

De toekomst van Hand aan de Kraan omgaan met onzekerheden

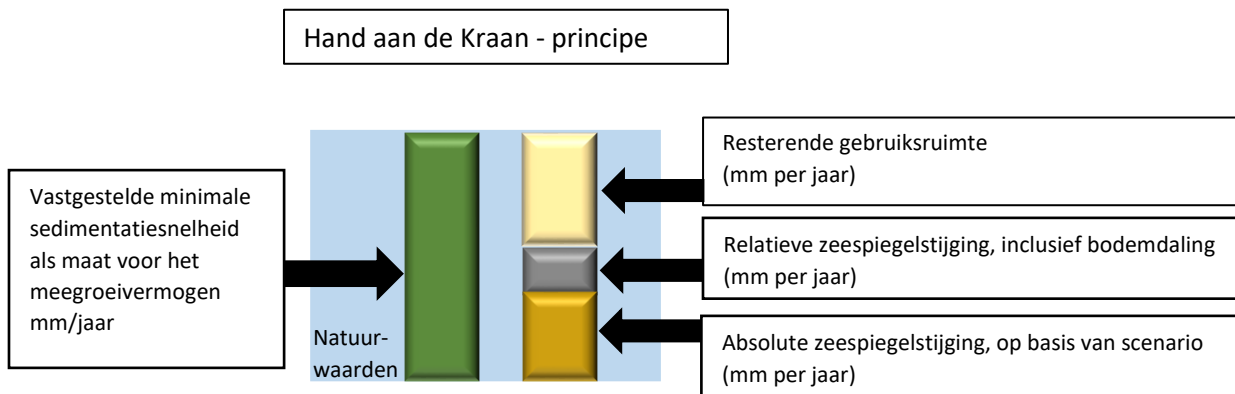
Geschreven door het Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee

Datum: 8 januari 2021

Samenvatting van de evaluatie en adviezen

Zowel in de Nederlandse politiek als bij maatschappelijke partijen bestaat er brede consensus dat er als gevolg van diepe delfstofwinning geen significante negatieve gevolgen mogen optreden voor de beschermde natuurwaarden van het Natura 2000- en werelderfgoed-gebied van de Waddenzee, inclusief aangrenzende Natura 2000-gebieden.

Een centrale rol in het bewaken van dit beleid is weggelegd voor het zogenaamde Hand aan de Kraan (verder aangeduid als HadK) principe, dat stamt uit 2006 en voorschrijft welke ruimte er bestaat voor delfstofwinning zonder dat het bovengenoemde fundamentele uitgangspunt wordt aangetast. Het HadK-principe bestaat uit een drietal parameters: meegroeivermogen, zeespiegelstijging en bodemdaling door delfstoffenwinning. Het meegroeivermogen is gedefinieerd als het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied om de relatieve zeespiegelstijging op de lange termijn (over gemiddeld 19-jaarlijkse perioden) bij te houden terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans van de Waddenzee in stand blijven. Als dit evenwicht in stand blijft, inclusief de bodemdaling die veroorzaakt wordt door de delfstoffenwinning, dan wordt aangenomen dat de natuurwaarden van de Waddenzee niet worden aangetast. Dit houdt in dat de bodemdaling door delfstoffenwinning niet zichtbaar wordt in de Waddenzee omdat die ter plaatse gecompenseerd wordt door afzetting van extra sediment. Om zeker te zijn dat er niets verandert aan de natuurwaarden wordt dit voortdurend geobserveerd middels de meet- en monitoringsprogramma's voor de gas- en voor de zoutwinning.



Figuur S-1. Overzicht van de parameters in het HadK-principe. De bodemdalingssnelheid (grijs) en zeespiegelstijging (geel) worden tezamen per jaar vergeleken met het vastgestelde meegroeivermogen (groen).

Het HadK-principe krijgt sinds 2006 vorm middels jaarlijkse rapportages door de operators, jaarlijkse adviezen van de auditcommissies Gaswinning en Zoutwinning over de monitoringsresultaten van de gas- en zoutwinning, en een vijfjaarlijkse herziening voor de gebruikte zeespiegelstijgingsscenario's. In het laatste advies van de Auditcommissie Gaswinning over de evaluatie van de monitoringsresultaten van de gaswinning van de afgelopen 5 jaar, adviseert zij¹ om te onderzoeken of het HadK-principe toereikend is om de mogelijke langetermijngevolgen voor de beschermde natuurwaarden te bewaken. Het ministerie van Economische Zaken heeft daarop dit wetenschappelijk adviescollege gevormd met de opdracht voor het onafhankelijk wetenschappelijk toetsen van:

- de effectiviteit van het Hand aan de Kraan-principe om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen; en

¹ Kamerstuk 29684, nr. 201

- de vraag of het Hand aan de Kraan-principe toereikend is om de mogelijke langetermijngevolgen voor de beschermde natuurwaarden van het Waddengebied te beheersen.

Het adviescollege heeft tijdens een (in verband met de Covid19 pandemie) online startbijeenkomst kennisgenomen van de standpunten van Nederlandse Unesco Commissie, SodM, Deltares en het KNMI over de werking van de HadK voor de mijnbouwactiviteiten in de Waddenzee. De standpunten van Deltares en het KNMI waren hierbij vooral inhoudelijk van aard voor wat betreft de zeespiegelstijging en het meegroeivermogen (sedimentatie) in de Waddenzee. SodM heeft het toezichtbeleid voor de Waddenzee toegelicht. De Nederlandse Unesco Commissie heeft naast mondeling een schriftelijke toelichting over de afspraken over het behoud van werelderfgoed Waddenzee gedeeld, waarin zij de reactie van het Werelderfgoedcentrum van Unesco in Parijs heeft meegenomen (Bijlage 2). De Waddenvereniging heeft ook een schriftelijke bijdrage met het adviescollege gedeeld (Bijlage 2).

De afgelopen jaren hebben zowel maatschappelijke als politieke partijen, binnen en buiten de Tweede Kamer, hun bezorgdheid geuit over de mogelijkheid dat ondanks de geldende voorzorgen er schade wordt aangebracht aan de beschermde natuurwaarden. Deze zorgen spitsen zich vooral toe op de kwaliteit van de meet- en monitoringprogramma's, de cumulatieve effecten, de juistheid en nauwkeurigheid van modelvoorspellingen (o.a. het na-ijlen van de bodemdaling), de juistheid en nauwkeurigheid van de remwegscenario's bij ingrijpen in de delfstoffenwinning en het voorzorgsbeginsel.

Het adviescollege heeft kennisgenomen van de standpunten van de betrokken partijen en van de zorgen die ze hebben. Vervolgens heeft het adviescollege gekeken naar de (juistheid van de) wetenschappelijke fundering van het HadK principe en een uitgebreid literatuur assessment gedaan van de effectiviteit daarvan in de praktijk en voor de toekomst. Dat laatste is relevant gezien de zich snel wijzigende omstandigheden in de Waddenzee, vooral met betrekking tot de stijgende zeespiegel door klimaatverandering.

Het is van belang hier op te merken dat het adviescollege zich in dit advies heeft beperkt tot de wetenschappelijke discussie conform de verstrekte opdracht. Andere aspecten, zoals de juridische of bestuurlijke context van de HadK, blijven daarom buiten beschouwing. Het is aan het ministerie om de adviezen die in dit rapport worden gegeven om te vormen tot beleid, inclusief de bestuurlijke en juridische gevolgen.

