

## Actualisatie meerjarig onderzoeksprogramma morfologie Waddenzee

Kennis voor Beheer en Onderhoud Waddenzee



**Actualisatie meerjarig onderzoeksprogramma morfologie Waddenzee**  
Kennis voor Beheer en Onderhoud Waddenzee

**Auteur(s)**

Julia Vroom

Jurre de Vries

Ernst Lofvers

## Actualisatie meerjarig onderzoeksprogramma morfologie Waddenzee

Kennis voor Beheer en Onderhoud Waddenzee

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	J. de Vries
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Kennisprogramma Beheer en Onderhoud Waddenzee, kennisontwikkeling, morfologie, baggerhoeveelheden, natuuropgave

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	07-06-2023
<b>Projectnummer</b>	11208040-006
<b>Document ID</b>	11208040-006-ZKS-0001
<b>Pagina's</b>	60
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Julia Vroom Jurre de Vries Ernst Lofvers	

# Samenvatting

Dit levend document beschrijft het werk dat de afgelopen jaren gedaan is binnen het kennisprogramma Kennis voor Beheer & Onderhoud Waddenzee (voorheen: KPP Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden) en dient als een overzicht, een moment ter reflectie en ook als vooruitblik naar de toekomst. In 2016 is er begonnen met een kleinschalig kennisprogramma voor morfologie van de Waddenzee, omdat een goede basis voor adequaat beheer ontbrak en de bestaande kennis te versnipperd was. Rijkswaterstaat en Deltares hebben dit kennisprogramma opgetuigd om te voorzien in deze benodigde kennisbasis. Ontwikkelingen zoals het verschijnen van de Agenda voor het Waddengebied 2050, een nieuwe governance structuur en voortschrijdende wetenschappelijke inzichten, zijn extra aanleiding om het huidige kennisprogramma tegen het licht te houden en hernieuwde focus aan te brengen.

In 2016 is een brede waaier van beheervragen en kennisvragen opgehaald bij een groot aantal stakeholders, wat een goed overzicht gaf van de morfologische kennisopgave in de Waddenzee. Deze vragen zijn nog steeds actueel. Ook bleken ze dusdanig veelomvattend en breed dat slechts onderdelen van deze vragen konden worden beantwoord in de jaren erna. In eerste instantie heeft het kennisprogramma zich toegespitst op de vragen rondom bereikbaarheid (vaargeulonderhoud) en slibdynamiek. Daarnaast is er gewerkt aan het opzetten van een morfologische kennisbasis door het verzamelen van bestaande kennis. Deze focus is vooral ingegeven door directe beheersvragen die gesteld werden binnen Rijkswaterstaat en de beschikbare bijbehorende budgetten op deze onderwerpen. Er is binnen dit kennisprogramma weinig aandacht geweest voor de morfologische ontwikkeling van de Waddenzee op de langere termijn, deels omdat deze al elders werd opgepakt.

De belangrijkste stappen die afgelopen jaren gezet zijn:

- Het ontwikkelen van kombergingsrapportages om de kennisbasis op orde te brengen, waarin per kombergingsgebied de historische ontwikkeling en huidige morfologische status is beschreven. De ontwikkeling van de hydrodynamiek is eveneens beschouwd, samen met de ontwikkeling van de kwelders. Voor alle kombergingsgebieden is inmiddels een rapportage beschikbaar als naslagwerk voor gebruikers (<https://publicwiki.deltares.nl/display/MORFWAD/Producten>).
- Het digitaal ontsluiten van indicatoren, waarmee de morfologische ontwikkeling kan worden gevolgd, in een zogenaamde Digitale Systeemrapportage (DSR, <https://www.systeemrapportage.nl/wadden/index.html>). De indicatoren, bijvoorbeeld gemiddeld hoogwater of plaathoogte, tonen vaak een ontwikkeling door de tijd. Het streven is om de DSR een belangrijke basis te laten zijn voor toekomstige studies, zoals de update van de kombergingsrapportages, maar ook voor analyse van knelpunten in vaarwegen en projecten van externen.
- Er is een nieuw numeriek moedermodel van de Waddenzee (DWSM) ontwikkeld, dat in verschillende deelprojecten is toegepast en ook is gebruikt voor het afleiden van abiotische kaartlagen van de Ecotopenkaart.
- Er is veel werk verzet rondom de ontwikkeling van systeemkennis van de slibhuishouding. De vertroebeling in de Waddenzee fluctueert met het getij, de seizoenen en de jaren en vertoont over alle meetlocaties een vergelijkbaar patroon. Deze fluctuaties leiden tot een factor 2 hogere of lagere sedimentconcentraties. De seizoensgebonden fluctuaties worden voor een belangrijk deel gevormd door wind en golven. Op de langere termijn speelt meteorologische forcering waarschijnlijk ook een belangrijke rol, hoewel die terugkoppeling nog niet helemaal ontrafeld is. Daarnaast is vastgesteld dat kwelders in de oostelijke bekkens (Amelander Zeegat, Friesche Zeegat, Groninger Wad) tot ca. 50% bijdragen aan de totale slibsedimentatie in deze bekkens en dat deze gebieden dus niet buiten beschouwing kunnen worden gelaten in de slibbalans. Op het gebied van het onttrekken van slib uit de Waddenzee is er een eerste verkenning uitgevoerd, waaruit duidelijk werd dat er nog fundamentele vraagstukken zijn over de onderliggende werking van de slibhuishouding.

- Voor verschillende vaargeulen (Holwerd-Ameland, Westgat, Boontjes) is gekeken hoe de ontwikkeling van de baggervolumes wordt gestuurd door verschillende processen, zoals de grootschalige morfologische ontwikkeling, de hydrodynamiek en retourstroming. Vervolgens is voor de verschillende vaargeulen een handelingsperspectief opgesteld. Daarnaast is voor de westelijke Waddenzee een verkenning gemaakt van de te verwachten morfologische ontwikkeling tot 2050 en is voor alle vaargeulen een analyse gemaakt van knelpunten in bereikbaarheid en de mogelijkheden om pro-actiever mee te bewegen met de natuurlijke dynamiek van de geulen in het kader van dynamisch vaargeulbeheer/vaarwegoptimalisatie. Deze knelpunten worden de komende jaren in meer detail bestudeerd.
- Er zijn aanbevelingen gedaan voor nieuwe metingen (bijv. van zwevende stof en saliniteit) en het ontsluiten van bestaande metingen (projectmetingen en relevante oude metingen).
- Er is belangrijk advies gegeven over een eenduidige rapportage van de baggervolumes, die momenteel nog per aannemer verschillen. Daardoor is het lastiger trends in baggervolumes vast te stellen. Daarnaast is er ook gewerkt aan verschillende prognoses om het baggerbezwaar beter in te kunnen schatten.

Qua proces en samenwerking constateren we dat de afgelopen jaren de samenwerking tussen Deltares en Rijkswaterstaat goed verloopt en dat er een goede basis is van betrokken personeel. Aansluiting met andere relevante projecten binnen Deltares en met andere afdelingen binnen Rijkswaterstaat verdient aandacht, evenals de aansluiting met externe projecten. Beter in contact staan met beleid en de Waddenacademie (als kennisregisseur) zal helpen om de Plan, Do, Check, Act (PDCA) cyclus beter sluitend te krijgen. Voor de continuïteit van het kennisprogramma en het brede scala aan vragen die nog openstaan, is het daarnaast wenselijk dat er gekeken wordt naar additionele financiering.

Door de projecten die de afgelopen jaren uitgevoerd zijn, is duidelijk geworden dat de belangrijkste focus van het kennisprogramma ligt bij bereikbaarheid en natuurbeheer. Ook heeft het fundament van de morfologische kennis zijn waarde bewezen, door continue toepassing in projecten. Op basis hiervan zijn voor het kennisprogramma vier lijnen vastgesteld, namelijk: Areaalkennis op orde, Optimalisatie baggeren, Natuuropgaven en Lange termijn investeringen. Komende jaren zal daarnaast meer dan voorheen aandacht geschonken worden aan de kennisdeling. De belangrijkste activiteiten in de komende jaren zijn:

- Het verder ontsluiten en inwinnen van basisinformatie, benodigd voor morfologische analyses.
- Het ontwikkelen van een methodiek voor een gestructureerde analyse van knelpunten in vaarwegen, inclusief een conceptueel denkmodel voor de systeemwerking, en het opstellen van handelingsperspectief voor beheer.
- Verbeteren van het inzicht in baggerpluimen en vertroebeling als gevolg van verschillende baggertechnieken.
- Inzicht in de saliniteitsverdeling en hoe deze beïnvloed kan worden via spuiregimes, ook in het licht van klimaatverandering.
- Effect van het onttrekken van slib op het systeem op verschillende tijdschalen.
- Het vergroten van het inzicht in de verwachte trendmatige morfologische ontwikkeling van deelgebieden en van de Waddenzee als geheel.
- Het actueel houden van het hydrodynamisch model en gekoppelde sedimenttransportmodel voor de Waddenzee, en (in aanpalende projecten) verder werken aan de verbetering van dit model en uitbreiding naar een morfodynamisch zand-slibmodel. Doel is dat het model inzetbaar blijft voor verschillende beheervragen en -scenario's en verbeterd zal presteren op het voorspellen van morfologische ontwikkeling en baggerbezwaar.
- Zorgen dat de kennis uit dit programma beter wordt gevonden en breder wordt toegepast en beter aansluiten op kennisontwikkeling elders.

Vragen die in het Eems-estuarium spelen zijn in deze actualisatie niet opgenomen.



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1	Waarom een programma voor morfologisch onderzoek c.q. kennisontwikkeling?	9
1.2	Eerste onderzoeksprogramma uit 2016	9
1.3	Actualisatie 2022	10
1.4	Leeswijzer	10
<b>2</b>	<b>Kaders</b>	<b>11</b>
2.1	Planologische Kernbeslissing Derde Nota Waddenzee (2007)	11
2.2	Natuurbeschermingswetgeving en KRW	11
2.3	Agenda voor het Waddengebied 2050	11
2.4	Nationaal Waterprogramma (NWP)	12
2.5	Uitvoeringsprogramma	13
2.6	Trilaterale kennisagenda	13
2.7	UNESCO Werelderfgoed status	14
<b>3</b>	<b>Vragen van de beheerders</b>	<b>15</b>
3.1	Beheertaken	15
3.2	Beheervragen	16
<b>4</b>	<b>Het kennisprogramma 2016-2022</b>	<b>18</b>
4.1	Introductie	18
4.2	Betrokkenen	18
4.3	Financiering	19
4.4	Landelijke Taken	20
4.4.1	Kombergingsrapportages (2017-2022)	20
4.4.2	Verkenning ontwikkeling westelijke Waddenzee (2022)	20
4.4.3	Sedimentbalansen (2017-2021)	21
4.4.4	Witboek: Het sedimentdelende systeem van de Nederlandse Waddenzee (2018)	21
4.4.5	Overview of the hydromorphology of ebb-tidal deltas of the trilateral Wadden Sea (2017)	21
4.5	Vaargeulgeulonderhoud	22
4.5.1	Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee (2022)	22
4.5.2	Prognose tool (2017-2019)	22
4.5.3	Dynamisch vaargeulbeheer (2022)	23
4.5.4	Vaargeul Boontjes (2021-2022)	23
4.5.5	Vaargeul Holwerd-Ameland (2020-2021)	23
4.5.6	Getijdemeanders in kombergingsgebied Borddiep (2018)	24
4.5.7	Pilot Westgat (2018-2020)	24

4.6	Basismonitoring	24
4.6.1	Digitale Systeemrapportage	24
4.6.2	Inventarisatie meet- en monitoringsbehoefte (2022)	25
4.6.3	Abiotische basisinformatie voor de Ecotopenkaart (2021-2022)	25
4.7	KaderRichtlijn Water	25
4.7.1	Slibdynamiek op de schaal van de Waddenzee (2018-2020)	25
4.7.2	Slib onttrekken (2022)	26
4.8	Relevante kennisontwikkeling buiten het kennisprogramma	27
4.9	Synthese	28
4.9.1	Samenvatting oogst kennisprogramma	28
4.9.2	Openstaande vragen	29
4.9.3	Gewenste aanpassingen aan proces en samenwerking	31
<b>5</b>	<b>Het kennisprogramma vanaf 2023</b>	<b>33</b>
5.1	Introductie	33
5.2	Areaalkennis op orde	34
5.2.1	Meetbehoefte	34
5.3	Optimalisatie baggeren	35
5.4	Natuuropgaven	35
5.5	Lange termijn investeringen in kennis	36
5.5.1	Modelontwikkeling	37
5.6	Kennisdeling	38
5.6.1	Doelen	39
5.6.2	Communicatiemiddelen en activiteiten	39
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>40</b>
<b>A</b>	<b>Kennisvragen uit Onderzoeksprogramma 2016</b>	<b>41</b>
<b>B</b>	<b>Lopende en afgeronde projecten buiten het kennisprogramma</b>	<b>43</b>
B.1	Kustgenese 2.0 (2015-2020)	43
B.2	SEAWAD	43
B.3	Where mud matters (2021)	43
B.4	Gaswinning monitoring	44
B.5	TRAILS (2020-2025)	44
B.6	Waddenmozaiek	44
B.7	POV Waddenzeedijken, onderdeel geulmanagement (2014-2019)	44
B.8	TRILAWATT	45
B.9	MUSA (2020-2023)	45
B.10	Vervolgstudie Bereikbaarheid Ameland 2030 (VBA2030)	45
B.11	Slibmotor (2015-2019)	45
B.12	Zandige Kust	45
B.13	KPP BenO kust	46

B.14	LOCO-EX	46
B.15	WadSED	46
B.16	Deltaprogramma Waddengebied	47
B.17	PAGW (Programmatische Aanpak Grote Wateren)	47
B.18	ASMITA ontwikkelingen	47
B.19	Living Dikes	47
B.20	RESTCOAST	48
B.21	BE SAFE	48
B.22	Holwerd aan Zee	48
B.23	WaL	48
B.24	MANABAS	48
B.25	Eerdere studies Holwerd-Ameland	48
<b>C</b>	<b>Partijen in het Waddengebied</b>	<b>50</b>
C.1	Governance Waddengebied	51
<b>D</b>	<b>Producten KPP Waddenzee 2016-2022</b>	<b>52</b>
D.1	Landelijke Taken	52
D.2	Vaargeulonderhoud en baggeren	53
D.3	Basismonitoring	53
D.4	KRW slib	54
<b>E</b>	<b>Input vanuit samenwerkdag</b>	<b>55</b>
<b>F</b>	<b>Input vanuit Natuurclub RWS-NN</b>	<b>57</b>
<b>G</b>	<b>Deltaprogramma Wadden</b>	<b>59</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Waarom een programma voor morfologisch onderzoek c.q. kennisontwikkeling?

Rijkswaterstaat is (in kader van de Samenwerkingsagenda voor de Waddenzee) in 2016 gestart met een programma 'KPP Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden (sinds 2023<sup>1</sup> en in het vervolg van dit rapport 'Kennis voor B&O Waddenzee') voor ontwikkeling en onderhoud van de kennisbasis over het morfologisch functioneren van de Nederlandse Waddenzee, gericht op de vraagstukken van beleid en beheer. Hieraan was behoefte omdat veel van die kennis versnipperd was en het geheel geen voldoende bijdrage aan het beheer gaf.

Het programma beoogt morfologische kennis op een structurele manier te verzamelen, analyseren, ordenen, borgen en toegankelijk te maken voor beleids- en behevraagstukken. Het draagt bij aan evaluatie (zowel voor- als achteraf) van doelen en maatregelen om een optimaal beleid en beheer van de Waddenzee te bereiken.

Tot nu toe is met het kennisprogramma een kennisbasis ontwikkeld waarmee de diverse vragen sneller dan voorheen beantwoord kunnen worden en waarmee het beheer pro-actief ondersteund kan worden. Voorbeelden zijn de evaluatie van een baggeringgreep in het Westgat bij Schiermonnikoog, de evaluatie van verdieping Boontjes en advisering rondom maatregelen in de Vaarweg Ameland.

## 1.2 Eerste onderzoeksprogramma uit 2016

In 2016 is de aanzet tot een meerjarig onderzoeksprogramma voor de morfologie van de Waddenzee gedaan met de belangrijkste beheerdersvragen en onderzoeksprioriteiten (Janssen et al. 2016). Daarvoor zijn in 2016 meerdere workshops gehouden met veel betrokkenen.

In Janssen et al. (2016) is het conceptueel model van de morfologie van de Waddenzee beschreven, waarin de schaalcascade de belangrijkste basis vormt. De verzamelde kennisvragen staan in bijlage A. Het rapport doet ook aanbevelingen om tot een kenniscommunity voor de Waddenzee te komen, naar voorbeeld van de Schelde. In de jaren erna hebben Rijkswaterstaat en Deltares het kennisprogramma opgetuigd, om te voorzien in de benodigde kennisbasis.

Het programma heeft sinds 2016 bijgedragen aan de structurele ontwikkeling en het borgen van morfologische kennis. Uitgangspunt was de kennisbehoefte op het gebied van bereikbaarheid, natuurlijkheid en veiligheid. Tevens werd de kennis ingezet bij diverse actuele behevraagstukken. De kennisbasis diende om (hydromorfologische) adviezen te geven voor beleid en beheer (Assetmanagement, Aanleg en Onderhoud).

Het programma kent een aantal langlopende activiteiten:

1. In beeld brengen van de morfologische ontwikkelingen en relevante abiotiek (hydrologie, geomorfologie, sediment in water en bodem).
2. Het begrijpen en zo mogelijk voorspellen van deze ontwikkelingen, gesteund door metingen/experimenten en methodieken/modellen.
3. Overzicht van relevante menselijke activiteiten, plannen en vraagstukken.

---

<sup>1</sup> Het contract tussen Deltares en Rijkswaterstaat is per 1-1-2023 herzien, waarbij deze nieuwe naam is vastgesteld.

4. Het borgen/vastleggen van de kennis (in brede zin), het ontsluiten en delen ervan.
5. Het adviseren over beleids- en beheervraagstukken, waaronder ook de inrichting van (basis)monitoring.

### 1.3 Actualisatie 2022

Na een aantal jaren is reflectie nodig: waar staan we en liggen we nog op de juiste koers? Het voorliggende rapport beschrijft welke behoeften er zijn en hoe het kennisprogramma beter toe te snijden is op actuele beleidsontwikkelingen en beheervraagstukken rond de Waddenzee.

In 2020 is de Agenda voor de Wadden 2050 (AvdW2050) opgesteld door de stakeholders en in 2021 is het Nationaal Waterprogramma vastgesteld. In 2023 is de Uitvoeringsprogramma verschenen. In deze documenten staan doelstellingen en activiteiten waaraan Kennis voor B&O Waddenzee moet bijdragen.

Ook op het bestuurlijke vlak in de Waddenzee zijn er sinds 2016 wijzigingen opgetreden, zo is de beheerautoriteit in het leven geroepen en heeft de Waddenacademie de rol van kennisregisseur op zich genomen en daarmee de taak om de (bredere) kennisontwikkeling rond het uitvoeringsprogramma van Agenda voor de Wadden te coördineren.

Er werken veel verschillende stakeholders en kennisinstellingen aan de Waddenzee. Deze actualisatie beschrijft welke kennis binnen andere projecten wordt en is ontwikkeld, om zodoende ook de opgave en rol van B&O Waddenzee scherper te krijgen en uit te kunnen dragen. B&O Waddenzee richt zich voornamelijk op het op orde brengen en houden van de morfologische/abiotische kennisbasis en het beantwoorden van beheersvragen die van belang zijn voor Rijkswaterstaat zoals bijvoorbeeld rondom vaarwegonderhoud en natuurbeheer.

Omdat er voor het onderzoeksprogramma uit 2016, de trilaterale Waddenagenda en de AvdW2050 al veel stakeholders zijn bevroegd, is ervoor gekozen voor de actualisatie geen nieuwe workshops te organiseren, maar de bestaande informatie zo goed mogelijk samen te brengen.

### 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden eerst de kaders van het beleid en beheer van het Waddengebied geschetst. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de beheertaken en samenhangende vragen, zoals die in 2016 zijn verzameld. Hoofdstuk 4 beschrijft het kennisprogramma in de afgelopen jaren, inclusief een beknopte beschrijving van alle afgeronde deelprojecten. In hoofdstuk 5 wordt vervolgens beschreven waar het kennisprogramma zich vanaf 2023 op gaat richten.

## 2 Kaders

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de huidige belangrijkste kaders, met focus op de aspecten die relevant kunnen zijn voor het kennisprogramma.

### 2.1 Planologische Kernbeslissing Derde Nota Waddenzee (2007)

Het Nederlandse beleid ten aanzien van het Waddengebied is vastgelegd in de Derde Nota Waddenzee. Dit is een uitwerking en concretisering van de Nota Ruimte. De Structuurvisie Waddenzee is een onderdeel van de Derde Nota Waddenzee. Het document legt ook het beleid over gaswinning en visserij vast.

Het beleid voor de Waddenzee is primair gericht op *“het instandhouden en ontwikkelen van het natuurlijk ecosysteem en op de bescherming van de fysieke verschijningsvorm van de Waddenzee. Specifiek voor de Waddenzee streeft het kabinet daarom naar optimale bescherming van de natuurwaarden en het bevorderen van natuurontwikkeling met een minimale invloed van menselijke handelingen en behoud van het unieke open landschap.”* (Uit: Nota van Toelichting bij Derde Nota Waddenzee)

### 2.2 Natuurbeschermingswetgeving en KRW

De Waddenzee is beschermd Natura 2000-gebied waar de Vogel- en habitatrichtlijnen gelden. De wet schrijft voor dat er voor Natura 2000-gebieden een beheerplan is dat het kader geeft voor natuurbeheer en economische activiteiten. Het werkt ook instandhoudingsdoelstellingen en verbeteropgaven uit.

