



RWS INFORMATIE

**Aanvulling planMER Partiële Herziening PNZ 22-27,
Onderdeel zandwinning, uitbreiding reserveringzone**

Gereviewd door  **ARCADIS**

Datum	26 september 2025
Versie	4
Status	DEFINITIEF

Colofon

Uitgegeven door Rijkswaterstaat
 Auteurs Dr. W.M van Dijk & Drs. Ing. P. Heslenfeld
 Informatie
 Telefoon
 Mobiel
 E-mail wout.van.dijk@rws.nl

Om de kwaliteit van de tekst te waarborgen, is een review uitgevoerd door Arcadis NL BV
 C. Dinjens, L. Geerlings & Dr. J. Cleveringa



Datum 26 september 2025
 Versie 4
 Status Definitief

Versiebeheer

1	WM van Dijk	Concept-versie (intern)
2	P Heslenfeld	Concept-versie (extern)
3	WM van Dijk	Verwerkte commentaren van Arcadis
4	WM van Dijk	Definitieve-versie

Inhoud

1	Inleiding 4
1.1.	Aanleiding 4
1.2.	Advies van cMER 4
1.3.	Leeswijzer 4
2	Recente kennis en betekenis voor mogelijke effecten zandwinning 6
2.1.	Recente opgedane kennis 6
2.2.	Betekenis voor mogelijke effecten van zandwinning 9
3	Betekenis voor mogelijke effecten van uitbreidingszone 10
3.1.	Verschillen tussen huidige reserveringszone en uitbreidingszone 10
3.2.	Betekenis van recente inzichten voor mogelijke effecten 10
3.3.	Regionale gevoeligheden 12
3.4.	Conclusies over effectinschattingen en aanbevelingen voor vervolgtraject 14
3.5.	Aanvullende mitigerende maatregelen op basis van recente kennis 16
4	Effect van stikstofemissie op Natura 2000-gebieden vanuit de 12-14 NM 17
4.1.	Natura 2000 gebieden binnen 25 km buffer 18
4.2.	Kritische depositiewaarden & stikstof gevoelige habitats 19
4.3.	Regionale knelpunten 21
4.4.	Effectinschatting van uitbreiding op stikstof 23
4.5.	Conclusies en aanbevelingen 24
4.6.	Mitigerende maatregelen 25
5	Verwijzingen 26
Bijlage A – Recente opgedane kennis 28	
Bijlage B – Achtergrond Memo 'Bodem en Water reserveringsgebied zand 12 NM – 14 NM' 33	

1 Inleiding

1.1. Aanleiding

De Partiële Herziening van het Programma Noordzee 2022-2027 is een aanpassing van het bestaande Programma Noordzee, gericht op het toewijzen van nieuwe windenergiegebieden op zee en het **reserveren** van meer ruimte voor zandwinning. Voor deze Partiële Herziening is een planMER opgesteld. Het planMER bevat twee delen: een deel voor de opgave van windenergie en een deel voor de uitbreiding van het reserveringsgebied voor zandwinning: uitbreiding van de 12 nautische mijl (NM) tot 14 NM. Daarnaast is een Passende Beoordeling (PB) opgesteld. Hierin wordt ingegaan op de effecten op Natura 2000-gebieden en de voor deze gebieden aangewezen soorten. Op dit moment betreft de procedure een planMER; in een volgende fase, zodra de precieze locatie voor de zandwinning – in het kader van ophoogzand en suppletiezand – is vastgesteld, wordt volgens de gebruikelijke procesgang een projectMER opgesteld. Dit volgt de aanpak zoals gehanteerd bij het project-MER 'Winning ophoogzand Noordzee 2018–2027' (Van Duin, Vrij Peerdeman, Jaspers, & Bucholch, 2017) en het overeenkomstige projectMER 'Winning suppletiezand Noordzee 2018–2027' (Van Duin, Vrij Peerdeman, Jaspers, & Bucholch, Winning suppletiezand Noordzee 2018 t/m 2027, 2017).

De Commissie signaleert bij de toetsing van het planMER dat nog belangrijke informatie ontbreekt over zandwinning: *"er is onvoldoende gebruik gemaakt van actuele gebieds- en monitoringsinformatie zoals de hersteltijd van diepere zandwinputten. Er is daarmee nog niet voldoende inzicht in biotische (benthos) en abiotische effecten en de effecten die samenhangen met vrijkomend fijn sediment op het ecosysteem. Ook is onvoldoende duidelijk of er regionale verschillen in effecten voor de natuur zullen optreden die verband houden met zandwinputten in de uitbreidingszone. Tot slot is nog niet beschouwd wat mogelijke stikstofdeposities zijn op stikstofgevoelige en overbelaste duinnatuur."*

1.2. Advies van cMER

De Commissie adviseert om in aanvulling op het planMER, voorafgaand aan de besluitvorming, milieugevolgen per gebied/regio op zee inzichtelijk te maken. Door dit te doen op de volgende onderdelen:

- 1) Geef aan wat de hersteltijd is van de zandwinningsputten tussen de 12 NM en 14 NM, en ga in op eventuele verschillen per deelgebied. Beschrijf wat de gevolgen zijn voor het abiotisch en biotisch systeem, met name in relatie tot benthos.
- 2) Geef een kwalitatieve inschatting van de stikstofemissies en depositie op kwetsbare stikstofgevoelige duinnatuur. Laat zien waar knelpunten kunnen ontstaan.

1.3. Leeswijzer

In deze aanvulling wordt nader ingegaan op de aanbevelingen van de Commissie m.e.r. met betrekking tot de aanbeveling op hersteltijden, actualiteit van milieu-informatie, ruimtelijke differentiatie en stikstofdepositie. Hoofdstuk 2 beschrijft de recente opgedane kennis uit het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP) zandwinning en zandwinning ten behoeve van Maasvlakte 2. Aan de hand van deze recente inzichten wordt ingegaan wat dit betekent op de effectinschatting op de activiteit zandwinning. In hoofdstuk 3 wordt gekeken wat de mogelijke effecten zijn van de uitbreidingszone. Daarnaast worden regionale verschillen genoemd en wordt ingegaan op eventuele mitigerende maatregelen en aanbevelingen voor het

vervolgtraject. Hoofdstuk 4 richt zich op de effecten van stikstofemissies en -depositie op stikstofgevoelige duinnatuur.

2 Recente kennis en betekenis voor mogelijke effecten zandwinning

De commissie MER geeft de volgende toelichting op hun aanbeveling:

"In het MER deel C en de bijlagen (zoals de Passende beoordeling Zandwinning) zijn de effecten van de uitbreiding van de zandwinningsmogelijkheden in beeld gebracht. Bij het beschrijven van de referentiesituatie en de mogelijke effecten, wordt verwezen naar de eerder uitgevoerde MER uit 2017. Deze studie is gebaseerd op kennis en inzichten uit de periode voorafgaande aan 2017. Inmiddels zijn er nieuwe inzichten opgedaan en studies uitgevoerd, hiernaar wordt niet verwezen.

Zo loopt sinds 2018 een apart monitoringprogramma om de voorspellingen in de studie uit 2017 te kunnen toetsen en onzekerheden en leemten in kennis op te vullen.

Onderzoekthema's die specifiek in dit programma worden benoemd komen mede voort uit voorschriften in ontgrondingsvergunningen en uit de gesignaleerde leemten in kennis. Twee belangrijke thema's zijn in dit verband:

- Inzicht geven in de ontwikkeling van wingebieden waar meer dan 2 meter tot maximaal 10 meter onder de oorspronkelijke zeebodem zand is gewonnen, zowel voor wat betreft biotische (benthos) als abiotische parameters (onder andere sedimentsamenstelling, opvulling, verloop van talud) in de jaren na het verlaten van de winlocatie.*
- Mogelijke gevolgen van vrijkomend fijn sediment op het ecosysteem.*

De monitoringstudie wordt niet genoemd en er wordt ook geen (aantoonbaar) gebruik van gemaakt."

2.1. Recente opgedane kennis

Monitoring Evaluatie Programma (zand uit zee)

In 2018 is een nieuwe projectMER afgerond voor Suppletiezand en Ophoogzand. Na deze projectMER is een Monitoring Evaluatie Programma opgestart voor de periode tot en met 2027 vanuit het Uitvoeringsprogramma Kustlijnzorg en Stichting LaMER, waar meerdere onderzoeksvragen in worden beantwoord. De onderzoeksvragen betreffen de volgende onderwerpen (Arcadis, 2018):

- Abiotische en biotische ontwikkeling zandwingebieden (2-10 m).*
- Methodiek voor in kaart brengen schelpdierbanken.*
- Rol van schelpdierbanken in zandwingebieden bij het behalen van de instandhoudingsdoelen van schelpdier etende zeevogels.*
- Gevolgen van fijn sediment op schelpdieren, instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000-gebieden en het voedsel web van kustgelegen Natura 2000-gebieden en Waddenzee.*
- Verspreiding van zwarte zee-eenden in relatie tot beschikbaarheid van voedsel (schelpdieren) en verstoring.*
- Nader onderzoek naar verstoringafstanden en naar effecten van verstoring in de nacht op de zwarte zee-eend.*

Alle resultaten van deze onderzoeken worden gedeeld via de projectwebsite [Zand uit Zee](#). In de volgende secties wordt ingegaan op de tussenresultaten van het MEP met betrekking tot middeldiepe zandwinputten, de zwarte zee-eend en schelpdierbanken. Daarnaast volgt een stuk over het uitkomsten uit de evaluatie van de Maasvlakte 2 putten en de nieuwste inzichten over sediment transport langs de Nederlandse kust en een effectinschatting van de winputten op het sediment transport. De inzichten staan verder uitgeschreven in Bijlage A.

Middeldiepe zandwinputten

Uit recent onderzoek naar middeldiepe zandwinputten (4–6 m) langs de Nederlandse kust blijkt dat deze structurele en langdurige veranderingen veroorzaken in het fysisch en ecologisch bodemmilieu (Witbaard, Moons, Schaars, & Creymeersch, 2025). De putten functioneren als sedimentvallen, waardoor het aandeel slib en organisch materiaal aanzienlijk toeneemt en een stabiel maar afwijkend habitat ontstaat. Dit leidt tot dominantie van opportunistische soorten zoals witte dunschaal en zeeklit, terwijl filter feeders zoals strandschelp en zwaardschede verdrongen worden; het aantal soorten blijft daarbij weliswaar gelijk, maar de evenwichtige biodiversiteit neemt af (Leewis, Van Son, & Lubos, 2024). Tot twaalf jaar na winning zijn geen duidelijke tekenen van herstel naar de oorspronkelijke situatie gevonden, wat wijst op een kritische drempeldiepte waarbij natuurlijke rekolonisatie sterk vertraagd of belemmerd raakt. Onzekerheden bestaan nog over de rol van lokale omstandigheden (hydrodynamiek, bodemsamenstelling, menselijke invloeden zoals loswallen) en de cumulatieve effecten van meerdere putten. Deze kennisleemtes worden momenteel onderzocht in een lopend BACI-onderzoek (Baptist & Rozemeijer, 2024), waarvan de resultaten richting 2030 meer inzicht moeten geven in regionale verschillen en herstelprocessen.

Zwarte Zee-eend

Uit recente studies blijkt dat de zwarte zee-eend (*Melanitta nigra*) sterk afhankelijk is van schelpdieren zoals *Spisula* en tegelijkertijd zeer gevoelig voor verstoring door scheepvaart en zandwinning (Van de Wolfshaar & Van Daalen, 2024; Camphuysen & Van Lieshout, 2024). Modelresultaten tonen aan dat diepere foerageerlocaties energetisch even waardevol kunnen zijn als ondiepe, mits ze niet verstoord worden. Echter, de verstoringsdrempel ligt op diep water lager, waardoor negatieve energiebalansen al bij enkele uren extra verstoring per dag optreden. Praktijkgegevens laten zien dat zandwinning met continue scheepvaart (24/7) gemakkelijk boven deze drempel uitkomt, waardoor gebieden feitelijk ongeschikt worden voor overwinterende zwarte zee-eenden. Hoewel telemetrieonderzoek bevestigt dat de vogels vooral de ondiepe kustzones benutten, is bekend dat zij ook incidenteel in de reserveringszone voorkomen, mogelijk 's nachts, al is de reden daarvoor onbekend. Daarmee geldt dat extra verstoring, zeker nabij schelpdierbanken, mogelijk negatief effect kan hebben op deze vogels.

Schelpdierbanken

Schelpdierbanken zijn een cruciale schakel in het kustecosysteem doordat zij voedsel leveren voor vissen en vogels (met name zwarte zee-eenden), en bijdragen aan sedimentstabilisatie en waterfiltratie. Recent onderzoek (Craeymeersch & Velilla, 2024) heeft functionele drempelwaarden vastgesteld voor *Spisula subtruncata*-banken (≥ 1.000 ind/m² voor juvenielen en ≥ 100 ind/m² voor oudere dieren), waarmee voor het eerst een werkbare ecologische definitie van schelpdierbanken beschikbaar is. Analyses tonen dat een klein deel van het kustoppervlak (1,5–3,5%) in jaren met hoge voorraden verantwoordelijk is voor het grootste deel van de biomassa, terwijl kleinere banken van 3–16 km² ook ecologisch cruciaal kunnen zijn (Degaer, Meire, & Vincx, 2007). Dit betekent dat vooral kerngebieden met hoge dichtheden beschermd moeten worden, zeker na aanwaspieken. Omdat zandwinning zowel sedimentstructuur als schelpdiergemeenschappen kan verstoren, is tijdige detectie en ruimtelijke scheiding noodzakelijk. Innovatieve monitoringmethoden, zoals multibeam echo sounders, bieden kansen voor efficiëntere detectie, al is verdere ontwikkeling nodig om onderscheid te maken tussen levende en dode banken (Bai, Amiri-Simkooei, Mestdag, Simons, & Snellen, 2024). De hoogste dichtheden liggen doorgaans dicht bij de kust dan zandwinlocaties, waardoor overlap vaak beperkt blijft.

(Wijsman & Troost, 2025). Toch kan bij afwijkende verspreiding of seizoensvariatie directe beïnvloeding optreden.

Eindrapportage evaluatie van Maasvlakte 2

De ervaring met de diepe winputten van Maasvlakte 2 (tot ca. 20 m) laat zien dat dergelijke ingrepen leiden tot blijvende veranderingen in sedimentstructuur, hydrodynamiek en bodemecologie. Monitoring in het kader van het MEP (2008–2013) toont aan dat deze putten zich ontwikkelen tot relatief stabiele maar ecologisch afwijkende habitats, met hogere slib- en organische stofgehalten, kleinere korrelgroottes en verminderde stromings- en golfdynamiek (Van Tongeren, 2021). Hierdoor ontstaan zuurstofarme omstandigheden en een verschuiving in soortensamenstelling: opportunistische deposit feeders zoals *Abra alba* en *Echinocardium cordatum* domineren, terwijl filter feeders grotendeels ontbreken. De soortenrijkdom blijft op peil, maar de functionele diversiteit neemt af en herstelprocessen verlopen traag of blijven uit, zelfs tien jaar na beëindiging van de winning. Dit staat in contrast met ondiepere winningen (≤ 2 m), waar herstel binnen enkele jaren mogelijk is. Diepe winputten vormen daardoor een nieuw ecologisch subsysteem met blijvende afwijkingen ten opzichte van het oorspronkelijke zandige ecosysteem, wat bij toekomstige planvorming expliciet moet worden meegewogen.

Fijn sediment transport en zandwinning

Langs de Nederlandse kust wordt sedimenttransport bepaald door een dynamisch samenspel van getijdenstromingen, wind- en dichtheidsstromen, golfwerking en rivierafvoer, met name van de Rijn (Grasmeijer et al., 2022; Van der Hout et al., 2025). Voor fijn sediment geldt dat dit voornamelijk in suspensie wordt vervoerd binnen de Turbidity Maximum Zone (0,5–2,5 km uit de kust). Zandtransport vindt plaats in de lagere oeverzone (NAP –8 m tot –20 m) en levert structurele bijdragen aan het kustfundament. Recente studies bevestigen dat er ook structureel transport optreedt richting de diepe vooroever en de bodem van de Noordzee, die daarmee als een blijvende 'sink' fungeert (Van der Spek, 2025). De omvang en aard van dit transport zijn sterk regioafhankelijk: in het zuiden domineert rivierinvloed (Region of Freshwater Influence, ROFI), langs de Hollandse kust spelen golven en noordwaartse stroming een grotere rol, en boven de Waddeneilanden is de bijdrage kleiner maar cruciaal voor de Waddenzee.

Zandwinning beïnvloedt deze processen op twee manieren. Allereerst leidt mechanische verstoring tot een tijdelijke verhoging van slibconcentraties. In dynamische gebieden wordt dit slib doorgaans weer snel verspreid, maar in diepere of minder dynamische zones kunnen winputten functioneren als slibvallen. Dit resulteert in een lokale ophoping van fijne fracties en blijvende veranderingen in sedimentstructuur, vooral wanneer stormen het materiaal slechts gedeeltelijk remobiliseren (Van der Hout et al., 2025).

Ten tweede beïnvloeden zandwinputten de zandbalans. Modelstudies tonen aan dat zelfs op 20 m diepte nog sprake is van netto onshore zandtransport richting de kust (orde 3–4 miljoen m³/jaar), dat door zandwinning lokaal wordt onderbroken (Grasmeijer et al., 2022). Nieuwe inzichten wijzen daarnaast op netto transport van de kustzone richting de Noordzee (Van der Spek, 2025). Afgravingen kunnen deze balans verstoren en herstel vertragen, wat gevolgen heeft voor het kustfundament en de effectiviteit van toekomstige suppleties. Deze interacties zijn niet-lineair en afhankelijk van locatie, seizoen en weersomstandigheden, waardoor effecten regionaal kunnen verschillen en cumulatief sterker kunnen doorwerken.

2.2. Betekenis voor mogelijke effecten van zandwinning

De recente inzichten uit o.a. het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP) geven meer detailkennis over de ecologische en fysische processen die samenhangen met de activiteit zandwinning. Deze inzichten hebben betrekking op zowel de referentiesituatie (zandwinning binnen 12 NM zone) als op toekomstige nieuwe winningsactiviteiten in de zone tussen de 12 NM en de 14 NM lijn, waarbij is uitgegaan van middeldiepe zandwinputten tot ongeveer 6 meter diepte.

In Tabel 1 wordt een effectbeschrijving gegeven van de meest recente nieuwe inzichten voor het inschatten van effecten per deelaspect. De effectbeschrijving gaat over de activiteit zandwinning zelf en geldt in de gehele zandwinzone, dus van de doorgaande -20 m NAP dieptelijn tot aan de 14 NM lijn. De effecten bevestigen grotendeels de eerdere inschattingen en bieden aanvullend inzicht in hoe de effecten zich manifesteren en welke factoren hierbij bepalend zijn. Voor een aantal aspecten zijn geen veranderende inzichten, zoals vertroebeling, onderwatergeluid, zeezoogdieren, N2000 en KRM en OSPAR, en zijn niet meegenomen in de tabel.

Tabel 1 Betekenis van recente informatie op de effecten van zandwinning in zijn algemeenheid van toepassing op het gehele reserveringsgebied voor zandwinning (reeds gereserveerde zone + uitbreiding).