Hand aan de Kraan-principe

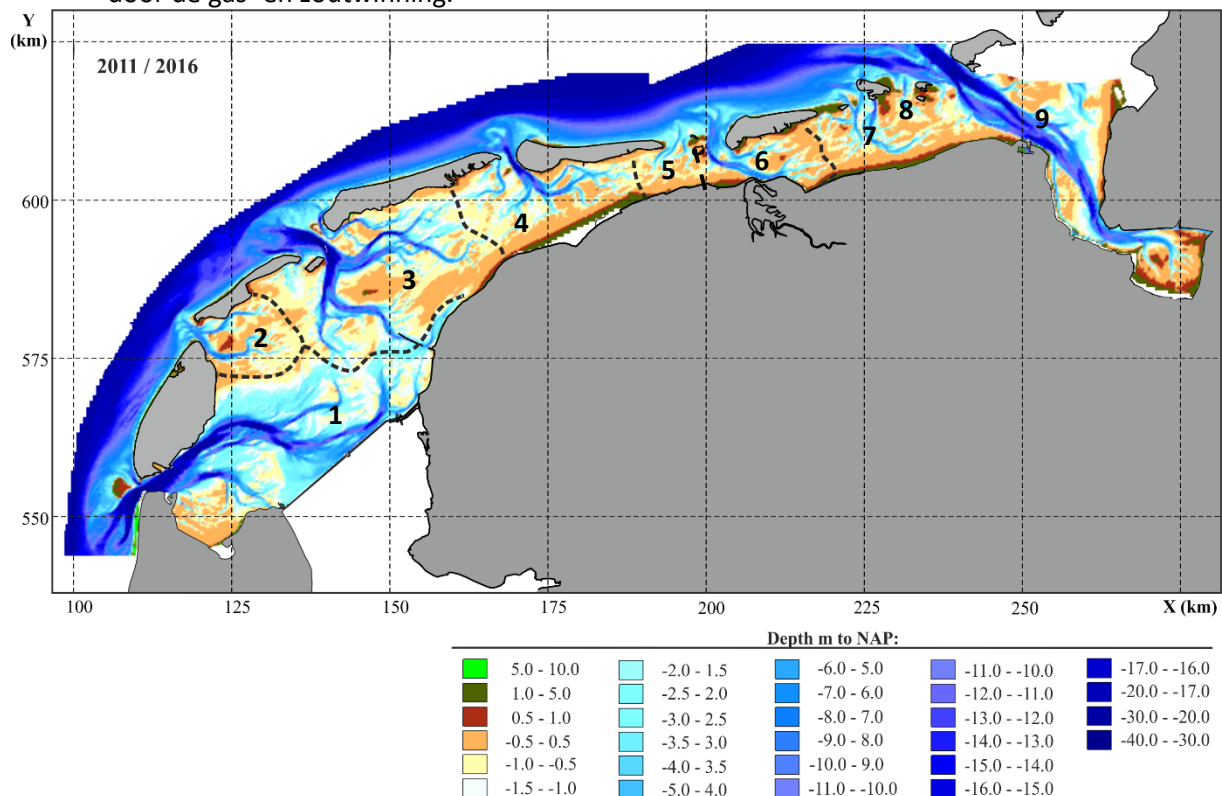
Ten aanzien van de effectiviteit van het HadK-principe om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen komt het adviescollege tot de conclusie dat het HadK-principe voor de gaswinning, mede gezien de ervaringen van de afgelopen 15 jaar delfstoffenwinning in de Waddenzee, volstaan heeft. In de context van de zoutwinning heeft het adviescollege echter twijfel over de effectiviteit van de toepassing van de HadK. Zij constateert dat er vooral ten aanzien van het meegroeivermogen als ook ten aanzien het meet- en monitorprogramma kritische vragen te stellen zijn (zie hoofdstukken 5.3 en 6). Daarbij kan aangetekend worden dat er nog geen ervaring is opgedaan met zoutwinning in de Waddenzee en de werking van de HadK hierbij, omdat deze pas recent is gestart (september 2020).

Ten aanzien van de vraag of het HadK-principe ook toereikend is in het licht van toekomstige ontwikkelingen, concludeert het adviescollege dat de onzekerheden ten aanzien van de verschillende elementen van HadK voor de langere termijn aanzienlijk zijn. In dat licht is het wenselijk om het HadK-principe uit te breiden met een betere analyse van de onzekerheden die de verschillende elementen van HadK kenmerken. Het adviescollege concludeert dat alleen voor bodemdaling, en tot op zekere hoogte zeespiegelstijging, die onzekerheid gedegen en kwantitatief in

kaart is gebracht; voor de andere elementen van HadK (het meegroeivermogen van de sedimenthuishouding, en de natuurwaarden) dient naar de mening van het adviescollege een soortgelijke onzekerheidsanalyse toegevoegd te worden, vooral gezien de grotere onzekerheden in de toekomst. Naar de mening van het adviescollege is het huidige HadK-principe toereikend totdat een nieuwe versie van het HadK-principe kan worden geformuleerd die meer rekening houdt met alle onzekerheden. Daarnaast zouden de verschillende elementen van HadK regelmatig dan eens in de vijf jaar moeten worden geëvalueerd: in het geval van zeespiegelstijging is jaarlijkse evaluatie van de nieuwste inzichten nodig. Indien nodig kan dit leiden tot een tijdige bijstelling van het gebruikte richtscenario voor zeespiegelstijging in de HadK.

Het adviescollege adviseert specifiek om:

- te onderzoeken hoe een verbeterde HadK-methodiek, die rekening houdt met de niet geringe onzekerheden, ontwikkeld en toegepast kan worden. Dit is een complex vraagstuk waarbij een zorgvuldige probleemstelling vereist is, maar het adviescollege denkt dat dit toch de moeite waard is omdat de voorgestelde probabilistische aanpak, mogelijk gecombineerd met scenario's, beter rekenschap geeft van de wetenschappelijke onzekerheden en risico's. Hierbinnen passen ook de extreme scenario's waardoor deze methodiek het maatschappelijk debat kan verhelderen alsook meer vertrouwen kan geven in de bescherming van de natuurwaarden van de Waddenzee, ook bij snellere zeespiegelstijging dan waarmee nu rekening wordt gehouden.
- een norm te ontwikkelen, vergelijkbaar aan waterveiligheid, die alle bovengenoemde aspecten integreert en het risico uitdrukt op aantasting van natuurwaarden in de Waddenzee door de gas- en zoutwinning.



Figuur S-2. Topografie van de Waddenzee met de kombergingsgebieden: 1=Marsdiep, 2=Eijerlandse Gat, 3=Vlie, 4=Borndiep, 5=Pinkegat, 6=Zoutkamperlaag, 7= Lauwers, 8=Schild, 9=Eems-Dollard. Bodemdaling door gaswinning vindt vooral plaats in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag. Door de gaswinning van Zuidwal is er ook bodemdaling door gaswinning in de kombergingen Marsdiep, Eijerlandse Gat en Vlie. Door de gaswinning van Groningen is er bodemdaling door gaswinning in de komberging Schild en de Eems-Dollard. Daarnaast is er zoutwinning in de komberging Vlie. Kombergingen Pinkegat, Zoutkamperlaag en Vlie vallen onder de HadK.

Bodemdaling door delfstoffenwinning

Het adviescollege concludeert dat het bodemdalingsmeetnet boven de gasvelden is ingericht volgens actuele wetenschappelijke inzichten. In de meest recente interpretaties van bodemdaling voor de gaswinning wordt een state-of-the-art methode gebruikt waar de onzekerheden (ook het na-ijlen van bodemdaling) volledig worden meegenomen. Voor de zoutwinning is de productie nog niet gestart, het meetnet is echter al voorbereid. Overigens bevinden zich de velden waar gas en zout wordt gewonnen binnen de HadK in verschillende delen van de Waddenzee en kunnen dus onafhankelijk van elkaar worden beoordeeld.

Zeespiegelstijging

Het zeespiegelscenario voor de Waddenzee bestaat uit een korte termijn deel (beleidsscenario) en een lange termijn deel (richtscenari). Het beleidsscenario wordt veelal gebaseerd op gemeten waarden van zeespiegelstijging (wereldwijd of langs de Nederlandse kust). Het richtscenari is gebaseerd op zeespiegelstijgingsscenario's voor de Nederlandse kust. Het zeespiegelscenario wordt elke vijf jaar herzien in het licht van de meest recente inzichten. Het adviescollege oordeelt dat een vijfjaarlijkse herziening acceptabel is, mits deze is gekoppeld aan een jaarlijkse monitoring van zowel de nieuwste wetenschappelijke inzichten in zeespiegelstijging als van de feitelijke zeespiegelverandering.

Ruwweg kan men stellen dat tot aan 2030 de onzekerheden ten aanzien van zeespiegelstijging door de lokale en regionale variabiliteit in het Nederlandse deel van de Waddenzee domineren. Na 2030 wordt dit geleidelijk overgenomen door onzekerheden in de klimaat- en zeespiegelmodellen. Aangezien de lokale en regionale variabiliteit op de korte termijn domineert adviseert het adviescollege om rekening te houden met deze onzekerheden in de definitie van het beleidsscenario. De mate van succes bij de terugdringing van broeikasgasemissies voor de komende 25 jaar blijft onduidelijk en zorgt voor aanzienlijke onzekerheid in zeespiegelscenario's. Het is dus van belang om de vinger aan de pols houden en waar nodig tijdig bij te sturen. Hierbij moet een keuze gemaakt worden voor een klimaatsscenario dat het meest waarschijnlijk is. Als eenmaal een klimaatsscenario is gekozen, met onzekerheidsband, dan adviseert het adviescollege om probabilistisch te werk te gaan voor wat betreft het projecteren van de diverse invloeden op de zeespiegel. Daarnaast beveelt het adviescollege aan om, in het licht van de snel veranderende inzichten in de verschillende klimaat- en zeespiegelscenario's, de in de HadK gebruikte scenario's op dit punt jaarlijks te evalueren. Indien nodig leidt dit tot een tijdige bijstelling. Dat is ook in lijn met het steeds verder toenemend inzicht in de omvang van de zeespiegelstijging in de Waddenzee, en de effecten van korte termijn variabiliteit op schalen korter dan 20 jaar.

