetering kwaliteit van de beoordeelde gebieden en habitats.</li> <li>• D6T4: verder ontwikkelen en testen van regionale beoordelingsmethoden (OSPAR en ICES) die in de toekomst gebruikt kunnen worden voor een beoordeling van benthische en pelagische habitats.</li> <li>• D6T5: terugkeer en herstel van biogene riffen, waaronder platte-oesterbanken</li> <li>• D1T3: realiseren instandhoudingsdoelstellingen voor habitattypen en soorten in de Natura 2000-gebieden op zee (VR en HR).</li> </ul>
<b>Fysieke verstoring van de zeebodem</b>	
Goede milieutoestand	<p>Overkoepelend: fysieke verstoring van de zeebodem door menselijke activiteiten wordt beperkt om te waarborgen dat de omvang, conditie en globale verspreiding van populaties van de gemeenschap van kenmerkende benthosoorten toeneemt en doelen voor specifieke habitats worden gehaald.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D6C2: geen significante toename in de fysieke verstoring in de tijd op de totale zeebodem van de gehele Noordzee en de EEZ.</li> <li>• D6C3: geen toename in de fysieke verstoring in de tijd over de habitats die in het kader van de KRM zijn beschreven.</li> <li>• D6C3: voor de habitats die in het kader van de Habitatrichtlijn zijn beschreven, gelden de instandhoudingsdoelen voor deze habitats.</li> </ul>
Milieudoelen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D6T1: 10-15 procent van het oppervlak van het Nederlandse deel van de Noordzee wordt niet noemenswaardig beroerd door menselijke activiteiten.</li> <li>• D6T3: geen toename in de fysieke verstoring door visserijactiviteiten in de tijd op de totale zeebodem van de EEZ en op de habitats die in het kader van de KRM zijn beschreven.</li> <li>• D1T3: realiseren instandhoudingsdoelstellingen voor habitattypen en soorten in de Natura 2000-gebieden op zee (VR en HR).</li> </ul>
<b>Fysieke vernietiging van de zeebodem</b>	
Goede milieutoestand	<p>Overkoepelend: fysiek verlies van de zeebodem door menselijke activiteiten wordt beperkt om te waarborgen dat de omvang, conditie en globale verspreiding van populaties van de gemeenschap van kenmerkende benthosoorten toeneemt en doelen voor specifieke habitats worden gehaald.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D6C1: geen significant verlies van de natuurlijke zeebodem ten opzichte van de situatie in 2012 als gevolg van menselijke activiteiten.</li> <li>• D6C4: geen significant verlies als gevolg van menselijke activiteiten van de habitats die in het kader van de KRM zijn beschreven.</li> </ul>
Milieudoelen	Zie fysieke verstoring.



Figuur 3.18. Habitatverlies in de Nederlandse Noordzee per bentisch breed habitattypen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (2025)).

## 4 Conclusies

### 4.1 Geologie

Voor de meeste delen van de kust is er op 6-12 m onder de zeebodem zand met vergelijkbare korrelgrootte aanwezig als in de eerste zes meter onder de zeebodem. Voor de kust van Zeeland is er wel een groter verschil zichtbaar: hier is op grotere diepte meer zand met grotere korrelgrootte aanwezig.

Op grotere diepte is dus zand beschikbaar met een korrelgrootte die voor suppleties geschikt is aanwezig. Door onder andere stoorlagen en andere types zand is de hoeveelheid op 6-12 m diepte lager dan voor de eerste zes meter.

Door lage boordichtheid is er grotere onzekerheid over zowel stoorlagen als de samenstelling van het sediment op grotere diepte. Ook zijn in DIS 2.1 niet alle stoorlagen goed in beeld, wat het gehele beeld (van beschikbare hoeveelheden zand) in sommige gebieden kan veranderen.

Wanneer er zand wordt gewonnen vóórdat kabels worden aangelegd levert dat geen problemen op voor kabelaanleg mits de helling niet te steil is. Langs een volledig kabeltracé komt wel een groot volume in één keer beschikbaar, waar een geschikte suppletielocatie voor moet zijn. Technisch is het mogelijk om kabels veel dieper te leggen, waarna erboven zand zou kunnen worden gewonnen. Hiervoor is echter wel aanpassing van bestaande wetgeving nodig maken en zijn er verschillende vraagstukken rondom risico's die nader uitgewerkt zouden moeten worden.