De Waddenzee is ook beschermd door de Kaderrichtlijn Water, die voorschrijft dat de ecologische en chemische waterkwaliteit in 2027 goed moet zijn. De KRW is verankerd in de Waterwet. De Kaderrichtlijn Marien is niet van toepassing op de Nederlandse Waddenzee.

### 2.3 Agenda voor het Waddengebied 2050

In de Agenda voor het Waddengebied 2050 (AvdW2050) uit 2021 hebben overheden, natuurorganisaties, visserijorganisaties en de samenwerkende havens een gezamenlijke koers voor het Waddengebied geformuleerd. De ruimtelijke afbakening betreft de Waddenzee, Eems estuarium, Waddeneilanden, Noordzeekustzone en de vaste wal van Friesland, Groningen en Noord-Holland.

De hoofddoelstelling voor de Waddenzee luidt *“een duurzame bescherming en ontwikkeling van de Waddenzee als natuurgebied en het behoud van het unieke open landschap”*. De doelen voor het Waddengebied zijn krachtig samengevat in de drie steekwoorden: *veilig, vitaal en veerkrachtig*.

De volgende kernwaarden moeten behouden blijven:

- De dynamische natuur van de Waddenzee inclusief de overgangen naar de kust en de eilanden.
- De rust, ruimte, stilte en duisternis.
- De waardevolle landschappen en het cultureel erfgoed in dorpen en steden, op de eilanden en in de zee.
- De visserij, de havens, landbouw, energie en recreatie als sterke en innovatieve economische sectoren.

Het perspectief voor 2050, met de elementen die van belang zijn voor Kennis voor B&O Waddenzee, luidt:

- dynamische geulen en platen
- de natuur van de Waddenzee is weer verbonden met het achterland, IJsselmeer en Noordzeekustzone.
- groter areaal biobouwers (zeegras, schelpdierbanken)
- aanwezigheid dijken en innovatieve vormen daarvan (breed, dubbel, groen etc.)
- zelfvoorzienende eilanden m.b.t. energie
- geen nieuwe gaswinning en delfstofwinning meer onder de Waddenzee (bestaande winningen lopen echter nog decennia door).

Inhoudelijk is er mogelijk raakvlak met de volgende aspecten, omdat deze ingrijpen op het (a)biotisch systeem:

- Vaarwegen volgen natuurlijke dynamiek van geulen. Breedte/diepte vaargeulen nemen niet toe.
- Slimmer en duurzamer baggeren en verspreiden met minder milieu impact
- Baggerspecie in beginsel terugstorten vanwege meegroeien, maar onttrekken mogelijk als het bijdraagt aan natuurherstel. Hiervoor binnendijkse/buitendijkse pilots opzetten.
- Optimalisatie haveningangen indien havens worden aangepast/uitgebreid.
- Kennis waddenecosysteem vergroten, o.a. op gebied van cumulatie menselijke ingrepen
- Wens voor ambitieus natuurherstel over lange periode
- Afname visvergunningen om impact te halveren
- Meer overgangszones tussen zee en land
- Microplastics en verontreinigingen, die zich kunnen hechten aan slib.
- Verjonging duinen en kwelders
- Iedere 5 jaar onderzoek naar zss, bodemdaling en sedimentatie om onzekerheidsmarges te verkleinen.
- Meegroeivermogen platen/kwelders behouden/vergroten d.m.v. beheermaatregelen.
- Aantrekkelijker primaire waterkeringen voor ecologie en recreatie. Ook waarborgen diversiteit van de waterkering (dus niet overal zelfde type).
- Zoetwaterstrategie (DP Zoetwater)
- Ruimte creëren voor experimenten en pilots

De ambities uit de AvdW2050 zijn verder geconcretiseerd in het Uitvoeringsprogramma. Rijkswaterstaat wil Kennis voor B&O Waddenzee als centrale onderlegger inzetten in het Uitvoeringsprogramma. Daartoe wordt afstemming gezocht met de Waddenacademie die gevraagd is om de kenniscomponent uit te werken voor de Uitvoeringsagenda.

## 2.4 Nationaal Waterprogramma (NWP)

In het Nationaal Waterprogramma staat voor de Wadden specifiek omschreven wat de gebruiksfuncties zijn waar RWS zich op richt bij het beheer van het Waddengebied.

Voor de *waterveiligheid* wordt gekeken naar het meegroeivermogen van de Waddenzee en de duingebieden (als onderdeel van het kustfundament). Er is vastgesteld dat zandwinning in de Waddenzee vanaf 2022 niet meer is toegestaan, en dat onderzocht moet worden of en in hoeverre slibonttrekking mogelijk is zonder schade aan de natuurwaarden en meegroeivermogen van de Waddenzee. De duinen kunnen meegroeien met zeespiegelstijging indien voldoende zand wordt aangevoerd. Zandsuppleties zorgen daarbij voor voldoende aanvoer. Dit is belegd bij Kennis voor BenO kust en voor de langere termijn ook in Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor 2: Zandige kust. De dijkversterking die nodig is op Vlieland wordt in 2023 binnen HWBP opgepakt.

De kennisontwikkeling over de rol van slib voor het meegroeivermogen van de Waddenzee, en in bredere zin de hele slibhuishouding, is van belang voor Kennis voor B&O Waddenzee. Daarnaast omvat deze kennisbehoefte de ontwikkeling van kwelders.

*Schoon en gezond water* worden gerealiseerd middels Natura2000, KRW, PAGW en ED2050. Het gaat hierbij om het toestaan van hydromorfologische en ecologische processen en een veerkrachtig voedselweb. Hiervoor is natuurherstel en -ontwikkeling nodig en wordt ingezet op duurzaam medegebruik. Om inzicht te krijgen in het effect van klimaatverandering op het ecologisch functioneren van de Waddenzee wordt het belang van kennisontwikkeling en onderzoek onderschreven, juist omdat er veel onzekerheden zijn. In de PAGW wordt gekeken hoe dijkversterkingsopgaven kunnen worden ingezet voor de verzachten van de randen van het Wad en het verbinden van de Waddenzee met haar achterland. Daarnaast wordt ingezet op het herstellen van de onderwaternatuur. In ED2050 worden projecten ontwikkeld voor buitendijkse en binnendijkse slibsedimentatie, om daarmee de vertroebeling in het Eems estuarium te verminderen en estuariene overgangen te realiseren. Dit onderwerp wordt maar beperkt opgepakt binnen B&O Waddenzee.

Onder thema *bereikbaarheid* is het uitgangspunt dat de huidige streefdiepten en -breedten van de vaargeulen niet toenemen. In het NWP zijn deze afmetingen opgenomen in Tabel 6. Nieuwe baggertechnieken, ontwikkelingen in de scheepvaart en morfologische ontwikkelingen kunnen aanleiding zijn de baggerinspanning en vaargeuldimensies bij te stellen. Dit gebeurt dan via een formele procedure in het kader van de 6-jaarlijkse update van het NWP. Omdat Rijkswaterstaat ook verwacht dat de verlanding de komende decennia verder gaat toenemen, wil zij de gevolgen voor het baggerwerk beter inzichtelijk krijgen samen met de ecologische effecten. Het inzicht in de morfologische veranderingen dat hiervoor nodig is, wil Rijkswaterstaat zoveel mogelijk oppakken binnen Kennis voor B&O Waddenzee.

Bij de *gebruiksfuncties* (recreatie, visserij) wordt gemeld dat evaluatie van de N2000-beheerplannen inzicht moet geven of het huidige gebruik het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen in de weg staat. In tabel 7 van het NWP staan welke maatregelen de komende jaren worden uitgevoerd.

## 2.5 Uitvoeringsprogramma

Om uitvoering te geven aan de Agenda van het Waddengebied 2050 hebben de partijen in het Waddengebied een vertaling gemaakt van de Agenda in concrete doelen en uitvoeringsinitiatieven voor de periode 2021-2026. Het uitvoeringsprogramma is in februari 2023 geaccordeerd. Voor dit kennisprogramma zijn de belangrijkste activiteiten uit het Uitvoeringsprogramma: VBA2030 (zie bijlage B.10), het initiatief Ecosysteemgericht Baggeren, de 'Organisatie van de kennishuishouding & het opstellen van een kennisagenda' en het 'Uitwerken en uitvoeren monitoring en voortgang'. Het initiatief Ecosysteemgericht Baggeren wordt komend jaar verder uitgewerkt. De kenniscomponent van het Uitvoeringsprogramma wordt getrokken door de Waddenacademie. Bij de monitoring wordt aangesloten op de Basismonitoring en worden indicatoren genoemd, het sluit daarmee nauw aan op de Digitale Systeemrapportage uit dit kennisprogramma (§4.6.1). Ook dit onderdeel wordt getrokken door de Waddenacademie. Ook de 2<sup>e</sup> tranche van het Programma ED2050 is van belang voor het kennisprogramma.

## 2.6 Trilaterale kennisagenda

De trilaterale kennisagenda bundelt de kennisbehoefte van de Nederlandse, Duitse en Deense stakeholders in het Waddengebied. De focus ligt daarbij op de verdere toekomst, en hoe o.a. klimaatverandering en economische en demografische ontwikkeling het Waddengebied zullen beïnvloeden. Onder thema 'Klimaat, water, sedimenten en ondergrond' worden zeespiegelstijging, bodemdaling, temperatuurstijging, stormvloed, verandering in getijverschillen en golfslag als aandrijvende processen genoemd om meer inzicht in te moeten vergaren. De meest urgente vraag daarbij betreft het meegroeivermogen van de Waddenzee, en hoe we het Waddengebied kunnen beschermen als de zeespiegelstijging het

meegroeivermogen overtreft. Ook wordt er belang gehecht aan een goede ontsluiting van meetgegevens en monitoring, waarbij naar het Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP) wordt verwezen. Voor meer informatie zie ook het [Quality Status Report](#).

## 2.7 UNESCO Werelderfgoed status

In 2009 heeft de Waddenzee de status gekregen van UNESCO Natuurlijk Werelderfgoed, o.a. vanwege de selectiecriteria 'unieke geologische processen', 'ecologische en biologische processen' en 'biodiversiteit'. De Waddenzee voldoet aan de volgende UNESCO criteria (<https://whc.unesco.org/en/list/1314>):

Criterion (viii): De Waddenzee is een afzettingkust van ongeëvenaarde omvang en diversiteit. Het is onderscheidend omdat het bijna volledig een getijplaten en barrière-eilandensysteem is met slechts kleine rivierinvloeden, en een uitstekend voorbeeld van de grootschalige ontwikkeling van een ingewikkelde en complexe gematigd klimaat zandige barrière kust onder een stijgende zeespiegel. Zeer dynamische natuurlijke processen zijn ononderbroken over het overgrote deel van het gebied, en creëert een verscheidenheid aan verschillende barrière-eilanden, geulen, platen, kwelders en andere kust- en sedimentaire kenmerken.

Criterion (ix): De Waddenzee omvat enkele van de laatst overgebleven natuurlijke grootschalige intergetijdenecosystemen waar natuurlijke processen grotendeels ongestoord blijven functioneren. De geologische en geomorfologische kenmerken zijn nauw verweven met biofysische processen en bieden een onschatbare historie van de voortdurende dynamische aanpassing van kustmilieus aan wereldwijde veranderingen. Er zijn tal van overgangszones tussen land, zee en zoet water die de basis vormen voor de soortenrijkdom in het gebied. De productiviteit van de biomassa in de Waddenzee is een van de hoogste ter wereld, wat vooral blijkt uit de aantallen vissen, schelpdieren en vogels die in het gebied voorkomen. Het gebied is belangrijk voor trekvogels en haar ecosystemen ondersteunen wildpopulaties tot ver buiten haar grenzen.

Criterion (x): Kustwetlands zijn niet altijd de rijkste gebieden met betrekking tot faunadiversiteit; dit geldt echter niet voor de Waddenzee. De kwelders herbergen ongeveer 2.300 soorten flora en fauna, en de mariene en brakke gebieden nog eens 2.700 soorten, en 30 soorten broedvogels. De duidelijkste aanwijzing voor het belang van het gebied is de waarde die het biedt aan trekvogels als pleisterplaats, rui- en overwinteringsgebied. Er kunnen tot 6,1 miljoen vogels tegelijk aanwezig zijn en elk jaar passeren er gemiddeld 10 tot 12 miljoen. De beschikbaarheid van voedsel en een laag niveau van verstoring zijn essentiële factoren die bijdragen tot de sleutelrol van het gebied in de ondersteuning van de overleving van trekvogels. Het gebied is de essentiële tussenstop die de werking van de Oost-Atlantische en Afrikaans-Euraziatische trekroutes mogelijk maakt. De biodiversiteit op wereldschaal is afhankelijk van de Waddenzee.

De UNESCO status legt geen wet- en regelgeving op, maar verplicht wel de kwaliteit die bij toekenning van de UNESCO status aanwezig was in stand te houden.



## 3 Vragen van de beheerders

### 3.1 Beheertaken

De voornaamste beheertaken van Rijkswaterstaat zijn (Janssen & Lofvers, 2018):

- Onderhoud van de natuurwaarden
- Kustonderhoud
- Vaargeulonderhoud
- Uitvoeren van Europese richtlijnen (KRW, Natura2000, KRM, Zwemwaterrichtlijn en Vogel en –habitatrichtlijn)
- Water- en ontgrondingenvergunningverlening
- Voorbereiding ruimtelijke plannen
- Uitvoering Natuurambitie Grote Wateren (nu: Programmatische Aanpak Grote Wateren)

Het behoud of terugbrengen van de ongestoorde natuurlijke dynamiek wordt in veel beleidsdocumenten als hoofddoel voor het beheer en beleid in de Waddenzee genoemd. In Meijers (2022) is de volgende definitie van natuurlijke dynamiek gegeven:

*“De wijze waarop het systeem wordt vormgegeven en verandert door natuurlijke (ecologische, morfologische en hydrologische) processen, niet gestuurd door de mens. Hierdoor ontstaat een continu veranderende variëteit aan landschappen, verbonden door gradiënten, onder invloed van de vormende processen van opbouw en afbraak.”*

Volgens de Structuurvisie Waddenzee is het doel geformuleerd als:

*“Zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van waterbewegingen en de hiermee gepaard gaande geomorfologische en bodemkundige processen”*

In Mulder & Lofvers (2019) wordt dit uitgelegd als dat: *“de waterbeweging zo natuurlijk mogelijk moet zijn en niet gestuurd of gehinderd mag worden. De platen, geulen en sedimentsamenstelling die gevormd worden door deze waterbeweging moeten ook de natuurlijke dynamiek kunnen volgen.”*

De natuurlijke dynamiek wordt als belangrijkste karakteristiek van de Waddenzee gezien. Het draagt bij aan een robuust en veerkrachtig systeem met een hoge natuurwaarde en biodiversiteit, dat impact van menselijk medegebruik en de gevolgen klimaatverandering goed kan opvangen. De afsluitingen van grote delen van de Waddenzee, de bedijkingen, de stuifdijken en de landaanwinningswerken hebben grote invloed uitgeoefend op de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee:

- 2/3 van het areaal Waddenzee is verloren gegaan
- Zandhonger/sedimentatie is sterk aangewakkerd
- Opslibbing en aanzanding hebben geleid tot groei van wadplaten en kwelders en de terugtrekken van geulen
- Er treedt een verschuiving op tussen habitats en in veel gebieden is de dynamiek sterk verminderd door luwtewerking van dammen, (stuif)dijken en opslibbing. Dit leidt bijvoorbeeld tot veroudering van duin- en kweldergebieden.

RWS-NN probeert als beheerder van de Waddenzee zoveel mogelijk ruimte te geven aan de natuurlijke dynamiek door de drukfactoren te verminderen. Rijkswaterstaat als natuurgebeheerder heeft opgaven vanuit de KRW en Natura2000. Er zijn concrete doelen voor

zeegrasarealen, schelpdierbanken en vis, maar ook voor de unieke geologische processen zoals omschreven in de Structuurvisie Waddenzee en door UNESCO.

Het is van belang dat een regelmatige evaluatie plaats vindt van de menselijke activiteiten m.b.t. de effecten op de natuur en de economie, zoals bijvoorbeeld in het N2000-beheerplan wordt gevraagd voor het baggeren. Hiervoor is inzicht nodig in:

- de omvang/kosten van activiteiten
- de mate van verstoring
- en de natuurlijke/autonome ontwikkelingen als referentie.

Voor het uitvoeren van deze beheertaken speelt een goed systeembegrip en een goede kennisbasis een essentiële rol.

Voor de beheerders zijn de volgende gebruiksfuncties belangrijk voor de Waddenzee:

1. Natuur
2. Bereikbaarheid
3. Waterveiligheid
4. Overigen

## 3.2 Beheervragen

De beheervragen kunnen worden ingedeeld in vragen met betrekking tot de autonome ontwikkeling en vragen over hoe menselijke activiteiten hierop ingrijpen. Op basis van Janssen et al. (2016) en aanvullende inventarisatie in 2022 (zie o.a. bijlage E en F) zijn de volgende hoofdvragen van belang:

- 1) Hoe zal de Waddenzee zich morfologisch ontwikkelen op verschillende tijdschalen en wat zijn de gevolgen:
  - a) voor de bereikbaarheid en onderhoud van vaargeulen en havens (tijdschaal van jaren tot decennia)?
  - b) voor de ecologie: bijvoorbeeld sedimentsamenstelling, habitats/ecotopen, voedselweb, zeegrasvelden, mosselbanken, vissen en vogels?
  - c) voor de bedekking op kabels en leidingen; hoe hou je rekening met de morfodynamiek? (tijdschaal jaren tot decennia)
  - d) voor de waterveiligheid?
    - i) welke geulen zijn wanneer een bedreiging voor de waterkeringen? (tijdschaal van jaren tot decennia)
  - e) in hoeverre is de Waddenzee in staat mee te groeien met (relatieve) zeespiegelstijging (tijdschaal van decennia tot eeuwen)?
  - f) voor de eiland(staart)en (gevolgen van zeespiegelstijging, lange termijn)?
- 2) Wat zijn de gevolgen van ingrepen (baggeren, verspreiden en onttrekken/winning van sediment, kustsuppleties/kustonderhoud, bodemberoerende visserij, afsluitingen, spuumiddelen) op de morfologie, waterkwaliteit, ecologie en gebruiksfuncties op de verschillende tijd en ruimteschalen?
  - a) Wanneer is van een significant effect te spreken?
- 3) Op welke wijze kunnen maatregelen duurzamer worden uitgevoerd?
  - a) Hoe kan het baggerbezwaar en daarmee gepaard gaande vertroebeling worden gereduceerd?
  - b) Hoe kunnen we de eilanden duurzaam beschermen?
- 4) Zijn de areaalgegevens en de monitoring op orde?

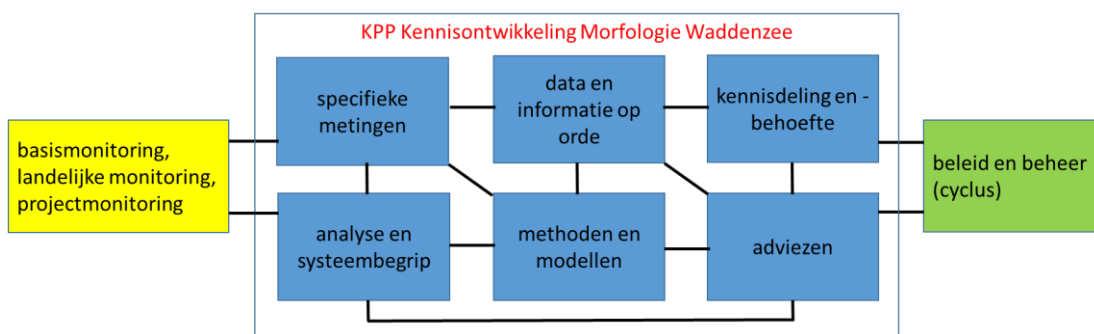
De vragen zijn dermate breed en veelomvattend, dat ze niet gemakkelijk te beantwoorden zijn. Wel geven de vragen op groter abstractieniveau goed aan wat de belangrijkste beheervragen

zijn, vooral met betrekking tot de systeemkennis. Specifiekere beheervragen richten zich op de morfologische ontwikkeling van een specifiek gebied of vaargeul. Voor een overzicht van alle gedetailleerde beheervragen uit 2016 wordt verwezen naar bijlage B in Janssen et al. (2016). De beheervragen, zoals bovenstaand, zijn momenteel nog steeds actueel en relevant.

# 4 Het kennisprogramma 2016-2022

## 4.1 Introductie

De activiteiten binnen het programma en de onderlinge koppelingen zijn weergegeven in onderstaande figuur. Ook is de koppeling met het beleid en beheer weergegeven en met monitoring buiten het programma. Zo draagt het programma bij aan de beleidsevaluatie en beleidsvoorbereiding (twee elementen van de beleidscyclus) en aan de beleidsuitvoering via de beheercyclus (uitvoering, monitoring, evaluatie en visievorming).



Figuur 4-1 Link van het kennisprogramma met beleid en beheer en monitoring.

Tot nu toe is vooral specifieke kennis over de morfologie van de Waddenzee ontwikkeld en vastgelegd, o.a. in kombergingsrapportages. De kennisborging via dit kennisprogramma door inzet van Deltares is daarbij essentieel t.b.v. toekomstige toepassing en verbreding naar andere gebieden. Zo heeft er op een aantal onderwerpen samenwerking plaatsgevonden met de programma's Kennis voor Beheer en Onderhoud Kust, KPP Eems-Dollard en Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Vanwege het belang van kennisborging worden ook morfologische vragen uit andere projecten van RWS-NN zoveel mogelijk ondergebracht bij dit kennisprogramma (bijvoorbeeld de projecten KRW-slib, de Evaluatie verdieping Westgat en Evaluatie drempelverwijdering Boontjes die het hiervoor benodigde budget verschaffen). Dit past in het doel dat kennis die in verschillende projecten ontwikkeld wordt ook geborgd dient te worden.