Meegroeivermogen en sedimentatie

In het HadK-principe is het meegroeivermogen gedefinieerd als het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied om de relatieve zeespiegelstijging op de lange termijn (over gemiddeld 19-jaarlijkse perioden) bij te houden, terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans van de Waddenzee in stand blijven. Vanuit het voorzorgprincipe is gekozen voor veilige (lage) schattingen, soms ook aangeduid met ondergrens. Voor het bepalen van het meegroeivermogen is gebruik gemaakt van 1) geologische studies, 2) meetgegevens, en 3) modelstudies. Na de vaststelling van het meegroeivermogen in 2006 voor de gaswinning, en in 2013 voor de zoutwinning, is het meegroeivermogen niet meer geëvalueerd. Er zijn aanwijzingen dat het meegroeivermogen kan veranderen als gevolg van suppleties aan de Nederlandse kust en toekomstige zeespiegelstijging. Daarnaast is het meegroeivermogen nu gebaseerd op een gemiddelde van een kombergingsgebied en gelijkgesteld voor zand en slib, terwijl het op theoretische gronden aannemelijk is dat er verschillen zijn tussen zand en slib omdat zand eerder aan het begin van een bekken (bij het zeegat)

neerslaat in tegenstelling tot slib. Ook over het meegroeivermogen kunnen dus nieuwe inzichten ontstaan, die mogelijk aanpassingen vragen aan het huidige gebruik in de HadK.

Het adviescollege adviseert om het HadK-principe aan te vullen door voor het meegroeivermogen een eenduidig vast te stellen waarde te bepalen inclusief onzekerheden (te bepalen op grond van modelering van de kritische zeespiegelstijging voor verdrinking). Het adviescollege adviseert verder deze waarde vooraf te evalueren om te toetsen of hiermee tijdig genoeg mogelijke risico's voor aantasting van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee ingeschat kunnen worden.

Natuurwaarden wadplaten Waddenzee

Het HadK-principe moet ervoor zorgdragen dat er geen schade wordt veroorzaakt aan de natuurwaarden in de Waddenzee. De meet- en observatieprogramma's zijn een extra zekerheid bovenop het gedefinieerde meegroeivermogen. Met deze programma's worden indicatoren gemeten die inzicht geven in de mogelijke gevolgen van de delfstoffenwinning.

Het adviescollege constateert dat de lopende meetprogramma's voor gas- en zoutwinning een schat aan informatie aandragen waarmee de effectiviteit van het HadK-principe voortdurend getoetst wordt. Daarbij geldt dat er bij redelijke wetenschappelijke twijfel over het effect van de delfstoffenwinning op de natuurwaarden 'aan de kraan' moet worden gedraaid. Het adviescollege is echter van mening dat er geen hanteerbare definitie is gegeven van wat redelijke twijfel is.

Daarnaast is er geen onderzoek verricht naar de mogelijkheid om aan de hand van bestaande monitoringdata door te rekenen hoe sterk een verandering in welke natuurwaarden moet zijn om als een effect van delfstofwinning zichtbaar te worden (dus om als signaal boven de achtergrondruis uit te komen). Dit maakt het lastig om een verandering in natuurwaarden binnen de bodemdalingsschotels ten opzichte van ontwikkelingen in de referentiegebieden toe te wijzen aan de delfstoffenwinning. Ook wordt er bij de effectenbeoordeling geen rekening gehouden met cumulatieve effecten, waaronder die als gevolg van klimaatverandering (met uitzondering van zeespiegelstijging) en verstoring. Deze effecten vormen geen onderdeel van de monitoringprogramma's rond de gas- en zoutwinning. Veel van deze gegevens zijn wel beschikbaar of beschikbaar te maken; wat ontbreekt is een geautomatiseerde bewerking en interpretatie van de verschillende gegevensbronnen, bijvoorbeeld aan de hand van "machine learning".

Het adviescollege beveelt daarom aan om de bestaande meet- en monitoringprogramma's uit te breiden naar de gehele Nederlandse Waddenzee om ontwikkeling in indicatoren beter te kunnen vergelijken met voorspelde patronen als gevolg van de delfstoffenwinning. Daarnaast beveelt het adviescollege aan om een statistische analyse uit te voeren op (nader vast te stellen) sleutelindicatoren om een uitspraak te kunnen doen over het tijdig en betrouwbaar signaleren van effecten van delfstofwinning voor de natuurwaarden.

Inhoud

Samenvatting van de evaluatie en adviezen	2
1 Achtergrond adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Vraagstelling	9
1.3 Werkwijze adviescollege	10
2 Inleiding advies	12
3 Bodemdaling	16
3.1 Wetenschappelijke stand van zaken bodemdaling	16
3.2 Mening adviescollege over gebruik bodemdaling in de HadK	17
3.3 Aanbevelingen voor het gebruik van bodemdaling in de HadK	18
4 Zeespiegelstijging	19
4.1 Wetenschappelijke stand van zaken	19
4.1.1 Zeespiegelscenario's voor de Waddenzee	19
4.1.2 Gemeten zeespiegelstijging in de Waddenzee	21
4.2 Mening adviescollege panel over gebruik zeespiegel in de HadK	22
4.3 Aanbeveling voor het gebruik zeespiegel in de HadK	23
5 Meegroeivermogen en sedimentatie	24
5.1 Huidige wetenschappelijke stand van zaken meegroeivermogen	24
5.2 Mening adviescollege over gebruik meegroeivermogen in de HadK	29
5.3 Aanbeveling voor het gebruik van meegroeivermogen in de HadK	29
6 Natuurwaarden wadplaten Waddenzee	31
6.1 Toepassing natuurwaarden in de HadK	31
6.1.1 Gaswinning	31
6.1.2 Zoutwinning	33
6.1.3 Cumulatieve effecten	35
6.2 Huidige wetenschappelijke stand van zaken	36
6.3 Mening adviescollege over gebruik natuurwaarden in HadK	37
6.4 Aanbeveling voor het gebruik van natuurwaarden in de HadK	38
7 Hand aan de Kraan – geïntegreerd	41
7.1 Meten, monitoren, en signaleren	42
7.2 Cumulatieve effecten	43
7.3 Onzekerheden	44
7.4 Norm	45

7.5	Slotconclusie.....	45
	Bijlage 1 Samenstelling van het adviescollege	48
	Bijlage 2 Bijdragen van andere partijen (Nederlandse Unesco Commissie, Waddenvereniging, SodM)	49
	Bijlage 3 Technische onderbouwing bodemdaling.....	51
B3.1	Monitoren van bodemdaling in de Waddenzee.....	51
B3.2	Modelleren en interpreteren van bodemdaling in de Waddenzee	52
	Gaswinning	52
	Zoutwinning.....	53
B3.3	Samenhang met het HadK-principe	53
B3.4	Aanbevelingen.....	54
B3.5	Referenties	54
	Bijlage 4 Technische onderbouwing zeespiegelstijging	58
B4.1.	Mondiaal gemiddelde zeespiegelprojecties vergeleken met zeespiegelprojecties voor de Waddenzee.....	58
B4.2.	Effecten van een mogelijk versnelde afsmelt van de West-Antarctische ijskap.....	60
	Bijlage 5 Technische onderbouwing natuurwaarden.....	61
B5.1	Natuurwaarden Waddenzee	61
B5.2	Activiteiten binnen Waddenzee	63
B5.3	Achtergrondinformatie natuurwaarden	63
B5.4	Hoofdlijnen van effecten (oorzaak-gevolg) ketens en beslisschema's voor natuurwaarden zoals beschreven in de Passende Beoordelingen en de Monitoringrapportages voor de aardgaswinning en de zoutwinning.....	67
B5.5	Referenties	69

1 Achtergrond adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee

1.1 Aanleiding

Zowel in de Nederlandse politiek als bij maatschappelijke partijen bestaat er brede consensus dat er als gevolg van diepe delfstofwinning geen significante negatieve gevolgen mogen optreden voor de beschermde natuurwaarden van het Natura 2000-gebied Waddenzee en werelderfgoed-gebied van de Waddenzee, inclusief aangrenzende Natura 2000-gebieden. Dit principe is voor het eerst opgenomen in het Rijksprojectbesluit voor Gaswinning uit de Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen gasvelden uit 2006². In de Derde Nota Waddenzee³ is het Hand aan de Kraan-principe (hierna: HadK) opgenomen als beleidslijn voor de delfstofwinning onder de Waddenzee. In 2020 is dit nog bevestigd in een brief aan de Tweede Kamer, waarin de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) nogmaals benadrukt dat het behoud van de natuurwaarden in de Waddenzee voorop staat.