### 4.2 Morfodynamiek

De morfologische ontwikkeling van een diepe put wordt beïnvloed door sedimenttransport tijdens lokale hydrodynamische condities en is sterk afhankelijk van de waterdiepte waarop de put zich bevindt. Diepere putten worden gekenmerkt door relatief kleine migratiesnelheden en langere opvultijden ten opzichte van ondiepe putten. Voor de resultaten in het huidige onderzoek is gebruikt gemaakt van diverse morfologische studies naar zandwinputten op diverse locaties wereldwijd. Deze resultaten kunnen door een gebrek aan (meet)data en het gebruik van verschillende methoden slechts beperkt worden gekwantificeerd. Ook bestaan er onzekerheden vanwege lokale verschillen in hydrodynamica, sedimentbudget en geometrie van de onderzochte putten. Toch kan een aantal duidelijke trends gedefinieerd worden voor putten op waterdieptes < -20 m NAP, welke hieronder staat beschreven:

- Verwacht wordt dat volledige opvulling van putten tot 12 m diepte enkele decennia tot honderden jaren kan duren.
- De geschatte migratiesnelheden van diepe putten zijn ordergrootte meters per jaar. Putten kunnen dus enkele honderden meters opschuiven over een periode van 50 jaar.
- Diepe zandwinputten hebben niet of nauwelijks invloed op kustlijnverandering.

Daarnaast is het aannemelijk dat voormalige windparken geschikt zijn voor zandwinning, waarbij wel rekening moet worden gehouden met eventuele achtergebleven bodembeschermingen en de minimale afstand hiertoe die baggeraars hanteren. Toch heeft de aanwezigheid van bodembeschermingen slechts beperkt invloed hebben op het totale gebied waaruit zand kan worden gewonnen.

## 4.3 Ecologie

Het literatuuronderzoek laat zien dat de ecologische ontwikkeling van huidige middeldiepe en diepe zandwinputten gepaard gaat met abiotische veranderingen:

- Veranderingen in bathymetrie van de zeebodem, initieel verdieping en vervolgens bodemgroei door sedimentatie in de zandwinput;
- Veranderingen in hydrodynamiek, waaronder getijgemiddelde bodemschuifspanningen;
- Veranderingen in sedimentkarakteristieken richting hogere fracties fijn sediment en organische stof.

Door verandering van abiotiek na zandextractie in winputten veranderen benthische gemeenschappen, veelal resulterend in minder diversiteit van benthos maar mogelijk hogere biomassa's vanwege een verandering in samenstelling van de gemeenschap. Dit wordt ook geobserveerd in studies die diepe zandwinputten (+/- 20 m) beschouwen. Specifiek bodemleven herkoloniseert, echter vindt volledige herkolonisatie niet plaats en kan men niet verwachten dat na verloop van tijd de benthische gemeenschappen in de zandwinput weer richting de oorspronkelijke gemeenschappen gaan. Immers, door de (middel)diepe zandwinning is het bodemleven verwijderd en zijn de abiotische omstandigheden veranderd, daarmee is de koloniatiegeschiedenis van de put anders dan van de oorspronkelijke zeebodem. Daarmee gaat in de geest van KRM ook de kwaliteit van het habitat in het (voormalig) zandwingebied achteruit.

Door verandering van abiotische omstandigheden is het vrijwel onmogelijk om op korte tijdschalen mitigerende maatregelen toe te passen in (middel)diepe zandwinputten met als doel terugkeer naar het oorspronkelijke benthische habitat. Abiotische omstandigheden zijn immers veranderd, en zullen de eerste jaren blijven veranderen door (beperkte) opvulling van de put. Wel zou men kunnen denken aan compensatiemaatregelen in omliggend gebied (zoals bij de Tweede Maasvlakte is gedaan) om de kwaliteit van het omliggende gebied te versterken of aan het versterken van abiotische diversiteit (bathymetrische gradiënten) in de winput, zodat dit wellicht ook de diversiteit van benthos versterkt. Nabij de Tweede Maasvlakte is een bodembeschermingsgebied voor habitatype H1110 (permanent overstroomde zandbanken) ingesteld, waar beperkingen zijn opgelegd aan vormen van visserij die de zeebodem beroeren. Na monitoring blijkt dat de biomassa van bodemdieren in het beschermingsgebied is afgenomen, terwijl deze is toegenomen in het referentiegebied. Dus geen duidelijk bewijs voor een positief effect van de compensatiemaatregel, mogelijk is dit te verklaren door externe factoren (Prins et al., 2014). Binnen de Maasvlakte 2 winput is landschapsinrichting van de put, middels parallelle zandbanken toegepast. Dit kan bijdragen aan de soortenrijkdom in de put (De Jong et al., 2015). Het is echter geen gegeven bij het toepassen van mitigerende maatregelen dat ook direct de ecologische kwaliteit vooruit gaat.