Daarnaast is de focus tot nu toe geweest op de Waddenzee exclusief het Eems-Dollard gebied. Vragen in het Eems-Dollard gebied over het vaargeulonderhoud en de bijvoorbeeld de natuur i.r.t. de zeespiegelstijging werden opgepakt in een separaat KPP programma voor het Eems-estuarium. Er loopt hier onderzoek vanuit het KRW-project en ED2050, dat zich vooral richt op troebelheid, maar dat kan mogelijk onvoldoende voorzien in de bredere kennisbehoefte. De kennisontwikkeling in dit KRW-project dient ook geborgd en benut te worden voor de Waddenzee als geheel.

## 4.2 Betrokkenen

Het kennisprogramma richt zich in eerste instantie op de kennisbehoefte van Rijkswaterstaat voor het beheer van de Waddenzee. Deze kennis moet daarnaast ook dienend zijn aan andere beheerders en gebruikers van de Waddenzee. Voor een accurate en optimale kennisuitwisseling is ook samenwerking noodzakelijk met alle kennisinstellingen en universiteiten die zich met kennisontwikkeling van de Waddenzee bezig houden. Het kennisprogramma is daarmee relevant voor:

- RWS-WVL als mede trekker/opdrachtgever (formeel vanuit KPP<sup>1</sup>), brengt specialistische kennis in en zorgt voor het opdrachtgeverschap naar Deltares. WVL zorgt mede voor inhoudelijke afstemming binnen RWS.
- RWS-NN, afdeling NOV, als mede trekker/opdrachtgever<sup>2</sup> van het programma en onderhoudt contacten met de betrokkenen, zowel intern (andere afdelingen) als extern (andere beheerders, beleid).
- RWS-PPO/NN-district als medefinancier van onderzoek gerelateerd aan vaarwegonderhoud.
- RWS-CIV voor ondersteuning m.b.t. monitoring en dataverwerking.
- Deltares als het kennisinstituut waar kennis en methoden ontwikkeld en geborgd worden, in samenwerking met RWS (WVL-NN-CIV). Deltares zorgt voor inhoudelijke afstemming in de wetenschappelijke wereld en met de markt.
- Marktpartijen met relevante kennis/expertise. Deltares ontwikkelt kennis samen met marktpartijen door deze te contracteren onder het kennisprogramma. Marktpartijen vragen Deltares voor het inbrengen van inhoudelijke kennis in marktprojecten (buiten dit kennisprogramma, vaak een review-rol).
- Overige partijen, in binnen- en buitenland, die morfologische kennis ontwikkelen: universiteiten (bijv. TUD, UU, UT, RUG), kennisinstituten (bijv. NIOZ, WMR) en de Waddenacademie.

### 4.3 Financiering

Het bleek in de praktijk lastig om voldoende budget te vinden om alle beheervragen uit hoofdstuk 3 gestructureerd op te pakken. Daarnaast bleken de vragen dusdanig veelomvattend dat slechts onderdelen van de vragen konden worden beantwoord. Ook zijn veel onderwerpen los van elkaar opgepakt via gescheiden lopende projecten, programma's en beheervraagstukken. Gebrek aan tijd- en geld en helder opdrachtgeverschap maakte het moeilijk om tot overstijgende conclusies te komen. De samenhang en interactie met overstijgende programma's als Kennisprogramma Zeespiegelstijging en het Deltaprogramma kwamen minder goed van de grond. Het Kennisprogramma is echter sinds 2016 door Rijkswaterstaat wel consequent ingezet als dé ingang en centrale spil om tot antwoord op de diverse morfologische vraagstukken te komen. Vooral beheervraagstukken wisten zo goed hun weg te vinden en er zijn goede stappen gezet. Daarmee is de kennis meer centraal georganiseerd dan voorheen, wat ten goede kwam aan beoogde doel van eenduidigheid en samenhang.

Beoogd was dat het Kennisprogramma Morfologie Waddenzee te vergelijken zou zijn met Kennis voor Beheer en Onderhoud Kust, dat structureel gefinancierd wordt via het OBR (Object Beheer Regime) Kustfundament om de toestand en trends van de kust te volgen en beheer en beleid te kunnen evalueren. Anders dan voor Kennis voor B&O Kust was/is de financiering voor het morfologische onderzoek van de Waddenzee echter niet via deze weg vastgelegd. De 'basisfinanciering' kwam in eerste instantie uit budget van Landelijke Taken (Bodem en Ondergrond) van RWS-WVL. Deze financiering staat herhaaldelijk onder druk, maar is ondanks bezuinigingen voor een deel veilig gesteld. Sinds 2022 heeft het programma een stuk basisfinanciering gekregen vanuit vaargeulonderhoud. Daarnaast kent dit kennisprogramma aanvullende projectgebonden financiering. Integratie van projecten binnen één kennisprogramma helpt de projectgebonden kennis te borgen. Afgelopen jaren kwam de vraag/financiering vanuit de volgende projecten en programma's:

---

<sup>2</sup> Tot en met 2022 was Rijkswaterstaat opdrachtgever. Met het ingaan van het nieuwe contract tussen het Ministerie van I&W en Deltares is er sprake van een programmasubsidie, waarbij Rijkswaterstaat formeel geen opdrachtgever meer is.

- Landelijke Taken
  - Ontwikkelen en borgen van kennis (bijv. kombergingsrapportages).
- Bereikbaarheid/vaargeulonderhoud Waddenzee. Adviezen hebben betrekking op:
  - Optimaliseren van huidig onderhoud (minder kosten, minder effecten op de natuur)
  - Invulling geven aan het volgen van de natuurlijke morfologische ontwikkelingen.
  - Programmeren van toekomstig onderhoud (omvang, kosten)
- Basismonitoring Wadden vanuit programma Natuur. Adviezen hebben betrekking op:
  - Inrichten van monitoring
  - Analyse van morfologische ontwikkelingen en evaluatie van doelen vanuit beheer en beleid
  - Ontsluiten van informatie via digitale systeemrapportage
- Kaderrichtlijn Water
  - Inzicht in gedrag van slib in water en bodem en de rol van de mens daarop (t/m 2022).
  - Inzicht in het gedrag van zout (vanaf 2023)

Het vervolg van dit hoofdstuk bespreekt uitgevoerd onderzoek per financieringsbron. De deelprojecten hebben bijgedragen aan het beantwoorden van meerdere beheerdersvragen (§3.2) tegelijkertijd. Dat komt voornamelijk omdat de vraagstellingen heel breed en algemeen ingestoken waren. De deelprojecten waren soms gestuurd door een specifieke behevraag/knelpunt, waar ook het budget vandaan kwam.

## 4.4 Landelijke Taken

Zie referenties en link naar de rapporten in bijlage D.1.

### 4.4.1 Kombergingsrapportages (2017-2022)

Het doel van de kombergingsrapportages is het bedienen van beleid en beheer met kennis van morfologische ontwikkelingen. Ze vatten de bestaande kennis per kombergingsgebied samen en dienen als naslagwerk voor beheerders en onderzoekers. Voor alle kombergingsgebieden is er de afgelopen jaren een rapportage ontwikkeld.

De kombergingsrapportages geven per kombergingsgebied een beschrijving van de morfologische ontwikkeling op verschillende tijd- en ruimteschalen. Dit gebeurt per type morfologische element: de geulen, de platen en de kwelders (zowel langs de vastelandskust als op de eilanden). De morfologische ontwikkeling wordt beschreven aan de hand van volumes en arealen van de morfologische elementen en natte doorsnedes op slim gekozen locaties. Deze ontwikkeling wordt gekoppeld aan de hydrodynamische ontwikkelingen. De morfologische ontwikkeling wordt geduid gegeven de gebruiksfuncties en vragen vanuit beleid en beheer.

### 4.4.2 Verkenning ontwikkeling westelijke Waddenzee (2022)

Er is ook gekeken naar de mogelijke toekomstige morfologische ontwikkeling van de westelijke Waddenzee, vanwege specifieke vragen vanuit beleid en beheer. Met een Delft3D model is gekeken naar de ontwikkeling van getijvolumes en stroomsnelheden, gekoppeld aan de morfologische ontwikkeling. Dit is gedaan door verschillende historische bodemliggingen te gebruiken. De inzichten daaruit zijn gebruikt om toekomstige trends te identificeren, over een tijdschaal van enkele decennia. Dit onderzoek liet zien dat aan de landwaartse kant van de westelijke Waddenzee er flinke verzanding optreedt waardoor ook de geulen kleiner worden op termijn, terwijl er aan de kant van de Waddeneilanden minder sedimentatie tot erosie optreedt. Dit lijkt te zorgen voor een versteiling van het Wadden landschap. De verwachting is dat dit gedrag zich in de komende decennia voortzet, totdat zeespiegelstijging versnelt en gaat leiden tot een verdrinking van het Waddengebied.



#### 4.4.3 Sedimentbalansen (2017-2021)

Colina Alonso (2021) heeft een sedimentbalans gemaakt onder deelproject KRW slib. Zij heeft de bodemsamenstellingskaart gebruikt om een onderscheid te maken tussen zand en slib en bepaalt de recente trend voor de westelijke Waddenzee op een export van zand (van ca. 1 miljoen m<sup>3</sup>/j excl. kwelders) en een import van slib (van ca. 1,2 miljoen m<sup>3</sup>/j excl. kwelders). Er is geen correctie gedaan voor bodemdaling. Colina Alonso rekent niet met gesommeerde trends per deelgebied, maar met het absolute verschil tussen opeenvolgende jaren.

In Elias (2019) is een sedimentbalans voor de Waddenzee opgesteld, met een sluitende balans voor de Noordzeekustzone, de import naar de bekkens en de transporten over de wantijen. Hierbij zijn de bekkens opgedeeld in verschillende polygonen met een vergelijkbare morfologische trend, om zo natuurlijke variatie in de sedimentatie en het effect van meetfouten te verkleinen. Ook wordt er aan de bekkenzijde een correctie gedaan voor bodemdaling, die in de westelijke Waddenzee zo'n 0,9 miljoen m<sup>3</sup>/j en voor de oostelijke Waddenzee zo'n 0,5 miljoen m<sup>3</sup>/j bedraagt. Verder zijn voor de oostelijke Waddenzee ook de transporten naar de kwelders meegenomen. Er is een aanname gedaan van 0 of 20% slib uniform over het gehele bekken (twee scenario's). Verder zijn er verschillende trends bepaald: voor de lange termijn (sinds afsluiting Zuiderzee), middellange termijn (jaren '70; afsluiting Lauwerszee) en de huidige trend sinds 1991.

Smits en Nederhoff (2018) stelden volumebalansen per deelgebied op om meer inzicht in de recente morfologische ontwikkeling van de deelgebieden te krijgen (sinds 1985 en 1991). Er zijn ook lineaire trends gefit, maar die zijn niet statistisch significant.

Nederhoff et al. (2017) maakte een volumebalans per kombergingsgebied en koppelde die aan veranderingen in de hypsometrische curves en de getijasymmetrie. Hierbij zijn lineaire trends per bekken sinds 1927 afgeleid, met als resultaat netto sedimentatie in alle bekkens. De waargenomen veranderingen in de tijd in sedimentatie zijn niet gemakkelijk aan getijasymmetrie van het verticale getij te koppelen.

De sedimentbalansen worden steeds verder verfijnd en verbeterd. Bij het opstellen van een sedimentbalans is de ruimtelijke afbakening van het interessegebied en/of de opdeling in deelgebieden heel belangrijk voor de resultaten. Welke ruimtelijke afbakening het beste is, hangt ook af van de vraag.

In de westelijke Waddenzee is de afnemende import (en mogelijk zelfs export) van zand een belangrijke bevinding, evenals de continue, min of meer lineaire import van slib.

#### 4.4.4 Witboek: Het sedimentdelende systeem van de Nederlandse Waddenzee (2018)

Dit beknopte rapport structureert de wetenschappelijke kennis en hypothesen over de morfologische werking van de Nederlandse Waddenzee voor een breed publiek. De onderwerpen die worden besproken zijn:

1. de effecten van de afsluiting van de Zuiderzee op de getijvoortplanting en sedimenttransporten;
2. de verschillen tussen de westelijke en de oostelijke Waddenzee;
3. mechanismen voor de import en export van sediment; en
4. de effecten van versnelde relatieve zeespiegelstijging.

#### 4.4.5 Overview of the hydromorphology of ebb-tidal deltas of the trilateral Wadden Sea (2017)

In dit rapport wordt informatie over de hydromorfologische ontwikkeling van de buitendelta's van het trilaterale Waddenzeegebied samengebracht en is bedoeld als een naslagwerk.

Voor de Nederlandse en Nedersaksische zeegaten heeft de omvang van de getijdenbekkens een belangrijke invloed op de oriëntatie van de buitendelta's. Grotere getijdenbekkens zijn meer oostwaarts georiënteerd, met het grootste deel van het bekken aan de oostkant. De belangrijkste buitendeltageulen zijn gericht op de richting waar de getijdengolf vandaan komt (west). Kleinere zeegaten worden relatief meer beïnvloed door littorale drift. Zij hebben over het algemeen downdrift (oost) georiënteerde buitendeltageulen.

De relatief snelle hydromorfologische reacties van de buitendelta op veranderingen in interne en externe factoren wijzen erop dat zij gevoelig kunnen zijn voor de gevolgen van klimaatverandering. De stijging van de zeespiegel leidt tot een grotere sedimentvraag van het bekken en kan leiden tot erosie van de buitendelta. Het is waarschijnlijk dat dit kan leiden tot minder beschutting, andere geulconfiguraties en veranderingen in de zandverdeling naar de kust en het bekkengebied. Een toename van de stormvloed kan tot sterke erosie leiden. Geconcludeerd wordt dat vooral de (deel)zeegaten met kleinere buitendelta's relatief snel (binnen een tiental jaren) en relatief sterk kunnen reageren op versnelde zeespiegelstijging en veranderingen in stormvloed.

## 4.5 Vaargeulgeulonderhoud

Zie referenties en link naar de rapporten in bijlage D.2.

Er is gewerkt aan een prognosetool voor baggervolumes en er zijn twee knelpunten in meer detail onderzocht, namelijk de vaargeul Holwerd-Ameland en vaargeul Boontjes. Ook is er in het Westgat een pilot uitgevoerd t.b.v. de bereikbaarheid. De prognosetool is een simpele methode om het baggerbezwaar in de Waddenzee onder gelijkblijvende omstandigheden te kunnen voorspellen. In de studies Holwerd-Ameland en Boontjes is naast data-analyses ook een proces-gebaseerd model (Delft3D-FM) toegepast voor het begrijpen van het effect van morfologische veranderingen in het systeem op de hydrodynamica en de slibdynamiek. Daarbij moet gezegd worden dat het numerieke model de hydrodynamica vrij goed weet te reproduceren, maar dat het reproduceren van de slibdynamiek en de baggervolumes een punt van aandacht blijft. Het model moet daarom ingezet worden als hulpmiddel om het systeem te leren begrijpen, en altijd in combinatie met expert judgement of empirische relaties worden toegepast. Voor systeembegrip is het model zeer nuttig gebleken.

### 4.5.1 Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee (2022)

In dit memo is een overzicht gegeven van verschillende baggertechnieken en bijbehorende registratie van baggervolumes. Er wordt een voorstel gedaan hoe in-situ baggervolumes en beunvolumes op een eenduidige manier kunnen worden geregistreerd, ondanks verschillende baggertechnieken en uitvoerders. Het is belangrijk om dit eenduidig te kunnen rapporteren, enerzijds vanuit de wettelijke verplichting uit het Natura2000 beheerplan, anderzijds om trends in baggervolumes goed te kunnen volgen en verklaren.

In de Waddenzee is tussen 2016 en 2021 ca. de helft van de baggervolumes verplaatst met een sleeppopperzuiger en ca. 1/3 middels agitatiebaggeren. Er wordt aanbevolen om in meer detail onderzoek te doen naar de eco-morfoogische effecten (vertroebeling, sedimentatievoetprint, retourstroming) van de verschillende baggertechnieken.

### 4.5.2 Prognosetool (2017-2019)

De prognosetool is een excelsheet die op basis van lineaire extrapolatie een voorspelling geeft van het toekomstig baggerbezwaar. De basis hiervoor zijn de historische baggercijfers, die zijn uitgesplitst per baggervak. Voor grote baggervolumes is de tool vrij nauwkeurig, maar voor kleinere gebieden, waar het baggerbezwaar meer variabel is in de tijd, gaat de voorspelling minder goed. Deltares heeft ook gewerkt aan een meer geavanceerde methode, een regressiemodel dat de hydro-meteo condities koppelt aan het baggerbezwaar. Deze laatste

methode is uiteindelijk niet verder ontwikkeld omdat de lineaire trend al het grootste deel van de variatie in baggervolumes verklaarde en omdat de gevonden omgevingsfactoren in het regressiemodel moeilijk fysisch te verklaren zijn.

#### **4.5.3 Dynamisch vaargeulbeheer (2022)**

In 2022 is er een studie gedaan om een overzicht te creëren van potentiële locaties langs de vaarwegen waar er morfologische knelpunten zijn en mogelijk ruimte om tot optimalisaties te komen. De wens was hiervoor een generieke methode te ontwikkelen om in specifieke situaties (meandering, drempelvorming) tot een eenduidige aanpak tot ingrepen te komen. Een belangrijke bevinding was dat het niet mogelijk is om tot één algemene aanpak te komen voor de verschillende knelpunten, maar dat voor elk knelpunt eerst een systeemanalyse gedaan moet worden om tot de beste optimalisatie te komen.

#### **4.5.4 Vaargeul Boontjes (2021-2022)**

In de vaargeul Boontjes is het baggerbezwaar fors hoger dan werd aangenomen in de prognose voorafgaand aan de drempelverwijdering in 2012. We hebben onderzocht wat de aandrijvende processen zijn voor het baggerbezwaar in de Boontjes en wat de invloed is van verschillende vaargeuldimensies op het baggerbezwaar. Het systeem wordt op grote schaal gestuurd door grootschalige sedimentatie aan de landwaartse zijde van de bekkens, dat ertoe leidt dat plaatgebieden zich ontwikkelen van subtidaal naar intertidaal. Ook zijn de baggercijfers in detail geanalyseerd, waaruit o.a. bleek dat de dichtheid van het baggerbezwaar veel lager was dan van tevoren aangenomen. Dit betekent dat er veel slib wordt gebaggerd. Na data-analyse is het numerieke model van de Waddenzee ingezet om 1) de hydrodynamische effecten van recente morfologische veranderingen en 2) het effect van verschillende vaargeuldimensies op de stroming in en rondom de Boontjes te analyseren. Hieruit blijkt dat de respons subtieler is dan een afname van debieten door de geul als gevolg van een afname van de komberging. Omdat steeds meer plaatgebied in het intertidaal komt te liggen als gevolg van de grootschalige sedimentatie, neemt de komberging in de toekomst waarschijnlijk wel steeds sneller af. Dit effect bleek nog niet zichtbaar in de berekeningen. Ook zien we dat bij verdieping van de vaargeul, de geul stroomt trekt. Omdat er na de drempelverwijdering toch een baggerbezwaar is ontstaan (voor de drempelverwijdering werd niet gebaggerd), blijkt de stroming niet het dominante aandrijvende mechanisme voor het baggerbezwaar. Dit wordt waarschijnlijk gevormd door een combinatie van: 1) een toename van slibtransport richting de vaargeul als gevolg van toegenomen effect van golfwerking op de groeiende en omhoog komende omliggende plaatgebieden; en mogelijk 2) een versterkte gravitatiecirculatie als gevolg van zoet-zoutgedreven dichtheidsstromingen. De retourstroom vanaf de verspreidingslocaties nabij Harlingen lijkt klein, maar wordt modelmatig mogelijk onderschat als gevolg van het ontbreken van sediment-gedreven dichtheidskoppeling en een beperkte verticale resolutie. Ook het opwoelende effect van scheepsbewegingen en het gebruik van de airset bij Harlingen zijn niet in het model geschematiseerd. De resultaten van de morfologische studie zijn als input gebruikt voor de MKBA door Witteveen+Bos en de ecologische studie door Arcadis en dienden als basis voor de besluitvorming over het toekomstige beheer van de Boontjes.

#### **4.5.5 Vaargeul Holwerd-Ameland (2020-2021)**

In 2020 en 2021 is de vaargeul Holwerd-Ameland onderzocht. Het onderzoek richtte zich op twee aspecten: de evaluatie van de bochtafsnijding uit 2019 en de invloed van de bagger- en verspreidingsstrategie op het baggerbezwaar. Om dit te kunnen onderzoeken, is het Waddenzeemodel, wat binnen KRW slib is ontwikkeld, ingezet. Voor toepassing bij Holwerd-Ameland is het rooster lokaal verfijnd en is het model verder gevalideerd met debietmetingen van voor en na de bochtafsnijding en sedimentconcentratietingen. Ook is het model lokaal geherkalibreerd om de baggervolumes in de vaargeul te reproduceren. Door middel van de evaluatie is een beter begrip verkregen van de hydrodynamische respons op de

bochtafsnijding en het effect op de slibdynamiek. Hierbij waren twee effecten belangrijk: een toename van de ebsnelheden in de vaargeul en de creatie van een (tijdelijke) bezinkplaats voor slib in de oude (afgesneden) ebgeul. Ook zijn aanbevelingen gedaan voor het verder verbeteren van het modelinstrumentarium.

Na verdere herkalibratie bleek dat de sedimentconcentratie in het water nabij de pier van Holwerd in het model nog steeds wordt onderschat. Een belangrijke oorzaak die hiervoor wordt aangewezen zijn de scheepsbewegingen, die niet in het model zijn meegenomen, maar wel de waterbeweging beïnvloeden en het sediment opwoelen, zo blijkt uit veldmetingen. Ook bevat het model geen sediment-gedreven dichtheidskoppeling, waardoor er meer menging en daarmee ruimtelijke verspreiding van het slib plaatsvindt. Met betrekking tot numerieke modelsimulaties betreffende de retourstroom is de gekozen simulatieperiode een punt van aandacht. Door de zwaarte van het numerieke model (veel roostercellen, dus lange rekentijden) is de simulatieperiode relatief kort. De retourstroom kan groter worden, indien het slib in de simulatie meer tijd heeft om terug te keren naar de baggerlocatie. Hiervoor moet een langere periode worden doorgerekend.