Een centrale rol in het bewaken van dit beleid is weggelegd voor het zogenaamde Hand aan de Kraan principe (verder aangeduid als HadK), dat stamt uit 2006 en voorschrijft welke ruimte er bestaat voor nieuwe delfstofwinning zonder dat het bovengenoemde fundamentele uitgangspunt wordt aangetast. Het HadK-principe krijgt sindsdien vorm middels jaarlijkse rapportages door de operators, jaarlijkse adviezen van de auditcommissies Gaswinning en Zoutwinning over de monitoringsresultaten van de delfstofwinningen, en een vijfjaarlijkse herziening voor de gebruikte zeespiegelstijgingsscenario's. In het laatste advies van de Auditcommissie Gaswinning over de evaluatie van de monitoringsresultaten van de gaswinning van de afgelopen 5 jaar, adviseert zij⁴ om te onderzoeken of het HadK-principe toereikend is om de mogelijke langetermijneffecten voor de beschermde natuurwaarden te beheersen. In de kamerbrief van 20 april jl. werd de noodzaak aangeduid om de factoren die een belangrijke rol spelen binnen het HadK-principe kritisch te blijven beschouwen, in lijn met de wens van de Tweede Kamer⁵.

Het ministerie van EZK heeft daarop dit wetenschappelijk adviescollege gevormd met de opdracht de effectiviteit van het HadK-principe om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen, te beoordelen op inhoudelijke gronden. Deze evaluatie en het daarop gebaseerde advies wordt weergegeven in dit document.

1.2 Vraagstelling

Het adviescollege is ingesteld met een instellingsregeling waarin de taken van het adviescollege worden gespecificeerd. De opdracht aan dit adviescollege is tweeledig, namelijk het onafhankelijk toetsen van:

- de effectiviteit van het Hand aan de Kraan-principe om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen; en
- de vraag of het Hand aan de Kraan-principe toereikend is om de mogelijke langetermijneffecten voor de beschermde natuurwaarden van het Waddengebied te beheersen.

Het is van belang hier op te merken dat het adviescollege zich in dit advies heeft beperkt tot de wetenschappelijke discussie, conform de verstrekte opdracht. Andere aspecten, zoals de juridische of

² Rijksprojectbesluit Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, deel 1 en 2, 2006 en Gaswinning binnen randvoorwaarden. Passende beoordeling van het Rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, 20 januari 2006.

³ Uit 2007

⁴ Kamerstuk 29684, nr. 201

⁵ Motie Dik Faber c.s., kamerstuk 33529, nr. 739

bestuurlijke context van de HadK, blijven daarom buitenbeschouwing. Het is aan het ministerie om de adviezen die in dit rapport worden gegeven om te vormen tot beleid, inclusief de bestuurlijke en juridische gevolgen.

1.3 Werkwijze adviescollege

De bedoeling van de Tweede Kamer en de Minister van EZK is dat het Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee nog eens alle onderzoeken die de afgelopen jaren zijn gedaan tegen het licht houdt. De Minister van EZK zegde in de kamerbrief toe dat bij het werk van dit adviescollege de Organisatie der Verenigde Naties voor Onderwijs, Wetenschap en Cultuur (in de vorm van de Nederlandse Unesco Commissie), het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), Deltares en het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) betrokken zouden worden. Het adviescollege heeft tijdens een (in verband met de Covid19 pandemie) online startbijeenkomst kennisgenomen van de standpunten van deze organisaties over de werking van de HadK voor de mijnbouwactiviteiten in de Waddenzee. De standpunten van Deltares en het KNMI waren hierbij vooral inhoudelijk van aard voor wat betreft de zeespiegelstijging en het meegroeivermogen (sedimentatie) in de Waddenzee. SodM heeft het toezichtbeleid voor de Waddenzee toegelicht.

De Nederlandse Unesco Commissie heeft vervolgens ook schriftelijk haar inbreng gedeeld. Daarin werd aangegeven dat zij recent bezorgd is geworden over de status van de Waddenzee als werelderfgoed. Via het Werelderfgoed Centrum werd Unesco in 2019 op de hoogte gebracht van de bij derden levende zorg over de impact van delfstoffenwinning tezamen met nieuwe informatie over zeespiegelstijging door klimaatverandering. Daarnaast heeft Unesco begin 2020 een brief gestuurd naar de Nederlandse staat omdat door de Waddenvereniging via het Werelderfgoed Centrum zorgen waren geuit over het huidige HadK-principe voor delfstofwinning in de Waddenzee. Iets later in het evaluatieproces heeft de Waddenvereniging schriftelijk direct aan het adviescollege zijn inbreng geleverd. De Waddenvereniging geeft hierin aan dat na ruim 13 jaar ervaring met mijnbouw onder de Waddenzee duidelijk is geworden dat de toekomst voorspellen lastiger is dan gedacht. Ze vraagt zich af of we met het voortschrijdend inzicht van de afgelopen 13 jaar nog wel de noodzakelijke zekerheid hebben dat mijnbouw in de toekomst geen schade aan de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee gaat veroorzaken. In Bijlage 2 wordt de schriftelijke inbreng van genoemde partijen samengevat.

Naast de partijen die hierboven zijn genoemd, hebben individuele leden van het adviescollege contact gelegd met inhoudelijke experts op de gebieden van zeespiegelstijging, sedimentatie, kustsystemen, en meten en monitoring. Het conceptadvies is daarna opgesteld waarbij elke expert hoofdverantwoordelijk was voor het eigen hoofdstuk. De andere hoofdstukken zijn tot stand gebracht in onderlinge discussie. Het conceptadvies is vervolgens gedeeld met de eerder betrokken partijen (Waddenvereniging, de Nederlandse Unesco Commissie, SodM, Deltares en het KNMI) zodat zij tijdens een eindbijeenkomst uitgebreid commentaar konden leveren op het concept van de evaluatie en de adviezen. Het concept is daarna op punten aangevuld of verbeterd alvorens te komen tot het finale advies. Daarnaast hebben in een later stadium ook de auditcommissies voor gas- en zoutwinning de mogelijkheid gevraagd om een gesprek aan te gaan met het adviescollege over het advies in relatie tot de taken en ervaringen van beide commissies. Er is hier uiteindelijk gekozen voor een bijeenkomst aan het einde van het proces zodat de verantwoordelijkheid en onafhankelijkheid van zowel het adviescollege als de auditcommissies niet in het gedrang kon komen.

De werkzaamheden van het adviescollege bestonden uit een uitgebreid en kritisch review van de beschikbare literatuur, inclusief het nauwkeurig screenen van de uitgebreide rapportages van de auditcommissies. Daarbij ging gedurende de eerste fase de aandacht vooral uit naar de (modellering van) individuele processen, maar in een latere fase zeker ook naar hun samenhang. Bij dat laatste is een centrale vraag of de individuele modellen weliswaar veilige marges voorspellen, maar dat dit beeld in de samenhang van alle onderling variërende factoren mogelijk toch kan leiden tot overschrijding van de veiligheidsmarges.

Het adviescollege is meerdere keren bij elkaar geweest. Dit heeft vanwege de Covid19 maatregelen volledig online plaatsgevonden. Het adviescollege heeft hierbij diepgaande discussies gehad en is uiteindelijk unaniem tot dit advies gekomen.

Schijnbare discrepantie wetenschap en beleid

In de wetenschap is onzekerheid een basisbegrip, dat in het maatschappelijk debat geregeld tot misverstanden leidt. Een correcte omgang met onzekerheden en het ter sprake stellen ervan is belangrijk om (wetenschappelijk) vertrouwen te krijgen in uitkomsten. Dit lijkt in tegenspraak met veel beleid waar een zwart-wit uitspraak wordt verwacht. Voor HadK betekent dit dat er uitspraken moeten worden gedaan of de delfstoffenwinning wel of niet een impact heeft op de Waddenzee. Men zou dit kunnen interpreteren in de zin dat als er ook maar enige onzekerheid bestaat over deze impact dat dan, onder andere vanwege het voorzorgsprincipe, altijd de activiteit moet worden stilgelegd. In de praktijk betekent dit echter dat men vrijwel niets meer zou kunnen ondernemen in dit gebied, ook geen visserij, toerisme of soortgelijke activiteiten, want ook hiervan kan nooit worden uitgesloten dat er enige effecten zijn op de kwetsbare natuur van dit werelderfgoedgebied. Daarom werd in de passende beoordeling² de volgende formulering gebruikt: "Met inachtneming van deze randvoorwaarden bestaat er wetenschappelijk gezien (op basis van de best beschikbare informatie) redelijkerwijs geen twijfel dat er geen aantasting optreedt van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee." De crux zit in de zinsnede 'redelijkerwijs geen twijfel'. Dit geeft aan dat nooit is uit te sluiten dat er een (zeer minieme) kans kan bestaan dat er een effect is op de Waddenzee. Zolang deze kans zeer klein is wordt geconcludeerd dat er geen twijfel is dat er geen aantasting optreedt van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee. In dit advies wordt deze interpretatie in voorkomende gevallen meegewogen.