Voor verdere en betere inzichten in de ontwikkeling van benthos in zandwinputten wordt aanbevolen om:

- Inzicht te krijgen in verlies/overleving van functiegroepen van benthos door een analyse te doen van functionele eigenschappen en rol in de voedselketen, om zo een beter begrip te verwerven van hoe zandwinning het ecologisch functioneren beïnvloedt;
- Uitgebreide consequente monitoring toe te passen op zandwinputten met observaties van: diepte en sedimentkarakteristieken direct na zandwinning, hydrodynamica, ontwikkeling van diepte en sedimentkarakteristieken over tijd en ontwikkeling van benthos over tijd.



# Referenties

Boers, M. (2005). Effects of a deep sand extraction pit: Final report of the PUTMOR measurements at the Lowered Dump Site. Rijkswaterstaat, RIKZ.

Dalfsen, J.A., van, 1999. Long-term effects of subaqueous sand extraction north of the island of Terschelling. Project RIACON\*2. Report nr. RIKZ-98.034. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Degraer, S., Verfaillie, E., Willems, W., Adriaens, E., Vincx, M., & Van Lancker, V. (2008). Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: an example from the Belgian part of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 28(3), 369-379.

Deltares (2009). Evaluation of performance of scour protection and edge scour development Offshore Windpark Egmond aan Zee. Doc. ref. 1200160-002-HYE-0001. Dated 14 October, 2009.

Desprez, M. (2000). Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short-and long-term post-dredging restoration. *Ices journal of marine science*, 57(5), 1428-1438.

Desprez, M., Pearce, B., & Le Bot, S. (2010). The biological impact of overflowing sands around a marine aggregate extraction site: Dieppe (eastern English Channel). *ICES Journal of Marine Science*, 67(2), 270-277.

Desprez, M., & Lafite, R. (2014). *Monitoring the impacts of marine aggregate extraction: Knowledge Synthesis 2012 (GIS SIEGMA)*. Presses universitaires de Rouen et du Havre.

Eisma, D. (1987). The North Sea: an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 316(1181), 461-485.

Groen, B. (2015). Long-term morphodynamic behaviour of the Maasvlakte 2 sand extraction pits and the influence on surrounding sand wave fields (Master's thesis, University of Twente).

Hendriks, E., Schuurman, F., (2017). Modelling alternatieve loswal locaties. Deltares rapport 1230860-000- ZKS-0008

Hendriks, H. C. M., Van Prooijen, B. C., Aarninkhof, S. G. J., & Winterwerp, J. C. (2020). How human activities affect the fine sediment distribution in the Dutch Coastal Zone seabed. *Geomorphology*, 367, 107314.

Huthnance, J. M. (1991). Physical oceanography of the North Sea. *Ocean and shoreline management*, 16(3-4), 199-231.

Irion, G., & Zöllmer, V. (1999). Clay mineral associations in fine-grained surface sediments of the North Sea. *Journal of Sea Research*, 41(1-2), 119-128.

Le Bot, S., Lafite, R., Fournier, M., Baltzer, A., & Desprez, M. (2010). Morphological and sedimentary impacts and recovery on a mixed sandy to pebbly seabed exposed to marine aggregate extraction (Eastern English Channel, France). *Estuarine, coastal and shelf science*, 89(3), 221-233.

Maarten F. de Jong, Martin J. Baptist, Han J. Lindeboom, Piet Hoekstra, Relationships between macrozoobenthos and habitat characteristics in an intensively used area of the Dutch coastal zone, ICES Journal of Marine Science, Volume 72, Issue 8, September/October 2015, Pages 2409–2422, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv060>

De Jong, M. F., Baptist, M. J., Lindeboom, H. J., & Hoekstra, P. (2015). Short-term impact of deep sand extraction and ecosystem-based landscaping on macrozoobenthos and sediment characteristics. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1-2), 294-308.

De Jong, M. F., Borsje, B. W., Baptist, M. J., van der Wal, J. T., Lindeboom, H. J., & Hoekstra, P. (2016). Ecosystem-based design rules for marine sand extraction sites. *Ecological engineering*, 87, 271-280.

Gonçalves, D. S., Pinheiro, L. M., Silva, P. A., Rosa, J., Rebêlo, L., Bertin, X., ... & Esteves, R. (2014). Morphodynamic evolution of a sand extraction excavation offshore Vale do Lobo, Algarve, Portugal. *Coastal engineering*, 88, 75-87.

González, M., Medina, R., Espejo, A., Tintoré, J., Martín, D., & Orfila, A. (2010). Morphodynamic evolution of dredged sandpits. *Journal of Coastal Research*, 26(3), 485-502.