Deelaspect	Effectbeschrijving naar aanleiding van recente kennis
<i>Zandtransport, stroming en morfologie van de bodem</i>	Meer structurele veranderingen in morfologie en stroming binnen de (middel)diepe putten; hersteltijd >10 jaar, maar kan in dynamische delen sneller verlopen.
<i>Slib en vertroebeling</i>	Slibvalvorming bij (middel)diepe putten, mogelijk risico op verspreiding van slib in de omgeving dit is afhankelijk van lokale stroming.
<i>Habitataantasting</i>	Beperkt tot de plaats van zandwinning, en rekolonisatie van de zeebodem door voornamelijk opportunistische soorten bij middeldiepe putten.
<i>Sedimentatie</i>	Toename van fijn sediment en organisch materiaal in middeldiepe putten.
<i>Bovenwaterverstoring</i>	Tijdelijke verstoring van zeevogels (zoals Zwarte Zee-eend) door scheepvaart en activiteiten boven water gerelateerd aan zandwinning. Afhankelijk van tijdstip (nacht/dag), achtergrondverstoring en locatie van foerageergebieden.
<i>Bodemfauna</i>	Verschuiving naar opportunisten, afname diversiteit; toename in biomassa; bij middeldiepe putten kan gedeeltelijk herstel van soortensamenstelling binnen enkele jaren optreden in dynamische gebieden
<i>Vogels (zoals Zwarte Zee-eend)</i>	Verlies van geschikt foerageergebied bij langdurige verstoring (≥10 uur/dag). Schelpdierbanken leveren cruciaal voedsel voor Zwarte Zee-eend.

In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op de verschillen tussen de huidige reserveringszone voor zandwinning en de voorgenomen uitbreidingszone op 12 tot 14 NM uit de kust.

3 Betekenis voor mogelijke effecten van uitbreidingszone

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de betekenis van de meest recente inzichten voor de mogelijke ecologische effecten van de uitbreidingszone. Vervolgens wordt ingegaan op de regionale verschillen binnen de uitbreidingszone. De genoemde verschillen worden ondersteund door de beschrijving van de morfodynamiek van de Noordzee in bijlage B van deze aanvulling. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt aangegeven in hoeverre deze variatie langs de kust betekenis heeft voor de effectbeoordeling, zoals opgenomen in de planMER.

3.1. Verschillen tussen huidige reserveringszone en uitbreidingszone

Om de mogelijke effecten van zandwinning in de uitbreidingszone (12–14 NM) te kunnen beoordelen, is het van belang eerst de verschillen met de huidige reserveringszone in beeld te brengen. Daarbij ligt de nadruk op drie aspecten:

- A. Hydro-morfologische condities:** factoren zoals stromingsregimes, golfwerking, waterdiepte, bodemsamenstelling en sedimenttransport bepalen de fysische omgeving en daarmee de condities waarbinnen natuurlijke gemeenschappen zich kunnen ontwikkelen. Binnen de ecologie worden dergelijke relaties vaak beschreven in habitat geschiktheid modellen, waarin abiotische randvoorwaarden richtinggevend zijn voor de aanwezigheid en samenstelling van habitats en soorten (Guisan & Zimmermann, 2000). Voor deze studie wordt de hydro-morfologie gebruikt als basis om inzicht te krijgen in mogelijke verschillen in effecten tussen de zones.
- B. Brede habitattypen (EUNIS-level 3):** omdat er binnen de uitbreidingszone geen Natura 2000-gebieden of andere beschermde kenmerken aanwezig zijn, vormen de brede habitattypen het meest relevante referentiekader. Deze sluiten bovendien direct aan bij de beoordelingssystematiek van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM), waarin de toestand en bescherming van brede habitattypen (BHT) centraal staat.
- C. Afstand tot de kust:** een derde onderscheidend aspect betreft de ligging van de uitbreidingszone verder uit de kust. Daarmee neemt de afstand tot beschermde natuur in de kustzone toe, zoals de Voordelta, de Noordzeekustzone en de Waddenzee. Dit betekent dat mogelijke effecten, zoals slibpluimen, geluid en verstoring door scheepvaart, in mindere mate doorwerken naar deze beschermde gebieden. Waar in de huidige reserveringszone nog sprake kan zijn van ruimtelijke overlap of korte afstanden tot ecologisch waardevolle kusthabitats, is dit voor de uitbreidingszone minder het geval. De grotere afstand draagt daarmee bij aan een lagere kans op directe interacties met Natura 2000-doelen.

Ad. A en B. De achtergrond en detailbeschrijving van hydro-morfologische processen en habitatverdeling in het gebied tussen 12 en 14 NM zijn opgenomen in Bijlage B. Daaruit blijkt dat de condities in de uitbreidingszone grotendeels vergelijkbaar zijn met die in het bestaande reserveringsgebied tot 12 NM. Daarnaast is de verdeling van BHT in de uitbreidingszone gelijkwaardig met die in de huidige reserveringszone, waardoor de effecten van zandwinning in hoge mate overeenkomstig worden ingeschat voor de uitbreidingszone.

3.2. Betekenis van recente inzichten voor mogelijke effecten

In overeenstemming met de mer-systematiek dienen de effecten van zandwinning in de bestaande reserveringszone (referentie) te worden vergeleken met de effecten van zandwinning in de voorgenomen uitbreiding. In Tabel 2 staat eerst de betekenis van de recente kennis voor de effecten van zandwinning in het gehele gebied (bestaande

reserveringszone + uitbreiding) en vervolgens het verwachte verschil met de mate van effect in de uitbreiding. Dit geeft inzicht in het verschil met de referentiesituatie. Deze vergelijking is alleen gemaakt voor de mogelijke effecten waarop de recent opgedane kennis van invloed is.

In de tabel is te zien dat voor de meeste aspecten het effect per oppervlakte-eenheid gelijk is in de bestaande reserveringszone en de uitbreidingszone. Dat de effecten vergelijkbaar zijn voor de bestaande reserveringszone en de uitbreidingszone is meegenomen in het planMER. Voor een aantal aspecten (bovenwaterverstoring en vogels) speelt ook de afstand tot de kust een rol en is ook het relatieve effect in de huidige reserveringszone groter. Alleen voor herstel van de morfologie van de zeebodem is de verwachting dat deze langer duurt, omdat verder op zee de zeebodem minder dynamisch is. Dit verschil in effect is meegenomen in de planMER.

Niet alle milieu- en natuuraspecten uit de planMER komen hier terug: voor een aantal thema's is op basis van de recente literatuur en monitoring (zie Hoofdstuk 2) vastgesteld dat er geen aanleiding is om de eerdere effectinschatting te herzien. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de effectinschatting per aspect.

Tabel 2 Effectinschatting voor uitbreidingszone op aspecten uit Bodem en Water en Natuur

Deelaspect	Betekenis recente inzichten voor effecten van zandwinning	
	Bestaande reserveringszone + uitbreiding	Uitbreidingszone
<i>Zandtransport, stroming en morfologie van de bodem</i>	Meer effect dan in planMER verwacht. Structurele veranderingen in morfologie en stroming binnen de (middel)diepe putten; hersteltijd >10 jaar, maar kan in dynamische delen sneller verlopen.	Meer effect als bestaande reserveringszone. De zone is minder dynamisch en hersteltijd van de morfologie is langer.
<i>Slib en vertroebeling</i>	Meer effect dan in planMER verwacht. Slibvalvorming bij middeldiepe putten, mogelijk risico op verspreiding van slib in de omgeving dit is afhankelijk van lokale stroming.	Zelfde effect als bestaande reserveringszone.
<i>Habitataantasting</i>	Meer effect dan in planMER verwacht. Beperkt tot de plaats van zandwinning, en rekolonisatie van de zeebodem door voornamelijk opportunistische soorten in middeldiepe putten.	Zelfde effect als bestaande reserveringszone.
<i>Sedimentatie</i>	Meer effect dan in planMER verwacht. Toename van fijn sediment en organisch materiaal in de middeldiepe putten.	Zelfde effect als bestaande reserveringszone.
<i>Bovenwaterverstoring</i>	Tijdelijke verstoring van zeevogels (zoals Zwarte Zee-eend) door scheepvaart en activiteiten boven water	Afstand tot foerageergebieden van kust- en zeevogels is groter. Kans op directe verstoring (visueel of door

	gerelateerd aan zandwinning. Afhankelijk van tijdstip (nacht/dag), achtergrondverstoring en locatie van foerageergebieden.	scheepsbewegingen) minder dan in bestaande reserveringszone
<i>Bodemfauna</i>	Verschuiving naar opportunisten, afname diversiteit; toename in biomassa; bij middeldiepe putten kan gedeeltelijk herstel van soortensamenstelling binnen enkele jaren optreden in dynamische gebieden	Zelfde effect als bestaande reserveringszone.
<i>Vogels (zoals Zwarte Zee-eend)</i>	Verlies van geschikt foerageergebied bij langdurige verstoring (≥ 10 uur/dag). Schelpdierbanken leveren cruciaal voedsel voor Zwarte Zee-eend.	De belangrijkste foerageergebieden van de Zwarte Zee-eend liggen dicht bij de kust, waar schelpdierbanken voorkomen. Uitbreiding naar 12–14 NM overlapt minder met deze kerngebieden, waardoor verstoring en voedselverlies beperkt blijven.

3.3. Regionale gevoeligheden

De commissie MER geeft de volgende toelichting op hun eerdergenoemde aanbeveling over regionale verschillen:

"In het MER zijn de milieugevolgen van de zeewaartse uitbreiding van de reserveringszone van 12 NM tot 14 NM in beeld gebracht. De Commissie mist een ruimtelijke differentiatie/variatie van de potentiële milieugevolgen waardoor mogelijk ruimtelijke verschillen in milieugevolgen onvoldoende in beeld komen."

In het MER is beperkt ingegaan op mogelijke ruimtelijke verschillen in milieugevolgen die samenhangen met veranderingen in de sedimentdynamiek en morfologie van de zeebodem. Dit is het gevolg van het feit dat de fysische processen, bodemvormen en sedimentdynamiek tussen 12 en 14 NM grotendeels overeenkomen met die van het bestaande zandwinningsgebied (tot 12 NM), zie de secties hierboven. In deze sectie wordt nader toegelicht welke ruimtelijke verschillen zich langs de kust voordoen binnen de voorgenomen uitbreidingszone.

Langs de Nederlandse kust variëren de fysieke en ecologische omstandigheden per regio. De regio-afhankelijke abiotische factoren bepalen waar biotische effecten kritisch kunnen zijn. Deze variatie/verschillen zijn van belang voor het beoordelen van de effecten van zandwinning bij uitbreiding naar het gebied tussen 12 en 14 NM. De karakterisering per kustregio is gebaseerd op een combinatie van stromingsregime, golfklimaat, waterdiepte, bodemvormen, geologische opbouw, troebelheid, stratificatie, en sedimenttransport, gekoppeld aan EUNIS brede habitattypen (EEA, 2023), zie Bijlage B voor een overzicht van de variatie van deze karakteristieken.

Deze verdeling van habitattypen is ook van belang in het licht van de KRM-doelstellingen. De Kaderrichtlijn Mariene Strategie schrijft voor dat ten minste 10% van de brede habitattypen (BHT) onverstoorde moet blijven, en onder D6C5 zullen in de toekomst drempelwaarden gelden voor de staat van de zeebodem. Voor de uitbreidingszone gaat het met name om A5.25/A5.26 (circalitoraal zand) en A5.27

(offshore circalitoraal zand), dat ruim vertegenwoordigd is op de Nederlandse Noordzee, 17.944 km² om 22.930 km² (Wijnhoven, 2023). Het uitbreidingszone betreft een totaaloppervlakte van 1.360 km² en is iets meer dan 2,3% van de Nederlandse Noordzee (58.500 km²). Het aandeel grofzandige materiaal is kleiner op de Nederlandse Noordzee, circalitoraal grof sediment 1.934 km² en offshore circalitoraal grof sediment 964 km² (Wijnhoven, 2023). Niettemin betekent de aanwezigheid van grote oppervlakken in dit gebied dat effecten van zandwinning ook in relatie tot deze KRM-doelstellingen moeten worden beschouwd. En dat 11% (A5.14 en A5.15) grof sediment binnen het uitbreidingszone een oppervlakte betreft van ongeveer 150 km² en dat is rond de 5% van al het grof sediment dat voorkomt op de Nederlandse Noordzee.

- Noordzeedeel voor Zeeland: De Zeeuwse kust kent een sterke invloed van rivierafvoer vanuit de Schelde en Rijn-Maasdelta, wat resulteert in verhoogde troebelheid en stratificatie (ROFI-zone). Het gebied is gemiddeld relatief ondiep, maar kent grote variaties in waterdiepte door de aanwezig van getijderuggen (de Zeeuwse Banken). Op de getijderuggen zijn als morfologische kenmerken ook zandgolven aanwezig. De kust is hier van oudsher "open", door de aanwezigheid van zeearmen. De vorm van het kustprofiel wordt beïnvloed door de overgang naar de zeearmen. Deze overgang is veranderd daar waar de zeearmen zijn afgedamd als onderdeel van de Deltawerken. De bodemsamenstelling is zandig met relatief weinig slib en de geologische ondergrond bestaat uit afwisselend rivier- en mariene afzettingen. Habitattypen zijn overwegend zandige bodems, met mogelijk enige variatie door hogere slibbelasting.
- Noordzeedeel voor Zuid-Holland: Deze regio wordt gekenmerkt door een meer gesloten kust met relatief sterke golfwerking en noordwaarts gerichte residuele stroming. Het gebied kent een mix van zandige bodems en onderliggende rivierafzettingen. Waterkwaliteit en troebelheid zijn seizoensgebonden, met verhoogde waarden in de winter. Bodemvormen bestaan uit zandgolven en incidenteel megaribbels, welke gevoelig zijn voor verstoring door winning. In het gebied rond IJmuiden zijn shoreface-connected ridges aanwezig, die vanuit de kustzone doorlopen naar de Noordzeebodem. Sedimenttransport vindt plaats in noordelijke richting met belangrijke bijdrage aan de Waddenzee. Habitats zijn hoofdzakelijk ondiepe zandige bodems, beïnvloed door menselijke activiteiten zoals suppleties, baggerwerkzaamheden (Euro-Maasgeul en IJgeul) en aanleg van kabels en leidingen.
- Noordzeedeel voor Noord-Holland: Hier is de golfenergie hoger, met name door invloed van noordwestelijke deining. De bodem is zandig met relatief weinig slib. De waterdiepte neemt sneller toe dan in het zuiden, en zandgolven domineren de bodemstructuur tot aan Texel. De geologie toont mariene zandafzettingen met beperkte kleilagen. Stratificatie is beperkt, maar sedimenttransport blijft relevant door de combinatie van golven en reststroming. De habitats zijn grotendeels stabiel zand, met lagere biodiversiteit door dynamiek.
- Noordzeedeel boven Waddeneilanden: Het gebied boven de Waddeneilanden heeft lagere golfhoogtes en minder uitgesproken bodemvormen. De bodem is fijner en bevat meer slib door afzetting vanuit het zuiden. Hier komen getijde-invloeden sterker tot uiting. De troebelheid is gematigd; stratificatie speelt 's zomers een grotere rol. Brede habitattypes hier zijn diverse, met naast zand ook slibrijke bodems en grovere bodems en overgangszones richting estuariene milieus. De grovere habitatype komen met name voor ter hoogte van Texel en de Borkumse Stenen, maar verschillen met de sedimentkaarten (zie bijlage B Figuur 8 en 11). Naast de brede habitattypes bevindt zich in dit deel ook de KRM-gebieden het Friese Front en

de Borkumse Stenen. Bescherming voor het Friese Front is gericht op het voorkomen van bodemberoering door visserij zodat de ecologisch waardevolle benthische gemeenschappen behouden blijven. In de Borkumse Stenen is bodembescherming essentieel omdat bodemberoerende visserij dit kwetsbare rif-ecosysteem kan beschadigen of verwijderen. Zandwinning is in deze delen niet wenselijk, maar tot op heden zijn er nog geen maatregelen genomen.

Regionale effectverschillen

Regionale gevoeligheden liggen voornamelijk bij de invloed van de ROFI (Region of Freshwater Influence) langs de Hollandse Kust (Zuid-Holland en Noord-Holland) en de ondergrond die boven de Waddeneilanden meer grof sediment bevatten (o.a. Texelse Stenen en Borkumse Stenen). De effectinschatting per deelaspect is in Tabel 3 weergegeven, daarbij zijn alleen aspecten in meegenomen waarbij verschillen worden ingeschat tussen de drie regio's.

Tabel 3 Effectinschatting voor regionale verschillen op aspecten uit Bodem en Water en Natuur

Effect op	Ter hoogte van		
	Zeeuwse Kust	Hollandse Kust	Waddenkust
<i>Zandtransport, stroming en morfologie van de bodem</i>	Meer effect op morfologie vanwege de Zeeuwse banken	-	-
<i>Slib en vertroebeling</i>	-	Meer effect op slibvangst in de putten vanwege de ligging t.o.v. de ROFI	-
<i>Habitataantasting</i>	-	-	Meer effect vanwege de aanwezigheid van grofzandig sediment en daarbij behorende habitat
<i>Sedimentatie</i>	-	Meer effect op slibvangst in de putten vanwege de ligging t.o.v. de ROFI	-
<i>Bodemfauna</i>	-	-	Meer effect vanwege de aanwezigheid van minder voorkomende Brede Habitat Type.

3.4. Conclusies over effectinschattingen en aanbevelingen voor vervolgtraject

In de planMER is een effectbeoordeling gegeven op verschillende milieuthema's en deelaspecten. Betekenis van nieuwe inzichten is dat op de volgende onderdelen wat meer effect van zandwinning is te verwachten:

- In de middeldiepe putten zal meer slib worden ingevangen dan eerder werd beschreven in het PlanMER. Voor de uitbreidingszone zal deze effect niet anders zijn. De effecten op hydromorfologie blijven echter beperkt. Regionaal zijn er nog verschillen te verwachten in herstel van de morfologie van bijvoorbeeld de Zeeuwse Banken (langer hersteltijd), de invulling van

putten door slib (snelheid en volume) zal hoger zijn voor putten die binnen ROFI liggen.