Desalniettemin is het effect van het gebruik van verschillende verspreidingslocaties op het baggerbezwaar ingeschat met het numerieke model. Uit dit onderzoek bleek dat de retourstroom zo'n 10-30% bedraagt, indien in de juiste fase van het getij wordt verspreid (tijdens eb).

#### **4.5.6 Getijdemeanders in kombergingsgebied Borndiep (2018)**

Voor het bekken van Ameland is onderzoek gedaan naar het uitbochten van de vaargeul en het kortsluiten via vloedscharen omdat dit invloed heeft op het baggerbezwaar en de bereikbaarheid. De processen achter dit morfologische gedrag zijn nog niet goed begrepen. Voor de vaarweg is gevonden dat de beheerde geulen verder uitbochten dan natuurlijke geulen, doordat het beginpunt van de geul niet kan verplaatsen en/of er geen kortsluiting ontstaat. Door deze sterker uitgebochte geulen worden de geulen sterker ebdominant. Daardoor verzwakt het mechanisme dat vloedscharen vormt. Secundaire stroming lijkt geen bepalende factor voor de verschillen in geulontwikkeling. Als hypothese wordt opgeworpen dat de aan- en afstroming vanaf de wadplaten hiervoor een belangrijke factor is.

#### **4.5.7 Pilot Westgat (2018-2020)**

In het Westgat, een geul op de buitendelta van het Friesche Zeegat, is in 2018 een drempel verlaagd om de toegankelijkheid voor de scheepvaart te verbeteren. Vervolgens is in kaart gebracht wat de stromingspatronen in het Friesche Zeegat zijn en hoe deze het afgelopen decennium zijn veranderd. Vervolgens is door middel van metingen en modelberekeningen onderzocht wat het effect van de verdieping op de stromingspatronen en sedimenttransporten is. Hieruit blijkt dat de verdieping een verwaarloosbaar effect heeft. Ook is de verwachting dat de verdieping stabiel is, omdat de locatie gunstig gekozen is ten opzichte van de morfologische en hydrodynamische dynamiek. Een belangrijke les uit de verdieping is dat het mogelijk is om een geul eenmalig op diepte te brengen waarbij de nieuwe diepte langere tijd in stand kan blijven, zonder onderhoudsbaggerwerk.

### **4.6 Basismonitoring**

Zie referenties en link naar de rapporten in bijlage D.3.

#### **4.6.1 Digitale Systeemrapportage**

In deelproject natuurmonitoring is er tussen 2019 en 2021 gewerkt aan een digitale systeemrapportage (DSR). Dit is een website die de belangrijke morfologische indicatoren voor de ontwikkeling van de Waddenzee ontsluit. In het deelproject is veel discussie gevoerd over

het doel van de indicatoren, het publiek van de DSR, hoe beheerdoelstellingen te koppelen zijn aan indicatoren, etc.

Het huidige resultaat is veel indicatoren die geclusterd zijn per thema (hydrodynamica, meteorologie, morfologie, etc.). Ook is er een generiek verhaal over de werking van het Waddensysteem toegevoegd. Daarnaast is er inzicht in welke data ontbreekt. Voor een deel betreft het data die niet goed wordt ontsloten (bijv. menselijke ingrepen en projectdata) en voor een deel betreft het data die niet wordt ingewonnen. Ook in 2023 zal de DSR nog verder ontwikkeld worden.

#### **4.6.2 Inventarisatie meet- en monitoringsbehoefte (2022)**

Dit deelproject leidde tot een memo dat de meet- en monitoringbehoefte vanuit de doelen van de basismonitoring beschrijft. Om de monitoringbehoefte te inventariseren zijn verschillende experts bevroegd. In het memo is ook een overzicht gegeven van relevante projectmonitoring die nu slecht ontsloten is. Tot slot is er een lijst met gewenste aanvullende monitoring opgenomen.

#### **4.6.3 Abiotische basisinformatie voor de Ecotopenkaart (2021-2022)**

In 2021 en 2022 is er abiotische data uit het Waddenzeemodel (DWSM, ontwikkeld in KRW slib) aangeleverd voor het opstellen van een ecotopen- en habitatkaart. Bij het opzetten van de modellen moet er aandacht zijn voor het aansluiten van de juiste jaren van de verschillende lagen van de ecotopenkaart. Bijvoorbeeld de bodemligging in het hydrodynamische model dat de stroomsnelheden berekend is gelijk aan de bodemligging die voor de droogvalduren wordt gebruikt.

De volgende abiotische informatie is aangeleverd:

- Droogvalduren;
- De maximaal optredende stroomsnelheid;
- Het jaargemiddelde zoutgehalte bij hoog water;
- De zoutvariatie bij hoogwater;
- De orbitaalsnelheid van golven in een representatieve periode.

Bij uitwerking van de ecotopenkaart is gebleken dat de droogvalduren door het numerieke model niet nauwkeurig genoeg worden bepaald. De laagwaterstanden worden op veel locaties overschat door het model. Middels driehoeksinterpolatie van gemeten waterstanden op de verschillende stations kunnen veel sneller resultaten worden bereikt, die bovendien nauwkeuriger laagwaterstanden reproduceren. Wel moet worden opgemerkt dat er bij de waterstanden verder van de getijstations een onzekerheid is hoe goed de berekende dan wel ruimtelijk geïnterpoleerde waterstanden worden benaderd.

## **4.7 KaderRichtlijn Water**

Zie referenties en link naar de rapporten in bijlage D.4.

#### **4.7.1 Slibdynamiek op de schaal van de Waddenzee (2018-2020)**

Binnen dit deelproject is de dynamiek van zwevend stof (SSC) en bodemslibgehalten onderzocht, om vast te stellen of vertroebeling in de Waddenzee een probleem is voor de waterkwaliteit/ecologie en of er trends in vertroebeling zijn. Hiervoor is 30 jaar aan MWTL metingen (SSC aan de oppervlakte) geanalyseerd, waaruit blijkt dat er grote fluctuaties (factor 2) zijn op alle stations van zowel Waddenzee als Noordzee ongeacht het langjarig gemiddelde SSC op deze stations. De fluctuaties treden op de stations gelijktijdig op, dus het Waddensysteem reageert als één geheel. Er zijn geen duidelijke toe- of afnemende trends in SSC. De langjarige fluctuaties laten zich slecht relateren aan ingrepen, fluctuaties op de Noordzee, of golf- of windforcering. Binnen een jaar is er in de Waddenzee een duidelijk

seizoenssignaal waarneembaar (eveneens een factor 2), die voor een groot deel door wind en golven wordt veroorzaakt. Ook biostabilisatie en flocculatie van sedimentdeeltjes in de waterkolom als gevolg van biologische activiteit kan hierbij een rol spelen.

Er is nog geen sluitende verklaring gevonden voor de langjarige fluctuaties in SSC, maar de hypothese is dat er tijdelijke buffers in het grootschalige kuststelsel aanwezig zijn, die als gevolg van meteorologische forcering kunnen opladen of leeglopen en daarmee de SSC beïnvloeden. Er is in elk geval vastgesteld dat verschillen in microfytobenthos in verschillende jaren niet één op één te relateren zijn aan meerjarige fluctuaties in SSC.

Uit analyse van de bodemslibgehalten blijkt dat er twee 'stabiele' bodemsamenstellingen in de Waddenzee zijn: ofwel zandig ofwel slibbig. Zand/slibmengsel die niet zandig noch slibrijk zijn, zijn niet 'stabiel' en hebben de neiging te ontwikkelen naar een of zandige samenstelling of een meer slibrijke samenstelling. Dit effect wordt versterkt doordat op slibrijke bodems, makkelijker slib kan worden afgezet omdat deze bodems gladder zijn, waardoor de bodemschuifspanning afneemt.

Binnen dit deelproject is er ook een zand- en slibbalans gemaakt (zie Colina Alonso (2021) in de §4.4.3). Ook is de zand- en slibsedimentatie in kwelders, die buiten de kuberingsgebieden vallen en dus niet zijn meegenomen in de sedimentbalansen op basis van vaklodingen, in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat de bijdrage van kwelders aan de slibsedimentatie in de oostelijke Waddenzee oploopt tot 50%. In de westelijke Waddenzee zijn nauwelijks kwelders aanwezig en is dit aandeel veel kleiner.

Er is ook een 'moedermodel' van de Waddenzee ontwikkeld in Delft3D-Flexible Mesh. Dit model is gebruikt voor de kennisontwikkeling binnen KRW slib, maar kan ook gebruikt worden voor beheervragen voor specifieke locaties. Daarbij kan gemakkelijk een lokale roosterverfijning worden toegepast. Voor het berekenen van slibtransporten is het belangrijk een voldoende groot rekenrooster mee te nemen, omdat de transporten over de wantijen aanzienlijk zijn (vergelijkbaar of groter dan door de zeegaten). Het moedermodel in Flexible Mesh in combinatie met een lokale roosterverfijning leent zich hier goed voor. De hydrodynamica wordt door het model goed gereproduceerd, evenals de SSC bij de wateroppervlakte en de netto sedimentimporten. Voor verbetering van het model kan worden ingezet op betere reproductie van golven en SSC bij de bodem.

#### **4.7.2 Slib onttrekken (2022)**

Het is nog onduidelijk welke effecten het onttrekken van slib (voor bijv. dijkversterkingen, het ophogen van landbouwgronden, het verlagen van de troebelheid) heeft op het morfologisch en ecologisch functioneren van de Waddenzee.

De kernvraag is of een slibonttrekking zal leiden tot een extra import van slib via het zeegat of tot een vermindering van sedimentatie elders (b.v. op kwelders) bij gelijkblijvende import door het zeegat. Voor de evaluatie van slibonttrekkingen wordt gekeken naar het effect op de slibbalans (import/export), op de sedimentconcentraties in de waterkolom en op het slibgehalte in de bodem. Deze eerste verkennende resultaten laten effecten zien op verschillende ruimtelijke en temporele schalen, die naast de mate van uitwisseling tussen bekken en slibvang en menging, ook afhangen van de omvang en tijdsduur van de slibonttrekking.

Op korte termijn zien we een verlaging van de bodemslibgehalten en sedimentconcentraties, die zich bij grote onttrekkingen over meerdere bekkens uitstrekken. Slib wordt dus herverdeeld tussen het bekken(s) en de slibvang. We zien echter ook een effect op de netto transporten door de zeegaten en over de wantijen. Door een toename in getijvolume en stroomsnelheden in het bekken, wordt initieel ook veel slib in suspensie gebracht dat ofwel wordt geëxporteerd, of elders wordt afgezet. Niet al het slib dat wordt geïmporteerd, kan in de slibvang worden



afgevangen (transportbeperking). Een deel van het water (en daarmee het slib), wisselt niet uit met de slibvang en zet slib elders in het bekken af. De effecten op de langere termijn zijn onzeker, de vraag is hoe een nieuw evenwicht met continue slib onttrekking eruitziet en hoe dit doorwerkt op de netto import via de zeegaten en aangrenzende bekkens. Meer onderzoek naar de fundamentele werking van de slibbalans op langere termijn is nog noodzakelijk.

Als slibonttrekking leidt tot verlagen van de slibconcentraties in water en bodem, dan zijn allerlei ecologische effecten te verwachten. De effecten op primaire productie en filter feeders zijn waarschijnlijk beperkt en zullen eerder positief uitvallen. Een beperking van het slibaanbod zou ten koste kunnen gaan van het meegroeivermogen van de kwelders (op korte termijn speelt dit bij de eilandkwelders en op langere termijn ook voor de vastelandskwelders), met als gevolg een afname van dit habitatype. Tot slot is het benthos gevoelig voor verminderingen in het slibgehalte, met name in het geval van zandige bodems met een significante slibfractie (bodems met een mediane korrelgrootte van ongeveer 150 micrometer). Dit is een belangrijk habitatype in de Waddenzee, waarin de wadpier, het nonnetje en andere belangrijke soorten dominant zijn. Een substantiële slibonttrekking kan dus belangrijke negatieve ecologische effecten hebben op de kwelders en op de habitatgeschiktheid voor benthos. Dit zijn echter nog hypothesen die verder onderzocht dienen te worden.

Het kan jaren tot decennia duren voordat grootschalige effecten zichtbaar worden, waardoor het belangrijk is om nauwkeurig en langdurig te monitoren.

## 4.8 Relevante kennisontwikkeling buiten het kennisprogramma

Deze paragraaf benoemt verschillende relevante projecten en activiteiten buiten het kennisprogramma. Dit is het bij ons aanwezige overzicht, maar waarschijnlijk niet compleet. Bijlage B geeft een lijst van alle geïdentificeerde projecten met een korte samenvatting.

Fundamentele leemtes in het systeembegrip van de waterbeweging en morfologie van de Waddenzee wordt opgepakt binnen academische onderzoeken zoals WadSed.

Aan de Noordzeekustzone van de Waddeneilanden wordt de BasisKustLijn onderhouden met suppleties. Er wordt gewerkt aan optimalisatie van de suppleties en minimalisatie van de negatieve (ecologische) impact. Dit wordt o.a. opgepakt binnen Kennis voor Beheer en Onderhoud kust. Daarbij is de grote sedimentvraag van de Waddenzee van belang, die wordt gevormd door autonome ontwikkelingen en de respons op verschillende afsluitingen (Zuiderzee en Lauwerszee) en delfstofwinningen (vooral gas- en zoutwinning). Onderzoek naar de sedimentvraag van de Waddenzee wordt o.a. uitgevoerd binnen Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor 2 – Zandige kust. Het is van belang de sedimentvraag (ofwel erosie-/sedimentatiesnelheden) ook voor de deelgebieden van de Waddenzee goed in beeld te brengen en te houden omdat dit gevolgen heeft voor de ontwikkeling van getijdeplaten en daarmee ook de geulen. Qua delfstofwinning (gas, zout), die de grootste component van de bodemdaling vormt, is er een duidelijke link met de monitoring en projecten die voor de NAM worden uitgevoerd in de Waddenzee.

Bij het NIOZ wordt gewerkt aan het begrip van windforcering en zoetwaterafvoeren op de hydrodynamiek van de Waddenzee.

Voor het vergroten van de biodiversiteit wordt onder andere gekeken naar het herstel van de onderwaternatuur. In het Waddenmozaïekproject worden herstel mogelijkheden voor schelpdierbanken en zeegras onderzocht.

Momenteel wordt door RWS en de huidige aannemer met een klein onderzoek naar het effect van verschillende baggermethoden gekeken. Tevens is een onderzoeksproject opgestart naar

het effect van het gebruik van airset op slibeigenschappen, met een focus op de haven van Delfzijl (TUD, Claire Chassagne). In de haven van Harlingen wordt sinds enkele jaren ook airset gebruikt.

HWBP, Deltaprogramma en PAGW richten zich op dijkversterkingen. Er lopen verschillende (innovatieve) dijkversterkingsprojecten in het Waddengebied (en het Eems-estuarium). Hierbij wordt samengewerkt tussen provincies, waterschappen, HWBP en het Deltaprogramma. Er wordt ingezet op dijken met voorlanden, om de hydraulische belasting op de dijk te verminderen en te kunnen meegroeien met zeespiegelstijging. Binnen verschillende projecten wordt hiervoor kennis ontwikkeld, zoals de brede groene dijk, Living Dikes, en de dijkversterking Koehoal-Lauwersmeer en Lauwersmeer-Vierhuizenegat vanuit de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW). Trends in de ontwikkeling van het voorland met geulen, platen en kwelders zijn van groot belang voor de toekomstige waterveiligheid.

Ook bestaat er steeds meer behoefte aan inzicht of en in hoeverre binnendijkse gebieden zouden kunnen meegroeien met zeespiegelstijging, om zo overstromingsbestendiger te zijn en verzilting tegen te gaan. De belangrijkste pilots hiervoor vinden plaats in de provincie Groningen met slib uit het Eems estuarium (ED2050). Op bepaalde locaties wordt geprobeerd de 'randen van het Wad te verzachten', door een geleidelijkere overgang tussen zee en land te realiseren, die meerwaarde bieden voor de ecologie.

Rakend aan alle bovenstaande thema's zijn pilots of onderzoeksprojecten waarbij slib wordt ingevangen en nuttig wordt toegepast, bijvoorbeeld voor dijkversterkingen. Het effect van het samenspel van al deze pilots is nog onvoldoende in beeld. Dit is voor de beheerder wel een heel belangrijk vraagstuk. Slib is van belang voor het ecosysteem. Door steeds meer interesse in onttrekken van slib (het 'zwarte goud') is er behoefte aan inzicht in de effecten van onttrekkingen op het systeem (meegroeivermogen) en de ecologie. Mogelijk worden deze vragen deels in onderzoeksprojecten opgepakt (RESTCOAST).

## 4.9 Synthese

### 4.9.1 Samenvatting oogst kennisprogramma

De belangrijkste bijdragen van het kennisprogramma aan het begrip van het systeemfunctioneren van de Waddenzee zijn het betere begrip van de slibdynamiek, de kwantificering van de erosie- en sedimentatiepatronen naar sedimentimport in sedimentbalansen voor zand en slib, en de koppeling tussen ontwikkeling van de hydrodynamica en de morfologie. Bij prognose van de toekomstige morfologische ontwikkeling van de Waddenzee is er vooral gefocust op de korte tot middellange termijn (jaren tot decennia), als de sedimentatie in de Waddenzee nog groter is dan de zeespiegelstijging. Hiermee is beheervraag 1 uit §3.2 een stukje verder beantwoord.

Daarnaast is er veel energie gestoken in het samenbrengen van (versnipperde) kennis, waarmee data en informatie op orde is gebracht, om gemakkelijker te kunnen raadplegen en beter te kunnen delen. De kombergingsrapportages zijn hier een voorbeeld van, evenals de Digitale Systeemrapportage. Hiermee is bijgedragen aan de beantwoording van beheervraag 4 uit §3.2.

Er zijn adviezen uitgebracht over het beheer van vaargeulen (Westgat, Holwerd-Ameland, Boontjes). De werking van het systeem op verschillende tijd- en ruimteschalen diende hierbij als basis om de morfologische ontwikkeling en de ontwikkeling van de baggervolumes van de betreffende vaargeul te begrijpen. Met deze basis zijn modellen en methoden gebruikt om het effect van ingrepen op de hydrodynamiek en sedimenttransport in te kunnen schatten (beantwoording beheervraag 2 en 3 uit §3.2). Ook zijn er vaak aanbevelingen gedaan voor

aanvullende metingen om ontwikkeling in vaargeulen beter te kunnen volgen en effecten van ingrepen te kunnen evalueren.

Er is een nieuw hydrodynamisch en sedimenttransportmodel van de Waddenzee ontwikkeld. Dit model is veelvuldig toegepast, namelijk voor het vergroten van systeembegrip, voor vaargeulbeheer en als input voor de ecotopenkaart. Ook is er gezocht naar een methodiek voor dynamisch vaargeulbeheer, maar hierbij kon op voorhand nog geen methode voor alle knelpunten worden vastgesteld. De knelpunten in vaargeulen zijn wel in kaart gebracht en gerubriceerd.

Tot slot is er bij veel deelprojecten geadviseerd over het uitvoeren van nieuwe metingen, zowel structureel als projectmatig en het rapporteren van de baggervolumes. De metingen moeten bijdragen aan het beter kunnen volgen van de toestand en trends van het systeem, het vergroten van het systeembegrip en het evalueren van ingrepen. Hiermee is ook bijgedragen aan de beantwoording van beheervraag 4 uit §3.2.

Alle rapporten, modellen en tools zijn openbaar beschikbaar via de publicwiki van dit kennisprogramma. Ook zijn regelmatig presentaties gegeven op verschillende typen bijeenkomsten.

#### **4.9.2 Openstaande vragen**

##### *Systeembegrip*

Voor het verbeteren van het begrip van het systeemfunctioneren. De hoofdvraag is de verwachte trendmatige morfologische ontwikkeling van deelgebieden en van de Waddenzee als geheel op verschillende tijdschalen onder invloed van klimaatverandering (beheervraag 1 uit §3.2). Intergetijdengebieden in de Waddenzee laten een waaier aan hoogteliggingen en sedimentatiesnelheden zien, maar waardoor onderlinge verschillen worden veroorzaakt is niet duidelijk. Naast de morfologische ontwikkeling (bodemhoogte, sedimentsamenstelling) zijn er vragen over veranderingen in grootschalige windpatronen, watertemperatuur en afvoer- of spuiregimes, die de saliniteitsverdeling beïnvloeden. De gekoppelde morfologische en hydrodynamische ontwikkeling is ook nog niet volledig doorgrond, en heeft ook via verandering in droogvalduren impact op de ecologie.

Het onderzoeken van het effect van historische afsluitingen (Zuiderzee, Lauwerszee) op de hydrodynamica (stroomsnelheden, saliniteitsverdeling), vertroebeling en morfologie zal bijdragen aan het vergroten van het systeembegrip. Ook over de slibdynamiek zijn nog vragen, bijvoorbeeld hoe de meteorologische forcering de langjarige fluctuaties in vertroebeling beïnvloedt en wat de kwantitatieve bijdrage van de ecologie op de slibdynamiek is (vastlegging slib door microfytobenthos en vlokvorming door algen). De ontwikkeling van kwelders heeft daarnaast invloed op de slibbalans op schaal van de Waddenzee en beïnvloedt lokaal het kombergingsvolume van geulen.

RWS-NN probeert als beheerder van de Waddenzee zoveel mogelijk ruimte te geven aan de natuurlijke dynamiek door de drukfactoren te verminderen. Hierbij moet echter continu een afweging worden gemaakt tussen het gebruik van de Waddenzee door de mens en de 'ongestoorde' natuurlijke dynamiek. Het kennisprogramma levert belangrijke kennis over de natuurlijke dynamiek. Er is echter geen maatstaf voor natuurlijke dynamiek beschikbaar. Het verder uitwerken van natuurlijke dynamiek als maatstaf voor afwegingskaders of met een streefwaarde is geen onderdeel van dit kennisprogramma en wordt ook niet elders opgepakt.