KEMA (2010). Analysis and evaluation of collected lightning strike data. Doc. ref. OWEZ-R\_113\_20100902

Klein, M. D., & van den Boomgaard, M. (2013). Evaluatie van zandwinputten MV2. *Svasek Hydraulics, Rotterdam*.

*Klomp, W.H.G., 1996. "Modelstudie zandwinputten", DHV milieu en infrastructuur, rapport nr. IS-NW962244.*

Leewis, L, Van Son, L.M., Lubos, L. (2024). Zand uit Zee chronosequentie, Rapportage Boxcore-campagne. Projectnummer: J0003187

Mielck, F., Hass, H.C., Michaelis, R. et al. Morphological changes due to marine aggregate extraction for beach nourishment in the German Bight (SE North Sea). *Geo-Mar Lett* 39, 47–58 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00367-018-0556-4>.

Migniot, C., & Viguier, J. (1980). Influence de l'extraction des granulats en mer sur l'équilibre du littoral. *La Houille Blanche*, (3), 177-194.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004). Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee. (in Dutch). Rijkswaterstaat, Directie Noordzee.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (2025). Mariene Strategie (deel 1), beschrijving van de huidige milieutoestand en milieudoelen (2024 – 2030)

Motyka, J. M., & Willis, D. H. (1975). The effect of wave refraction over dredged holes. In *Coastal Engineering 1974* (pp. 615-625).

Price, W.A., Motyka, J.M. and Jaffrey, L.J. (1978). The effect of offshore dredging on coastlines. Chapter 79. 16th ICCE, Hamburg, Germany.

dr. T.C. Prins, drs. G.H. van der Kolff, dr.ir. A.R. Boon, J. Reinders MSc., ir. C. Kuijper, drs.ing. G. Hendriksen, ir. H. Holzhauer, dr. V.T. Langenberg, dr. J.A.M. Craeymeersch, dr. I.Y.M. Tulp,

- drs. M.J.M. Poot, ir. H.C.M. Seegers, drs. J. Adema (2014). PMR Monitoring natuurcompensatie Voordelta. Eindrapport 1<sup>e</sup> fase 2009-2013. Deltares rapport nr. 1200672-000
- Rijkswaterstaat (1990). Coastal defence 1990, Technical report 10: sea sand mining (in dutch). The Hague, Netherlands.
- Rodríguez, S.R., Patricio Ojeda, F., Inestrosa, N.C. (1993). Settlement of benthic marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 97, 193-207.
- Sardá, R., Pinedo, S., Gremare, A., & Taboada, S. (2000). Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 57(5), 1446-1453.
- Schultz, J., Aarts, G., Baptist, M., & Poos, J. J. (2025). Unravelling the impact of sand extraction pits on macrobenthos distribution in the Southern North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 772, 43-60.
- Thatje, S., Gerdes, D. & Rachor, E. A seafloor crater in the German Bight and its effects on the benthos. *Helgol Mar Res* 53, 36–44 (1999). <https://doi.org/10.1007/PL00012136>
- Van Ledden, M., Wang, Z. B., Winterwerp, H., & Vriend, H. D. (2004). Sand–mud morphodynamics in a short tidal basin. *Ocean Dynamics*, 54(3), 385-391.
- Van Hoey, G., Degraer, S., & Vincx, M. (2004). Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59(4), 599-613.
- Van Kessel, T., Ton, A., Jaksic, L. (2025). Redeneerlijn slib, werkdocument. Deltares, Delft.
- Van Rijn, L.C. (1986). Sedimentation of dredged channels by currents and waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 112, No.5, p.541-559.
- Van Rijn, L.C. (1987). Mathematical modelling of morphological processes in the case of suspended sediment transport. Doc. Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Van Rijn, L. C. and Walstra, D. J. R. (2002). Morphology of mining areas (pits, channels, trenches, shoals and banks) and effect on coast; literature review. Sandpit / Delft Hydraulics report Z3079.01.
- Van Rijn, L. C., & Walstra, D. J. R. (2004). Analysis and modelling of sand mining pits. Deltares (WL).
- Vermaas, T. (2023). Bevindingen onderzoeksboringen zandwinning Noordzee 2022. Deltares, rapport 11207907-007-BGS-0002, 2 maart 2023
- Wijnhoven, S. (2023). Berekening van verlies en verstoring van bentisch habitat onder invloed van activiteiten en structuren. Achtergrondrapport ten behoeve van Mariene Strategie deel, 1, 2023-05.
- Witbaard, R., & Craeymeersch, J. (2023). Littekens op de zeebodem. Een onderzoek naar de faunistische effecten op lange termijn van diepe zandwinning voor de Nederlandse kust. NIOZ-rapport.



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)