- Ter plaatste van de zandwinning vindt habitataantasting plaats. Het verwachte herstel duurt voor de middeldiepe putten langer dan eerder werd aangenomen in het PlanMER, en rekolonisatie zal vooral bestaan uit opportunistische soorten. Boven de Wadden zal meer effect zijn, vanwege de aanwezigheid van meer grofzandige sedimenten en daarmee de brede habitat type. Dit geldt voor zowel de huidige reserveringszone als voor de voorgenomen uitbreidingszone
- Er zal meer effect zijn op sedimentatie door het invangen van slib, fijn materiaal in de middeldiepe putten. Dit geldt voor zowel de huidige reserveringszone als voor de voorgenomen uitbreidingszone. Meer slibvangst wordt verwacht in de regio waar de ROFI een grotere invloed heeft.
- Effect op bovenwaterverstoring is voor het huidige reserveringszone en de uitbreidingszone gelijk. Vanwege de afstand tot de kust en de wijze van verspreiding van de zwarte zee-eend is de inschatting dat kans op directe verstoring in de uitbreidingszone minder groot.
- Effect op bodemfauna door zandwinning is sterker wanneer de zandwinputten dieper worden. De middeldiepe zandwinputten (tot aan 6 m, waar in het PlanMER vanuit wordt gegaan) laten wel rekolonisatie zien, maar van meer opportunistische soorten. Voor de uitbreidingszone is geen specifiek ander effect te verwachten, maar regionaal kan er meer effect zijn in de gebieden (voornamelijk boven de Wadden) waar grofzandig sediment voorkomt.
- Mogelijk is er sprake van meer effecten op vogels, voornamelijk Zwarte Zee-eend, aangezien deze incidenteel vaker verder op zee zijn gesignaleerd dan eerder werd aangenomen. Toch leidt dit niet tot andere effectinschattingen in de uitbreidingszone omdat over het algemeen hoge intensiteiten Zwarte Zee-eend dichterbij de kust voorkomen.

In het algemeen geldt dat de effecten van zandwinning binnen de bestaande reserveringszone gelijk zijn als in de uitbreiding van de reserveringszone. Op een aantal aspecten is er minder effect in de uitbreidingszone vanwege de afstand tot aan de kust. Ook is sprake van regionale verschillen, die op dit moment er ook al zijn binnen de bestaande reserveringszone, waarbij de Zeeuwse Banken een langere hersteltijd kennen (Zeeuwse Kust), de ROFI voor hogere concentraties slibopvulling resulteren in de ontstane zandwinputten (Hollandse Kust) en de aanwezigheid van niet wijdverspreid, binnen de Nederlandse Noordzee, grofzandig sediment (Waddenkust) een rol speelt.

Overall wordt er geen aanleiding gezien om de effectbeoordeling in het bestaande planMER te veranderen, maar zijn er wel meer aandachtspunten en aanbevelingen i.r.t. het vervolgtraject. Die gelden zowel voor de bestaande reserveringszone als de uitbreidingszone.

Aanbevelingen voor onderzoek: Nader inzicht in de omvang en ruimtelijke verdeling van zandvoorraden in de uitbreidingszone is gewenst, zodat de haalbaarheid en langetermijneffecten van zandwinning beter kunnen worden afgewogen. Daarnaast is onderzoek naar de cumulatieve effecten van meerdere winputten binnen één regio aanbevolen, mede in samenhang met andere ingrepen zoals suppleties, baggerstort en bodemberoerende visserij.

Aandachtspunten voor hieropvolgende projectMER-trajecten: Gezien het relatief hoge aandeel A5.25/A5.26/A5.27 (circalitoraal zand) en het aandeel A5.14/A5.15 (grof sediment) in de uitbreidingszone is het raadzaam te toetsen hoe deze verdeling zich verhoudt tot de doelen onder de KRM en OSPAR. Daarnaast is het van belang om scheepvaartbewegingen expliciet mee te nemen in de beoordeling van bovenwaterverstoring, aangezien de mate van verstoring voor soorten mede bepaald wordt door vaarintensiteit en -routes. Actuele monitoring van schelpdierbanken dient gebruikt te worden om mogelijke overlap met functionele kerngebieden te voorkomen, zeker in jaren met hoge aanwas.

3.5. Aanvullende mitigerende maatregelen op basis van recente kennis

In de planMER zijn een aantal mitigerende maatregelen opgenomen. Aan de hand van de recente kennis kan daaraan toegevoegd worden:

- Voorkeur moeten gaan naar winlocaties met lagere achtergrondconcentratie van slib, waar de uitbreidingszone grotendeels aan voldoet.
- Vermijd hoge *Spisula*-dichtheden en win op voldoende afstand om aantasting van schelpdierbanken te voorkomen.
- Beperk nachtelijke activiteiten tot max. 6 uur extra verstoring per dag, afhankelijk van de achtergrondverstoring, wanneer significante concentraties Zwarte Zee-eenden in of nabij het gebied aanwezig zijn.
- Vermijd foerageergebieden tussen winput en suppletielocatie, om verstoring door vaarbewegingen te minimaliseren.

4 Effect van stikstofemissie op Natura 2000-gebieden vanuit de 12-14 NM

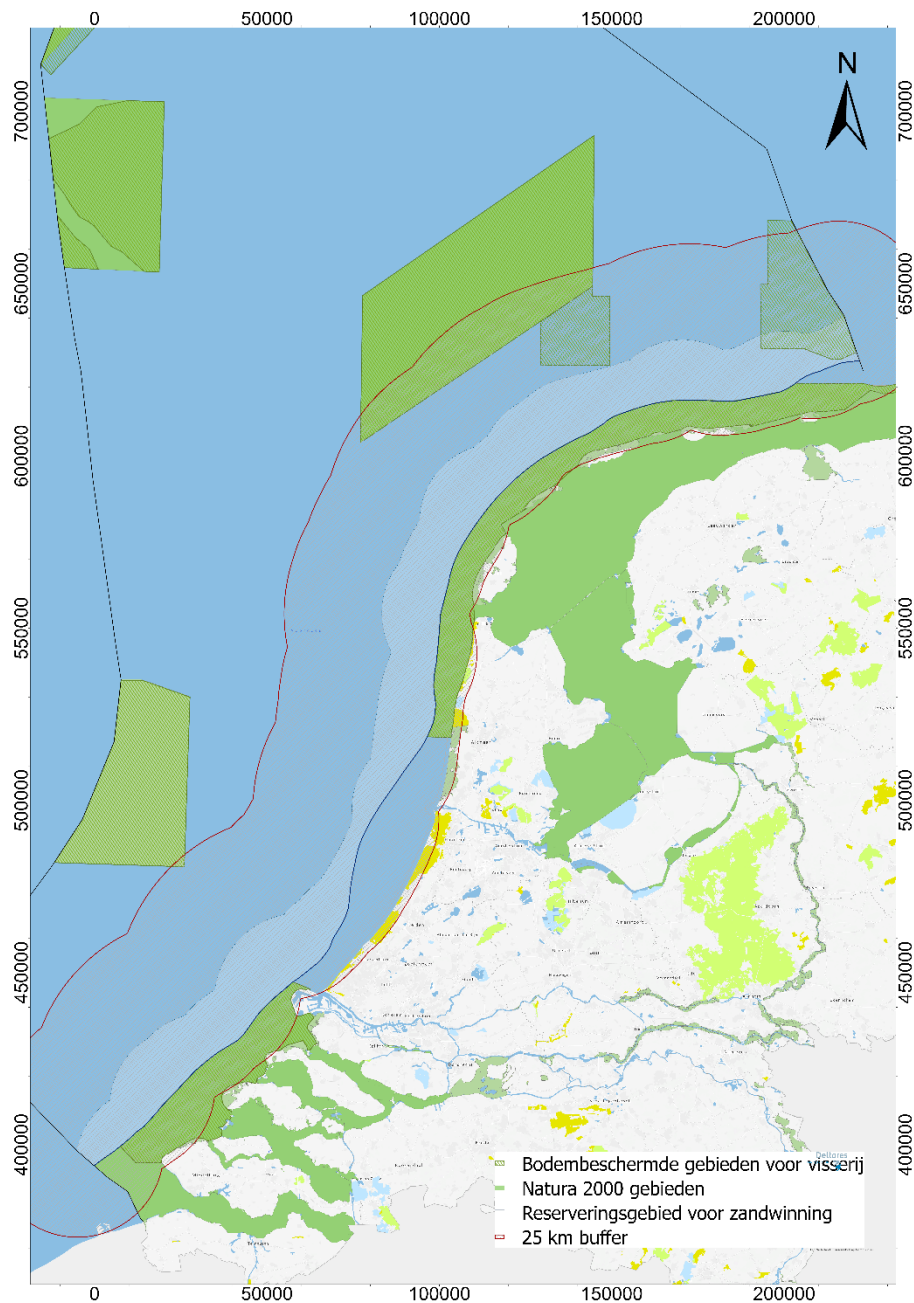
Naar aanleiding van het advies van de commissie MER om een kwalitatieve inschatting te geven van stikstofemissies en depositie op kwetsbare stikstofgevoelige duinnatuur, wordt het volgende opgemerkt. De uitbreiding van de reserveringszone veroorzaakt zelf geen directe stikstofemissies, maar maakt toekomstige zandwinning in een groter gebied mogelijk. Het winnen, vervoeren en suppleren van zand gaat gepaard met emissies van onder meer stikstofoxiden (NO_x), die in potentie kunnen neerslaan als stikstofdepositie op nabijgelegen stikstofgevoelige habitats. In het planMER over de voornemens ten aanzien van de Partiële Herziening wordt een uitbreiding van de reserveringszone overwogen, en is dus enkel de winning van zand in dat gebied relevant. De hier onderzochte emissies van schepen betreffen daarom alleen de aanvullende vaarbewegingen binnen deze 12 tot 14 NM in de periode tot 2100. In de Passende Beoordeling zijn de effecten van stikstofdepositie niet meegenomen, omdat de benodigde gegevens voor AERIUS-berekeningen tot 2100 ontbreken. Desondanks kan de toename van activiteiten binnen de grotere zone leiden tot extra stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden, boven op de depositie onder het huidige beheer en beleid. Knelpunten kunnen met name optreden in gebieden met al hoge achtergronddepositie of sterk stikstofgevoelige habitats, waar elke aanvullende depositie de natuurwaarden kan beïnvloeden.

De commissie MER geeft de volgende toelichting op hun aanbeveling:

“Bij zandwinning zal sprake zijn van additionele stikstofemissie door materieel. Deze stikstofverbindingen kunnen neerslaan op (naderend) overbelaste duinnatuur. Voor het berekenen van stikstofdepositie wordt momenteel voor alle emissiebronnen een afstandsgrens van 25 kilometer gehanteerd. De 12-14 NM-zone valt deels binnen deze afstandsgrens. De Commissie begrijpt dat AERIUS-berekeningen in dit stadium geen meerwaarde hebben, maar meent dat een kwalitatieve inschatting op een passend hoog abstractieniveau mogelijk is. Die inschatting maakt duidelijk in hoeverre aanvullende zandwinning in de 12-14 NM-zone op termijn een risicofactor kan zijn voor kwetsbare duinnatuur.”

In deze aanvulling is er uitgegaan van een *worstcasescenario*:

- In de gehele 12-14 NM wordt tot 2100 zand gewonnen, ook al is een goot deel op dit moment technisch niet winbaar of beschikbaar (door bijvoorbeeld aanwezigheid van kabels en leidingen, windparken, platforms, ontplofbare oorlogsresten, ankergebieden en vaargeulen, en ongeschikte zandklasse).
- In veel Natura 2000-gebieden op land, die binnen 25 km afstand van de 12-14 NM, worden stikstofgevoelige habitats de kritische depositiewaarde overschreden. Er wordt aangenomen dat dit tot 2100 het geval blijft ondanks ambities om stikstofemissies te reduceren.



Figuur 1 Overzicht van de uitbreidingszone voor zandwinning inclusief 25 km contour ter indicatie t.o.v. Natura 2000-gebieden.

4.1. Natura 2000 gebieden binnen 25 km buffer

Maritieme scheepvaart draagt aantoonbaar bij aan de stikstofdepositie op de Natura 2000-gebieden op land aan de kust, met schattingen die wijzen op een aandeel van ongeveer 20% in sommige kustregio's. Deze bijdrage is echter sterk locatieafhankelijk en varieert per gebied. Op basis van de wettelijke voorgeschreven AERIUS-calculator is gebleken uit eerdere vergunningaanvragen voor zandwinning binnen de 12-mijlszone dat de bijdrage van zandwinningsactiviteiten aan stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden snel afneemt met de afstand tot de kust. Bij winlocaties op

enkele tientallen kilometers uit de kust — zoals vanaf 12 NM (~22 km) — ligt de modelmatige bijdrage aan de totale depositie in gevoelige gebieden vaak onder de detectiedrempel van het rekenmodel (minder dan 0,005 mol N/ha/jaar). Hoewel de uitbreiding niet afzonderlijk wordt getoetst aan de kritische depositiewaarde (KDW), suggereren de bestaande modelberekeningen dat de bijdrage zeer beperkt is. Voor een formeel onderbouwde uitspraak zou een AERIUS-berekening specifiek voor de winlocatie binnen de uitbreidingszone en de bijbehorende scheepsbewegingen nodig zijn, inclusief een beoordeling van cumulatieve effecten. De gebieden die nog binnen de 25 km buffer vallen (zie omsluiting in Figuur 1) zijn de volgende Nederlandse Natura 2000-gebieden, hierbij is geen onderscheid nog gemaakt of deze wel of niet stikstofgevoelig zijn (dat volgt later):

- Friese Front (FF)
- Bruine Bank (BB)
- Vlake van de Raan (VvdR)
- Voordelta (V)
- Noordzeekustzone (NZKZ)
- Waddenzee (W)
- Westerschelde & Saeftinghe (W&S)
- Manteling van Walcheren (MvW)
- Kop van Schouwen (KvS)
- Duinen Goeree & Kwade Hoek (DG&KH)
- Solleveld & Kapittelduinen (S&K)
- Westduinpark & Wapendal (W&W)
- Meijendel & Berkheide (M&B)
- Coepelduynen (C)
- Kennemerland-Zuid (KZ)
- Noordhollands Duinreservaat (ND)
- Schoorlse Duinen (SD)
- Abstolk & De Putten (A&DP)
- Zwanenwater & Pettemerduinen (Z&P)
- Duinen Den Helder-Callantsoog (DDH-C)
- Duinen en Lage Land Texel (DLLT)
- Duinen Vlieland (DV)
- Duinen Terschelling (DT)
- Duinen Ameland (DA)
- Duinen Schiermonnikoog (DS)

4.2. Kritische depositiewaarden & stikstof gevoelige habitats

De kritische depositiewaarde (KDW) geeft de maximale hoeveelheid stikstof aan die een habitat jaarlijks kan ontvangen zonder dat de natuurlijke kenmerken en ecologische functies ervan worden aangetast; hoe dichter de huidige depositie bij of boven deze grens ligt, hoe gevoeliger een habitat is voor extra stikstofbelasting. Volgens (Wamelink, Van Dobben, Van der Zee, Van Hinsberg, & Bobbink, 2023) liggen de kritische depositiewaarden voor de meeste kustduinhabitats (zoals H2110 t/m H2190) tussen 10 en 15 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. Huidige depositiewaarden in kustgebieden (bv. Wadden- en kustduinen) liggen rond 9–18 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, wat al nabij of boven de kritische grens ligt. Offshore zandwinning in de 12–14 NM-zone levert hierop naar verwachting een extra belasting op van minder dan 0,1 kg N ha⁻¹ jr⁻¹, wat ruim binnen de marges ligt waarbij ecologische effecten meetbaar zijn. In modelberekeningen ligt de projectbijdrage doorgaans onder de detectiedrempel van AERIUS, en vormt daarmee geen relevante extra belasting op Natura 2000-gebieden.

Tabel 4 Overzicht Natura 2000-gebieden binnen 25 km afstand van de uitbreidingszone en aangewezen habitattypen inclusief indicatie stikstofgevoeligheid in kleur volgens het werk van Wamelink, Van Dobben, Van der Zee, Van Hinsberg, & Bobbink (2023).

Natura 2000 gebied	Habitattype																																				
	H1110A	H1110B	H1130	H1140A	H1140B	H1310A	H1310B	H1320	H1330A	H1330B	H2110	H2120	H2130A*	H2130B*	H2130C*	H2140A*	H2140B*	H2150*	H2160	H2170	H2180A	H2180B	H2180C	H2190A	H2190B	H2190C	H2190D	H3140	H3260A	H6230	H6410	H6430A	H6430B	H6430C	H7210		
FF																																					
BB																																					
VvdR																																					
V																																					
NZKZ																																					
W																																					
W&S																																					
MvW																																					
KvS																																					
DG&KH																																					
S&K																																					
W&W																																					
M&B																																					
C																																					
K-Z																																					
ND																																					
SD																																					
A&DP																																					
Z&P																																					
DDH-C																																					
DLLT																																					
DV																																					
DT																																					
DA																																					
DS																																					

Rood = zeer gevoelig

Oranje = gevoelig/ zeer gevoelig

Geel = gevoelig

Groen = minder/ niet gevoelig

Grijs = niet van toepassing

* = prioritaire habitattypen

- H1110A - Permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied)
- H1110B - Permanent overstroomde zandbanken (Noordzee-kustzone)
- H1130 - Estuaria
- H1140A - Slik- en zandplaten (getijdengebied)
- H1140B - Slik- en zandplaten (Noordzee-kustzone)
- H1310A - Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)
- H1310B - Zilte pionierbegroeiingen (zevetmuur)
- H1320 - Slijkgrasvelden
- H1330A - Schorren en zilte graslanden (buitendijks)
- H1330B - Schorren en zilte graslanden (binnendijks)
- H2110 - Embryonale duinen
- H2120 - Witte duinen
- H2130A* - Grijze duinen (kalkrijk)
- H2130B* - Grijze duinen (kalkarm)
- H2130C* - Grijze duinen (heischraal)
- H2140A* - Duinheiden met kraaihei (vochtig)
- H2140B* - Duinheiden met kraaihei (droog)
- H2150* - Duinheiden met struikhei
- H2160 - Duindoornstruwelen

- H2170 - Kruipwilgstruwelen
- H2180A - Duinbossen (droog)
- H2180B - Duinbossen (vochtig)
- H2180C - Duinbossen (binnenduinrand)
- H2190A - Vochtige duinvalleien (open water)
- H2190B - Vochtige duinvalleien (kalkrijk)
- H2190C - Vochtige duinvalleien (ontkalkt)
- H2190D - Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)
- H3140 - Kranswierwateren
- H3260A - Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkels)
- H6230 - Heischrale graslanden
- H6410 - Blauwgraslanden
- H6430A - Ruigten en zomen (moerrasspirea)
- H6430B - Ruigten en zomen (harig wilgenroosje)
- H6430C - Ruigten en zomen (droge bosranden)
- H7210 - Galigaanmoerassen

Tabel 4

Natura 2000 gebied	Habitatype																																			
	H1110A	H1110B	H1130	H1140A	H1140B	H1310A	H1310B	H1320	H1330A	H1330B	H2110	H2120	H2130A*	H2130B*	H2130C*	H2140A*	H2140B*	H2150*	H2160	H2170	H2180A	H2180B	H2180C	H2190A	H2190B	H2190C	H2190D	H3140	H3260A	H6230	H6410	H6430A	H6430B	H6430C	H7210	
FF																																				
BB																																				
VvdR																																				
V																																				
NZKZ																																				
W																																				
W&S																																				
MvW																																				
KvS																																				
DG&KH																																				
S&K																																				
W&W																																				
M&B																																				
C																																				
K-Z																																				
ND																																				
SD																																				
A&DP																																				
Z&P																																				
DDH-C																																				
DLLT																																				
DV																																				
DT																																				
DA																																				
DS																																				

Rood = zeer gevoelig

Oranje = gevoelig/ zeer gevoelig

Geel = gevoelig

Groen = minder/ niet gevoelig

Grijs = niet van toepassing

* = prioritaire habitattypen

- H1110A - Permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied)
- H1110B - Permanent overstroomde zandbanken (Noordzee-kustzone)
- H1130 - Estuaria

-
- H1140A - Slik- en zandplaten (getijdengebied)
 - H1140B - Slik- en zandplaten (Noordzee-kustzone)
 - H1310A - Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)
 - H1310B - Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)
 - H1320 - Slijkgrasvelden
 - H1330A - Schorren en zilte graslanden (buitendijks)
 - H1330B - Schorren en zilte graslanden (binnendijks)
 - H2110 - Embryonale duinen
 - H2120 - Witte duinen
 - H2130A* - Grijze duinen (kalkrijk)
 - H2130B* - Grijze duinen (kalkarm)
 - H2130C* - Grijze duinen (heischraal)
 - H2140A* - Duinheiden met kraaihei (vochtig)
 - H2140B* - Duinheiden met kraaihei (droog)
 - H2150* - Duinheiden met struikhei
 - H2160 - Duindoornstruwelen
 - H2170 - Kruipwilgstruwelen
 - H2180A - Duinbossen (droog)
 - H2180B - Duinbossen (vochtig)
 - H2180C - Duinbossen (binnenduinrand)
 - H2190A - Vochtige duinvalleien (open water)
 - H2190B - Vochtige duinvalleien (kalkrijk)
 - H2190C - Vochtige duinvalleien (ontkalkt)
 - H2190D - Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)
 - H3140 - Kranswierwateren
 - H3260A - Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkels)
 - H6230 - Heischrale graslanden
 - H6410 - Blauwgraslanden
 - H6430A - Ruigten en zomen (moerrasspirea)
 - H6430B - Ruigten en zomen (harig wilgenroosje)
 - H6430C - Ruigten en zomen (droge bosranden)
 - H7210 - Galigaanmoerassen
-

geeft een indicatie van de habitattypen die voorkomen, daarin is te zien dat de Natura 2000-gebieden stikstofgevoelige habitattypes kennen. Habitattypen zoals H1110 (zandbanken), H1130 (estuaria) zijn niet stikstofgevoelig, terwijl diverse duinhabitattypen (H2110–H2190) wel stikstofgevoelig zijn; een verhoging van depositie kan leiden tot eutrofiëring, versnelde successie en verlies van specialistische vegetatie en fauna.