Een gedegen begrip van het systeemfunctioneren wordt ingezet voor vraagstukken over de verschillende gebruiksfuncties van de Waddenzee: natuur, bereikbaarheid en waterveiligheid.

Het gebruik van de Waddenzee gaat gepaard met ingrepen, en sluit aan op beheervragen 2 en 3 uit §3.2.

#### *Natuur*

Voor de natuurfunctie van de Waddenzee is inzicht in het meegroeivermogen van de Waddenzee, trends in droogvalduren, watertemperaturen, vertroebeling en veranderingen in bodemsamenstelling van belang. Veranderingen in spuiregimes beïnvloeden de lokstroom voor vis en het voorkomen van bodemdieren.

Voor het ontwikkelen van N2000 beheerplannen is inzicht nodig in de gevolgen van de autonome (hydro-)morfologische ontwikkeling en het (cumulatieve) effect van ingrepen (baggeren en verspreiden, bodemberoerende visserij, ...) op verschillende habitats.

De impact van baggeren en verspreiden op de ecologie verdient nadere studie. Voor slib is in de eerste tranche van KRW-slib (Van Kessel et al., 2015) gebleken dat de effecten van baggeren en verspreiden en bodemberoerende visserij op vertroebeling op schaal van de Waddenzee klein zijn. Baggeren en verspreiden kan lokaal echter wel een groot effect hebben. Vergelijkbare studies zijn uitgevoerd voor het Eems estuarium (Van Maren, 2015). Daar is gebleken dat niet alleen het baggeren, maar vooral ook het hydromorfologische evenwicht sterk is verstoord, en daarmee de sedimenthuishouding. Bovenal wordt door vaargeulonderhoud de onderhouden getijgeulen uit morfologisch evenwicht gehouden. Naast directe bodemberoering leidt deze onbalans ook tot extra vertroebeling. Dit staat op gespannen voet met N2000 en UNESCO-doelen.

In de Waddenzee worden verschillende baggertechnieken gebruikt, die verschillende impact hebben. Een verdere studie naar de verschillende technieken, mede op basis van metingen, zou helpen om inzicht te krijgen in de effecten van het baggeren op het ecosysteem. Daarnaast is er inzicht nodig in de hersteltijd van soorten na bodemberoering door baggeren en/of verspreiden, maar ook bodemberoerende visserij.

#### *Bereikbaarheid*

Door de gestage grootschalige 'verlanding' van de Waddenzee verwacht Rijkswaterstaat dat de baggeropgave/baggervolumes komende jaren zullen toenemen. Voor een goed beheer is inzicht nodig in hoe de baggervolumes zich ontwikkelen en hoe ze gereduceerd kunnen worden voor (in elk geval) de periode 2025 – 2030 en wat de morfologische ontwikkeling kan betekenen voor de algehele bereikbaarheid van de havens en eilanden. Daarbij is het de vraag wanneer de in het Beheerplan Natura2000 opgenomen baggerhoeveelheden structureel zouden kunnen worden overschreden, en wat hieraan gedaan zou kunnen worden. Ook de Agenda voor de Wadden 2050 streeft naar een verlaging van de baggervolumes en naar een verlaging van de impact van baggeren op natuur en milieu, zonder dat de bereikbaarheid in geding komt. Dit betekent dat er een goed inzicht nodig is wanneer en waar er vanuit de morfologisch perspectief (groeierende) knelpunten verwacht kunnen worden om de vaargeulen op diepte en bevaarbaar te houden. Vanuit die inzichten zijn handelingsperspectieven en terugvalopties nodig voor zowel de korte (tussen 1-3 jaar) als de middellange en lange termijn (5-20 jaar). Gedacht kan worden aan geoptimaliseerde baggerstrategieën/-technieken, andere routes, andere maatvoeringen van minimale geulprofielen cq. op getij varen, aanleg van dammen, etc.

De benodigde kennis voor het optimaliseren van het baggeren en verspreiden is:

- Gebiedspecifieke morfologische kennis voor 'knelpunten' in vaargeulen, waar het baggerbezwaar hoog is en/of toeneemt. Het betreft een beschrijving van de morfologische ontwikkeling op de verschillende tijd- en ruimteschalen, inclusief een conceptueel denkmodel van de aandrijvende processen in de morfodynamiek van het systeem.

- Monitoring van deze knelpunten om de morfologische ontwikkelingen nauwlettend te kunnen volgen en data beschikbaar te hebben voor kalibratie en validatie van numerieke modellen. In deelproject Natuurmonitoring zijn hiervoor suggesties gedaan, waaronder vertroebeling en getijdebieten. Ook is eenduidige en consistente wijze van bijhouden van de baggercijfers noodzakelijk. In De Wit (2022) worden hiervoor aanbevelingen gedaan.
- Beschikbaarheid van hydrodynamisch modelinstrumentarium en zo mogelijk een sedimenttransportmodel voor het helpen inschatten van het effect van beheermaatregelen.
- Inzicht in het effect van verschillende baggermethoden op de vertroebeling, milieu-impact en het algehele baggerbezwaar.

De bereikbaarheid omvat ook kabels en leidingen in de Waddenzee. Door de energietransitie moeten er meer kabels door het Waddengebied worden aangelegd, omdat windparken op de Noordzee middels kabels moeten worden verbonden met het vasteland. Het leggen van deze kabels gaat gepaard met verstoring van de zeebodem (en deze kunnen aanzienlijk zijn) en er speelt een vraagstuk omtrent het blootspoelen van de kabels. Hiervoor is kennis van de morfologische dynamiek nodig.

#### *Waterveiligheid*

Voor waterveiligheid is de morfologische ontwikkeling van de Waddenzee, inclusief de buitendelta's en de eilanden van belang, omdat deze direct de waterveiligheid (en daarmee de suppletiebehoefte) op de eilanden beïnvloedt en een belangrijke buffer vormt voor de vastelandskust. Ook de ontwikkeling van de kwelders is van belang voor de waterveiligheid.

#### **4.9.3 Gewenste aanpassingen aan proces en samenwerking**

Bij het opstellen van deze actualisatie hebben Deltares en Rijkswaterstaat gesproken over zowel de inhoudelijke vraagstukken als het proces. Daarbij is vastgesteld dat voor de komende jaren behoefte is aan een voortzetting en ruimere aanpak van het kennisprogramma:

- Integratie met het KPP-Eems-Dollard (tot nu toe ligt de focus in dit Kennisprogramma op de westelijke en oostelijke Waddenzee). Dit is per 1-1-2023 formeel geregeld, hoewel er momenteel nog geen inhoudelijke vragen en ook geen budget is vastgelegd voor vragen in het Eems-Dollard gebied.
- Het vaargeulonderhoud, dat vele miljoenen euro's per jaar kost, is gebaat bij analyses die tot verdere optimalisatie leiden, en daarmee tot minder effecten op het ecosysteem en vermindering van het baggervolume (ook i.v.m. kosten). Deze doelen zijn o.a. belegd in het Nationaal Waterprogramma 2022-2027 en in de Agenda voor het Waddengebied 2050 en kunnen deels via het kennisprogramma worden bereikt.
- De kennis van de biotiek/ecologie is ook van belang. Er ligt een kans om het kennisprogramma de komende jaren te verbreden richting dit kennisveld. Hierover zijn RWS-NN en WVL nog in gesprek.
- Er is behoefte aan specifieke metingen, waardoor het inzicht in het systeem wordt vergroot, proceskennis opgedaan wordt en modellen verbeterd kunnen worden (tot nu toe was hier geen ruimte voor). Daartoe is enig budget vrijgemaakt binnen Basismonitoring Waddenzee. Dit vraagt ook een samenwerking met universiteiten en kennisinstellingen.
- Rijkswaterstaat Noord-Nederland wil komende jaren met WVL en de 'beleidskernen' DGWB, DGMO en DGLM tot een meer samenhangende kennisontwikkeling komen, waarbij ook beleid beter is aangesloten, mede vanuit mede-opdrachtgeverschap. Dit is nodig om invulling te geven aan de (beleids)afspraken die zijn opgenomen in de Gebiedsagenda / Uitvoeringsagenda voor de Wadden.
- Omdat de ambities – en daarmee de kennisontwikkeling – van deze documenten de belangen van veel stakeholders kunnen raken is het wenselijk dat de samenwerking

tussen voorliggend kennisprogramma en de Waddenacademie (als Kennisregisseur voor het Waddengebied) wordt versterkt.

- Voor de komende jaren is er behoefte aan een meer continue en zekerder bron van financiering en een ruimer budget dan afgelopen jaren om zo structureel en pro-actief kennisvragen op te kunnen pakken en regie te voeren.



# 5 Het kennisprogramma vanaf 2023

## 5.1 Introductie

Het systeemgedrag van de Waddenzee, waarbij verschillende gekoppelde tijd- en ruimteschalen kunnen worden onderscheiden, vormt de basis voor de afwegingen in beheer. Het systeemgedrag beschrijft de natuurlijke dynamiek, dus de morfodynamiek en de processen die haar beïnvloeden. Het gaat o.a. om het getij, wind, golven, zoetwaterafvoer en de aanvoer van zand en slib. Door het beter begrijpen van deze processen, en daarmee de werking en de respons van het systeem op veranderingen kan het beleid en beheer zo worden vormgegeven dat zoveel mogelijk wordt uitgegaan van de natuurlijke dynamiek (gebruik van de kracht van de natuur) en waar dat niet kan, zo efficiënt mogelijk wordt ingegrepen. Het behouden en bevorderen van de natuurlijke dynamiek van het systeem is ook steeds meer het uitgangspunt van beleid geworden, en vastgelegd in o.a. de Agenda voor het Waddengebied 2050.

Voor het behouden en vorderen van de natuurlijke dynamiek is de kennis van het systeemgedrag dus onmisbaar. Het op orde brengen en houden van kennis vormt de basis van het Kennisprogramma B&O Waddenzee. Ook is het van belang dat kennisleemtes verder worden verkleind. Dit wordt zowel binnen als buiten dit kennisprogramma opgepakt. Daarom is ook kennisdeling van belang, waarbij zowel kennis die binnen dit kennisprogramma is ontwikkeld wordt uitgedragen, als kennis die elders wordt ontwikkeld wordt opgehaald.

Binnen het kennisprogramma Kennis voor B&O Waddenzee zijn vier lijnen gekozen, die in deze paragraaf worden toegelicht.

Tabel 5-1 vat ze samen. Voor de komende jaren willen we de focus op bereikbaarheid en natuurbeheer vasthouden en het fundament van de morfologische kennis onderhouden en versterken. Hoewel de lijnen niet strikt gescheiden zijn (areaalkennis wordt immers ingezet voor de beheertaken natuur en bereikbaarheid), vormen ze wel de belangrijkste ingrediënten van het kennisprogramma. Overkoepelend zijn de kennisdeling, de meetbehoefte en gewenste modelontwikkeling. De meetbehoefte draagt bij aan het op orde brengen van areaalkennis, maar is ook nodig om effect van ingrepen (zoals bochtafsnijdingen in vaargeulen en vertroebeling door baggeren en verspreiden) te kunnen volgen en begrijpen. Numerieke modellen worden al toegepast voor verschillende vraagstukken (vaargeulbeheer, ecotopenkaarten). De verdere ontwikkeling van deze modellen is toegelicht onder 'lange termijn investeringen', en zal ook deels buiten dit kennisprogramma ontwikkeld worden.

Tabel 5-1 Verschillende lijnen binnen Kennis voor B&O Waddenzee

Lijn	Raakvlak/samenwerking met:
<b>Areaalkennis op orde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombergingsrapportages</li> <li>• Digitale Systeembrapportage</li> <li>• Meet- en monitoringsstrategie</li> </ul>	Kennis voor BenO kust (beheerbibliotheek kust), Datahuis Wadden, Kennisprogramma Zeespiegelstijging, waterschappen, provincies, marktpartijen
<b>Optimalisatie baggeren</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesoschaal rapporten knelpunten met morfologische ontwikkeling op middellange termijn</li> <li>• Inzicht in effect verschillende bagger- en verspreidingstechnieken op baggerbezwaar en vertroebeling</li> </ul>	RWS-PPO, baggeraar, marktpartijen, Agenda/Uitvoeringsprogramma Wadden
<b>Natuuropgaven</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toestand en trends abiotiek als basis voor natuurherstel (zeegras, schelpdierbanken, kwelderontwikkeling)</li> <li>• Cumulatieve effecten van baggeren en verspreiden voor scheepvaart en kabels en leidingen</li> </ul>	Waddenmozaïek, N2000 beheerplannen, Agenda/Uitvoeringsprogramma Wadden
<b>Lange termijn investeringen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effect mogelijke slobonttrekkingen op Waddensysteem</li> <li>• Aansluiting wetenschappelijk onderzoek</li> <li>• Modelontwikkeling</li> </ul>	Trilaterale samenwerking, Waddenacademie, PRW, NIOZ, WMR, RuG, UU, marktpartijen

## 5.2 Areaalkennis op orde

Binnen de lijn 'areaalkennis op orde' wordt gewerkt aan het samenbrengen en ontsluiten van de kennis van de werking van de Waddenzee op verschillende tijd- en ruimteschalen ten behoeve van de verschillende beheertaken van Rijkswaterstaat in de Waddenzee. De 'beheerbibliotheek' met de kombergingsrapportages is gevuld en blijven we actualiseren op basis van nieuwe data en inzichten. De Digitale Systeembrapportage levert actuele inzichten als basis voor en toevoeging op de kombergingsrapportages en moet in de behoefte aan hydraulische en morfologische informatiebehoefte tegemoet komen. Deltares treedt daarnaast op als adviseur voor het verder ontwikkelen van de meet- en monitoringsstrategie binnen RWS, ook om knelpunten rondom het beheer van de vaargeulen goed te kunnen monitoren en evalueren en daarmee adviezen te kunnen leveren. Voor de ontsluiting van meetgegevens is ook de samenwerking met Datahuis Wadden van belang.

Binnen deze lijn gaat het om de volgende activiteiten/onderwerpen:

- Het verder ontsluiten en inwinnen van basisinformatie, benodigd voor morfologische analyses.
  - Het actueel houden van kombergingsrapportages, deze koppelen aan de Digitale Systeembrapportage (DSR) en versterken met een conceptueel denkmodel van de systeemwerking op verschillende tijd- en ruimteschalen.
  - Het actueel houden, uitbreiden en toepassen van indicatoren uit de DSR.
  - Het uniformeren en ontsluiten van baggercijfers en sedimentbalansen.
  - Het verder uitwerken van een monitoringsstrategie.

### 5.2.1 Meetbehoefte

Voorlopig zijn de volgende meetwensen geïdentificeerd, die nog verder uitgewerkt en opgepakt zullen worden de komende jaren:

- 1) Debieten van de zeegaten opnieuw meten, waarmee de meetreeks uit het verleden wordt voortgezet. Dit is een noodzakelijk inzicht voor het identificeren van trends in veranderingen in getijprisma en ook nodig voor modelkalibratie. Tijdens deze 13-uurs debietmetingen, ook verticale profielen van vertroebeling, saliniteit en watertemperatuur verzamelen.

- 2) MWTL uitbreiden voor slib en saliniteit: meer locaties en hoogfrequent. Structureel een verticaal profiel nemen of tenminste op 3 locaties langs de waterkolom (bodem, midden, nabij oppervlakte). Voor watertemperatuur zou het goed zijn ook metingen op het intergetijdengebied te doen.
- 3) Meer meetcampagnes zijn noodzakelijk om beter inzicht te krijgen in:
  - a. Seizoensvariabiliteit, hoogfrequente metingen van stroming en waterkwaliteitsparameters op specifieke locaties (door het wegzetten van landers/boeien voor enkele weken tot maanden)
  - b. Knelpunten van vaarwegen analyseren: geuldebieten & verticale profielen
  - c. Stroming en golven over de wadplaten (zwakte van huidige model, mogelijk kan oude SeaWad data gebruikt worden)
  - d. Effect van stormen beter bepalen, bijvoorbeeld bij de wadplaten en (eind)geulen van Holwerd-Ameland

Bij het verder uitwerken van de monitoring dient ook te worden gekeken naar de inzet van satellietbeelden, bijvoorbeeld voor het meten van saliniteit, watertemperatuur en vertroebeling.

### 5.3 Optimalisatie baggeren

Binnen de lijn 'Optimalisatie baggeren' worden strategieën ontwikkeld waarmee de hoeveelheid baggerwerk en de invloed daarvan op het ecosysteem kunnen worden gereduceerd. Op deze wijze kan een kennisbasis worden gegeven aan o.a. de ambitie van Agenda voor de Wadden 2050 en worden voor het dagelijks beheer knelpunten in het vaargeulbeheer onderzocht. Doordat RWS deze knelpunten pro-actief monitort en vanuit het kennisprogramma actuele kennis wordt ontwikkeld en geleverd over zowel de grootschalige ontwikkelingen als de lokale dynamiek, wordt maatwerk advies geleverd om het baggerwerk te optimaliseren. Ingrepen zijn o.a. het wisselen van geul bij eb/vloedschaarsystemen en het kortsluiten van geulmeanders. Er wordt momenteel al volop meebewogen met migrerende geulen en hier is geen aanvullende kennisbehoefte geïdentificeerd. Ook werken we aan een eenduidigere registratie van de baggercijfers, die grote onzekerheden bevatten als gevolg van verschillende manieren van rapporteren en uitvoeringstechnieken. Een ander speerpunt is onderzoek naar de optimalisatie van baggertechnieken om de vertroebeling en bodemberoering te minimaliseren.

Binnen deze lijn gaat het dus om de volgende activiteiten/onderwerpen:

- Het ontwikkelen van een methodiek voor een gestructureerde analyse van knelpunten in vaarwegen, inclusief een conceptueel denkmodel voor de systeemwerking, en het opstellen van handelingsperspectief voor beheer.
- Verbeteren van het inzicht in baggerpluimen en vertroebeling als gevolg van verschillende baggertechnieken.

Experts (zie ook bijlage E) geven aan dat een beter begrip van geul-/plaatinteractie en de ontwikkeling van geulen als reactie op grootschalige ontwikkelingen een belangrijk onderwerp is met het oog op bereikbaarheid. Dit is o.a. afgelopen jaar verkennend opgepakt met 'Verkenning morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee' en de studie naar de gevolgen van de verdieping van vaarweg de Boontjes. Een voorspelling van de toekomstige morfologische ontwikkeling is echter complex, en zal verder opgepakt worden. Daarbij zal gebruik worden gemaakt van de kennis die ontwikkeld zal worden binnen NWO-programma WadSED (zie bijlage B.15).

### 5.4 Natuuropgaven

Binnen de Waddenzee zijn er een aantal natuuropgaves, vanuit wetgeving en programma's (N2000, KRW en PAGW). Er zijn een aantal abiotische, morfologische (en bagger-technische) kennisvragen waaraan we vanuit dit kennisprogramma een bijdrage kunnen leveren. Vooralsnog zijn de vragen geconcentreerd rondom de habitatverdeling, saliniteitsverdeling,

bodemberoering en vertroebeling, al dan niet gerelateerd aan verwachte veranderingen hierin als gevolg van klimaatverandering. De vraagstukken over vertroebeling en bodemberoering zijn sterk gekoppeld aan de lijn 'Optimalisatie baggeren'. De abiotische kennis en informatie uit dit kennisprogramma wordt ook opgenomen in de habitat- en ecotopenkaart van de Waddenzee.

Binnen deze lijn gaat het dus om de volgende activiteiten/onderwerpen:

- Inzicht in de saliniteitsverdeling en hoe deze beïnvloed kan worden via spuiregimes, ook in het licht van klimaatverandering.
- Effectbeoordeling van baggeren op hydrodynamica en morfologie en bijhorende ecologische effecten.

## 5.5 Lange termijn investeringen in kennis

In lijn 4 is verbeterd inzicht in de morfologische ontwikkeling een belangrijk onderwerp. Het betreft de snelheid waarmee plaatgebieden sedimenteren en eroderen, hoe dit relateert aan relatieve zeespiegelstijging en waarom plaathoogte en verandering hierin over de Waddenzee verschilt. Ook de rol van slib en begripen van het effect van historische ingrepen vallen hieronder. Er zijn veel vragen rondom het onttrekken van slib en de gevolgen daarvan voor de morfologische ontwikkeling, het meegroeivermogen, de ecologie etc. Slib is ook een belangrijke link met het zeespiegelstijgingsvraagstuk, dat niet alleen binnen Kennis voor B&O Waddenzee zal worden opgepakt, maar waarvan de kennisontwikkeling wel goed moet worden gevolgd.

In deze lijn zitten ook bijdragen aan wetenschappelijk onderzoek, bijvoorbeeld via de begeleiding van studenten en bijdragen aan het schrijven van onderzoeksvoorstellen (bijv. MUSA, WadSED). Binnen WadSED is het uitwerken van de methode om geautomatiseerde, reproduceerbare sedimentbalansen op te kunnen stellen interessant voor toepassing in het kennisprogramma. Hoe geulen en platen met elkaar interacteren is ook een belangrijke kennisleemte voor dit kennisprogramma, die bij voorkeur als wetenschappelijk onderzoek wordt uitgewerkt.

Binnen deze lijn gaat het dus om de volgende activiteiten/onderwerpen:

- Vergroten van kennis van de slibhuishouding en -balans.
- Het vergroten van het inzicht in de verwachte trendmatige morfologische ontwikkeling van deelgebieden en van de Waddenzee als geheel.
  - Welke gebieden hogen sneller op dan zeespiegelstijging en welke langzamer, en wat is hiervan de oorzaak.
  - Het koppelen van ontwikkeling van getijvolumes aan evenwichtsdoorsnedes en ontsluiten in een simpele tool.
  - Analyse van historische veranderingen in hydrodynamiek (hydrodynamische energie)
  - Samenwerking en kennisdeling met o.a. Kennisprogramma Zeespiegelstijging en Deltaprogramma Wadden voor verbeterde prognose van de morfologische ontwikkeling op de lange termijn (>30 jaar).
- Bijdrage aan onderzoeksvoorstellen
  - WadSED: geautomatiseerde sedimentbalansen
  - Plaat-geulinteractie
- Het actueel houden van het hydrodynamisch model en gekoppelde sedimenttransportmodel voor de Waddenzee, en (in aanpalende projecten) verder werken aan de verbetering van dit model en uitbreiding naar een morfodynamisch zand-slibmodel. Doel is dat het model inzetbaar blijft voor verschillende beheervragen en -scenario's en verbeterd zal presteren op het voorspellen van morfologische ontwikkeling en baggerbezwaar. Zie volgende paragraaf.