Vorzorgsbeginsel en unieke karakter van de Waddenzee

Ook vanuit het voorzorgsprincipe lijkt, gezien het unieke karakter, het ongewenst om activiteiten in de Waddenzee uit te voeren. In de documenten voor de nominatie van de Waddenzee als werelderfgoed⁶ wordt aangegeven dat alle mijnbouwactiviteiten onderworpen worden aan de meest strikte regels wereldwijd. Daarnaast zijn er internationale verdragen en (inter)nationale wetten waar mijnbouwactiviteiten aan gebonden zijn. Dit betreft o.a. de Mijnbouwwet⁷, het rijksprojectbesluit voor de Waddenzee², PSSA, OSPAR, AEW, MARPOL en de Ramsar en Bonn conventies⁶. Delfstoffenwinning in de Waddenzee, die al bestond voor de Waddenzee werelderfgoed werd, wordt geaccepteerd⁶ als dat past binnen de limieten (het zogenaamde meegroeivermogen) waarbij de mogelijke bodemdaling in de Waddenzee wordt gecompenseerd door de sedimentatie. Het principe van HadK staat aan de bakermat van deze uitspraken. Binnen de HadK wordt het voorzorgsprincipe uitgelegd als een conservatieve waarde voor het meegroeivermogen die de gebruiksruimte voor delfstoffenwinning markeert, naast een programma dat de natuurwaarden monitort om zeker te stellen dat het principe in de praktijk ook adequaat werkt. Dit systeem zorgt ervoor dat de delfstoffenwinning eerder zal worden beëindigd dan dat de Waddenzee werkelijk zal verdrinken (zie hiervoor hoofdstuk 5) en dat daarnaast de resultaten van de monitoring van de natuurwaarden ook kunnen leiden tot een aanpassing van de delfstoffenwinning (zie hoofdstuk 2 en hoofdstuk 6).

Na een nadere toelichting op het HadK-principe wordt in ieder van de volgende hoofdstukken de beschikbare literatuur per onderdeel tegen het licht gehouden. Daarna worden al deze factoren met elkaar in verband gebracht, om zo te kunnen komen tot een kritische afweging van het geheel. Meer inhoudelijke discussies of uitgebreidere onderbouwing van standpunten of concepten worden gedetailleerder uiteengezet in de bijlagen 3 t/m 5.

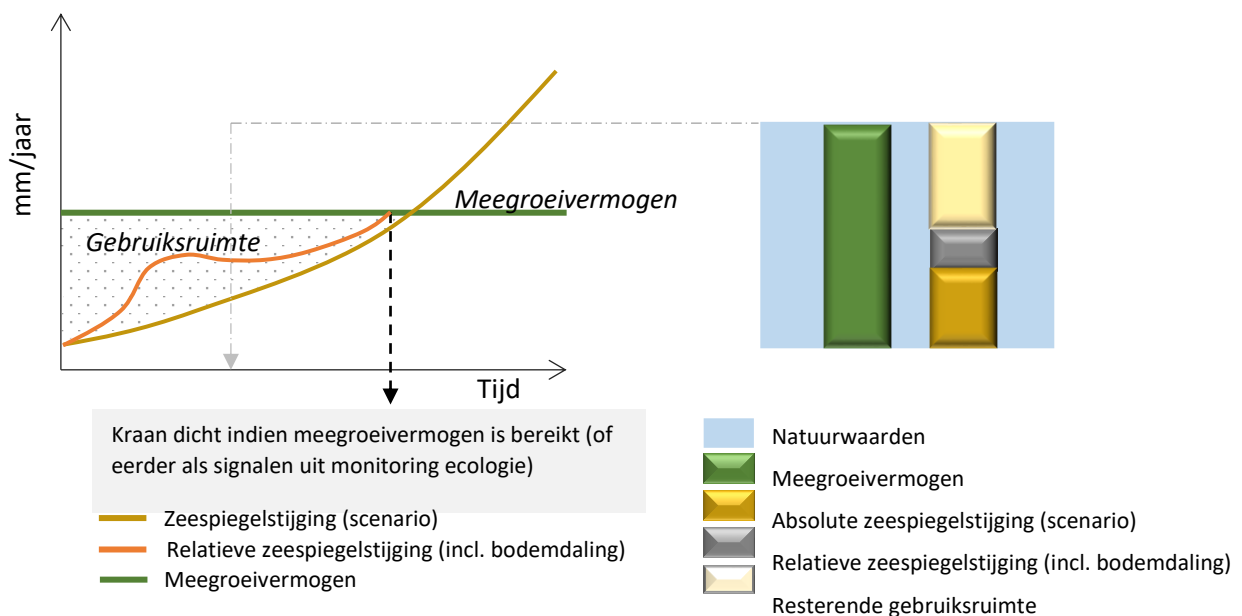
⁶ Nomination of the Dutch-German Wadden Sea as World Heritage Site, 2008

⁷ 2003

2 Inleiding advies

Voordat we ingaan op de parameters van HadK is het goed het principe iets nader te introduceren. Het HadK-principe is gedefinieerd in het Rijksprojectbesluit⁸ en de Passende beoordeling⁹ uit 2006. De Passende Beoordeling legt allereerst het volgende vast: "Met inachtneming van deze randvoorwaarden bestaat er wetenschappelijk gezien (op basis van de best beschikbare informatie), redelijkerwijs geen twijfel dat er geen aantasting optreedt van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee".

Verder wordt het begrip gebruiksruimte voor delfstofwinning onder de Waddenzee geïntroduceerd; die wordt bepaald door het natuurlijke meegroeivermogen (sedimentatiesnelheid in mm per jaar) van de komberging waarin gaswinning plaatsvindt, verminderd met die van de zeespiegelstijging (in mm per jaar). Voor de delfstofwinning onder de Waddenzee geldt dat zolang de bodemdalingssnelheid door de winning lager is dan de beschikbare gebruiksruimte, er geen aantasting van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee plaatsvindt en er dus geen schade optreedt in de natuur. Om te bepalen of de gebruiksruimte wordt overschreden zijn drie factoren van belang: het meegroeivermogen van de komberging, de zeespiegelstijging in de Waddenzee en de bodemdalingssnelheid door gaswinning onder de Waddenzee.



Figuur 2-1 Weergave van het HadK-principe in de tijd (links) en op één tijdstip (rechts) en de daarbij gebruikte terminologie.

Het HadK-principe is sinds 2006 leidend voor het overheidsbeleid betreffende delfstofwinning in de Waddenzee en nog zeer onlangs bevestigd in een brief aan de Tweede Kamer (2020)¹⁰, waarin de Minister van EZK nogmaals benadrukt dat bij alle mijnbouwactiviteiten het behoud van de natuurwaarden in de Waddenzee voorop staat. Om dit met feiten te onderbouwen heeft de Nederlandse overheid een uitgebreid meet- en monitoringsprogramma voorgeschreven, waarin een

⁸ Rijksprojectbesluit Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, deel 1 en 2, 2006

⁹ Gaswinning binnen randvoorwaarden. Passende beoordeling van het Rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, 20 januari 2006.

¹⁰ Kamerstuk 29684, nr. 204

aantal kritische parameters worden gevolgd. Bij het verzamelen¹¹ en beoordelen¹² van de resultaten van dergelijke meet- en monitoringprogramma's zijn een groot aantal onafhankelijke partijen betrokken. Voor wat betreft de gaswinning bestaat over de resulterende meet- en observatiegegevens tot nu toe overwegend overeenstemming in het maatschappelijke en politieke debat. In de context van de zoutwinning bestaat minder overeenstemming. Door de nog zeer recente start daarvan zijn er weinig meet- en monitoringsgegevens, en is er relatief weinig ervaring met de zoutwinning en de mogelijke effecten daarvan. De daartoe ingestelde auditcommissies volgen de resultaten van het meet- en observatieprogramma's op de voet en waar nodig worden aanbevelingen gedaan voor een verdere optimalisering.

Er is veel discussie over de kern van het HadK-principe, met name in het licht van de schatting van (toekomstige) bodemdaling (inclusief de daling na beëindiging van de winning, "na-ijling" genoemd) in combinatie met de te verwachten zeespiegelstijging op langere termijn, die beïnvloed wordt door de onzekerheden in klimaatscenario's. Het uitgangspunt voor het HadK-principe is dat de sedimentatie de bodemdaling, veroorzaakt door delfstoffenwinning, en de zeespiegelstijging kan bijhouden (Figuur 2-1). Deze zogenaamde gebruiksruintoets wordt jaarlijks uitgevoerd. Dit moet garanderen dat de natuurlijke kenmerken van het waddengebied, in die delen waar bodemdaling optreedt, niet worden aangetast. Daarbij dient rekening te worden gehouden met de dynamiek en de draagkracht van het waddensysteem. In dat licht mag de gemiddelde bodemdalingssnelheid tezamen met de zeespiegelstijging jaarlijks een bepaalde waarde binnen een specifiek kombergingsgebied in de Waddenzee niet overschrijden om verdrinking te voorkomen. Deze waarde, ook wel aangeduid als de natuurgrens, is zo bepaald dat de kombergingen door de optredende sedimentatie geen negatieve gevolgen ondervinden van de bodemdaling. Om er zeker van te zijn dat dit inderdaad zo is, wordt echter niet de gehele natuurlijke sedimentatiesnelheid gebruikt, maar een ruim lager vastgestelde waarde, het zogenaamde meegroeivermogen.