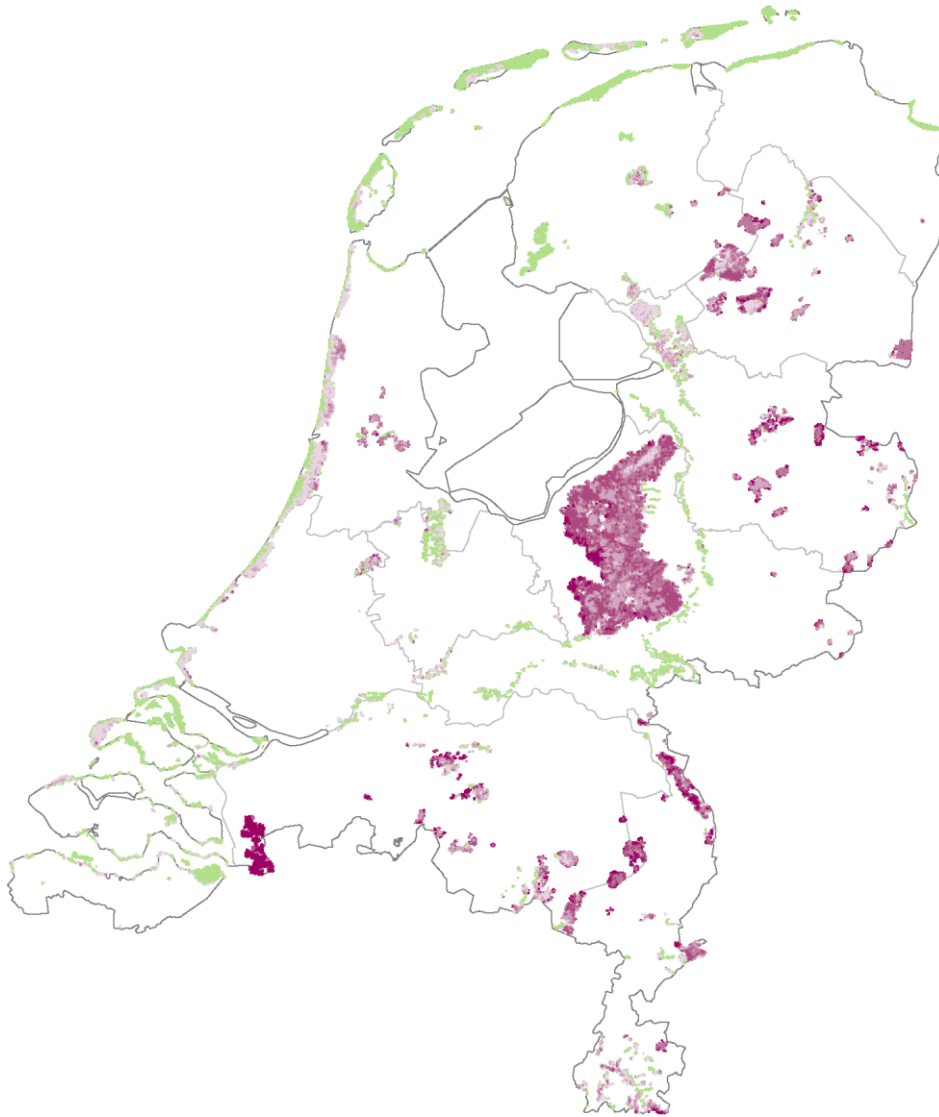
Op basis van de indeling van Wamelink et. al. (2023) kan de stikstofgevoeligheid van de relevante habitattypen langs de Nederlandse kust in vier gevoeligheidsklassen worden verdeeld. Habitattypen zoals vochtige duinvalleien (H2190), grijze duinen (H2130), duinheiden (H2140, H2150) en blauwgraslanden (H6410) zijn zeer gevoelig voor stikstofdepositie en hebben kritische depositiewaarden van 5 tot 10 kg N/ha/jaar. Extra stikstof depositie leidt in deze gebieden tot verrijking van de bodem, waardoor snelle (gras)groeiërs het gebied overnemen en stikstof minnende (zeldzamere) soorten worden overwoekerd en de biodiversiteit afneemt (LVVN, 2025). Deze typen vertonen al bij lichte overbelasting verlies van karakteristieke soorten en een toename van snelgroeïende grassen. Deze veranderingen maken grijze duinen ecologisch kwetsbaar voor zelfs relatief kleine extra stikstofbelastingen. Matig gevoelige typen zijn onder meer de zilte pionierbegroeiingen (H1310) en schorren (H1330), met drempelwaarden tussen 10 en 15 kg N/ha/jaar. Zandbanken (H1110) en estuariene habitats (H1130, H1140) worden als minder gevoelig beschouwd, vanwege de dynamische condities en geringe accumulatie van stikstof. Hoewel stikstof in deze laatste categorieën geen directe vegetatie-effecten veroorzaakt, kan het via eutrofiëring van waterlichamen indirect bijdragen aan verschuivingen in voedselwebben. Gezien de lage verwachte depositie vanuit de offshore zandwinning (ruim onder 0,1 kg N/ha/jaar), is geen van deze habitattypen naar verwachting significant beïnvloedbaar door de geplande activiteit.

4.3. Regionale knelpunten

Op basis van de meest recente RIVM-monitoring van stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden (Marra, et al., 2024), en in het bijzonder de informatie weergegeven in Figuur 2, zijn regionale verschillen zichtbaar in de mate waarin de kritische depositiewaarden (KDW) worden overschreden. Deze informatie is relevant voor de planMER-beoordeling van stikstofemissie afkomstig van offshore zandwinning op 12 tot 14 NM (ca. 22–26 km) uit de kust.

In de kustzone van Zeeland liggen de meeste stikstofgevoelige duin- en kusthabitattypen momenteel rond of iets boven de kritische depositiewaarde (KDW), voornamelijk als gevolg van bestaande bronnen zoals verkeer, landbouw en scheepvaart. Enkel een klein deel van de buitendijkse gebieden vertoont lichte overschrijding. Binnen 25 km afstand van de uitbreidingszone liggen voornamelijk locaties met hoge depositie waarden in Manteling van Walcheren. Ook boven de Waddeneilanden zijn relatief weinig gebieden met KDW-overschrijding, wel vallen alle gebieden op de Waddeneilanden binnen de 25 km. De bijdrage van offshore zandwinning in de 12–14 NM-zone aan stikstofdepositie op deze afstand is naar verwachting zeer beperkt ($<0,1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) en valt onder de detectiedrempel van AERIUS. Hoewel sommige locaties al lichte KDW-overschrijding vertonen, leidt de verwachte extra depositie door het project niet tot een verslechtering van de huidige staat van instandhouding. Deze gebieden worden als knelpuntlocaties herkend en blijven onderdeel van monitoring en beheer. Daarmee kan worden geconcludeerd dat de uitbreiding van het reserveringsgebied voor zandwinning tussen de 12-14 NM geen significante extra druk uitoefent op habitats in deze kustregio's tot aan 2100, terwijl er bewust rekening wordt gehouden met bestaande kwetsbaarheid.

In de brede duingebieden van Zuid- en Noord-Holland is op de kaart zichtbaar dat meerdere Natura 2000-gebieden al te maken hebben met overschrijding van de KDW. De 25 km-buffer vanaf de 12 NM zone reikt hier wél tot in stikstofgevoelige duin- en binnenduinrandgebieden, zoals Kennemerland-Zuid, Noordhollands Duinreservaat en Meijndel & Berkheide. Deze gebieden zijn daarmee kritischer vanuit stikstofperspectief. Tegelijkertijd geldt dat in deze kustzones tot ten minste 2040 geen grootschalige zandwinning mogelijk is vanwege de aanwezigheid van windenergieparken (Hollandse Kust Noord en Zuid). Hierdoor is er tot aan 2040 de facto geen emissiebron actief binnen de uitbreidingszone dat in de 'nabijheid' ligt van deze gevoelige gebieden. Na 2040 zal het wel mogelijk zijn om zand te winnen en stikstof worden uitgestoten.



Figuur 2 Geografisch beeld van de overschrijding van de kritische depositiewaarde (KDW) in Natura 2000-gebieden in Nederland voor 2022 (Marra, et al., 2024)

4.4. Effectinschatting van uitbreiding op stikstof

Het winnen, vervoeren en suppleren van zand gaat gepaard met emissies van onder meer stikstofoxiden (NO_x), die in potentie kunnen neerslaan als stikstofdepositie op nabijgelegen stikstofgevoelige habitats. Voor het extra aangewezen gebied op 12–14 NM uit de kust geldt dat de vaarafstanden in veel gevallen toenemen ten opzichte van de huidige situatie. In lijn daarmee is te verwachten dat de totale emissiehoeveelheid per kubieke meter gewonnen zand licht zal toenemen. De uitstoot zelf is echter diffuus en vindt grotendeels op open zee plaats.

Van belang bij de effectinschatting is de afstand tussen de emissiebron en de stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden langs de kust. De zone waaruit zand gewonnen wordt (12–14 NM) ligt op ongeveer 22–26 kilometer uit de kust. Gevoelige habitattypen zoals grijze duinen, vochtige duinvalleien en zilte graslanden komen voor aan de landzijde van de 25 km-contour. Door de afstand tot de kust, atmosferische

verspreiding en dominante windrichtingen wordt verwacht dat de bijdrage van stikstofdepositie op deze habitats verwaarloosbaar is. Hoewel exacte modeluitkomsten voor deze specifieke situatie ontbreken, wijzen eerdere berekeningen in vergelijkbare situaties op projectbijdragen die doorgaans onder de detectiedrempel van AERIUS blijven (0,005 mol N/ha/jaar).

In de brede duingebieden van Zuid- en Noord-Holland is zichtbaar dat meerdere Natura2000-gebieden al te maken hebben met overschrijding van de KDW. De 25 km-buffer vanaf de 12 NM-zone reikt hier wél tot in stikstofgevoelige duin- en binnenduintrandgebieden, zoals Kennemerland-Zuid, Noordhollands Duinreservaat en Meijndel & Berkheide. Deze gebieden zijn daarmee kritischer vanuit stikstofperspectief. Tegelijkertijd geldt dat in deze kustzones tot ten minste 2040 geen grootschalige zandwinning mogelijk is in de uitbreidingszone 12-14 NM vanwege de aanwezigheid van windenergieparken (Hollandse Kust Noord en Zuid), maar daarna wel.

Voor de kwetsbare duinhabitats betekent dit dat de extra stikstofdepositie door offshore zandwinning naar verwachting geen relevante verstoring van de huidige staat van instandhouding veroorzaakt. Knelpunten kunnen theoretisch optreden op locaties waar al lichte KDW-overschrijding bestaat, bijvoorbeeld in buitendijkse gebieden Zeeland, boven de Waddeneilanden en in de kritische duingebieden van Zuid- en Noord-Holland. De verwachte bijdrage is echter zo beperkt dat deze geen verslechtering van de eerder vastgestelde beoordeling in de planMER veroorzaakt. Monitoring en beheer blijven, zoals in de eerdere planMER-beoordeling, van belang om de bestaande kwetsbaarheid te volgen.

De mogelijke effecten van stikstofdepositie zijn in dit planMER in beeld gebracht; in het vervolgtraject – bij de uitwerking van het projectMER – zal dit thema nader en worden onderzocht, zodat de effecten van de voorgenomen zandwinning op stikstofdepositie volledig kunnen worden beoordeeld. Op basis van de inzichten kan op dit moment worden geconcludeerd dat de uitbreiding van offshore zandwinning naar 12–14 NM, mits uitgevoerd met goede ruimtelijke en technische planning en emissiebeperkende maatregelen, geen substantiële stikstofproblematiek toevoegt en geen aanleiding vormt tot aanpassing van de eerdere planMER-beoordeling voor stikstofgevoelige kust- en duinhabitats.

4.5. Conclusies en aanbevelingen

Het winnen, varen en suppleren van zand gaat gepaard met emissies van onder andere CO₂, NO_x en SO. Hoewel emissies van zandwinning op 12–14 NM op zichzelf beperkt zijn, is het voor de verdere besluitvorming raadzaam om de bijdrage van de uitbreidingszone nader te relateren aan bestaande overschrijdingen van kritische depositiewaarden. Emissies vanuit de bestaande reserveringszone, die dichterbij de kust, zijn deze effecten over het algemeen sterker dan in de uitbreiding van de reserveringszone. Er is wel sprake van een regionaal knelpunt met name langs de brede duinen van Zuid- en Noord-Holland. In het geheel wordt er geen aanleiding gezien om de effectbeoordeling in het bestaande planMER te veranderen en de benoemde emissiereductie door technische maatregelen aan de schepen, maar zijn er wel meer aandachtspunten en aanbevelingen i.r.t. het vervolgtraject.

Aanbevelingen voor onderzoek: Verder ontwikkeling van emissieloze zandwinning en met name een tijdspad te geven i.r.t. verwachte moment van nodige zandwinning bij stikstofgevoelige duingebieden.

Aandachtspunten voor hierop volgende projectMER-traject(en): rekening te houden met de stikstofgevoelige duingebieden langs de Zuid- en Noord-Hollandse kust.

4.6. Mitigerende maatregelen

Emissiereductie in de toekomst vormt een belangrijk onderdeel van de mitigerende maatregelen, zoals ook al is opgenomen in het planMER. Binnen het programma *Innovatieve Kustlijnzorg* (IKZ) zet de Nederlandse overheid samen met kennisinstellingen en de baggersector actief in op het verduurzamen van kustonderhoud en zandwinning op zee. Een belangrijke pijler in dit programma is het emissieloos of emissiearm uitvoeren van zandwinning en suppletie, met name gericht op het reduceren van stikstof (NO_x), fijnstof en CO₂. De innovatieagenda van IKZ beoogt vanaf 2030 alleen nog gebruik te maken van emissieloze of sterk emissie-gereduceerde schepen voor kustonderhoud, inclusief suppletie vanaf zee en transport naar de wal.

Daarnaast is in het Klimaatakkoord en het Rijksbeleid voor duurzame zeevaart opgenomen dat de maritieme sector uiterlijk in 2050 volledig klimaatneutraal en emissieloos moet opereren, met tussenstappen in 2030 en 2040 gericht op brede vlootvernieuwing. Voor grotere baggerschepen en zandwinzuigers zijn inmiddels hybride aandrijvingen, waterstofsysteem en HVO-brandstoffen in ontwikkeling en deels al in gebruik bij pilots.

5 Verwijzingen

- AERIUS. (2025, september 4). *Monitor ontwikkeling stikstofbelasting*. Opgehaald van Monitor ontwikkeling stikstofbelasting: https://monitor.aerius.nl/stikstof-natuur/ontwikkeling?DATASET=m23&YEAR=2020&BREAKDOWN_TYPE=sector
- Arcadis. (2018). *Monitoring en evaluatieplan zandwinning Noordzee 2018-2027*. Arnhem: Arcadis NL BV.
- Bai, Q., Amiri-Simkooei, A., Mestdag, S., Simons, D., & Snellen, M. (2024, 11). Mussel culture monitoring with semi-supervised machine learning on multibeam echosounder data using label spreading. *Journal of Environmental Management*, p. 122250.
- Baptist, M., & Rozemeijer, M. (2024). *Onderzoeksopzet BACI Zand uit Zee Ameland*. Den Helder/IJmuiden: Wageningen Marine Research.
- Camphuysen, C., & Van Lieshout, S. (2024). *Zwarte zee-eenden Melanitta Nigra in Nederland*. Den Burg, Texel: NIOZ.
- Craeymeersch, J., & Velilla, E. (2024). *Shellfish aggregations in the Dutch Water: an exploration towards a definition of a shellbed*. Yerseke: Wageningen Marine Research.
- De Jong, M., Baptist, M., Lindeboom, H., & Hoekstra, P. (2015). Relationships between macrozoobenthos and habitat characteristics in an intensively used area of the Dutch coastal zone. *ICES Journal of Marine Science*, pp. 2409-2422.
- De Jong, M., Baptist, M., Lindeboom, H., & Hoekstra, P. (2015). Short-term impact of deep sand extraction and ecosystem-based landscaping on macrozoobenthos and sediment characteristics. *Marine Pollution Bulletin*, pp. 294-308.
- De Jong, M., Baptist, M., van Hal, R., de Boois, I., Lindeboom, H., & Hoekstra, P. (2014). Impact on demersal fish of a large-scale and deep sand extraction site with ecosystem-based landscaped sandbars. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, pp. 83-94.
- De Jong, M., Borsje, B., Baptist, M., van der Wal, J., Lindeboom, H., & Hoekstra, P. (2016). Ecosystem-based design rules for marine sand extraction sites. *Ecological Engineering*, pp. 271-280.
- Degaer, S., Meire, P., & Vincx, M. (2007). Spatial distribution, population dynamics and productivity of *Spisula subtruncata*: Implications for *Spisula* fisheries in seaduck wintering areas. *Marine Biology*, pp. 863-875.
- EEA. (2023). *EUNIS habitat classification 2023*. Opgehaald van European Environment Agency: <https://eunis.eea.europa.eu/>
- Grasmeijer, B., Huisman, B., Luijendijk, A., Schrijvershof, R., Van der Werf, J., Zijl, F., . . . De Vries, W. (2022). Modelling of annual sand transports at the Dutch lower shoreface. *Ocean and Coastal Management*.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, pp. 147-186.
- Leewis, L., Van Son, L., & Lubos, L. (2024). *Zand uit Zee chronosequentie - rapportage Boxcore-campagne*. Amsterdam: Eurofins Omegam BV.
- LVVN. (2025, september 4). *Herstelstrategieën*. Opgehaald van Herstelstrategieën | natura 2000: <https://www.natura2000.nl/hulpmiddelen/herstelstrategieen>
- Marra, W., Hazelhorst, S., De Jongh, L., Wichink Kruit, R., Schram, J., & Brandt, K. (2024). *Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden 2024*. Bilthoven: RIVM.