### 5.5.1 Modelontwikkeling

In deelproject KRW slib is een nieuw 'moedermodel' voor de Waddenzee ontwikkeld, in DFLOW-Flexible Mesh. Het voordeel van DFLOW-FM is dat er gemakkelijk lokaal een modelverfijning kan worden gemaakt (dit is bijvoorbeeld gedaan bij deelprojecten Vaargeul Holwerd en Boontjes). De waterbeweging presteert goed, hoewel er op het vlak van saliniteit en watertemperatuur behoefte is aan nieuwe metingen om het model hierop te valideren. In de Waddenzee zijn er problemen met het goed reproduceren van de laagwaterstanden. Dit wordt vooral veroorzaakt door de roosterresolutie, die kleinere geulen niet goed schematiseert. Momenteel wordt het gebruik van subgrid-modellering ingezet om te onderzoeken of dit soelaas biedt en welke andere voordelen hieruit volgen (afstudeeronderzoek bij Nelen & Schuurmans en Rijkswaterstaat). De ontwikkeling van het hydrodynamische model wordt opgepakt in het project KPP Modelschematisaties.

Voor de golven is er een relatief eenvoudig golfmodel, via de strijklengte-aanpak, toegevoegd. Dit zorgt voor resuspensie van slib vanaf de platen. Voor de slibdynamiek is er een D-Water Quality model online gekoppeld. De online koppeling was noodzakelijk omdat de koppelbestanden te groot werden om op te slaan en daarna voor offline koppeling te gebruiken.

Het slibmodel is afgeregeld op de sedimentconcentraties nabij de wateroppervlakte (MWTL metingen), de slibimport via de zeegaten (zoals vastgesteld in de sedimentbalansen) en de slibverdeling in de bodem. Bij toepassing van het model zijn desalniettemin tekortkomingen vastgesteld. Verbetering van het model kan worden bereikt door:

- Betere reproductie van de sedimentconcentratieprofielen (slibverdeling over de waterkolom). Er zijn niet tot nauwelijks veldmetingen beschikbaar van sedimentconcentratieprofielen over de verticaal. Hierdoor kan het model niet op het reproduceren van verticale concentratiegradiënten afgeregeld worden. Dit is wel belangrijk om de effecten van ingrepen of autonome veranderingen goed te kunnen reproduceren. De sedimentconcentraties bij de oppervlakte worden wel gereproduceerd (hier is het model op gekalibreerd), maar bij de bodem is de onzekerheid groot en worden de concentraties mogelijk onderschat. Metingen voor de slibmotor bij Koehoal hebben laten zien dat de sedimentconcentraties bij de bodem heel hoog kunnen zijn (meerdere g/l). Instellingen, die het sedimentconcentratieprofiel beïnvloeden zijn:
  - Korrelgrootteverdeling
  - Verticale laagverdeling (aantal en dikte van de verticale lagen in het model en type laag ( $z$  of  $\sigma$ )).
  - Sediment-gedreven dichtheidskoppeling
- Betere parametrisatie van de sterkteopbouw van slib dat wordt afgezet op de bodem.
  - Dit kan eenvoudig worden bereikt door de 'burial'-modus van het tweelagenmodel (Van Kessel, 2011) te gebruiken.
  - Meer geavanceerd zou de toepassing van een consolidatiemodel zijn. Met het oog op de rekentijden is dit waarschijnlijk voorlopig nog niet werkbaar.
- Betere parametrisatie van golfvoortplanting en golf-gedreven resuspensie. Subtiële veranderingen in vaargeuldieptes hebben effect op de resuspensie door golven vanuit de vaargeul. De strijklengteaanpak is minder gevoelig voor lokale wijzigingen in vaargeuldiepte (over enkele gridcellen) omdat het de waterdiepte over een aantal cellen van waaruit de wind waait middelt. Ook zit er geen golfvoortplanting in het strijklengtemodel. Het koppelen van een geavanceerder golfmodel is echter qua rekentijden niet erg aantrekkelijk.
- Lokaal meenemen van effect van opwoeling door scheepsbewegingen. In het deelproject Vaargeul Ameland werden de gemeten slibconcentraties nabij Holwerd onderschat (Grasmeijer en Van Weerdenburg, 2021). De opwoeling door scheepsbewegingen is hierbij aangemerkt als mogelijke oorzaak hiervan.



- Meenemen van bagger- en verspreidingsactiviteiten voor de gehele Waddenzee. Hierbij moet ook kritisch worden gekeken hoe de bagger- en verspreidingsactiviteiten in het model zijn geschematiseerd. Op basis van metingen en met ervaringen uit andere gebieden kunnen hier nog stappen worden gezet.

Verbetering van het slibmodel dient te worden opgepakt binnen of in samenwerking met KPP Waterkwaliteitschematisaties. Daarnaast zijn er andere (onderzoeks)projecten waar modelontwikkeling plaatsvindt en waarmee samenwerking wordt gezocht (o.a. WadSED, SEDIMARE, MUSA, REST-COAST).

Op de langere termijn is er behoefte aan een morfologisch zand-slibmodel van de Waddenzee, omdat veel vraagstukken zowel zand als slib bevatten. Daarnaast beïnvloeden de aanwezigheid van zand en slib elkaar. Slib dat in een zandige bodem zit, wordt met de erosie van het zand in suspensie gebracht. Zand in een slibrijke bodem wordt juist vastgehouden omdat de bodem zich cohesief gedraagt. Dit gedrag kan worden gesimuleerd met de formering van Van Ledden. Daarnaast heeft de korrelgrootteverdeling (dus zand/slibverdeling) in de bodem invloed op de bodemschuifspanning. Boven gladde, slibrijke bodems zijn de schuifspanningen lager. Dit kan worden gesimuleerd met de formulering van Soulsby & Clarke. Deltares heeft afgelopen periode gewerkt aan het operationeel maken van een morfologisch zand-slib model voor de Waddenzee, maar liep nog tegen softwarebeperkingen aan. Dit spoor wordt verder opgepakt binnen onderzoeksprojecten als WadSED en SEDIMARE.

Morfologische modellen van de Waddenzee hebben problemen met het morfologisch evenwicht van de modelbodem. De meeste simulaties tonen het onrealistisch diep uitschuren van geulen. Dit is deels een numeriek probleem ('alpha\_bn', dat wordt opgepakt in WadSED), maar wordt ook verergert door een beperkt aantal zandfracties in het model. In de geulen ligt grof zand dat lasteriger erodeert. Daarom moet in morfologische modellen idealiter met meerdere zandfracties worden gerekend, wat de reketijden doet toenemen. Daarnaast kan het gebruik van een ruwheidsvoorspeller, die rekening houdt met bodemvormen (megaribbels en onderwaterduinen) in geulen ook leiden tot een stabielere ligging van geulen.

## 5.6 Kennisdeling

De samenwerking tussen Deltares, Rijkswaterstaat-WVL en Rijkswaterstaat-NN loopt goed. Het personeel is langere tijd betrokken bij de Waddenzee en het kennisprogramma, wat de samenwerking versoepelt. Binnen Deltares is de samenhang van het Waddenportfolio geborgd in de 'Waddencommunity', maar efficiënte uitwisseling van recente kennisontwikkeling blijft een punt van aandacht. Binnen Rijkswaterstaat is het vooral van belang de samenhang met andere afdelingen te borgen. Daarnaast is er behoefte beter aan te sluiten op de beleidsafdelingen bij het ministerie.

Deltares en Rijkswaterstaat onderhouden beiden goede contacten met marktpartijen. De ontsloten kennis (zoals de digitale systeemrapportage, zie §4.6.1) en de beschikbare modellen (via Helpdesk Water) kunnen direct worden toegepast door marktpartijen.

De samenwerking met de Waddenacademie dient te worden versterkt, om zodoende een betere kennisuitwisseling tussen dit kennisprogramma en andere onderzoeksprojecten te bereiken. Daarnaast trekt de Waddenacademie een aantal belangrijke initiatieven uit het Uivoeringsprogramma, die van belang zijn voor het kennisprogramma. Ook de directe uitwisseling met andere projecten en onderzoeken verdient meer aandacht dan in de afgelopen jaren.

### 5.6.1 Doelen

De komende jaren wordt vanuit dit kennisprogramma sterker ingezet op het delen van kennis (brengen en halen). We beogen daarmee de volgende doelen:

- mensen binnen RWS, Deltares en extern (waterschappen, provincies, NGO's, kennisinstellingen, universiteiten, Waddenacademie) beter kennis te laten nemen van projectresultaten uit dit kennisprogramma.
- interactie bevorderen tussen mensen die actief zijn in het Waddengebied.
- Beter zicht krijgen op kennisontwikkeling en projecten buiten SITO-PS Kennis voor B&O Waddenzee.
- Meer pro-actief te zijn in de kennisdeling en hier beter op te sturen.

De informatie en kennis die binnen Kennis voor B&O Waddenzee wordt ontwikkeld is van groot belang voor beheerders, onderzoekers, marktpartijen en andere belangstellenden. Alle producten worden op de wiki<sup>3</sup> gezet, maar de aandacht voor de resultaten kan worden verbeterd. Afgelopen jaren waren het einde van het project of boekhoudkundig jaar vaak barrières om de kennis goed uit te dragen. Daarom wordt er voor de komende jaren actiever ingezet op kennisdeling.

### 5.6.2 Communicatiemiddelen en activiteiten

Bestaande bijeenkomsten, zoals de samenwerkdag kust, de NCK-dagen, en bijeenkomsten met collega's van eigen organisaties en universiteiten en kennisinstellingen worden gebruikt om kennis te delen en op te halen. Ook social media wordt ingezet om de aandacht te vestigen op nieuwe kennisontwikkeling en producten. Naast het uitdragen van de kennis uit Kennis voor B&O Waddenzee, is ook het volgen van relevant onderzoek en lopende projecten buiten Kennis voor B&O Waddenzee belangrijk. Alleen door een goed beeld te hebben van wat buiten speelt, kan de ontwikkelde kennis op de juiste momenten en plekken worden ingebracht.

Samenvattend gaat het om :

- Samenwerkdagen kust
- Bijeenkomsten met RWS-NN (in Leeuwarden) en eventueel PPO en andere geïnteresseerden partijen. Rijkswaterstaat initieert dit.
- NCK dagen.
- Social media (LinkedIn)
- Overleg met Waddenacademie, waarbij zowel Deltares als RWS zijn aangesloten.

---

<sup>3</sup> <https://publicwiki.deltares.nl/display/MORFWAD/Kennis+voor+beheer+en+onderhoud+van+de+Waddenzee>

## 6 Referenties

*Rapporten die uitgebracht zijn onder het kennisprogramma B&O Waddenzee zijn opgenomen in bijlage D.*

Janssen, G.M. & Lofvers, E. (2018). RWS-Kennisagenda Waddengebied kennisvelden Ecologie en Morfologie. CONCEPT 07-06-2018, Rijkswaterstaat-Noord-Nederland

Meijers, C. (2022). Natuurlijke dynamiek in het Waddengebied. RWS-WVL rapport dd. 16 augustus 2022.

Ministerie van VROM (2007). Ontwikkeling van de wadden voor natuur en mens. Deel 4 van de planologische kernbeslissing Derde Nota Waddenzee, tekst na parlementaire instemming. Januari 2007.

Ministerie van I&W en Rijkswaterstaat-NN (2016). Natura 2000-beheerplan Waddenzee Periode 2016-2022. Juli 2016.

Ministerie van I&W (2020). AGENDA VOOR HET WADDENGEBIED 2050. Koersen naar een veilig, vitaal en veerkrachtig Waddengebied in 2050. December 2020.

Ministerie van I&W, Ministerie van LNV, Ministerie van BZK (2022). Het nationale waterbeleid en de uitvoering in de rijkswateren Nationaal Water Programma 2022–2027. Maart 2022.

PRW (2017). Verkenning duurzame bereikbaarheid van de Wadden. Inspiratiedocument. PRW rapport. December 2017.

Van Kessel et al. (2015). Resultaten KRW-slib tranche 1. Deltares rapport.

Van Maren, D.S., Van Kessel, T., Cronin, K. & Sittoni, L. (2015). The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. Continental Shelf Research 95, p. 1-14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>.

Waddenacademie (2019). Trilaterale onderzoeksagenda voor het Waddengebied en het Werelderfgoed. Nederlandse vertaling. Januari 2019.

# A Kennisvragen uit Onderzoeksprogramma 2016

## Mega- en macroschaalvragen:

- A. Welk sediment verzorgt, langs welke weg, de lange termijn morfologische ontwikkeling van de Waddenzee?
  1. Wat zijn de (netto) zandtransporten door de zeegaten?<sup>4</sup>
  2. Welke rol speelt slib in de sedimentbalans van de Waddenzee?
  3. Welke rol spelen meetfouten in de berekende sedimentatie-erosie volumes?
  4. Wat zijn de verantwoordelijke autonome en antropogene processen en mechanismen voor netto transporten van verschillende sedimentfracties?
    - a. Welke rol spelen de menselijke ingrepen?
    - b. Welke rol spelen de episodische events zoals stormen?
- B. Wat is de capaciteit van de Waddenzee om te blijven bestaan bij doorgaande en versnelde relatieve zeespiegelstijging?
  5. Hoe snel groeit en gaat de Waddenzee groeien?
  6. Wat zijn de kritische grenzen voor sedimentatiesnelheid?
  7. Welke gebieden verlanden en welke verdrinken en hoe snel?
- C. Hoe verschilt de sedimenthuishouding per zeegatsysteem en wat is de rol van veranderende grenzen (wantijen) daartussen?
  8. Hoe zetten de verplaatsingen van de wantijen zich voort? Zal er een nieuw morfologisch evenwicht in de Nederlandse Waddenzee ontstaan?
  9. Hoe groot is het sedimenttransport over de wantijen en welke rol speelt de uitwisseling in de grootschalige sedimenthuishouding?
- D. Wat bepaalt de sedimentsamenstelling van de bodem van de Waddenzee en hoe verandert zij onder invloed van zeespiegelstijging en menselijke ingrepen?

## Mesoschaalvragen:

1. Welke methodiek is passend voor het beschrijven van de mesoschaal morfologie van geulen, platen en overgangszones voor de Waddenzee?
2. Welke patronen in geulmigratie zijn te beschrijven met een generieke methodiek?
3. Wat is goede karakterisering van de morfologie van de droogvallende platen, met inbegrip van hun dynamiek en interactie tussen geulen en aanliggende platen?
4. Hoe groeien voorlanden aan en kunnen kwelders onderdeel van de waterkering zijn? Welke veranderingen treden op in de ecologische waarden?
5. Hoe passen 'bijzondere hoge platen' (Griend, Zuiderduintjes, Richel, etc.) in de te ontwikkelen systematiek?
6. Wat is de onderlinge wisselwerking van de verschillende mesoschaal elementen in termen van sedimentbronnen, sinks en het transport?
7. Wat zijn de patronen in de bodemsamenstelling op mesoschaalniveau en hoe wordt deze beïnvloed door sinks en sources?

## Overig:

- Hoe gaat de erosie en/of heroriëntatie verder en kunnen buitendelta's verdwijnen?
- Wat zijn de consequenties voor de kust daarvan?

---

<sup>4</sup> Uiteraard is slib ook van belang, maar dit kent andere transportmechanismen, waarbij het aanbod veel belangrijker is dan de transportcapaciteit.

- Wat zijn de consequenties voor de Waddenzee daarvan?
- Hoe wordt de importsnelheid richting de kombergingsgebieden beïnvloed?
- Is het wenselijk het ontwerp van suppleties op de eilanden erop aan te passen?
- Beïnvloeden kustsuppleties de sedimentsamenstelling van de Waddenzee?
- Wat is de invloed van het vastleggen van de eilandkoppen?
- Beïnvloedt dit de sedimentsamenstelling van de Waddenzee?
- Slib
  - Budgetten
  - Variaties in tijd
  - Verblijftijden
  - Rol zoetwaterafvoer
  - Effect 'extreme' gebeurtenissen
  - Netto transport over wantijen
  - Effect toegenomen zeespiegelstijging
  - Rol kwelders
  - Transport tussen geul en IGG
  - Invloed afsluitingen op slibtransporten

## B Lopende en afgeronde projecten buiten het kennisprogramma

### B.1 Kustgenese 2.0 (2015-2020)

Kustgenese 2.0 was erop gericht om kennis te leveren van de toekomstige suppletiebehoefte van de Nederlandse kust en het uitvoeren van grote suppleties (pilots) op buitendelta's. Hierbij is de begrenzing van het kustfundament onderzocht, omdat deze direct het zandvolume en dus suppletievolume van het kustfundament bepaald. Het benodigde suppletievolume op de middellange termijn is ca. 11-17 miljoen m<sup>3</sup>/j, waarvan ongeveer de helft nodig is om de Waddenzee en het Eems estuarium te laten meegroeien met zeespiegelstijging. Op de langere termijn is de onzekerheid groter, maar is de verwachting dat de transporten naar de Waddenzee beperkt toenemen (40% toename bij een zss van 8 mm/j). Buitendelta's zijn een belangrijke fenomeen en dienen behouden te blijven, omdat ze de kust beschermen en een doorgeefluik en buffer zijn van sediment. In het Amelanders Zeegat is dankzij Kustgenese 2.0 en SEAWAD nu veel kennis beschikbaar om ingrepen te kunnen doen die het gedrag van de buitendelta beïnvloeden (bijv. om met suppleties sediment naar de kust te brengen).

### B.2 SEAWAD

In het SEAWAD (SEdiment supply At the WAdden Sea ebb-tidal Delta) project is systeemkennis ontwikkeld over sedimentdynamiek op buitendelta's en uitwisseling van sediment tussen de buitendelta, de eilanden en het bekken. Het Amelanders Zeegat is hierbij als case study gebruikt en er hebben meerdere veldcampagnes plaatsgevonden. Hierbij is veel ervaring opgedaan in het metingen van sedimenttransport in dynamische systemen met zand en slib. Meer specifiek is gekeken naar de vorm en migratie van zaagtandbanken, naar de aanwezigheid van ribbels en het effect van ribbels op sedimenttransportberekeningen. Hoe de ribbels modelmatig worden meegenomen (de hoogte ervan wordt vaak overschat) heeft groot effect op het zandtransport (factor 2). De connectiviteit tussen de buitendelta en het bekken is onderzocht en heeft een techniek opgeleverd om transportpaden inzichtelijk te maken. Ook zijn de debieten over de wantijen gemeten en modelmatig gereproduceerd, waarbij is vastgesteld hoe het transport van water over de wantijen resulteert in netto export door het zeegat bij zuidwestenwind. De verschillende onderzoeken en de betere begrip van het systeem kunnen gebruikt worden voor buitendeltasuppleties.

### B.3 Where mud matters (2021)

Dit rapport geeft een slibbalans van de trilaterale Waddenzee. Op basis van literatuur en velddata is een schatting gemaakt van de aanvoer van slib naar de Waddenzee vanaf erosie van de Straat van Dover (12-17 miljoen ton/j). In de Waddenzee wordt dit slib afgezet in luwe gebieden, zoals platen die voor de vastelandskust liggen, op de wantijen, op kwelders en in afgesloten geulen en luwe baaien. Ook wordt er slib uit de trilaterale Waddenzee (bijv. Eems estuarium) onttrokken. In totaal wordt er ongeveer 11 miljoen ton/j afgezet en onttrokken. Dit betekent dat er momenteel een klein beetje meer wordt aangevoerd dan er wordt onttrokken. Door landaanwinningen en afsluitingen in het verleden zijn afzetgebieden voor slib verloren gegaan. Daarnaast hebben landaanwinningen en vaargeulverdiepingen geleid tot getijamplificatie en verandering in getijasymmetrie, waardoor meer landwaarts sedimenttransport plaatsvindt.



## B.4 Gaswinning monitoring

Sinds 2010 worden de wadplaten in het Friesche Zeegat tweemaal per jaar opgenomen met LiDAR. Uit steeds verder verbeterde analyse van deze opnames komt naar voren dat sommige platen meer sedimenteren dan de bodemdaling door gaswinning en andere minder. Met de LiDAR data in combinatie met de spijkermetingen kan dit worden vastgesteld. Wel is er tussen de wadplaten onderling ook een groot verschil in dynamiek en dus in hoogte-ontwikkeling, ook onafhankelijk van de bodemdaling door gaswinning. Als die verschillen beter kunnen worden verklaard dan nu het geval is, kan de invloed van gaswinning op de autonome morfologische ontwikkeling beter worden begrepen.

## B.5 TRAILS (2020-2025)

In het TRAILS project (TRacking Ameland Inlet Living Lab Sediment) wordt verder gekeken naar de transportpaden van een buitendeltasuppletie in het Zeegat van Ameland en naar ecologische effecten. Er wordt gewerkt aan een methode om met luminescentie gesuppleerd zand te volgen en te onderscheiden van al aanwezig zand. Ook wordt er gekeken naar verschillende suppletietechnieken.