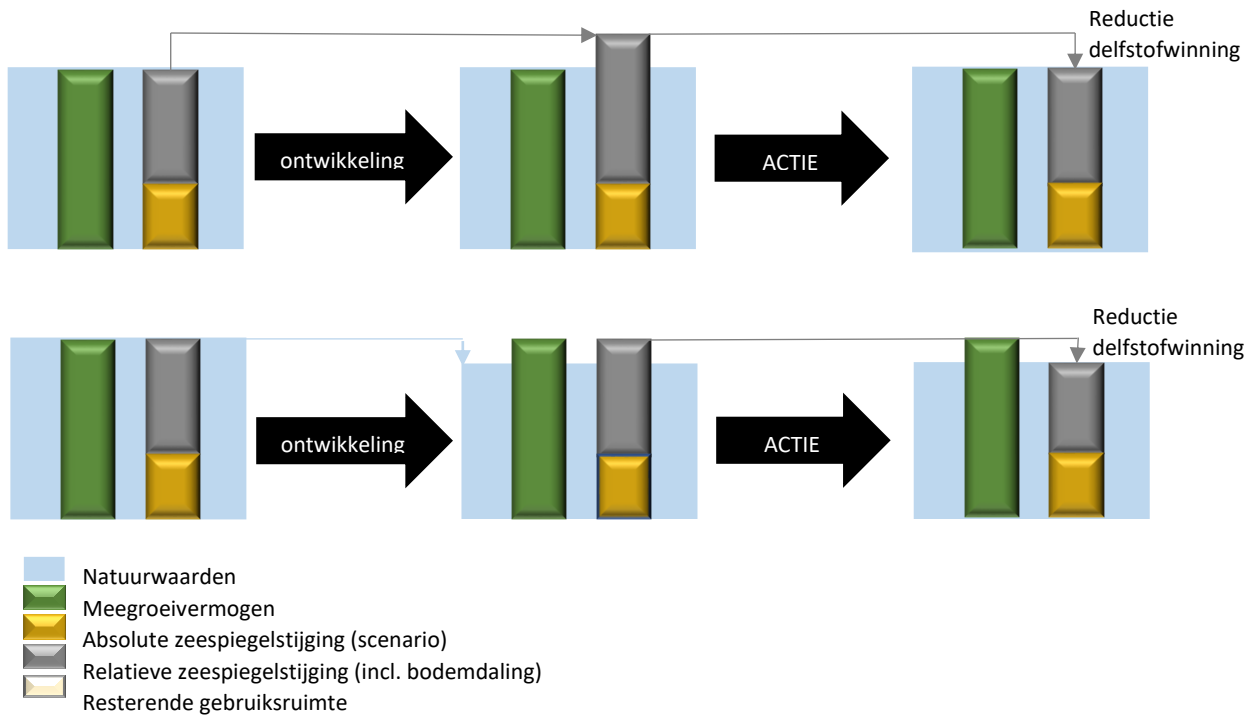
Er wordt dus op twee mogelijke manieren getoetst of de natuurwaarden in het Waddengebied worden aangetast door delfstoffenwinning (Figuur 2-2). Als er een overschrijding van het meegroeivermogen plaatsvindt, dan zal de minister van EZK oordelen of verder handhaving plaats moet vinden. Als er een overschrijding van de natuurwaarden plaatsvindt, dan zal de minister van LNV oordelen of verdere handhaving plaats moet vinden. In beide gevallen kan de delfstoffenwinning worden bijgesteld.

De afgelopen jaren hebben zowel maatschappelijke als politieke partijen, binnen en buiten de Tweede Kamer, hun bezorgdheid geuit over de mogelijkheid dat ondanks de geldende voorzorgen er schade wordt aangebracht aan de beschermde natuurwaarden. Dit klemt temeer omdat het uitgangspunt van HadK is dat "er wetenschappelijk gezien redelijkerwijs geen twijfel bestaat dat er geen schadelijke gevolgen zijn voor de natuurlijke waarden en kenmerken".

¹¹ Onder andere rapporten van (niet volledige lijst): Deltares, Natuurcentrum Ameland, EcoCurves, Sovon, Artemisia, Terratec

¹² De auditcommissies gaswinning en zoutwinning in de Waddenzee en SodM

De toekomst van Hand aan de Kraan



Figuur 2-2. De twee mogelijke overschrijdingen in het HadK-principe. De groene balk geeft de vastgestelde sedimentatiesnelheid als maat voor het minimale meegroeivermogen, de grijze balk de bodemdalingssnelheid en de gele balk de zeespiegelstijging (zie ook Figuur 2-1).

In het debat van de afgelopen jaren zijn de centrale discussiepunten te rangschikken in de volgende categorieën:

- **Kwaliteit van het meet- en monitoringsprogramma**
Vooral in het begin van het traject van de gaswinning, en recenter van de zoutwinning, is er veel debat geweest over de opzet en uitvoering van het meet- en monitoringsprogramma. Toch is er in de auditrapporten van de afgelopen jaren in toenemende mate tevredenheid te constateren over de aard en de kwaliteit van de gegevens, onder meer als gevolg van het opvolgen van de door de auditcommissies gegeven adviezen. Dit neemt overigens niet weg dat ook in de jaarrapporten over 2018, van de Auditcommissie Zoutwinning Waddenzee en de Auditcommissie Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, nog steeds verbeteringen worden gesuggereerd. Het oordeel van de Commissie voor de Milieueffectrapportage Zoutwinning Waddenzee over de jaarrapportage 2019 was inhoudelijk positief. Echter, ook maatschappelijke stakeholders uiten in afnemende mate kritiek, hetgeen erop kan duiden dat de inrichting van het meet- en monitoringsprogramma steeds meer kan rekenen op draagvlak. Hierbij moet aangetekend worden dat pas betrekkelijk recent meer aandacht wordt gevraagd voor zogenaamde cumulatieve effecten, dat wil zeggen de impact die de stapeling van veranderingen ten gevolge van menselijke activiteiten kan hebben. Dat kan in omvang groter en in uitwerking anders zijn dan de meet- en observatiegegevens van individuele parameters doen vermoeden.
- **Juistheid en nauwkeurigheid van de modelvoorspellingen**
Binnen het HadK-principe zijn een aantal parameters belangrijk die vooral via modellen te benaderen zijn en niet, of niet nauwkeurig genoeg, te meten zijn.
 - **Sedimentatie:** de hoeveelheid sedimentatie die plaats vindt in de kombergingen kan met modellen betrekkelijk goed worden benaderd. Naast de modellen is er veel data beschikbaar via het observatie- en monitoringprogramma. Dit kent zoveel detail dat

de voorspelbaarheid van de ontwikkeling van de sedimentatie betrekkelijk hoog is. Daarnaast is de bodemdaling door delfstofwinning tot nu toe evident zoveel geringer dan de mate van sedimentatie, dat over dit onderdeel van het HadK-principe relatief weinig debat bestaat.

- Zeespiegelstijging: de scenario's en voorspellingen van zeespiegelstijging verschillen sterk. Dit wordt veroorzaakt doordat er verschillende modellen gebruikt worden, die onderling sterk verschillende uitkomsten geven. Naar aanleiding hiervan stellen veel maatschappelijke stakeholders vragen.
 - Bodemdaling: de bodemdaling door delfstoffenwinning wordt met modellen onderbouwd. Ook hier zijn vragen en onzekerheden over de mate van bodemdaling tijdens de onttrekking, maar misschien nog meer over een eventuele doorzettende daling nog geruime tijd na de onttrekking ("na-ijlende bodemdaling" genoemd).
- *De juistheid en nauwkeurigheid van de remwegscenario's:* naast de bovenstaande discussiepunten over de modellen, bestaat er nog een andere discussie. Dit betreft de vraag of er voldoende mogelijkheid is, als er effecten worden geconstateerd, in te grijpen in de winning zodanig dat dan ook tijdens de "remweg" na-ijlende effecten geen onherstelbare schade veroorzaken.
 - *Het voorzorgsbeginsel:* dit beginsel stelt dat ieder handelen dat schade kan aanbrengen vermeden dient te worden. Op basis van dit principe, onder andere uitgedragen door Unesco, is ieder menselijk handelen in de Waddenzee onderhevig aan strikte beperkingen. Er is discussie over de vraag hoe dit beginsel moet worden toegepast binnen HadK.