- Roos, P., Hulscher, S., & Westrich, B. (2008). Modeling offshore sand extraction, the importance of horizontal pressure gradients and sluggish recovery. *Coastal Engineering*, pp. 974-983.
- Salden, R. (1998). *Een model voor het transport van slib in de Nederlandse kustzone : een hulpmiddel bij scenario studies naar kustuitbreidingsplannen#rapportage van SILTMAN deelprojecten 11& 14*. Den Haag: RWS/RIKZ.
- Van de Wolfshaar, K., & Van Daalen, S. (2024). *Verstoring zandwinning voor de zwarte zee-eend*. IJmuiden: Wageningen Marine Research.
- Van der Hout, C., Witbaard, R., Hoekstra, P., & Gerkema, T. (2025). Wind-driven variability in longshore transport of SPM in the turbidity maximum zone along the Dutch coast. *Continental Shelf Research*.
- Van der Spek, A. (2025). *Ontwikkeling diepe vooroever Nederlandse kust*. Delft: Deltares.
- Van Duin, C., Vrij Peerdeman, M., Jaspers, H., & Bucholch. (2017). *Winning ophoogzand Noordzee 2018 t/m 2027*. Houten: Sweco Nederland BV.
- Van Duin, C., Vrij Peerdeman, M., Jaspers, H., & Bucholch, A. (2017). *Winning suppletiezand Noordzee 2018 t/m 2027*. Houten: Sweco Nederland BV.
- Van Tongeren, O. (2021). *Statistical Analysis of the recolonization of the sand mining pit of Maasvlakte 2*. Arnhem: Port of Rotterdam.
- Wamelink, W., Van Dobben, H., Van der Zee, F., Van Hinsberg, A., & Bobbink, R. (2023). *Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000: Herziening 2023*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Wijnhoven, S. (2023). *Beoordeling kwaliteitstoestand Nederlandse deel Noordzee op basis van de Benthische Indicator Soorten Index (BISI). Toestand en ontwikkelingen van benthische habitats en HR-/KRM-gebieden gedurende 2016-2021 in vergelijking tot voorgaande jaren*. Heinkenszand, the Netherlands: Ecoauthor Report Series.
- Wijsman, J., & Troost, K. (2025, september 2). *Schelpdieren in de Nederlandse kustzone*. Opgehaald van Schelpdieren in de Nederlandse kustzone: https://wr-shiny.wur.nl/schelpdiermonitor_kust/
- Witbaard, R., & Craeymeersch, J. (2023). *Littekens op de zeebodem*. NIOZ Rapport.
- Witbaard, R., Moons, S., Schaars, L., & Creymeersch, J. (2025). Sedimentary and faunistic effects of medium-deep sand mining along the Dutch Coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

Bijlage A – Recente opgedane kennis

Middeldiepe zandwinputten

Uit het onderzoek naar middeldiepe zandwinputten langs de Nederlandse kust (Witbaard, Moons, Schaars, & Creymeersch, 2025) komt naar voren dat structurele veranderingen in zowel het fysisch als ecologisch bodemmilieu voorkomen. De studie vergeleek vier zandwinputten (2 tot 12 jaar oud) met ongestoorde referentiegebieden en bracht de sedimentologische en biologische verschillen systematisch in kaart.

De resultaten laten zien dat middel-diepe zandwinputten significant afwijken van hun omgeving. De bodem in de putten bevat gemiddeld 2 tot 8 keer meer slib en tot 3 keer meer organisch materiaal, afhankelijk van onder andere de locatie van de zandwinput. Deze putten fungeren als sedimentval voor fijne deeltjes vanwege verminderde stroming en golfwerking. Dit leidt tot een veranderd habitat, waarin voedselrijkdom en slibstabiliteit toenemen, maar wat ook tot een lagere biodiversiteit leidt.

Ecologisch betekent dit dat een toegenomen dichtheid en biomassa van vooral opportunistische deposit feeders, zoals witte dunschaal (*Abra alba*) en zeeklit (*Echinocardium cordatum*) voorkomen. Tegelijkertijd blijft het aantal soorten (taxa) in grote lijnen stabiel, maar neemt de biodiversiteit af in termen van samenstelling en evenwicht (Leewis, Van Son, & Lubos, 2024). Dit patroon is kenmerkend voor een verstoorde bodemgemeenschap. Filter feeders zoals Halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) en zwaardschede (*Ensis* spp.) worden juist verdrongen. Vismonitoring toonde geen eenduidige trend, al was bijvoorbeeld zandspiering significant minder talrijk in de meest recente winputten. Toch was er geen duidelijke trend in bodemgemeenschap tussen de winputten te ontdekken die zou wijzen op een verandering ervan over de tijd.

Van herstel naar de oorspronkelijke bodemfauna is zelfs in de oudste onderzochte winput (12 jaar oud) geen sprake. Deze put ligt in de omgeving van de ROFI (Region Of Freshwater Influence) en de loswallen van de Rotterdamse haven. Hierdoor is er meer slib in het water en in de winput komt meer slib terecht. De resultaten wijzen erop dat een kritische drempeldiepte wordt overschreden bij afgravingen van 4–6 meter, waarna natuurlijke herstelprocessen sterk vertraagd of blijvend belemmerd raken. De afwijkende sedimentkarakteristieken en het gewijzigde benthische systeem houden langdurig aan.

Uit de tussenresultaten zijn nog vragen overgebleven over het 'herstel'¹ van winputten tot 6 meter en regionale verschillen. Het is nog niet duidelijk of dit komt door natuurlijke processen of dat menselijke invloeden hierbij ook een rol spelen, zoals het verspreiden van bagger in loswallen waardoor meer fijn materiaal in een specifieke put terecht is gekomen. Verder zijn de condities van lokale hydrodynamiek, bodemsamenstelling, en effecten op de functionele ecologie niet gekwantificeerd. Om de effecten van middeldiepe putten verder inzichtelijk te maken van de effecten van middeldiepe putten is er in 2024 begonnen met een 'Before After Control Impact' BACI-onderzoek (Baptist & Rozemeijer, 2024). In dit onderzoek wordt ook specifiek gekeken naar de abiotische omstandigheden die de rekolonisatie van zandwinputten beïnvloeden. Ook worden er meerdere zandwinputten meegenomen in één gebied om ruimtelijke cumulatie te integreren. Dit onderzoek loopt tot 2030.

Zwarte Zee-eend

De zwarte zee-eend (*Melanitta nigra*) is een overwinterende zeevogel in de Nederlandse kustwateren en sterk afhankelijk van schelpdieren, met name *Spisula*

¹ Er zijn nog geen eenduidige beoordelingscriteria voor beleidsmakers of vergunningverleners.

subtruncata, als voedselbron. De soort staat bekend als bijzonder verstoringsgevoelig: vogels reageren al op een afstand van 1 à 2 kilometer op scheepsbewegingen. Dit maakt de soort kwetsbaar voor menselijke activiteiten zoals zandwinning en het bijbehorende scheepvaartverkeer.

Met het energetisch model SCOTERS is onderzocht (Van de Wolfshaar & Van Daalen, 2024) in hoeverre verstoring, waterdiepte en stroming de energiehuishouding van de zwarte zee-eend beïnvloed wordt door zandwinning in zowel ondiep (5 m) als diep (20 m) water. Uit het model blijkt dat een foerageergebied op 20 m diepte energetisch even waardevol is als een ondiep gebied, mits het niet verstoord wordt. De kosten van dieper duiken worden daarbij gecompenseerd door de aanwezigheid van voedsel (*Spisula* wordt inmiddels ook op dieptes > 20 m waargenomen). Echter, de zwarte zee-eend is extra gevoelig voor verstoring op diepere locaties: gemiddeld wordt een negatieve energiebalans al bij 2 à 3 uur extra verstoring per dag bereikt ten opzichte van ondiepe locaties. Hierbij moet worden opgemerkt dat 1 uur verstoring gelijk staat aan 1 scheepsbeweging per uur, oftewel, van 1 scheepsbeweging zijn de vogels 1 uur verstoord. Het komt erop neer dat ongeveer 6 uur verstoring op diep water tegenover 8 uur op ondiep water. De zwarte zee-eend komt voornamelijk in de kustzone voor in grote getallen.

Praktijkdata van AIS-gegevens en sector uitvragen laten zien dat zandwinning tot meer dan 10 uur verstoring per dag kan leiden wanneer 24/7 gewonnen wordt, en daarmee het gebied voor zwarte zee-eenden gedurende de gehele winter ongeschikt maakt. Deze verstoring geldt zowel voor de winlocatie als voor de vaartroute tussen de winning en suppletieplaats. Er bestaan op basis van deze studie geen omstandigheden waarin zandwinning zonder verstoring van zwarte zee-eenden kan plaatsvinden, maar voor vaarbewegingen te beperken zou de kritieke verstoring kunnen worden voorkomen. Verder moet worden beseft dat het energie-model geen volledige weergave is van de werkelijkheid. Het telemetrieonderzoek (Camphuysen & Van Lieshout, 2024) laat zien dat zwarte zee-eenden in de praktijk een sterke voorkeur hebben voor ondiepere kustzones, ook al laat het model zien dat diepere locaties theoretisch energetisch even waardevol kunnen zijn. Toch benadrukt de studie dat vanuit het voorzorgsprincipe geldt dat iedere additionele verstoring negatief is voor het voorkomen van de soort. Omdat *Spisula*-banken inmiddels ook op grotere dieptes voorkomen, kan diepte in principe niet langer worden gezien als natuurlijke bescherming tegen verstoring van zwarte zee-eenden. Uit telemetriedata kan echter geen verband worden gehaald dat zwarte zee-eenden *Spisula*-banken op diepte opzoeken. Toch komen sommige zwarte zee-eenden wel 's nachts in de reserveringszone voor zandwinning, de reden hiervoor is echter onbekend (Camphuysen & Van Lieshout, 2024). Bij grote zwarte zee-eend concentraties voor de kust zou het winnen van zand in de nacht, en het aantal vaarbewegingen over schelpdierbanken dicht bij de kust, daarom mogelijk moeten worden beperkt. Bij de keuze voor winlocaties zou daarom expliciet rekening moeten worden gehouden met de actuele verspreiding van schelpdierbanken. Jaarlijkse benthosmonitoring kan hierbij nuttige informatie opleveren. In het model had voedseldichtheid overigens relatief weinig effect op de energetische waarde van een gebied, en Van de Wolfshaar & Van Daalen (2024) benadrukt dat kritieke verstoringsdrempels abrupt kunnen worden bereikt zonder voorafgaande 'waarschuwingssignalen'.

Schelpdierbanken

Schelpdierbanken vormen een essentieel onderdeel van het ecosysteem in de Nederlandse kustwateren. Ze zijn belangrijk voor het ecosysteem doordat ze voedsel leveren voor vissen en zeevogels (met name de zwarte zee-eend), sedimentstabilisatie en waterfiltratie. In de vergunningsvoorwaarden voor zandwinning is opgenomen dat een afstand van ten minste 100 meter tot levende schelpdierbanken moet worden aangehouden. Lange tijd ontbrak echter een

algemeen geaccepteerde definitie van wat een 'schelpdierbank' precies is — met name voor in de bodem levende soorten zoals *Spisula subtruncata*.

In dit kader heeft Wageningen Marine Research (Craeymeersch & Velilla, 2024) onderzoek verricht naar functionele en ecologische definities van schelpdierbanken, waarbij *Spisula subtruncata* als modelsoort diende. Deze soort is periodiek dominant aanwezig in kustwateren en fungeert als belangrijke voedselbron voor schelpdieretende vogels zoals de zwarte zee-eend. Uit analyses blijkt dat een minimumdichtheid van 1.000 ind/m² voor juvenielen en 100 ind/m² voor oudere dieren (≥ 1 jaar) als veilige ondergrens kan gelden voor het aanduiden van een functionele schelpdierbank. Deze waarden zijn gebaseerd op zowel intrinsieke overwegingen (aandeel in het totale bestand) als functionele aspecten (geschiktheid als voedselbron voor zeevogels).

Onderzoek van Craeymeersch & Velilla, (2024) toont aan dat in jaren met hoge voorraden een relatief klein percentage van het kustoppervlak (1,5–3,5%) verantwoordelijk is voor 50–80% van het totale *Spisula*-bestand. In jaren met lage voorraden zijn schelpdieren diffuser verspreid en zijn detectie en bescherming complexer. Toch bevestigen historische en recente waarnemingen dat ook kleinere banken van 3–16 km² ecologisch cruciaal kunnen zijn, zoals aangetoond in de Voordelta en Belgische kustzone (Degaer, Meire, & Vincx, 2007). Dit betekent dat niet 100% van de schelpdierbanken beschermd hoeft te worden, maar wel de kerngebieden met hoge dichtheden — vooral in perioden dat de soort er goed voor staat.

Omdat zandwinning zowel de sedimentstructuur als de aanwezige schelpdiergemeenschappen beïnvloedt (via fysieke verstoring en slibtoename), is het van belang dat levende schelpdierbanken tijdig en nauwkeurig worden gedetecteerd. Het rapport pleit voor het gebruik van drempelwaarden en ruimtelijke afbakening op basis van jaarlijkse monitoring (zoals de [WOT-schelpdiermonitor](#), Wettelijke Onderzoekstaken), gecombineerd met detectiemethoden zoals multibeam echo sounders. Uit Bai et al. (2024) blijkt dat semi-gesuperviseerde classificatiemethoden op basis van multibeam echo sounders betrouwbare ruimtelijke patronen kunnen bereiken bij het herkennen van schelpdierbanken, terwijl minder velddata nodig zijn dan bij volledig gesuperviseerde methoden. Dit zou de jaarlijkse monitoring efficiënter en kosteneffectiever maken. Echter, de ontwikkelde methode differentieert enkel tussen mossel en sediment. Omdat multibeam echo sounders het akoestische oppervlak meten en levende en dode schelpen akoestisch vrijwel identiek zijn, kan met deze aanpak geen onderscheid worden gemaakt tussen levende en dode schelpdierbanken, en heeft verdere ontwikkeling nodig voor deze op grote schaal toegepast kan worden.

Het onderzoek benadrukt dat zandwinning in gebieden met hoge schelpdierdichtheden een groot aandeel van het functionele bestand kan aantasten, vooral in jaren na een succesvolle aanwaspijk. Herstel na verstoring is daarbij onzeker en sterk afhankelijk van toekomstige recruitmentsuccessen. Hoewel de hoogste dichtheden van levende schelpdierbanken en de belangrijkste foerageergebieden van zwarte zee-eenden zich doorgaans dicht bij de kust bevinden dan de meeste zandwinlocaties, waardoor de ruimtelijke overlap vaak beperkt is, kan in jaren of seizoenen met een afwijkende verspreiding wél directe beïnvloeding optreden. Daarom is ruimtelijke scheiding tussen zandwinlocaties en schelpdierbanken ecologisch gezien essentieel. De belangrijkste schelpdierbanken liggen dicht bij de kust. Dit betekent dat zandwinning meestal geen directe overlap heeft met de belangrijkste schelpdierconcentraties in de Nederlandse kustzone (Wijsman & Troost, 2025), wat mogelijkheden biedt voor een robuuste ruimtelijke afstemming ter voorkoming van negatieve ecologische effecten. Ecologische risico's zijn daarmee beperkt, maar blijven relevant als voedselbron voor zwarte zee-eenden.

Eindrapportage evaluatie van Maasvlakte 2

Hoewel de winputten voor de aanleg van Maasvlakte 2 aanzienlijk dieper zijn (tot 20 m) dan de winningen tot 6 m, bieden de resultaten belangrijke inzichten voor het begrijpen van effecten op sedimentstructuur, hydrodynamiek en rekolonisatieprocessen, die ook relevant zijn voor ondiepere putten.

Voor de aanleg van Maasvlakte 2 is tussen 2008 en 2013 een grootschalige zandwinning uitgevoerd, waarbij op de Noordzeebodem winputten tot ongeveer 20 meter diep zijn ontstaan. In het kader van het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP) is de ecologische ontwikkeling van deze diepe zandwinputten gedurende meerdere jaren gevolgd, met bijzondere aandacht voor rekolonisatie door bodemfauna.

De resultaten laten zien dat diepe zandwinputten structurele veranderingen teweegbrengen in het fysiek en biologisch functioneren van de zeebodem (Van Tongeren, 2021). Ten opzichte van omliggende referentiegebieden zijn de sedimenteigenschappen in de winputten duidelijk anders: het aandeel slib en organisch materiaal is toegenomen, de korrelgrootte is afgenomen, en hydrodynamische processen zoals golfwerking en stroming zijn aanzienlijk gereduceerd. De ophoping van organisch materiaal kan lokaal leiden tot zuurstofarme omstandigheden in de bodem, wat herstel voor bepaalde soorten bemoeilijkt. Deze omstandigheden creëren een relatief stabiele, maar ecologisch afwijkende habitat.

De ontwikkeling van bodemgemeenschappen in deze putten wordt gekenmerkt door een verschuiving in soortensamenstelling. Opportunistische *deposit feeders* zoals *Abra alba* en *Echinocardium cordatum* domineren, terwijl karakteristieke soorten uit het ondiepe zandige ecosysteem — zoals *filter feeders* — grotendeels afwezig blijven. Sommige soorten keren relatief snel terug (binnen 1–2 jaar), maar andere blijven langdurig of permanent afwezig. De totale soortenrijkdom en functionele diversiteit zijn lager dan in de ongestoorde omgeving (De Jong, Baptist, Lindeboom, & Hoekstra, 2015). Er is bovendien ruimtelijke variatie binnen de putten: hellingen en putbodems verschillen in soortensamenstelling en dichtheden, wat implicaties heeft voor herstelstrategieën. Deze patronen blijven in stand tot meer dan tien jaar na beëindiging van de zandwinning, wat erop wijst dat natuurlijk herstel traag verloopt of uitblijft.

In tegenstelling tot ondiepere zandwinning (≤ 2 meter), waarbij herstel binnen vijf jaar mogelijk is, blijken diepe winputten zoals bij Maasvlakte 2 langdurig of zelfs permanent af te wijken van de oorspronkelijke situatie (De Jong, et al., 2014; De Jong, Baptist, Lindeboom, & Hoekstra, Short-term impact of deep sand extraction and ecosystem-based landscaping on macrozoobenthos and sediment characteristics, 2015). De beperkte stroming en geringe sedimentdynamiek maken rekolonisatie afhankelijk van langzame, grootschalige morfologische processen en toevallige dispersie van larven. De putten ontwikkelen zich daarmee tot nieuwe, relatief stabiele subsystemen met een afwijkend ecosysteemfunctioneren.