## B.6 Waddenmozaïek

Waddenmozaïek is een project dat zich richt op het beter begrijpen van de onderwaternatuur in de Waddenzee. Hierbij wordt specifiek gekeken naar de diepere delen, die nooit bij eb droog komen te vallen: de ondergedoken Waddenzee. Onderzoekers van het NIOZ (Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee) en de RUG (Rijksuniversiteit Groningen) gaan dit onderwaterlandschap en de bijbehorende biodiversiteit voor het eerst helemaal in kaart brengen. Daarnaast doen zij onderzoek naar potentiële beheermaatregelen voor bescherming en herstel van de ondergedoken wadbodem. Het project sluit daarmee aan op de doelen van de Rijksoverheid om de onderwaternatuur te bevorderen. Vooral de affecten van het afsluiten van een groot gebied voor bodemberoerende visserij en herstelmaatregelen voor schelpdierbanken en zeegrasvelden zijn vanuit morfologisch oogpunt interessant. Het onderzoek loopt nog.

## B.7 POV Waddenzeedijken, onderdeel geulmanagement (2014-2019)

Het Onderzoek Geulmanagement start met de veronderstelling dat tijdig morfologisch ingrijpen (geulmanagement) harde, kostbare en niet-natuurvriendelijke oplossingen voorkomt. Het hoofddoel van het onderzoek is de kansrijkheid van 'zachte, zandige maatregelen' te verkennen. De term geulmanagement verwijst in dit rapport naar zachte maatregelen om een geul op veilige afstand van een dijk te houden. Geulmanagement bestaat dus uit tijdig morfologisch ingrijpen. Harde bestortingen vallen hiermee buiten de definitie van geulmanagement.

Uitgebreid technisch en morfologisch onderzoek plaatst vraagtekens bij de veronderstelde voordelen van geulmanagement. De verschillen in impact op de ecologische omgeving van harde en zachte maatregelen zijn minder groot dan gedacht. Onzekerheid over de levensduur van de beoogde zachte maatregel maakt de kans op herhaling groot. Herhaling veroorzaakt hogere Life Cycle Costs (LCC) en meer verstoring van het ecosysteem. Bovendien blijkt geulmanagement maatwerk, waardoor de kennis, opgedaan met een pilot op deze locatie (Vierhuizergat), niet zonder meer toepasbaar is op andere locaties. Alhoewel een pilot de enige manier is om zekerheid te krijgen over levensduur en daarmee over kosten en andere effecten, weegt dit voordeel niet op tegen de genoemde nadelen. Daarom is geen pilot uitgevoerd.

## B.8 TRILAWATT

TRILATWATT is een Duits project dat de data van de trilaterale Waddenzee ontsluit. Het gaat om velddata en modeldata betreffende hydrodynamica, geomorfologie en sedimentologie.

## B.9 MUSA (2020-2023)

MUSA (Mud-sand) richt zich op het ontwikkelen van kennis over het gedrag van zandslibmengsel. Door middel van gootproeven en veldwerk wordt data verzameld over de erosie, sedimentatie en consolidatie van zandslibmengsels. Dit gemeten gedrag wordt vervolgens vergeleken met bestaande schematisaties in softwarepakketten. Er zijn monsters verzameld en metingen gedaan in o.a. de Waddenzee die relevant kunnen zijn voor Kennis voor B&O Waddenzee.

## B.10 Vervolgstudie Bereikbaarheid Ameland 2030 (VBA2030)

In een groot onderzoek is bekeken hoe de bereikbaarheid van Ameland in de toekomst kan worden gegarandeerd. Daarbij zijn twee oplossingen overwogen: handhaven van de huidige situatie en verplaatsen van de veerdam naar Ferwert. Voor het inschatten van de baggervolumes in 2100 is er gewerkt met evenwichtsrelaties tussen het kombergingsvolume en het baggerbezwaar. Hierbij zijn een aantal scenario's beschouwd, zoals het afgraven van de kwelders en het verplaatsen van het wantij. De bovengrens van het baggerbezwaar bij voortzetten van de huidige situatie bedraagt 2,5 miljoen m<sup>3</sup>/j in 2100.

## B.11 Slibmotor (2015-2019)

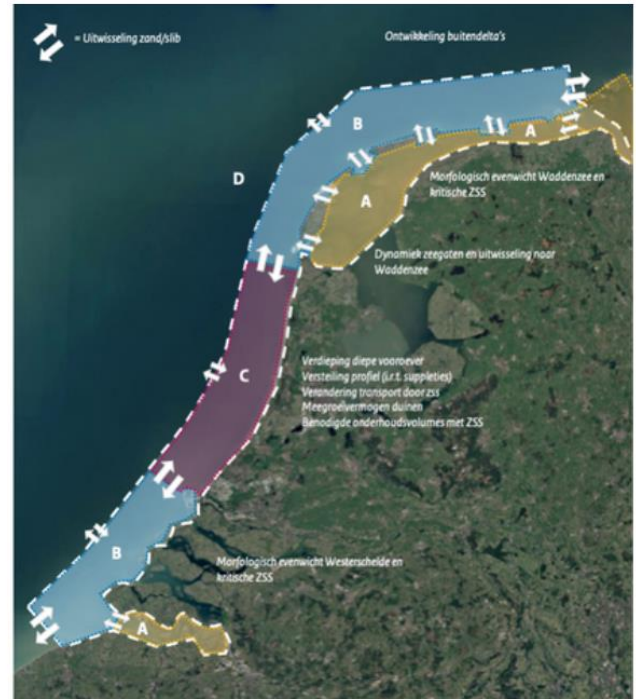
In het Waddenfonds project slibmotor is onderzocht hoe het baggerbezwaar uit de haven van Harlingen kan worden gebruikt om de kwelder bij Koehoal te laten aangroeien door middel van een pilot. Hiervoor is gedurende twee winters baggerspecie vanaf de haven aan het noordoostelijke einde van het Kimstergat verspreid, waar het met de stroming verder naar het interessegebied nabij de bestaande kwelders is gebracht. Hierbij zijn tracers in de beun van het schip gemengd en verspreid. Die zijn vervolgens met bodemsamples weer teruggevonden in het interessegebied. Ook zijn er metingen van stroming, golven, bodemhoogte en sedimentconcentratie uitgevoerd. Hieruit bleek dat de sedimentconcentraties onder gemiddelde windcondities sterk kunnen oplopen en dat de bodemhoogte zich dynamisch gedraagt. De pilot was deels succesvol, omdat we hebben gemeten dat de baggerspecie naar het interessegebied kan worden gebracht. In het interessegebied waren de hydrodynamische condities echter dusdanig, dat het niet gelukt is om een meetbaar effect op de wadplaathoogte te bereiken. In het project is ook gewerkt een numeriek model, dat de voorloper is van het huidige DWSM dat in Kennis voor B&O Waddenzee wordt ingezet.

## B.12 Zandige Kust

Zandige kust is onderdeel van KP ZSS en de opvolger van Kustgenese 2.0.

## Globaal Overzicht Onderwerpen Zandige Kust

- A. Waddenzee & Westerschelde**
  - Evenwicht en meegroeivermogen getijdebekkens
  - Ontwikkeling platen en kritische snelheid ZSS
- B. Zeegaten**
  - Dynamiek zeegaten (o.a. geulen/kust)
  - Effecten ZSS op buitendelta's
  - Uitwisseling door zeegaten (naar Waddenzee)
  - Suppleties in complexe gebieden
- C. Gesloten Kust**
  - Verdieping vooroever (autonoom én door ZSS)
  - Benodigde onderhoudsvolumes suppleties
  - Verandering langstransport door klimaatverandering
  - Meegroeivermogen van de duinen
  - Verstelling profiel & kustdwars transport i.r.t. suppleties
- D. Totale Kustfundament**
  - Invloed ZSS op sedimentbalans kustfundament én ontwikkeling getijdebekkens
  - Uitwisseling tussen deelgebieden, met estuaria/zeegaten, op zeewaartse rand én over de grens



Zandige kust onderzoekt ook de sedimentbehoefte van de westelijke Waddenzee, die ook link heeft met de verlanding en bereikbaarheid.

### B.13 KPP BenO kust

Het project B&O Kust richt zich op het systeemgedrag van de Nederlandse kust en vertaalt inzichten in het systeemgedrag naar adviezen over het huidige kustbeheer (i.e. in het bijzonder suppleties). Kennis over het systeemgedrag en ervaring in het huidige kustbeheer vormen samen een belangrijke bijdrage aan het (toekomstig) kustbeleid. Vandaar dat er, zowel vanuit Deltares als RWS, sprake is van een intensieve samenwerking met kustprojecten gericht op kustbeleid. BenO kust richt zich op de sedimentbeweging van de kust, het systembegrip van de zeegaten en de eilandkoppen en kennisontwikkeling voor ecologisch gericht suppleren. Sedimentbeweging kust beschouwt de ondergrond, de morfologie (link met KP ZSS spoor 2 - Zandige Kust) en menselijke ingrepen.

Een van de belangrijkste recente producten van Kennis voor BenO kust voor Kennis voor BenO Waddenzee is de zandbalans van Elias (2019).

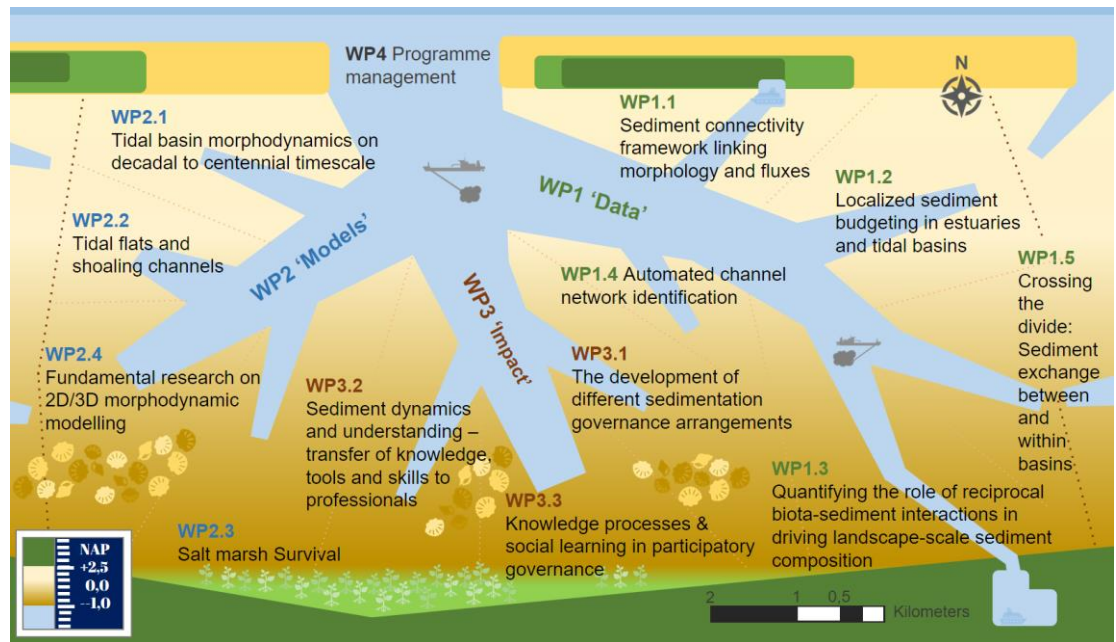
### B.14 LOCO-EX

LOCO-EX (The Dutch Wadden Sea as an event-driven system Long-term consequences for exchange) is een NWO/ENW project waarin bij NIOZ is gewerkt aan residuele stroming, verblijftijden en saliniteitsverdelingen in de Waddenzee. Door middel van numerieke modelsimulaties (GETM/GOTM) en statistische analyse zijn de bijdrage van zoetwaterafvoeren en windforcering aan afwijkingen in gemiddelde saliniteitsverdeling inzichtelijk gemaakt.

### B.15 WadSED

Het hoofddoel van het WadSED onderzoeksprogramma (Perspectief voorstel ingediend bij NWO) is het ontwikkelen van systeemkennis, tools en modellen van sedimenttransport op verschillende tijd- en ruimteschalen zodat deze ingezet kan worden voor duurzaam

sedimentbeheer van getijddebekkens en estuaria (Waddenzee, Westerschelde en Eems). Onderstaande figuur geeft een overzicht van de verschillende werkpakketten.



## B.16 Deltaprogramma Waddengebied

Het Deltaprogramma richt zich voor een groot deel op dijkversterkingen, suppleties en een strategie voor de lange termijn i.s.m. KP ZSS – zandige kust.

## B.17 PAGW (Programmatische Aanpak Grote Wateren)

De PAGW heeft vier projecten in het Waddengebied: buitendijkse sliedsedimentatie Eems-Dollard, binnendijkse sliedsedimentatie Eems-Dollard (in de Groote Polder/Eemsijslen) en de dijkversterkingen van Koehoal-Lauwersmeer en Lauwersmeer-Vierhuizergat.

## B.18 ASMITA ontwikkelingen

ASMITA is een geaggregeerd model dat de meegroeicapaciteit van getijddebekkens berekend. De komende jaren wordt dit met behulp van budgetten uit verschillende projecten verder ontwikkeld, zodat er rekening wordt gehouden met verschillende sedimentfracties (zand en slib) en de aanwezigheid van kwelders.

## B.19 Living Dikes

Living Dikes is een onderzoeksproject dat de dynamiek van dijken met voorlanden (living dikes) onderzoekt en focust op opschaling en implementatie. Zowel in het veld als in de Deltagoot worden proeven uitgevoerd naar de impact van extreme omstandigheden en zo te kunnen gaan voorspellen hoe deze systemen reageren onder maatgevende condities. Ook worden modellen en versimpelde ontwerptools ontwikkeld, die bij zullen dragen aan het begrip van het systeem en de toepassing van living dikes voor onze kustverdediging. Pilotgebied is het dijkversterkingstraject Koehoal-Lauwersmeer. Het Living Dikes consortium bestaat uit een groot aantal partners en wordt getrokken door UT.

## B.20 RESTCOAST

RESTCOAST is een EU project dat tot doel heeft om kustgebieden te restaureren zodat ze bijdragen aan bescherming tegen overstromingen en de biodiversiteit vergroten. Het project ontwikkelt kennis over het hydro-morfo-eco gedrag van kustsystemen, onderzoekt de aanpak op te schalen (incl. governance aspecten) en te financieren. Het Eems estuarium is onderdeel van de Waddenzee case, in combinatie met de Duitse en Deense Waddenkust. In het Eems estuarium focust de pilot zich op het invangen van slib, om zo mee te groeien met ZSS. Het project is nog in de opstartfase.

## B.21 BE SAFE

In het NWO-project BE SAFE zijn nieuwe methoden ontwikkeld om te beoordelen hoe en hoeveel begroeide vooroevers bijdragen aan de vermindering van het overstromingsrisico. Het project heeft gefocust op een beter begrip van (onzekerheden in) het functioneren en de stabiliteit van deze ecosystemen en de ontwikkeling van nieuwe governance structuren door integratie van kennis uit de ecologie, biogeomorfologie, waterbouwkunde en governance.

## B.22 Holwerd aan Zee

Om de leefbaarheid, natuurwaarde en recreatie bij Holwerd te vergroten is vanuit de lokale community het plan ontstaan voor de aanleg van een beleefmeer, dat is aangesloten op de Waddenzee. De aansluiting op de Waddenzee doorkruist de primaire waterkering, en is dus voorzien van een kunstwerk. Deltares is, met marktpartijen, betrokken geweest bij meerdere studies om het effect van Holwerd aan Zee op het baggerbezwaar buitengaats en in de verbinding zelf te onderzoeken.

## B.23 WaL

Water as Leverage is een concept dat succesvol in Azië is toegepast en nu wordt opgezet voor de trilaterale Waddenzee. Het beoogt pro-actief voor te bereiden om toekomstige klimaatverandering en benodigde adaptatie, waarbij een integraal naariatief wordt opgesteld van de opgaven in een gebied en meervoudige oplossingen. In de Nederlandse Waddenzee worden daarvoor drie casusgebieden uitgewerkt: Texel, Terschelling en Harlingen. De case Texel gaat voor een groot gedeelte over een zoetwaterstrategie, die meer lokaal moet zijn ingericht, dan dat het vanaf het vasteland wordt aangevoerd (zoals nu het geval is). De case Terschelling richt zich op het dorp West-Terschelling, wat buitendijks ligt en aangepast moet worden als de zeespiegel stijgt. Er is hier een speciale rol voor een wadplaat die nabij het dorp ligt en is aangewezen als N2000 gebied. Bij Harlingen gaat het o.a. om aanpassingen aan de haven.

## B.24 MANABAS

Manabas is een Interreg North Sea region project onder leiding van Rijkswaterstaat waar verschillende partners in de North Sea region (van Frankrijk tot en met Zweden) samenwerken op het gebied van het grootschalig implementeren van Nature-Based Solutions. Het project is van start gegaan in 2022 en heeft een looptijd van 5 jaar (<https://www.interregnorthsea.eu/manabas-coast>). Er wordt gewerkt aan verschillende pilots in de Waddenzee, zowel in Nederland als Duitsland.

## B.25 Eerdere studies Holwerd-Ameland

In 2015 en 2016 is de veerverbinding Holwerd-Ameland door Deltares onderzocht middels data-analyse van bestaande en nieuwe veldmetingen en hydrodynamische modelsimulaties en zijn meerdere varianten voor vaargeulverkortingen onderzocht. De veerverbinding staat al jaren in de publiciteit vanwege de regelmatig optredende vertragingen en de sterke toename van het baggerbezwaar in de vaargeul.

Het baggerbezwaar neemt toe een afname van de getijsnelheden, door een geleidelijke afname van het kombergingsvolume van de vaargeul, en een vergroting (om nautische redenen) van de dwarsdoorsnede van de vaargeul. Tegelijk is, mede als gevolg van lokale morfologische ontwikkelingen, de vloeddominantie in de geul toegenomen. Fluid mud speelt geen belangrijke rol in de toename van het baggerbezwaar. Ongeveer 60 % van het slib dat bij vloed in de geul wordt gebracht, blijft in de geul achter en kan consolideren binnen een getijperiode. De bagger- en verspreidingsstrategie oefenen een duidelijke invloed uit op de beschikbaarheid van sediment en op de sedimentatiesnelheden in de vaargeul.

De beschouwde varianten waren de later (in 2019) uitgevoerde bochtafsnijding middels het baggeren van de vloedgeul, een variant met een spoelmeer en een verbrede en verdiepte variant. Ook is aangegeven dat geen enkele van de onderzochte varianten op de langere termijn (5-10 jaar) een duurzame oplossing voor de baggerproblematiek kan leveren.



## C Partijen in het Waddengebied

### Ministeries

I&W, LNV, EZ

### RWS

WVL, NN, PPO

### Provincies

Groningen, Fryslan, N-Holland

### Waterschappen

Wetterskip, Hunze & Aa's, Noorderzijlvest, HHNK

### Gemeentes

RVO (via PAGW)

### Natuurorg/NGO

Groninger Landschap, It Fryske Gea, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Waddenvereniging, Vogelbescherming, UNESCO

### Havens

Harlingen, Lauwersoog, Den Helder, GSP, recreatiehavens

### Rederijen

TESO, Doeksen, Wagenborg

### Overig

Vissers, baggeraars, bewoners, lokale ondernemers, toeristenbranche, Stichting Wad, Wadloopvereniging, Bruine Zeilvloot

### Kennisinstellingen en universiteiten

Deltares  
NIOZ  
WUR/WMR  
RuG  
UU  
TUD  
UT  
Radboud  
Van Hall Larenstein

### Marktpartijen

### Trilateraal

Duitsland, Denemarken

### Programma's, samenwerkingen, overlegstructuren

Deltaprogramma Wadden (DPW)  
Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP)  
~~Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW)~~  
Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW)  
Ecoshape  
Waddenfonds (WF)  
Investeringskader Waddengebied (IKW)  
Coalitie Waddenzee Natuurlijk  
Bestuurlijk Overleg Waddengebied (BOW)  
Omgevingsberaad Waddengebied  
~~Regiecollege Waddengebied~~ -> Omgevingsberaad  
~~Beheerraad Waddengebied~~ -> BeheerdersCollectief Waddenzee  
Beheerautoriteit Waddenzee  
Common Wadden Sea Secretariat (CWSS)  
Waddenacademie (WA)

## C.1 Governance Waddengebied

Bron: Nationaal Waterprogramma

Voor het Waddengebied is in maart 2020 een governancestructuur vastgesteld, waarbij zowel de coördinatie van het beleid als die van het beheer van de Waddenzee wordt versterkt. De nieuwe structuur bestaat uit 3 pijlers:

- het Bestuurlijk Overleg Waddengebied;
- het Omgevingsberaad Waddengebied en
- de Beheerautoriteit Waddenzee.

Het Bestuurlijk Overleg Waddengebied is gericht op strategische besluitvorming rond het Waddenbeleid. Deelnemers zijn de ministeries van IenW en van LNV, de Waddenprovincies (Noord-Holland, Friesland, Groningen), de kusten eilandgemeenten, de waterschappen en de voorzitter van het Omgevingsberaad Waddengebied.

Het Omgevingsberaad Waddengebied staat onder leiding van de heer Brok, commissaris van de Koning van Fryslân, vanuit zijn functie als rijksheer. Aan dit beraad nemen gebruikers en belangenorganisaties deel. Het beraad wordt gebruikt om beleidsvoorstellen te toetsen of de agenderen.

Tot slot is een Beheerautoriteit Waddenzee ingesteld. De Beheerautoriteit moet een integraal beheerplan uitvoeren, waardoor betere bescherming van natuurgebieden gecombineerd wordt met beter visbeheer.

De Beheerautoriteit is samengesteld uit twee organen:

- Het Opdrachtgeversoverleg dat bestaat uit de ministeries van IenW en LNV en de Waddenprovincies (Noord-Holland, Friesland, Groningen). Deze partijen zijn formeel opdrachtgever en/of bevoegd gezag voor het water, natuur en visbeheer van de Waddenzee.
- Een directeur Beheerautoriteit (aangesteld 1 maart 2020). De directeur geeft leiding aan een compacte eenheid. Die eenheid staat los van de bestaande beheerorganisaties. De directeur heeft de opdracht om de samenwerking en afstemming tussen de beheerders te bevorderen door de opstelling van een meerjarig integraal beheerplan Waddenzee te coördineren en de voortgang en de uitvoering daarvan te monitoren. Onder leiding van de directeur van de Beheerautoriteit hebben de gezamenlijke beheerders zich verenigd in het BeheerdersCollectief Waddenzee.