Naast het continueren en zelfs uitbreiden van het meet-en monitoringsprogramma voor gaswinning in de Waddenzee, is de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van bovengenoemde modellen, mede in reactie op de vragen die gesteld zijn. Daarnaast hebben maatschappelijke stakeholders en politieke partijen in ieder van bovengenoemde categorieën nieuwe gezichtspunten en gepubliceerde resultaten ingebracht.

In de volgende hoofdstukken worden achtereenvolgens de bodemdaling, zeespiegelstijging, meegroeivermogen (sedimentatie) en de natuurwaarden besproken en geëvalueerd.

3 Bodemdaling

Bodemdaling is één van de parameters in het HadK-principe voor gas- en zoutwinning in de Waddenzee. Om negatieve effecten van mijnbouwactiviteiten te voorkomen moet de sedimentatie de optelsom van zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen compenseren. Een voortdurende monitoring van de bodemdaling is dus noodzakelijk. Daarbij is relevant hoeveel bodemdaling er tot nu toe heeft plaatsgevonden, hoe dit zich verhoudt tot de gas- en de zoutwinning in de Waddenzee, en wat we in de toekomst kunnen verwachten voor verschillende keuzes met betrekking tot geplande gas- en zoutwinning. Dit hoofdstuk evalueert de huidige praktijk in samenhang met de wetenschappelijke basis daaronder¹³, en geeft aanbevelingen die daarop zijn gebaseerd. Een meer uitgebreide wetenschappelijke verantwoording van de evaluatie in dit hoofdstuk wordt gegeven in Bijlage 3.

3.1 Wetenschappelijke stand van zaken bodemdaling

De bodemdaling door gas- en zoutwinning is niet te meten aan het oppervlak van de wadplaten, die immers lokaal sterk kunnen veranderen onder invloed van de getijden. Daarom wordt gebruik gemaakt van palen die vaststaan op diepere, stabiele lagen. De hoogte van de bovenkant van deze palen wordt gemeten met GPS of met waterpassing. Als deze hoogte verandert in de loop van de tijd is er sprake van bodembeweging, die niet door sedimentbeweging aan het aardoppervlak is veroorzaakt¹⁴.

Er moeten genoeg metingen worden verricht om een beeld te krijgen van de bodemdaling veroorzaakt door de delfstofwinning. Gas- en ook zoutwinning op één punt, op een diepte van enkele kilometers, veroorzaakt bodemdaling over een gebied dat ongeveer zo ver is uitgestrekt als de diepte van de gas- of zoutwinning; in de Waddenzee is deze diepte 2-3 km. Daarom moeten meetpunten een maximale onderlinge afstand van 1–2 km hebben om een goed beeld te krijgen van de door gas- en zoutwinning veroorzaakte bodemdaling. Door regelmatige meting van de paalhoogtes kan de daling van de bodem door de tijd heen in kaart worden gebracht.

Modellen die bodemdaling voorspellen hebben een getrapte structuur. Deze is anders voor gas- dan voor zoutwinning. Gaswinning veroorzaakt drukdaling in het gasreservoir en in eventueel verbonden watervoerende lagen; drukdaling veroorzaakt compactie (inklinking) van het reservoir, en compactie in het reservoir vertaalt zich naar bodemdaling aan het oppervlak¹⁵. In geval van de Waddenzee wordt deze bodemdaling gecompenseerd door sedimentatie. Zoutwinning gaat gepaard met het creëren van een holte ("caverne") in de zoutlaag; door het kruipgedrag van steenzout wordt deze caverne dichtgedrukt. Vervolgens daalt door het verkleinen van het cavernevolumen de bodem aan het oppervlak¹⁶. Al deze stappen kunnen worden beschreven door modellen, waarbij modelkeuzes en modelparameters worden gebruikt. Elke keuze en parameter heeft een eigen invloed en onzekerheid. Moderne methoden gaan uit van een groot aantal modellen waarin de vooraf bekende onzekerheid op basis van waarschijnlijkheden (stochastisch) is doorgerekend. Dit resulteert in een grote set van modellen met uitkomsten, die "ensemble" wordt genoemd. Bodemdalingmetingen worden vervolgens gebruikt om de modelonzekerheden te reduceren en zo tot betere voorspellingen

¹³ Fokker, Peter A., et al. "Subsidence in the Dutch Wadden Sea." *Netherlands Journal of Geosciences* 97.3 (2018): 129-181.

¹⁴ Van Leijen, F., Samiei Esfahany, S., van der Marel, H. & Hanssen, R.F., 2017. Uniformization of geodetic data for deformation analysis. Contribution to the research project: Second phase of the long-term subsidence study in the Wadden Sea region (LTS2), Final Report, v1.0, 25 January 2017. Delft University of Technology (Delft).

¹⁵ Geertsma, J. (1973). Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs. *Journal of Petroleum technology*, 25(06), 734-744.

¹⁶ Geluk, M. C., Paar, W. A., & Fokker, P.A. (2007). Salt. In T. E. Wong, D. A. J. Batjes & J. de Jager (Eds.), *Geology of the Netherlands* (pp. 279-290). Amsterdam, Netherlands: Royal Dutch Academy of Arts and Sciences.

te komen¹⁷. Onzekerheden kunnen nooit tot nul worden gereduceerd. Een wetenschappelijk verantwoorde verwachting van bodembeweging ten gevolge van gas- of zoutwinning zal daarom altijd moeten worden geformuleerd in termen van verwachtingswaardes en bandbreedtes daarvan¹⁸.

De twee belangrijkste onzekerheden in de bodemdalingsmodellen voor gaswinning zijn (i) de drukdaling in de met gasvelden verbonden watervoerende laag en (ii) het na-ijlen van bodemdaling nadat productie is gestopt¹⁹. De huidige stand van de wetenschap gebruikt als beste methode ook hiervoor stochastische ensemble methodes. Voor de zoutwinning zijn de onzekerheden inherent kleiner omdat de directe effecten beperkt blijven tot de caverne zelf. Verder is er al veel kennis opgedaan bij de Barradeel zoutcavernes nabij Harlingen, waarvan de karakteristieken en productiecondities vergelijkbaar zijn met de geplande cavernes in de Waddenzee nabij Harlingen²⁰. Hierdoor is, zelfs voor de start van de zoutwinning, al beter bekend wat de bodemdaling door de zoutwinning in de Waddenzee zal zijn.

Keuzes in de bedrijfsvoering – meer of minder gas of zout produceren in een bepaalde tijdsspanne – hebben uiteraard gevolgen voor de te verwachten bodemdaling en bodemdalingssnelheid. Ook moeten gevolgen van keuzes voor verschillende gaswinning of zoutwinninglocaties in samenhang worden bekeken als zij binnen dezelfde kombergingsgebieden in de Waddenzee zouden vallen.

3.2 Mening adviescollege over gebruik bodemdaling in de HadK

Ten aanzien van de effectiviteit van HadK komt het adviescollege tot de conclusie dat de bodemdaling in de jaren 2006-2020 binnen de toegestane gebruiksruimte is gebleven, en dat het HadK-principe effectief is voor wat betreft de bodemdaling door gaswinning inclusief bijbehorende onzekerheden. Dat wil zeggen dat het voldoet om aan te tonen dat er redelijkerwijs geen twijfel is dat de gebruiksruimte niet zal worden overschreden.

Het bodemdalingsmeetnet boven de gasvelden is ingericht volgens actuele wetenschappelijke inzichten. Verder wordt in de meest recente interpretaties van NAM een state-of-the-art ensemble methode gebruikt: de mogelijkheid van een na-ijl effect en de grootte ervan worden op een realistische wijze verdisconteerd in de berekeningen. Het adviescollege waardeert de methode dan ook positief. Voor de zoutwinning is de productie recent gestart (september 2020), het meetnet was echter al voorbereid voor de start van de zoutwinning. Overigens bevinden zich de velden waar gas wordt gewonnen en de zoutwinning in verschillende gebieden en kunnen dus onafhankelijk van elkaar worden beoordeeld. Er treedt geen accumulatie op.

HadK gaat ervan uit dat het effect van meer of minder gas- en zoutproductie op bodemdaling voldoende kan worden voorspeld. Het HadK-principe gaat echter uit van een rigide eis: de gebruiksruimte mag niet worden overschreden. Zoals hiervoor uitgelegd, blijft altijd enige onzekerheid over het effect van een productieverandering en daarmee de geïnduceerde bodemdaling. Een rigide eis, zoals toegepast in de HadK, past niet bij een state-of-the-art wetenschappelijke onderbouwing²¹.

¹⁷ Evensen G. Data Assimilation, The Ensemble Kalman Filter. 2nd ed. Springer; 2009.