Fijn sediment transport en zandwinning

Sediment- en slibtransport langs de Nederlandse kust

Langs de Nederlandse kust is het sedimenttransport een dynamisch samenspel van getijstromingen, windgedreven en dichtheidsstromen, golfwerking en rivierafvoer (voornamelijk van de Rijn) (Grasmeijer, et al., 2022; Van der Hout, Witbaard, Hoekstra, & Gerkema, 2025). Voor slib geldt dat het voornamelijk in suspensie wordt vervoerd in een kustnabije zone van 0,5 tot ongeveer 2,5 km uit de kust, de zogeheten Turbidity Maximum Zone (TMZ) (Van der Hout, Witbaard, Hoekstra, & Gerkema, 2025). Zandtransport vindt zowel langs- als dwarskusts plaats in de lagere oeverzone (NAP -8 m tot -20 m), met langzame maar structureel belangrijke bijdragen aan het kustfundament.

Recente studies (Van der Spek, 2025) bevestigen dat er een structureel zandtransport plaatsvindt van de ondiepe kustzone naar de diepe vooroever en de bodem van de Noordzee. De diepe vooroever fungeert daarmee als een blijvende 'sink' in de zandbalans, waardoor de kust op lange termijn afhankelijk blijft van suppleties. De omvang van dit transport verschilt sterk per regio: in het zuidwesten speelt de invloed van getij en rivierafvoer een dominante rol, langs de Noord-Hollandse kust zijn golven en noordwaartse stroming bepalend, en boven de Waddeneilanden is de bijdrage kleiner, maar cruciaal voor de sedimentaanvoer naar de Waddenzee.

Sedimenttransport is sterk regioafhankelijk. In het zuiden (Zeeland, Zuid-Holland) domineert de invloed van rivierwater (ROFI-zone) en is de slibconcentratie hoger (Grasmeijer, et al., 2022). Noord-Holland kent een dynamischere golfomgeving, met relatief hoge zandtransporten. De Waddenkust is afhankelijk van sedimenttoevoer vanuit het zuiden voor het behoud van ecologische functies in de Waddenzee (Van der Hout, Witbaard, Hoekstra, & Gerkema, 2025). Veel verder op zee (>50 km) neemt het sediment transport af, doordat de bodem dieper ligt en stroming en golfwerking hier minder sediment vrij maken van de zeebodem, morfologische veranderingen treden hier minder snel op (zie achtergrond in Bijlage B).

Effect van zandwinning en zandwinputten op sediment transport

Zandwinning beïnvloedt sedimentdynamiek op twee manieren:

- **Slib:** Mechanische verstoring van de zeebodem tijdens zandwinning kan leiden tot tijdelijke verhoging van slibconcentraties. Diepe zandwinputten kunnen lokaal fungeren als tijdelijke slibvallen, mits deze buiten dominante stromingsbanen liggen. In dynamische zones kan slib echter opnieuw worden gemobiliseerd, vooral tijdens stormen, waardoor effecten zich verder langs de kust kunnen verspreiden (Van der Hout, Witbaard, Hoekstra, & Gerkema, 2025). In minder dynamische gebieden kan slibvalvorming echter langduriger blijven bestaan, met mogelijk blijvende veranderingen in sedimentstructuur.
- **Zand:** Zandwinputten beïnvloeden lokaal de sedimentbalans. Modelstudies tonen aan dat zelfs op 20 meter diepte nog sprake is van netto onshore zandtransport richting de kust (orde 3–4 miljoen m³/jaar over de hele kust) (Grasmeijer, et al., 2022). Hoewel nieuwe inzichten, zoals gerapporteerd in Van der Spek (2025), onder andere vanuit actuele grootschalige sedimentbalansen wijzen op netto transport vanuit de kustzone richting Noordzee.

Zandwinning kan dit proces lokaal onderbreken of vertragen, met gevolgen voor de structurele opbouw van het kustfundament en de effectiviteit van toekomstige suppleties (Roos, Hulscher, & Westrich, 2008). Een langdurige onderbreking kan, vooral bij cumulatie met andere winningen, op termijn bijdragen aan erosie van de kustfundering.

De interactie tussen stromingen, golven en sediment is niet-lineair. Dichtheidsstromen (door rivierafvoer) stimuleren onshore transport, terwijl winddruk (vooral bij aanlandige wind) een offshore component kan genereren. De interactie tussen stromingen, golven en sediment is niet-lineair. Dichtheidsstromen (door rivierafvoer) stimuleren onshore transport, terwijl winddruk (vooral bij aanlandige wind) een offshore component kan genereren. De omvang van de sedimenttransporten is daarom afhankelijk van locatie, seizoen en weersomstandigheden (Grasmeijer, et al., 2022). Vanwege verschillen langs de kust en in de tijd kan theoretisch gezien sprake zijn van interacties die het effect van zandwinputten kunnen versterken of juist neutraliseren. Nieuwe inzichten, zoals gerapporteerd in van der Spek (2025), onder andere vanuit actuele grootschalige sedimentbalansen wijzen op netto transport vanuit de kustzone richting Noordzee.

Bijlage B – Achtergrond Memo 'Bodem en Water reserveringsgebied zand 12 NM – 14 NM'

De tekst over het milieuaspect van bodem en water behandelt de invloeden op de zeebodem (zoals morfologie en hydrodynamica) en de gevolgen hiervan voor de habitats in de Noordzee. Een voorgestelde uitbreiding van het zandwinninggebied van 12 naar 14 zeemijl (NM) kan invloed hebben op deze milieuaspecten en de habitats die er leven. Deze notitie bespreekt de huidige omstandigheden in het gebied tussen 12 en 14 NM, waarbij geconcludeerd wordt dat de milieukekenmerken vergelijkbaar zijn met die tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en 12 NM. Hierdoor zijn de verwachte effecten in het gebied tussen 12 en 14 NM gelijk aan die in het gebied tussen de NAP -20 m dieptelijn en 12 NM.

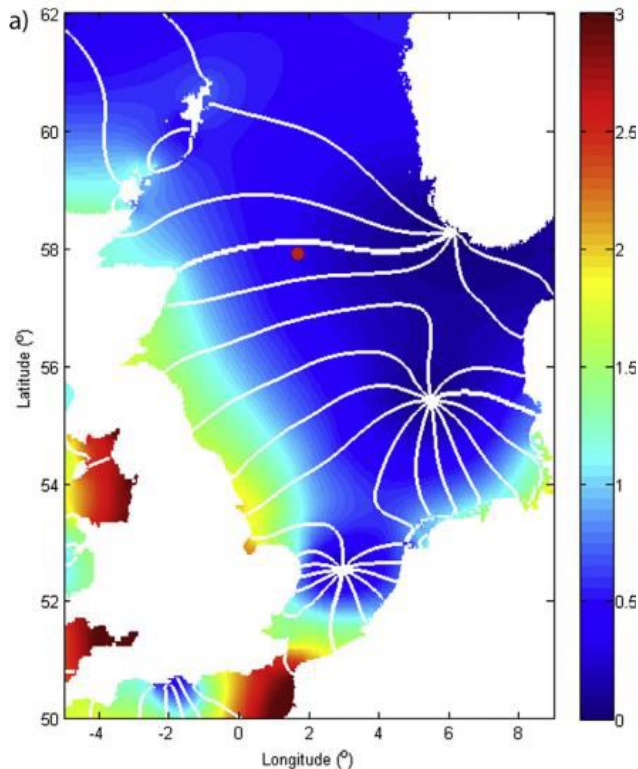
Huidige situatie

Het milieuaspect van bodem en water wordt gevormd en onderhouden door diverse factoren, waaronder:

- Beweging van het water (zoals waterstand en stromingen);
- Golven;
- Waterdiepte en de vorm van de zeebodem;
- Geologie en samenstelling van de bodem;
- Troebelheid kwaliteit van het water;
- Stratificatie (waterlagen);
- Sedimenttransport.

Waterbeweging (waterstand en stroming)

De beweging van het water in dit deel van de Noordzee wordt beïnvloed door een combinatie van getijden, wind, luchtdruk en golven. Het dagelijkse getij is cruciaal voor de waterstand, met doorgaans twee keer per dag een hoog- en laagwater. De getijden in de Noordzee variëren afhankelijk van de locatie ten opzichte van het amfidromische punt, waar geen getij is. De tijdstippen van hoog- en laagwater, evenals de amplitude ervan, verschillen langs de kust, waarbij het getijverschil van noord naar zuid langs de Nederlandse kust toeneemt (Figuur 3). Wind en luchtdruk kunnen tijdelijk het waterpeil met enkele tientallen centimeters verhogen of verlagen. Tijdens springtij, als de zon en maan op één lijn staan, is de getijbeweging iets sterker, terwijl deze tijdens doodtij, als de zon en maan haaks op elkaar staan, iets zwakker is. Tussen 12 en 14 NM van de Nederlandse kustlijn is er geen significant verschil in getij.



Figuur 3 Getijde-amplitude in de Noordzee weergegeven in kleur (in m), het getijdeverschil is twee keer de amplitude. De witte lijnen geven moment aan waar getij (eb en vloed) op hetzelfde moment optreedt en waar ze bij elkaar komen is het amfidromisch punt. Hierin is geen significant verschil te vinden van de 12 nm naar 14 nm (Nauw, De Haas, & Rehder, 2015).

Het getij veroorzaakt naast veranderingen in waterhoogte ook horizontale bewegingen in het water, oftewel stromingen, die meestal parallel aan de kust verlopen. De vorm van de Noordzee, inclusief de bochten in de kustlijn en de variërende dieptes van de zeebodem, met zijn morfologische kenmerken, leidt tot een getijstroming die niet altijd precies parallel aan de kust is en die zwakker wordt naarmate men verder de zee op gaat. De stromingen tijdens vloed gaan voornamelijk naar het noorden, terwijl die tijdens eb naar het zuiden gericht zijn. Deze stromingen veranderen in kracht en richting met de cyclus van springtij en doortij, waarbij de sterkste ebstroom samenvalt met het moment van laagwater. Wind speelt ook een rol in het beïnvloeden van stromingen, maar deze invloed is in dieper water veel minder dan die van de getijdenstroming. De algemene stroming langs de Nederlandse kust is naar het noorden gericht. Dit betekent dat de condities tussen 12 en 14 NM niet significant verschillen.

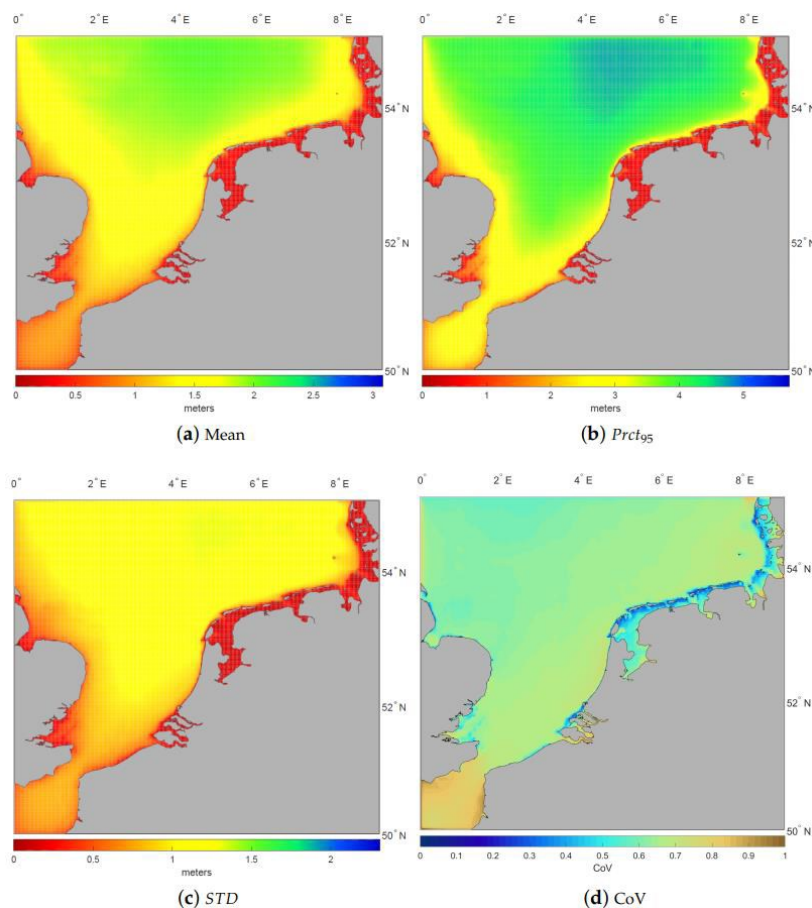
Golven

Wat golven betreft, deze worden beïnvloed door de sterkte en duur van de wind, de afstand over open water waarover de wind waait (strijklengte), en de waterdiepte. Golven kunnen ook ontstaan door wind van elders, waarna ze naar het gebied toe bewegen; deze worden deining genoemd en zijn vaak langer dan golven die lokaal worden opgewekt. Golven zijn cruciaal voor de vorming van de zeebodem omdat ze het transport van sediment beïnvloeden. Hoe ondieper het water, hoe groter de impact van golven op dit sedimenttransport.

Golven kunnen sediment van de zeebodem in beweging zetten vanaf een bepaalde diepte, afhankelijk van de lengte van de golf. Deze beweging, of 'opwoeling', door de

golven zorgt op zichzelf niet voor significant sedimenttransport; het maakt echter wel mogelijk dat sediment door stromingen, die zonder deze opwoeling niet sterk genoeg zouden zijn, wordt meegevoerd. De mate van opwoeling hangt af van de eigenschappen van het sediment (zoals korrelgrootte en het percentage silt en klei) en van de kracht van de wrijving op het bodemoppervlak, die weer beïnvloed wordt door factoren zoals golfhoogte, golflengte en waterdiepte.

In het gebied gelegen tussen 12 en 14 zeemijl (nm) van de Nederlandse kust worden de meeste golven gegenereerd uit noordelijke en zuidwestelijke richtingen. De achterliggende deining, die zijn oorsprong vindt in de Atlantische Oceaan en zich via het noordelijke deel van de Noordzee naar de Nederlandse kust verplaatst, komt voornamelijk uit het noorden en noordwesten. Zoals geïllustreerd in Figuur 4, toont de significantie van de golfhoogte (H_{m0}) variaties. In de buurt van de voorgestelde uitbreidingszone voor zandwinning verschillen de golfhoogtes aanzienlijk tussen het noordelijke en het zuidelijke deel, hoewel deze variaties minder uitgesproken zijn tussen 12 NM en 14 NM. De gemiddelde golfhoogte boven de Waddenzee schommelt tussen 1,5 en 2 meter, terwijl deze voor de regio rond Zeeland tussen de 1 en 1,5 meter ligt. Deze variaties zijn eveneens merkbaar bij het beschouwen voor de verschillende de golfhoogtes (uitgelicht in de percentielen figuren).



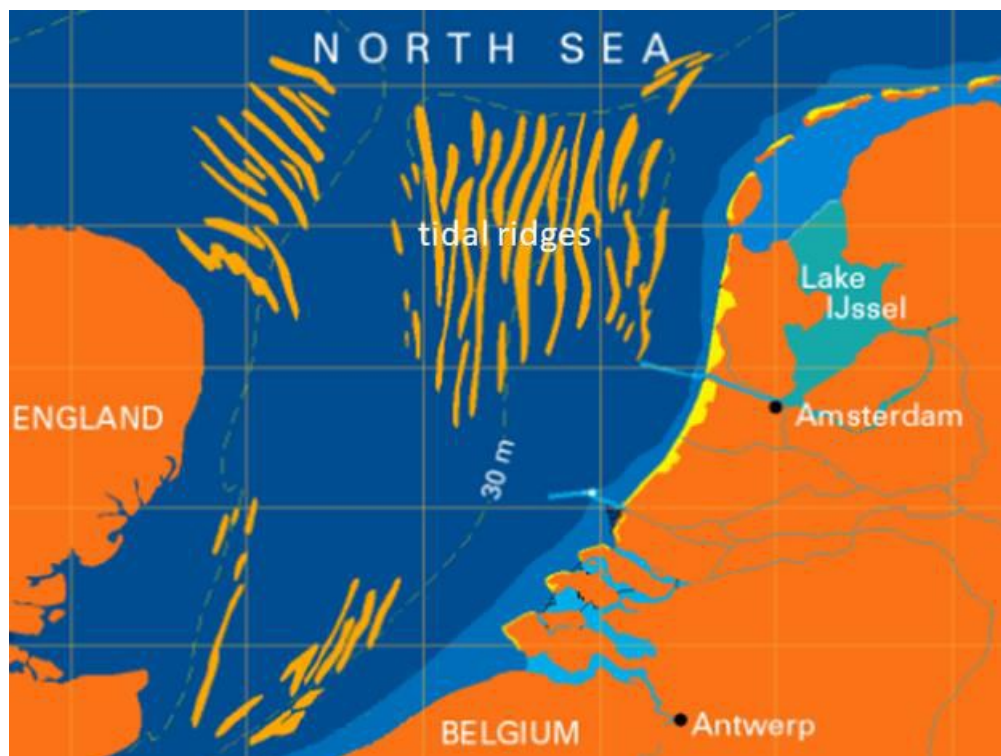
Figuur 4 Statistieken van de hindcast van golfhoogte H_{m0} in de periode 1980-2017 (Lavidas & Polinder, 2019). a) gemiddelde golfhoogte, b) 95 percentiel van de hoogste golven, c) standaard variatie in golfhoogte en d) de coëfficiënt in variatie van de golfhoogte ten opzichte van de gemiddelde golfhoogte.

Waterdiepte en bodemvormen

De zeebodem in de Noordzee, specifiek tussen 12 en 14 zeemijl van de kust, kent een variërende morfologie en samenstelling. Dit gebied herbergt diverse bodemstructuren, waaronder:

- Getijde ruggen/ Zeeuwse banken;
- Zandgolven;
- Megaribbels.

Getijdenruggen vormen de grootste structuren op de zeebodem, met lengtes van 5 tot 10 kilometer en hoogtes van enkele meters, ontstaan door de getijdenstroming nabij de kust. Deze zijn hoofdzakelijk in het midden van de Noordzee te vinden (Figuur 5), zoals aangegeven in de geomorfologische kaart van de Noordzeebodem (Van Alphen & Damoiseaux, 1998). Dichter bij de Zeeuwse kust vormen deze getijdenruggen een lichte bocht en staan bekend als de Zeeuwse banken.