Na 4 jaar wordt een evaluatie uitgevoerd op de ingevoerde governancestructuur en wordt nagegaan of organisatorische aanpassingen gewenst zijn.

Het Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW) is geëindigd in 2022. De Waddenacademie is aangewezen als kennisregisseur.

## D Producten KPP Waddenzee 2016-2022

Deze bijlage bevat een overzicht van de rapporten en memo's die sinds 2017 zijn opgeleverd in KPP Waddenzee. De presentaties zijn hierin niet opgenomen, omdat de kennis hierin over het algemeen ook zijn opgenomen in de (eind)rapporten.

Het startdocument:

Janssen, S., Taal, M., Cleveringa, J., Lofvers, E., Mulder, H., Oost, A., Wang, Z.B. (2016). [Naar een langjarig onderzoeksprogramma morfologie Waddenzee. Resultaten 2016](#). Deltares rapport. Kenmerk 1230032-000-ZKS-0004.

### D.1 Landelijke Taken

#### Kombergingsrapportages

- Oost, A., Cleveringa, J. (2017). [Morfologie Kombergingsgebied Borndiep. KPP 2017 BO03 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden](#). Deltares rapport. Kenmerk 11200521-000-ZKS-0004.
- Oost, A., Cleveringa, J., Taal, M. (2019). [Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie. Beheerbibliotheek Waddenzee, v 2019 \(update van 2018\)](#). Deltares rapport. Kenmerk 11203669-000-ZKS-0006.
- Oost, A., Cleveringa, J., Taal, M. (2020). [Kombergingsrapport Friesche Zeegat. Pinkegat en Zoutkamperlaag](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11205229-001-ZKS-0002.
- Elias, E., Cleveringa, J. (2021). [Kombergingsrapportage Lauwers en Groninger Wad](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11206799-002. Versie 2.3.
- Cleveringa, J., Elias, E. (2022). [Kombergingsrapportage Eierlandse Gat](#). Deltares-Arcadis rapport. Kenmerk: 11208040-002-ZKS-0001. Versie: 0.7.

#### Sedimentbalansen

- Smits, B., Nederhoff, K. (2018). [Meso schaal volumebalans Westelijke Waddenzee](#). Deltares rapport. Kenmerk 11202177-000-ZKS-0007.
- Elias, E. (2019). [Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee](#). Deltares rapport. Kenmerk 11203683-001-ZKS-0002.

#### Data op orde

- Elias, E. (2018). [Een inventarisatie van beschikbare bodemdata in de Westelijke Waddenzee](#). Deltares memo. Kenmerk 11202190-000-ZKS-0006.
- Elias, E., Vermaas, T. (2019). [Waddenzee Vaklodingen: data op Orde; Een inventarisatie van de vaklodingen \(1984-2019\)](#). Deltares rapport. Kenmerk 11203669-006-ZKS-0001.

#### Overig

- Nederhoff, K., Smits, B., Wang, Z.B. (2017). [KPP Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Data analyse hypsometrie en getij](#). Deltares rapport. Kenmerk 11200521-000-ZKS-0002.
- Oost, A., van Buren, R., Kieftenburg, A. (2017). [Overview of the hydromorphology of ebb-tidal deltas of the trilateral Wadden Sea](#). Deltares rapport. Project 1200926-000.
- Wang, Z.B., Nederhoff, K. (2018). [Witboek: Het sedimentdelende systeem van de Nederlandse Waddenzee](#). Deltares rapport. Kenmerk 11202177 -000-ZKS-0009.
- Grasmeijer, L. Jaksic, J. Vroom (2022). [Verkenning morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee](#). Kenmerk: 11208040-005-ZKS-0001. Versie: 1.2.

## D.2 Vaargeulonderhoud en baggeren

- Quataert, E. (2017). [Prognose Baggervolume Waddenzee Tool: V 2017.1](#). Excelbestand.
- van den Boogaard, H., van Kessel, T. (2018). [Prognose baggerhoeveelheden Waddenzee](#). Deltares memo. Kenmerk 11202177-000-ZKS-0015.
- L. de Wit, D. Mastbergen (2022). [Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee](#). Deltares memo. Kenmerk: 11208040-012-ZKS-0001. Versie: 0.1.
- H. van der Vegt, J. Cleveringa (2022). [Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee](#). Deltares-Arcadis rapport. Kenmerk: 11208040-009-ZKS-0003. Versie: 0.1.

### Vaargeul Boontjes (2021-2022)

- Colina Alonso, A., Smits, B., Vroom, J. (2021). [Stijging baggerhoeveelheden vaargeul Boontjes](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11206799-007-ZKS-0001. Versie 1.0.
- Smits, B. (2022). [Modelberekeningen morfologische studie Vaargeul Boontjes](#). Deltares memo. Kenmerk: 11208040-004-ZKS-0001. Versie 2.0.
- B. Smits, J. Vroom, R. van Weerdenburg, A. Colina Alonso (2022). [Morfologie en Onderhoud Vaargeul Boontjes](#). Kenmerk: 11208040-004-ZKS-0004. Versie 1.0.

### Vaargeul Holwerd-Ameland (2020-2021)

- Grasmeijer, B., van Weerdenburg, R. (2020). [Evaluatie Bochtafsnijding Vaarweg Ameland](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11205229-006-ZKS-0002. Versie 1.1.
- Grasmeijer, van Weerdenburg, R., van Kessel, T. (2021). [Invloed baggerstrategie op slibconcentraties en baggervolumes vaarweg Holwerd-Ameland](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11206799-006-ZKS-0001. Versie 0.7.

### Overig

- van Til, S.W. (2018). [Getijdemeanders in kombergingsgebied Borndiep](#). Arcadis rapport.

### Pilot Westgat (2019-2020)

- Vermaas, T., Elias, E. (2019). [Werking van het Friesche Zeegat; Morfologie en hydrodynamica](#). Deltares rapport. Kenmerk 11203669-000-ZKS-0005.
- Elias, E., Vermaas, T. (2020). [Evaluatie Pilot Westgat: Een analyse van de stroming en sedimenttransport in de verdieping](#). Deltares rapport. Kenmerk 11203669-005-ZKS-0002.

## D.3 Basismonitoring

- Willem Stolte, Julia Vroom, Giorgio Santinelli, Jelmer Veenstra, Claire van Oeveren, Vincent van Zelst, Jasper Dijkstra (2022). [Systeemrapportage Abiotiek Wadden, concept 0.61. Natuurmonitoring, onderdeel morfologie](#). Deltares website.
- Ecotopen- en habitatkaart
  - Smits, B. (2021). [Bepaling van ruimtelijke begrenzingen voor habitatkaart Waddenzee](#). Deltares memo. Kenmerk: 11206799-003-ZKS-0001.
  - van Weerdenburg, R. (2021). [Modelparameters Ecotopenkaart Waddenzee](#). Deltares memo. Kenmerk: 11206799-003-ZKS-0003.
  - van Weerdenburg, R. (2021). [Modelparameters Ecotopenkaart Waddenzee 2022](#). Deltares memo. Kenmerk: 11208040-011-ZKS-0001. Versie 1.0.
- Dijkstra, J. (2022). [Digitale Systeemrapportage Waddenzee Rapportage user case beheer en onderhoud](#). Deltares memo. Kenmerk: 11208040-003-ZKS-0002. Versie 1.0.
- Dijkstra, J. (2022). [Meet- en monitoringbehoefte](#). Deltares memo. Kenmerk: 11208040-003-ZKS-0002. Versie 0.3.

## D.4 KRW slib

### Slibdynamiek op schaal van de Waddenzee (2018-2020)

- Vroom, J., Herman, P., van Kessel, T. (2021). Brochure [Slibdynamiek in de Waddenzee](#). Deltares memo. Kenmerk: 11206799-004-ZKS-0002. Versie 0.2.
- Herman, P. et al. (2018). [Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model](#). Deltares rapport. Kenmerk 11202177-000-ZKS-0011.
- Vroom, J., van Weerdenburg, R., Smits, B., Herman, P. (2020). [Modellering slibdynamiek voor de Waddenzee. Kalibratie voor KRW slib](#). Deltares rapport. Kenmerk 11205229-001-ZKS-0001.
- Cleveringa, J., Dankers, P. (2019). [Slib in de Waddenzee - KRW, PAGW en modelstudies](#). Arcadis memo. Kenmerk 084043130 0.1.
- Smits, B., Vroom, J., Van Weerdenburg, R., Cleveringa, J., Dankers, P. (2020). [Analyse fysische processen Waddenzee Inzet numeriek model voor analyse systeemwerking en gevoeligheidsscenario's](#). Deltares-Arcadis-RHDHV rapport. Kenmerk: 1205229-002-ZKS-0003.
- Herman, P., Vroom, J., Smits, B., Van Weerdenburg, R., Van Kessel, T. (2020). [Slibdynamiek in de Waddenzee. Update conceptueel model 2020](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11205229-002-ZKS-0001.
- De Vries, B., Dankers, P., Vroom, J. (2018). [Slib in de Waddenzee. Een analyse en verklaring van de langjarige fluctuaties van sedimentconcentraties in water en bodem i.h.k.v. project KRW slib](#). RHDHV rapport. Referentie BG2802WATRP1812170918.
- Cleveringa, J. (2018). [Slibsedimentatie in de kwelders van de Waddenzee. Bijdrage aan de kwantificering van sinks voor slib in de Waddenzee i.h.k.v. project KRW Slib](#). Arcadis rapport. Referentie 083755930 0.1.
- Colina Alonso, A. (2020). [Evolutie van het bodemslib in de Waddenzee. Data analyse](#). Deltares rapport. Kenmerk 11205229-001-ZKS-0003.
- van der Wal, D. (2021). [Langjarige microfytobenthodynamiek in de Waddenzee uit MODIS Aqua/Terra satelliet remote sensing](#). NIOZ memo.
- Herman, P. (2021). [Analyse van relatie tussen microfytobenthos en gesuspendeerd slib](#). Deltares memo. Kenmerk: 11206799-004-ZKS-0001. Versie 0.3.
- Dankers, P. et al. (2019). [Voorstel nieuwe metingen slibhuishouding Waddenzee](#). RHDHV memo. Kenmerk: BG2802-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001.
- Vroom, J., Smits, B., Dankers, P., Cleveringa, J. (2020). [Memo Voorstel nieuwe meting zwevend stof Dantziggat](#). Arcadis memo. Kenmerk: D10005055:9

### Slibonttrekken

- Smits, T. van Kessel, F. van Rees, D. van Keulen, P. Herman (2022). [Verkenning invloed slibonttrekking Waddenzee op slibdynamiek en ecologie](#). Deltares rapport. Kenmerk: 11208040-010-ZKS-0001. Versie: 1.0.

## E Input vanuit samenwerkdag

Op de samenwerkdag is een eerste versie van de actualisatie van het meerjarenonderzoeksprogramma gepresenteerd. Voorafgaand is om input gevraagd van de aanwezigen. Op de vraag 'Waar moeten we komende jaren binnen Kennis voor B&O Waddenzee aan werken?' werd geantwoord:

### Plaat-/geulontwikkeling en meer grootschalige morfologie

- Ontwikkeling van hypsometrische curves per bekken en door de tijd
- Ontwikkeling van de geulen, gericht op bereikbaarheidsvraagstukken
- Ontwikkeling geulen en platen op mesoschaal
- Gevolgen morfologische ontwikkeling voor taken RWS: vaargeulonderhoud, natuurwaarden, waterveiligheid
- Doorwerking historische ingrepen op hydraulische en morfologische trends
- Uitwerking morfologische implicaties spijkermetingen; geven inzicht in o.a. variaties in plaathoogte.

### Zeespiegelstijging

- Inzicht in morfologische respons – per komberging – op zeespiegelstijging. Zand-slib balans. Ontwikkeling arealen.
- Verdrinken versus verzanden
- Strategie hoe omgaan met meegroeien kustfundament (gericht op zandsuppleties)
- Meer kennis zand-slib budgetten (verleden) en zand-slib respons op zss
- Sedimentbalans, invloed zoutwinning, geologie in Delft3D, ontwikkeling geulen/platen mesoschaal, meegroeivermogen
- Kritische snelheid zeespiegelstijging, verschillen in transport/morfologie/reactie op zss tussen zand en slib

### Rol slib, zand/slibvraagstukken

- Rol slib in het systeem (ecologisch, sedimentbalans, beschikbaarheid, etc). Mijn beeld is dat de beelden hierover sterk uiteen lopen. Daarom zijn er ook verschillende beelden over werken met slib (wel niet onttrekken enz).
- Zand-slib, sedimenthuishouding
- Er steeds meer vraag om slib te onttrekken. Vergt nadere beleidskeuze: in hoeverre en hoeveel? Gevolgen meegroeien en ecosysteem of valt het allemaal wel wat mee?

### Overig:

- Ecosysteemgericht baggeren, stimuleren plaatgroei
- Procesgebaseerde modellen
- Transporten over het wantij
- Bestending van de rol van de systeemrapportages. Ze zijn van nut, maar wat is de lange termijn rol?
- Verder invullen en bijhouden digitale systeemrapportage (DSR), factsheets en kombergingsrapporten
- Inzicht in gedrag zout (relatie tot toenemende droogte/afvoer fluctuaties) tbv natuurwaarden/KRW
- Belangrijk punt is: beleid is nog geen opdrachtgever voor programma. Waddenacademie is aangewezen als kennisregisseur voor Waddengebied. Rol RWS daarin is nog niet helder.
- Betere onderbouwing verzanden versus verdrinken, voor formuleren basis strategie beheer en beleid.



Overige opmerkingen:

- Voor de thema's: Duurzaam baggeren, Natuuropgave en Lange termijn investeringen zou ik willen adviseren tijd te investeren in het helder krijgen van de aannamen die ten grondslag liggen aan huidige beleid en uitvoering. Die aannamen kunnen dan sturing/focus geven aan het onderzoek. Voorbeeld Slib: we nemen nu aan dat er slib voldoende is zowel op korte als lange termijn. Onderzoek zou zich ook kunnen richten op het toetsen van deze aanname.
- Belangrijke vraag: is slib ook delfstofwinning? En is land ophogen achter de kering "onttrekking", of is dat onderdeel van meegroeien van het systeem?
- Hoe staat het nu met de besluitvorming rond Westgat? Besluitvorming Westgat staat wat stil, vermoedelijk omdat drempel nu op natuurlijke wijze aardig op diepte blijft. In NWP is opgenomen dat er verdere besluitvorming nodig is, dus moet meer integraal worden opgepakt, dus ook voor andere buitendelta's met belangrijke scheepvaartroutes.

## F Input vanuit Natuurclub RWS-NN

Op 7 november 2022 heeft een digitaal overleg plaatsgevonden waarbij de volgende personen aanwezig waren: Heleen van der Velde (RWS-WVL), Lies van Nieuwerburgh (RWS-NN), Jette Bijlholt (RWS-NN), Ellen Farwick (RWS-NN), Jonna van Ulsen (RWS-WVL), Jurre de Vries (RWS-WVL), Ernst Lofvers (RWS-NN), Julia Vroom (Deltares), Jasper Dijkstra (Deltares), Lynyrd de Wit (Deltares).

Tijdens dit overleg is gesproken over onderwerpen die spelen bij de natuuropgave van het Waddengebied en die raakvlak hebben met de (abiotische) systeemkennis die wordt ontwikkeld en bijgehouden in Kennis voor B&O Waddenzee. Deze bijlage geeft een overzicht van de onderwerpen die zijn besproken.

Er zijn drie kaders voor de natuuropgaven, met bijbehorende tijdlijn:

- 1) Kaderrichtlijn Water: goede waterkwaliteit in 2027
- 2) Natura2000, nog geen datum voor vastgesteld, dit wordt waarschijnlijk 2030 en 2050. Instandhoudings- en verbeteropgaven
- 3) Programmatische Aanpak Grote Wateren: 2050. Systeemherstel om KRW en N2000 doelen te halen.

### Binnen de KRW speelt:

- Zeegrasherstel. Vanuit de KRW is er een doel voor arealen zeegras, die moeten worden hersteld.  
Ondergedoken zeegras kan zich in de Waddenzee waarschijnlijk niet ontwikkelen vanwege een gebrek aan licht. Het doorzicht moet dus verbeteren. Maar er is geen norm/doelstelling voor doorzicht. De vraag is of we de vertroebeling voldoende naar beneden kunnen brengen.
- Vis. Betreft vooral de vismigratie naar binnendijkse gebieden. Door de hoge vertroebeling in het Eems estuarium, heeft vis daar moeite naar bovenstroomse gebieden te trekken.
- Mosselbankherstel (vanuit de KRW en N2000). Het is nog onduidelijk hoe dit gestuurd gaat worden.

Men vraagt zich af of de effecten van “tidesteuring” met het Eemsperrwerk op de vertroebeling in het Eems estuarium voldoende in beeld gebracht worden in de Duitse onderzoeken. Er wordt voor de Eems ook gewerkt aan een ecologische strategie voor sedimentmanagement, waar ons kennisprogramma mogelijk aan kan bijdragen.

### Binnen N2000 speelt:

- Wat zijn de verhoudingen tussen geulen en platen en veranderingen hierin en wat is de kwaliteit?
- Welke bodemfauna vinden we waar?
- Behoeft aan metingen (bodemmonsters, primaire productie, vertroebeling, effecten garnalenvisserij)
- Wat is de hersteltijd voor soorten na ingrepen?
- Hoe heeft baggeren het systeem (blijvend) veranderd?

Er is een verschil tussen bodemberoerende visserij in hoogdynamische en laagdynamische gebieden, maar het effect op vertroebeling is niet bekend.

Er mag nu geen baggerspecie verspreid worden in laagdynamische gebieden, maar als hier toch baggerspecie terecht komt, wat is dan het effect op de ecologie?

Wat zijn de effecten van schelpenwinning en kabels en leidingen? Wat is het belang van schelpen voor de ontwikkeling van onbewoonde eilanden, die belangrijke broedgebieden vormen?

Wat is het effect van verminderd spuien op de saliniteitsverdeling in de Waddenzee en de ecologie? Hoe kunnen we zoet-zout overgangen verbeteren?

Binnen de PAGW speelt:

PAGW richt zich op systeemherstel om de KRW en N2000 doelen te halen. Een belangrijk project betreft het openen van het Lauwersmeer. Wat is daarvan het effect op de zoutverdeling in de Waddenzee? Bij de Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk is nauwelijks gekeken naar het effect hiervan op de saliniteitsverdeling in de Waddenzee (of meer specifiek het Balgzand). Er zijn geen modelberekeningen uitgevoerd.

De PAGW werkt in 2023 aan een streefbeeld (Robert Zijlstra en Sonja vd Graaf van RVO). Er moet meer onderwaternatuur en meer gradiënten komen, en we moeten kennis ontwikkelen over de effecten daarvan. Het Lauwersmeer is een van de grootschalige verbindingen die mogelijk wordt hersteld. Het is de verwachting dat er in 2023 meer kennisvragen zullen oppoppen.

Er is een link tussen het nieuwe beheerplan voor de Waddenzee en de PAGW streefbeelden.

Overig:

Er zijn meerdere initiatieven over het onttrekken van slib, maar het is onduidelijk welke strategie RWS hier moet hanteren. Hiernaar wordt op dit moment ook binnen Kennis voor B&O Waddenzee een verkenning door Deltares uitgevoerd.

Deltares geeft nog aan:

- Voor circa een derde van het baggervolume wordt agitatie-baggeren als techniek toegepast. Dit leidt tot grotere vertroebeling dan traditioneel baggeren en verspreiden. Het effect hiervan zou beter onderzocht kunnen worden.
- Modelmatig kunnen we saliniteitsverdeling berekenen. Voor de ecologie is het van belang dat de grenswaarden voor organismen kennen, zodat we modellen daarop kunnen afregelen. Ook ontbreken er saliniteitsmetingen in de Waddenzee om het model mee te kalibreren/valideren. Ook afvoergegevens van kleinere spuumiddelen zijn slecht bekend of ontsloten.

# G Deltaprogramma Wadden

Kennisvragen DPW (2019):

## **Natuurlijke (zandige) systeem (morfologie, hydrodynamica) van de Wadden**

- Leidt de stijging van de zeespiegel tot een fundamenteel andere dynamiek? [getij, golfklimaat]
- Wat is een houdbare strategie voor het transport gelimiteerde deel van de Waddenzee? Suppleties of aanleg van zandbanken in de Waddenzee zelf?
- Wat betekent de grotere zandvraag voor de koppen en staarten van de eilanden? Als daar namelijk areaal verlies verwacht wordt dan is dit wel vermeldenswaardig.
- Vervolg verkenning van Deltares en onderzoek Waddenacademie [aangroei intergetijdengebied]
- Nadere uitwerking van de snelheid ZSS en kantelmomenten in Waddengebied
- Wat zijn de morfologische en ecologische responsen

## **Primaire waterkeringen langs de Waddenzee**

- Wat is de invloed van de zss op deze waterkeringen (een andere morfologie geeft ook naast de zeespiegelstijging sec ook nog extra verzwaarde golfbelastingen)
- Vragen ZSS:
  - Invloed op voldoen normen in 2050?
  - Impact (na 2050) op faalkans, beheer & onderhoud, vervangingsmoment, ruimtebeslag;
  - Wat is nodig om te zorgen dat de keringen bestand zijn tegen een zeespiegelstijging van 1 m (2100), 2 m (2100 of 2150)
- Wat betekent ZSS van 3 m of meer voor individuele waterkeringen en voor het systeem als geheel? Kunnen de waterkeringen daar nog op worden aangepast of is er een (volledig) andere (systeem)benadering noodzakelijk?
- Wat betekent de zeespiegelstijging voor het buitendijks gebied?

## **Langere termijn**

- Wat zijn de implicaties van hogere zss voor het achterland van de primaire waterkeringen, met onder meer aandacht voor de watersystemen en het doorspoelen ivm zoutbezwaar.

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

**Deltares**

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