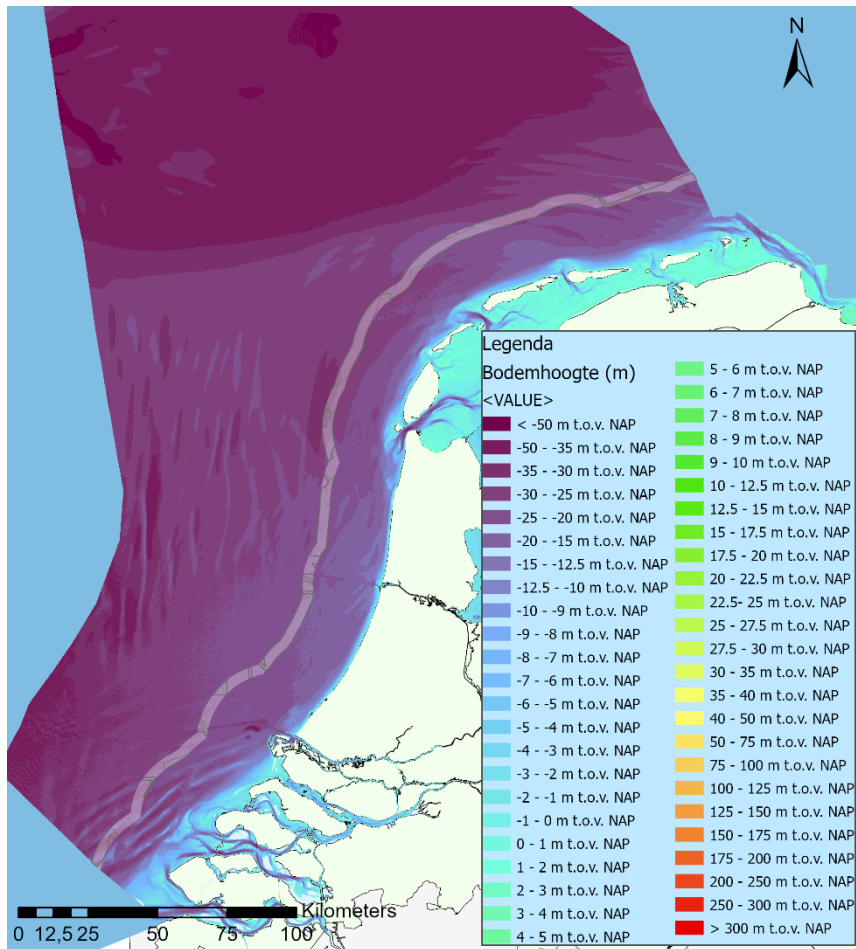


Figuur 5 Noordzeekaart met daarop de locaties van de getijde ruggen (in oranje) (Van de Meene, 1994).

Naast deze grootschalige bodemvormen zijn in sommige delen van de beoogde uitbreidingszone ook kleinere structuren waargenomen, zoals zandgolven en megaribbels, afhankelijk van hun grootte. Zandgolven, met een gemiddelde lengte van ongeveer 400 meter en een hoogte van 2,5 meter, variërend van 1 tot 5 meter (Tabel), zijn niet overal aanwezig (Figuur 6) (Damen, Van Dijk, & Hulscher, 2018).

Megaribbels, variërend in lengte van 1 tot 10 meter en in hoogte van 10 centimeter tot 1 meter, hebben een onbekende precieze locatie en oriëntatie en kunnen zich relatief snel verplaatsen. Hun grootte hangt af van de getijdenintensiteit (Bartholdy, Bartholomae, & Flemming, 2002). Bovendien kunnen er tijdens stormen onregelmatige bodemstructuren ('hummocks') ontstaan door de invloed van stormgolven en stromingen (Van Dijk & Kleinhans, Processes controlling the dynamics

of compound sand waves in the North Sea, Netherlands, 2005). De huidige nauwkeurigheid van bodemhoogtemetingen op de Noordzee is niet fijn genoeg om de exacte afmetingen en oriëntaties van de meeste bodemvormen vast te stellen.

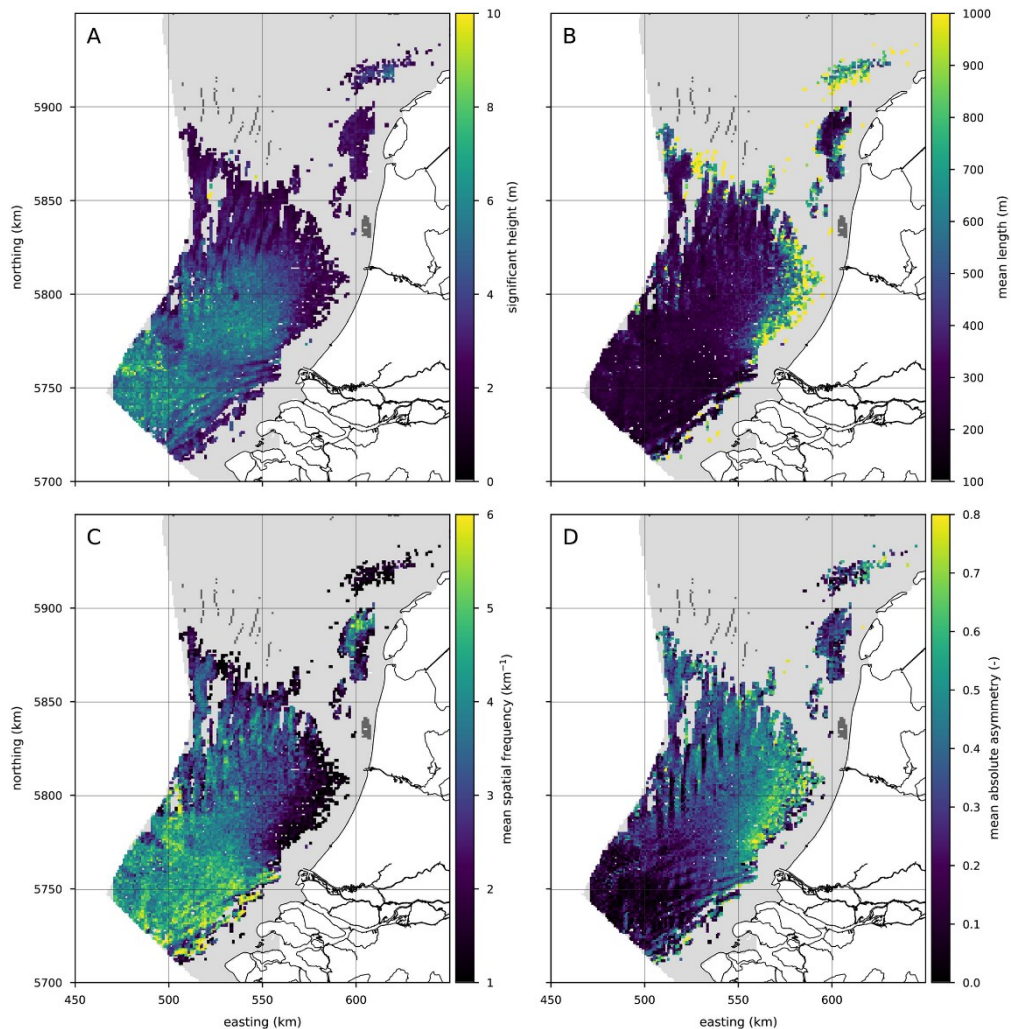


Tabel 1 Kenmerken van de bodemvormen op de Noordzee in het studiegebied

Bodemvormen	Lente (m)	Hoogte (m)	Verplaatsings-snelheid (m/jaar)	Ontwikkelings-tijdschaal
Getijde ruggen	Tientallen km's	Tot aan 10 m	1 – 10	Honderden jaren
Zandgolven	100 – 1000	1 – 5	1 – 10	Tiental jaren
Megaribbels	1 – 10	0.1 – 1	100 – 1000	Uren – dagen

Tabel bevat de kenmerken van deze zeebodemstructuren, inclusief hun typische verplaatsingssnelheid en ontwikkelingstijdschaal, hoewel lokale afwijkingen mogelijk zijn. Er bestaat onzekerheid over de verplaatsingssnelheid van getijdenruggen (Roos & Hulscher, 2006). Studies suggereren dat getijdenruggen, afhankelijk van hun locatie in de Noordzee, geroteerd kunnen zijn ten opzichte van de dominante stromingsrichting, wat wijst op de migratierichting (De Swart & Yuan, 2019). De meest actieve ruggen bevinden zich in ondiepere wateren, waar de getijdenstroming sterker is. Geologische studies en modelberekeningen tonen aan dat getijdenruggen jaarlijks langzaam zeewaarts verplaatsen (Roos & Hulscher, 2006), terwijl zandgolven zich met variërende snelheden noordoostwaarts kunnen verplaatsen (Van Dijk, et al., 2012), voornamelijk in de richting van de kust.

De verspreiding van deze bodemvormen binnen het gebied van 12 tot 14 NM varieert van ruggen in het zuiden met zandgolven tot voornamelijk zandgolven bij Hoek van Holland tot Zeeland, en weinig tot geen dynamische zeebodemstructuren vanaf Texel en het gebied boven de Waddeneilanden. Deze variatie komt overeen met het gebied tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en 12 NM.



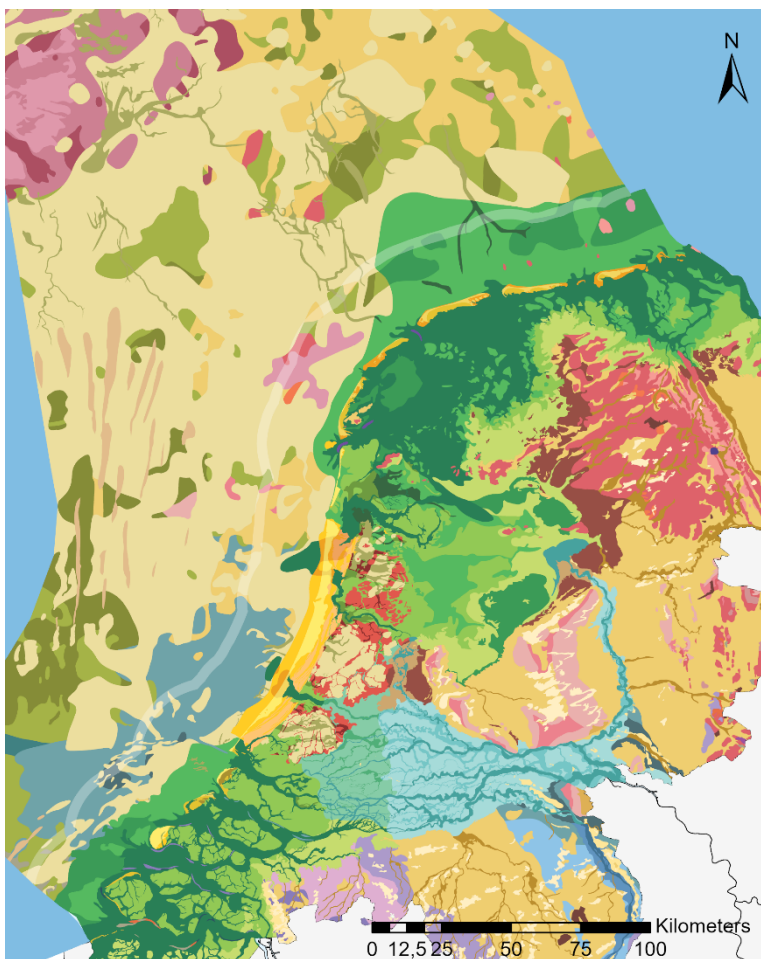
Figuur 6 Zand golven karakteristieken (a) hoogte, (b) lengte, (c) ruimtelijke frequentie en (d) asymmetry van de zandgolven. In de grijze gebieden komen geen zandgolven voor (Damen, Van Dijk, & Hulscher, 2018).

Bodemsamenstelling

De vorming van de bodemstructuren in de Noordzee wordt niet alleen beïnvloed door het transport van zand door golven en getijden; de samenstelling van de ondergrond speelt eveneens een cruciale rol. De geologie draagt bij aan zowel de morfologie van de zeebodem als de samenstelling van de onderliggende lagen. De Noordzeebodem markeert de overgang tussen het zeewater en het onderliggende sediment, met een actieve bovenlaag die continu wordt beïnvloed door dagelijkse processen zoals getijdenstromingen, stormgolven en activiteiten van zeeorganismen, naast de verplaatsing van bodemstructuren. Deze actieve laag wordt in geologische doorsneden aangeduid als de 'Bligh Bank' formatie, waarvan de dikte varieert afhankelijk van de aan- of afwezigheid van bepaalde bodemvormen. Binnen deze

formatie komt geen of nauwelijks veen in voor en slechts een klein percentage slib aanwezig is.

Onder de 'Bligh Bank' formatie bevinden zich oudere geologische lagen met diverse ouderdommen en samenstellingen. Het 'Basisveen' bestaat uit veen, maar is niet overal aanwezig door variaties in vorming en erosie. Erosieprocessen, gevolgd door afzettingen van klei en zand, hebben de samenstelling van de ondergrond verder beïnvloed. De specifieke geologische lagen die onder de actieve laag liggen, variëren per gebied afhankelijk van de geologische geschiedenis, inclusief de formatie en erosie van lagen. De ondergrond onder de actieve laag kent een grote diversiteit, met in sommige gevallen aanzienlijke hoeveelheden slib en veenlagen.



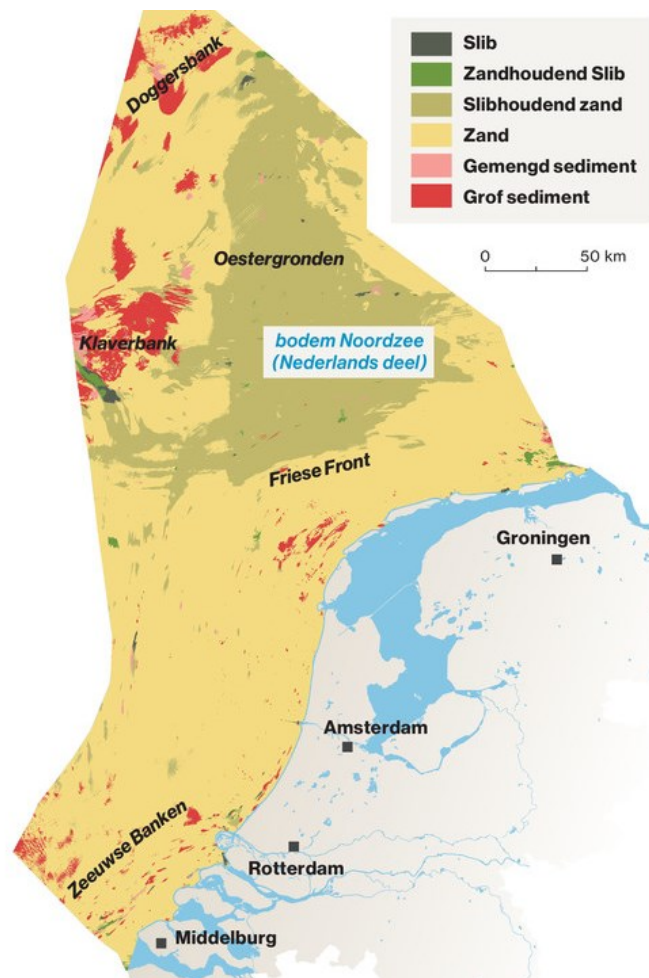
Figuur 7 Geologische kaart van Nederland met doorschijnend het gebied tussen de 12 nm en 14 nm (dinoloket.nl).

De geologische kaart van Nederland en de Nederlandse Noordzee, zoals weergegeven door TNO (Figuur 7), illustreert de variatie in geologische samenstelling langs de kust en onderscheidt drie regio's: de Zeeuwse kust, de Hollandse kust en het gebied boven de Waddeneilanden. Een opvallend kenmerk is de aanwezigheid van glaciale grindlagen bij Texel, terwijl boven de Waddeneilanden getijdeafzettingen liggen en zuidelijker, vanaf Leiden, rivierafzettingen van de oude Rijnloop te vinden zijn. Deze geologische kenmerken vormen de basis van de ondergrond, hoewel meer gedetailleerde informatie nog ontbreekt vanwege het beperkte aantal boringen op zee.

De bovenste laag van de Noordzeebodem bestaat voornamelijk uit zandig sediment. De gemiddelde korrelgrootte van dit zeebodemsediment in het zuidelijke deel van de Noordzee hangt samen met zowel de waterdiepte als de stroomsnelheid, waarbij diepere en noordelijker gelegen gebieden fijnkorreliger zijn dan de ondiepere gebieden nabij de Hollandse kust (Niessen & Schüttenhelm, 1986).

Volgens de sedimentclassificatie (Folk karakterisering), wordt het zeebodemsediment van de Noordzee omschreven als licht grindhoudend zand tot zuiver zand (Figuur 8). De bodemmorfologie speelt een cruciale rol in de samenstelling van dit sediment. De dichtheid van de monsterpunten in de Noordzee is niet groot genoeg om alle verschillen in korrelgrootte die optreden bij grote bankstructuren, zoals de tidal ridges, weer te geven. Dat dergelijke variaties optreden is onder andere getoond in van Dijk et al. (2012). Omdat dergelijke variaties in de korrelgroottes optreden bij de grootschalige bodemstructuren op verschillende plekken in de Noordzee en niet zijn gebonden aan de gebieden tot 12 NM, levert dit gegeven geen aanleiding om te veronderstellen dat door het verschuiven van de grens naar 12 NM naar 14 NM de samenstelling van het sediment verandert.

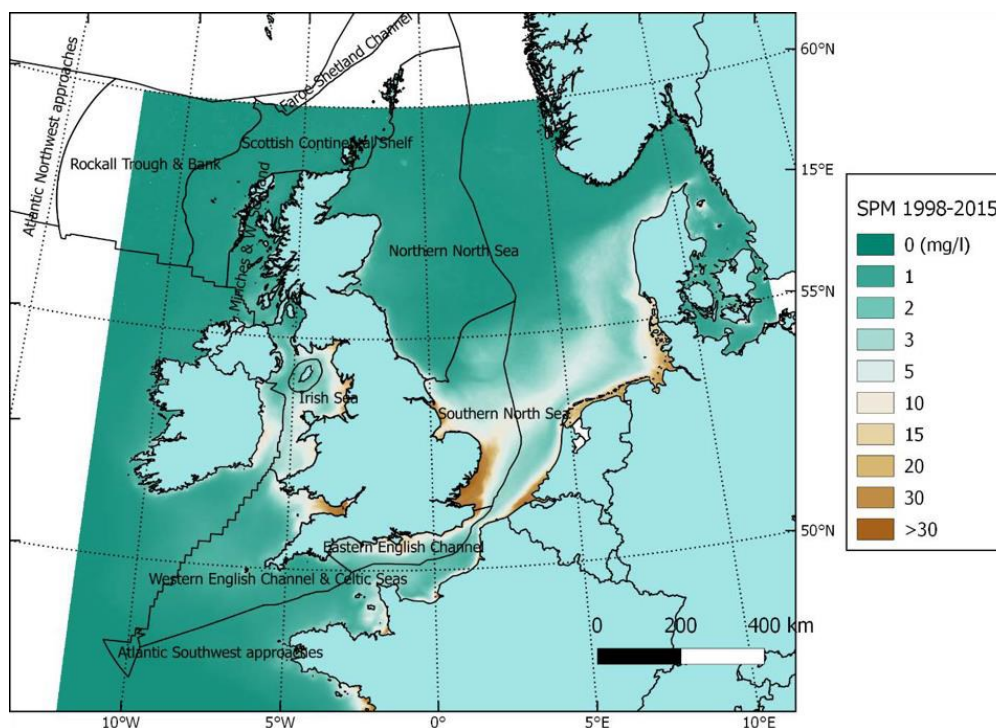
Troebelheid en waterkwaliteit



Figuur 8 Zeebodemkaart van de Nederlandse Noordzee met de belangrijkste klasse opgesteld door de Geologische Dienst TNO (dinoloket.nl)

De helderheid van het water wordt beïnvloed door de aanwezigheid van zwevende deeltjes. Factoren zoals wind, getijdenstromen en golven spelen een cruciale rol in het bepalen van de hoeveelheid zwevend materiaal. De gemiddelde jaarlijkse concentratie van zwevend stof wordt getoond in Figuur 9. De verplaatsing van slib langs de Nederlandse kustlijn naar de Waddenzee wordt grotendeels bepaald door slib dat wordt aangevoerd vanuit het Kanaal, de Vlaamse Banken, de Schelde, en de rivieren Rijn en Maas. Dit slib volgt een traject langs de Belgische en Nederlandse kust, waarbij de breedte van de strook afneemt (Salden, 1998). Bovendien draagt slib afkomstig van de rivier de Thames in Groot-Brittannië, aan de overkant van het Kanaal, bij aan de vorming van sedimentpluimen langs de Nederlandse en Britse kustlijnen. Opvallend is dat het slib van de Thames zelfs tot in Denemarken kan reiken, waardoor het ook invloed heeft op het gebied tussen 12 en 14 zeemijl. In Nederland wordt het slibtransport verder beïnvloed door de locaties waar bagger wordt gestort en gebieden waar zand wordt gewonnen.

Uit satellietbeelden blijkt dat de jaargemiddelde concentratie zwevend stof in de uitbreidingszone tussen 5-10 mg/L ligt, vergelijkbaar met het huidige gebied gereserveerd voor zandwinning. In de winterperiode is deze concentratie doorgaans hoger vanwege energiekere weersomstandigheden en een verhoogde aanvoer van slib via de rivieren. Tijdens de zomer ligt de concentratie zwevend stof enkele milligrammen per liter lager door rustiger weer en een verminderde aanvoer van slib.



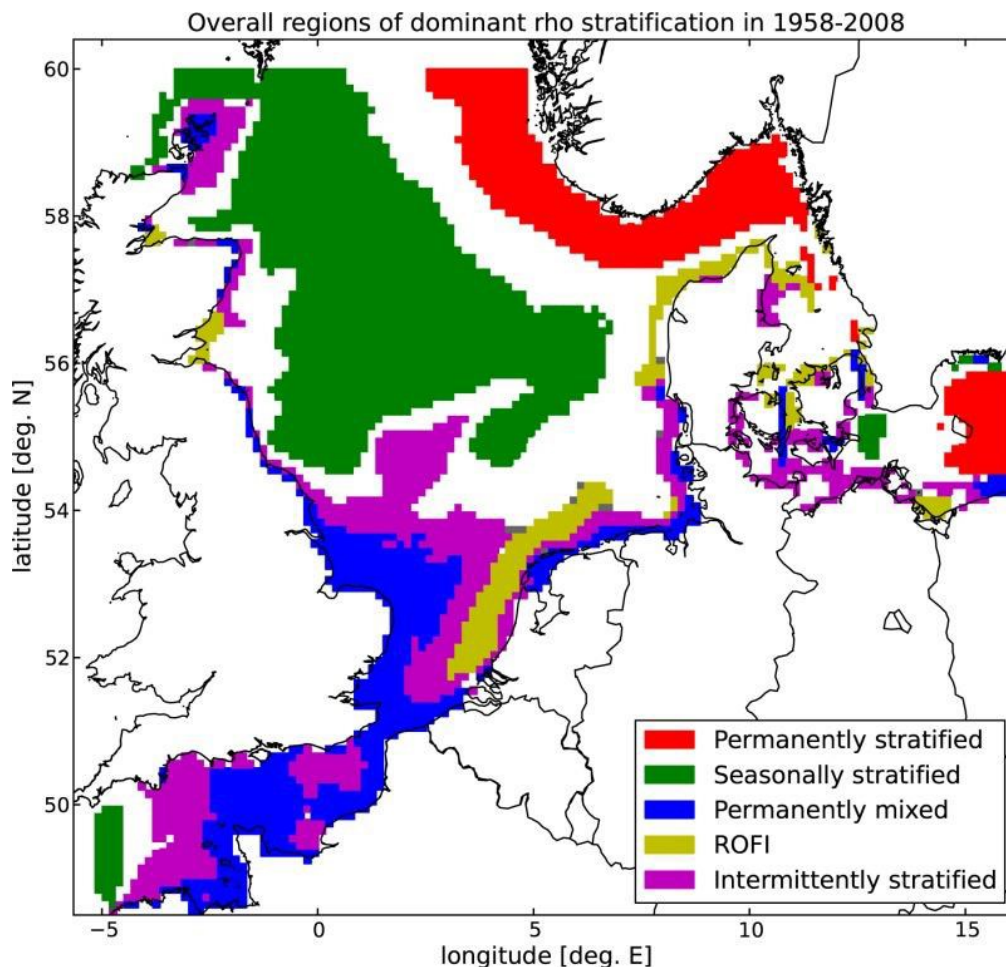
Figuur 9 Gemiddelde jaarlijkse concentratie zwevend stof op de Noordzee tussen 1998 en 2015 laat zien dat vlak bij de kust concentraties hoog zijn, maar geen significante verandering tussen de 12 nm en 14 nm. Bron: UK Marine Monitoring and Assessment Strategy (UKMMAS).

Stratificatie

De vorming van waterlagen, of stratificatie, wordt voornamelijk beïnvloed door het windpatroon en het golfklimaat, die samen de vermenging van oppervlaktewater met de onderliggende lagen beïnvloeden, evenals door de verdeling van temperatuur en zoutgehalte door de waterkolom en de diepte van het water. Figuur 10 toont een

overzicht van de voornaamste stratificatietypen in de Noordzee. Hieruit blijkt dat het Nederlandse deel van de Noordzee vooral bestaat uit gebieden zonder permanente stratificatie (aangeduid met blauw) en gebieden waar stratificatie slechts onder bepaalde voorwaarden optreedt (aangeduid met paars). Het gebied waar stratificatie voornamelijk wordt veroorzaakt door de instroom van zoetwater van rivieren (gemarkeerd in geel), loopt van Zeeland tot boven de Waddeneilanden. Dit stratificatietype varieert aanzienlijk van jaar tot jaar en per seizoen, en hangt sterk af van de waterafvoer van voornamelijk de Rijn en de Maas. Het uiterste noorden van de Nederlandse Noordzee kenmerkt zich door thermische stratificatie gedurende de zomermaanden. Permanente stratificatie komt echter niet voor in het Nederlandse deel van de Noordzee.

Het gebied dat zich uitstrekt van 12 tot 14 zeemijl bevindt zich op de grens van, of net binnen, het gebied dat beïnvloed wordt door de instroom van zoetwater uit de Rijn en Maas. Dit is vergelijkbaar met het huidige gebied dat gereserveerd is voor zandwinning.



Figuur 10 Typen stratificatie in de Noordzee, waarbij het gebied van 12 nm tot 14 nm voornamelijk binnen de ROFI (Region Of Freshwater Influence) valt (Van Leeuwen, Tett, Mills, & Van der Molen, 2015).

Sediment transport

Sedimenttransport vindt plaats door de gecombineerde werking van golven, stromingen en wind. Golven brengen sediment van de zeebodem in beweging, waarna stromingen dit kunnen verplaatsen. Of en hoe sediment wordt getransporteerd, hangt vooral af van de waterbeweging en de samenstelling van de zeebodem.

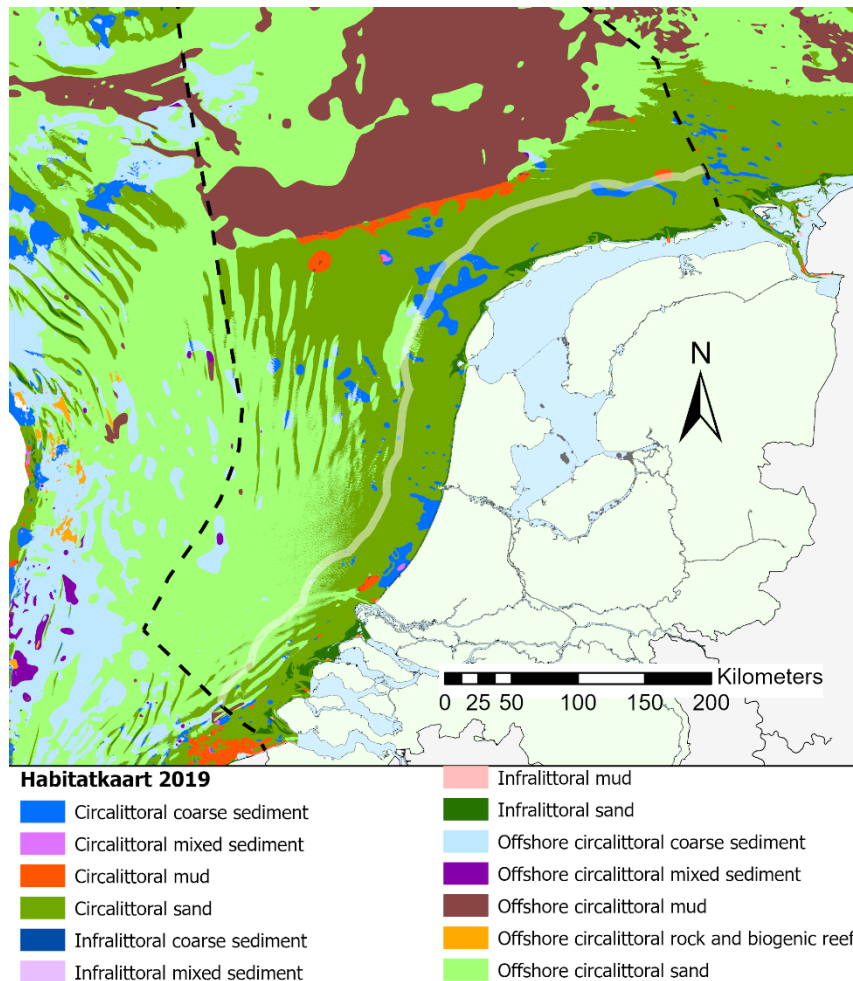
Het meest intensieve zandtransport gebeurt vooral in de ondiepe kustzones, waar de golven de zeebodem roeren en brekende golven sediment verplaatsen. In deze zones is het transport door golven veroorzaakte stromingen parallel aan de kustlijn overheersend. In diepere delen van de Noordzee, waar zandwinning en de beoogde uitbreidingszone zich bevinden, is het sedimenttransport grotendeels afhankelijk van de verplaatsing van bodemstructuren zoals ribbels, megaribbels en zandgolven, veroorzaakt door de residuele stroming (Grasmeijer, et al., 2022). Golven kunnen hier sediment in suspensie brengen, maar omdat hun invloed op deze diepte beperkt is, wordt sediment slechts in beperkte mate door de achterblijvende stroming vervoerd. Vooral tijdens stormen vindt aanzienlijk sedimenttransport plaats door de krachtigere impact van golven op de zeebodem en het opwoelen van sediment. Naast het transport van bodemsediment wordt ook slib in de waterkolom vervoerd. De gemiddelde jaarlijkse netto slibflux langs de Nederlandse kust wordt geschat op 10-25 miljoen ton per jaar (Kok, 2004; Dankers, 2015). Aangezien de uitbreidingszone verder van de kust ligt, waar rivieren sediment aanvoeren, is de slibflux in dit gebied lager dan dicht bij de kust, maar het blijft beïnvloed door de rivieruitmondingen in de open zee (ROFI).

Brede Habitats

Het milieuaspect bodem en water speelt een belangrijke rol in de habitatsoort dat zich kan vestigen op en in de Noordzeebodem. De brede habitatkaart (Figuur 11) van de European Nature Information System (EUNIS) laat zien dat de habitat niet veranderd van de 12 NM naar 14 NM en dat effecten in dit gebied hetzelfde zal zijn als binnen het huidige reserveringsgebied voor zandwinning. Langs de Nederlandse kust verschilt de verwachte habitat type, de variatie hierin is groter dan wanneer gekeken wordt naar uitbreiding van 12 NM naar 14 NM. EUNIS-habitattype A5.2 (Sublittoraal zand) met subcategorieën A5.25 (*circalittoral fine sand*) of A5.26 (*circalittoral muddy sand*) en A5.27 (*circalittoral sand*) komen voornamelijk voor binnen de huidige reserveringszone als de voorgenomen uitbreidingszone (Tabel 5).

Tabel 5 Verdeling van EUNIS brede habitatype binnen de uitbreidingszone van het reserveringsgebied voor zandwinning als het huidige reserveringsgebied.

<i>EUNIS-habitatype</i>	<i>Huidig</i>	<i>Uitbreiding</i>
<i>A5.15 Offshore circalittorale grofzandige sedimenten</i>	0%	1%
<i>A5.14 Circalittorale grofzandige sedimenten</i>	8%	10%
<i>A5.25/A5.26 Circalittoraal zand</i>	79%	65%
<i>A5.27 Offshore circalittoraal zand</i>	11%	24%
<i>A5.35 Circalittorale zanderige modder</i>	1%	1%



Figuur 11 Brede habitatkaart gebaseerd op de EUNIS kaart van 2019 met doorzichtig de omleiding van de 12 en 14 nm.

Samenvattend

De milieuaspecten van bodem en water in de Nederlandse Noordzee vertonen variaties in aspecten zoals waterbeweging, golven, diepte, bodemsamenstelling, troebelheid, stratificatie, en sedimenttransport. Deze variaties zijn voornamelijk merkbaar van Zeeland in het zuiden tot boven de Waddeneilanden in het noorden, en in mindere mate van de kustlijn (nearshore) naar de open zee (offshore). Aan de Nederlandse kust is een noordwaartse residuele stroming zichtbaar. Golven zijn hoger in het noordelijke deel van de Nederlandse Noordzee vergeleken met het zuiden. De bodemhoogte is relatief uniform langs de kust, maar in het zuiden bevinden zich de Zeeuwse banken, en zandgolven zijn niet noordelijker dan Den Helder te vinden. De bodemsamenstelling op de zeebodem is grotendeels zanderig en vertoont weinig variatie. Onder de zeebodem kunnen echter verschillen aangetroffen worden door de diverse sedimentatieprocessen uit het verleden. Zo bevinden zich in het zuiden rivierafzettingen en in het noorden getijdenafzettingen onder de bovenste actieve zandlaag.

De troebelheid van het water wordt vooral beïnvloed door rivieruitstroom uit Nederland, voornamelijk richting het noorden vanuit Zeeland/Zuid-Holland. Deze

uitstroom draagt ook bij aan de vorming van een zoutstratificatie voor de kust, bekend als de ROFI (Region of Freshwater Influence), waarvan de intensiteit naar het noorden afneemt. De factoren zoals residuele stroming, bodemsamenstelling, waterdiepte, en rivieruitstroom spelen een cruciale rol in het sedimenttransport langs de Nederlandse kust. In diepere gebieden is het sedimenttransport minder, en overwegend richting het noorden.

Deze dynamieken beïnvloeden de diverse habitattypen in de Nederlandse Noordzee, die vooral variëren langs de kustlijn en minder in de richting van de kust naar de open zee. Uitbreiding van het reserveringsgebied heeft daarom geen andere effecten dan de effecten die al bekend zijn binnen het huidige reserveringsgebied, dat zich uitstrekt van de doorgaande NAP -20 meter dieptelijn en tot 12 nautische mijlen uit de kust.

Bibliografie

- Bartholdy, J., Bartholomae, A., & Flemming, B. (2002). Grain-size control of large compound flow-transverse bedforms in a tidal inlet of the Danish Wadden Sea. *Marine Geology*, 391-413.
- Damen, J., Van Dijk, T., & Hulscher, S. (2018). Spatially varying environmental properties controlling observed sand wave morphology. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*, 262-280.
- Dankers, P. (2015). *Notitie slibverspreiding loswallen*.
- De Swart, H., & Yuan, B. (2019). Dynamics of offshore tidal sand ridges, a review. *Environmental Fluid Mechanics*, 1047-1071.
- Grasmeijer, B., Huisman, B., Luijendijk, A., Schrijvershof, R., Van der Werf, J., Zijl, H., . . . De Vries, W. (2022). Modelling of annual sand transports at the Dutch lower shoreface. *Ocean & Coastal Management*.
- Kok, D. (2004). *Slibtransport langs de Nederlandse Kust. Bronnen, fluxen en concentraties*. Rijswijk: RIKZ/OS/2004.
- Lavidas, G., & Polinder, H. (2019). North sea wave database (NSWD) and the need for reliable resource data: A 38 year database for metocean and wave energy assessments. *Atmosphere*, 551.
- Nauw, J., De Haas, H., & Rehder, G. (2015). A review of oceanographic and meteorological controls on the North Sea circulation and hydrodynamics with a view to the fate of North Sea methane from well site 22/4b and other seabed sources. *Marine and Petroleum Geology*, 861-882.
- Niessen, A., & Schüttenhelm, R. (1986). Oppervlakedelfstoffenkaart 1:1.000.000. In: *Delfstoffen en samenleving*. In *Geologie van Nederland deel 2*. Haarlem: Rijks Geologische Dienst.
- Roos, P., & Hulscher, S. (2006). Nonlinear modelling of tidal sandbanks: wavelength evolution and sand extraction. *30th International Conference of Coastal Engineering* (p. 269). San Diego, USA: ICCE.
- Salden, R. (1998). *Een model voor het transport van slib in de Nederlandse kustzone : een hulpmiddel bij scenario studies naar kustuitbreidingsplannen#rapportage van SILTMAN deelprojecten 11& 14*. Den Haag: RWS/RIKZ.
- Van Alphen, J., & Damoiseaux, M. (1998). Geomorfologische kaart van de Nederlandse kustwateren, schaal 1:250.000. *Geografisch Tijdschrift*, 161-167.
- Van de Meene, J. (1994). *The shoreface-connected ridges along the central Dutch coast*. Utrecht: Universiteit Utrecht.
- Van Dijk, T., & Kleinhans, M. (2005). Processes controlling the dynamics of compound sand waves in the North Sea, Netherlands. *Journal of Geophysical Research*, F04S10.
- Van Dijk, T., Van Dalssen, J., Van Lancker, V., Van Overmeeren, R., Van Heteren, S., & Doornenbal, P. (2012). Benthic habitat variations over tidal ridges, North Sea, the Netherlands. *Seafloor geomorphology as benthic habitat* (pp. 241-249). Elsevier.
- Van Dijk, T., Van Heeteren, S., Kleuskens, M., Vonhögen-Peters, L., Doornenbal, P., Van der Spek, A., . . . Aguilera, D. (2012). Quantified sea-bed dynamics of the Netherlands continental shelf and the Wadden Sea: a morphological and sedimentological approach. *Hydro12 Conference Proceedings* (pp. 57-62). Deinze: Hydrographic Society Benelux.
- Van Leeuwen, S., Tett, P., Mills, D., & Van der Molen, J. (2015). Stratified and nonstratified areas in the North Sea: Long-term variability and biological

and policy implications. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 4670-4686.