¹⁸ Van Thienen-Visser, K., Breunese, J.N. & Muntendam-Bos, A.G., 2015. Subsidence due to gas production in the Wadden Sea: how to ensure no harm will be done to nature. 49th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. American Rock Mechanics Association. Paper No. ARMA 2015-098. Conference proceedings.

¹⁹ Hettema, M., E. Papamichos, and P. M. T. M. Schutjens. "Subsidence delay: field observations and analysis." *Oil & Gas Science and Technology* 57.5 (2002): 443-458.

²⁰ Breunese, J.N., van Eijs, R.M.H.E., de Meer, S. & Kroon, I.C., 2003. Observation and prediction of the relation between salt creep and land subsidence in solution mining. The Barradeel Case. Solution Mining Research Institute (SMRI) Meeting, 5–8 October 2003, Chester, UK.

²¹ De rigide eis van 100% zekerheid dat de gebruiksruimte niet mag worden overschreden kan niemand wetenschappelijke gezien waar maken.

3.3 Aanbevelingen voor het gebruik van bodemdaling in de HadK

De implementatie van het HadK-principe voor de bodemdaling, veroorzaakt door de gaswinning in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag, is het beste wat volgens de huidige stand van de wetenschap kan worden gedaan.

Er is echter een discrepantie tussen de wetenschappelijke, stochastische aanpak, die fundamenteel rekening houdt met alle onzekerheden, en de rigiditeit van HadK. De rigiditeit kan worden weggenomen door de huidige eis, “de initiatiefnemer dient aan te tonen (...) dat de gebruikruimte (...) niet zal worden overschreden²²” te herformuleren tot “de initiatiefnemer dient aan te tonen (...) dat *er redelijkerwijs geen twijfel is dat* de gebruikruimte (...) niet zal worden overschreden.”

De initiatiefnemer kan dan zijn aanvraag wetenschappelijk onderbouwen. Beter nog is om het HadK-principe te herformuleren op basis van een wetenschappelijke, stochastische aanpak. Hierbij past een benadering zoals die ook gebruikt bij de beoordeling van bijvoorbeeld overstromingsrisico's. Om dit te realiseren is echter een wetenschappelijke inspanning en de steun van alle betrokkenen nodig.

Voor zoutwinning is het nu gehanteerde HadK-principe wellicht voldoende en is een stochastische aanpak zoals voor de gaswinning niet nodig omdat de onzekerheden, voor wat betreft de resulterende bodemdaling, kleiner zijn. Dit moet dan wel worden aangetoond door deze onzekerheden beter te kwantificeren.

²² Passende Beoordeling, p. 3

4 Zeespiegelstijging

De zeespiegelscenario's voor de HadK werden in 2011 en 2016 opgesteld door TNO, die hiervoor in onderling overleg informatie van Deltares en KNMI verkrijgt. Deze scenario's zijn gedefinieerd in termen van snelheid van zeespiegelstijging en werden in 2006, 2011 en 2016 geconstrueerd aan de hand van drie kengetallen:

- a. de snelheid van zeespiegelstijging op de ingangsdatum van het scenario;
- b. een constante versnelling van de snelheid voor een eerste periode na de ingangsdatum; en
- c. een grotere lineaire versnelling van snelheid van zeespiegelstijging voor de daaropvolgende jaren.

De kengetallen a en b worden gedefinieerd op basis van metingen en bepalen het beleidsscenario²³ voor de eerstvolgende vijf jaar. Voor de scenario's van 2006 en 2011 zijn deze kengetallen gebaseerd op analyses van observaties van wereldwijd-gemiddelden van de zeespiegelstijging²⁴; voor 2016 zijn ze geconstrueerd op basis van metingen langs de Nederlandse kust²⁵. Het beleidsscenario vormt, tezamen met de waarde voor het meegroeivermogen, de gebruiksruimte die beschikbaar is voor de delfstoffenwinning. Kengetal c is het zogenaamde richtscenario voor de langere termijn (na 5 jaar). Voor zowel het 2006 als het 2011 scenario was het richtscenario 85 cm in een eeuw; voor 2016 komt het richtscenario overeen met het (mediaan) gemiddelde van het KNMI Gematigd (G) en Warm (W) scenario, dat lager is. Het richtscenario beslaat de langere termijn en geeft zicht op de gebruiksruimte na het einde van het beleidsscenario.

In de HadK wordt het zeespiegelstijgingsscenario (beleidsscenario en richtscenario) iedere vijf jaar herzien op basis van de nieuwste data en ontwikkelingen.

4.1 Wetenschappelijke stand van zaken

4.1.1 Zeespiegelscenario's voor de Waddenzee

Het meest actuele zeespiegelscenario voor de Waddenzee is gebaseerd op de mondiale klimaatprojecties van het IPCC AR5 scenario uit 2013, waarin onlangs²⁶ de regionale ontwikkelingen zijn verdisconteerd. Ook onzekerheden die voortkomen uit aannames zoals van het afsmelten van landijs zijn hierin verwerkt, zij het dat in de scenario's niet is uitgegaan van de meest extreme aannames van het afsmelten van het West-Antarctische landijs. Daarbovenop zijn onzekerheden geprojecteerd die voortkomen uit de mate waarin de mens bereid en in staat blijkt om, door emissiebeperking, de toename van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer te verminderen. In afnemende mate van concentratiebeperking zijn dat de zogenaamde RCP2.6, RCP4.5 en RCP8.5 scenario's (RCP staat voor *Representative Concentration Pathway*)²⁷. Voor het bepalen van eventuele verdrinking van delen van de Waddenzee is overigens de snelheid van de

²³ Het beleidsscenario betreft de eerstvolgende 5 jaar van het zeespiegelstijgingsscenario wat gebruikt wordt in de gebruiksruijmtetoets van de HadK.

²⁴ Church, J. A. and White, N. J., 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century, *Surveys in Geophysics*, 32(4–5), 585–602, doi: 10.1007/s10712-011-9119-1

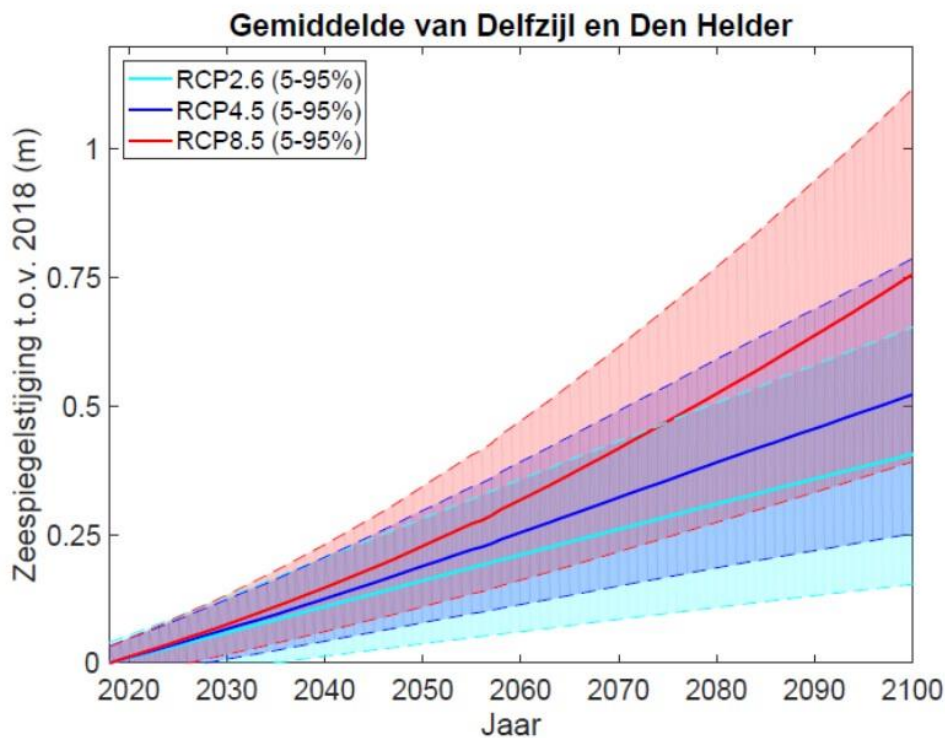
²⁵ Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., de Winter, R., Nicolai, R., 2018. Zeespiegelmonitor, <https://www.deltares.nl/app/uploads/2019/03/Zeespiegelmonitor-2018-nal.pdf>

²⁶ Vermeersen, L.L.A., Slangen, A.B.A., Gerkema, T., Baart, F. Cohen, K.M., Dandendorf, S., Duran-Mutate, M., Frederikse, T., Grinstead, A., Hijma, M.P., Jevrejeva, S., Kiden, P., Kleinherenbrink, M., Meijles, E.W., Palmer, M.D., Rietbroek, R., Riva, R.E.M., Schulz, E., Slobbe, D.C., Simpson, M.J.R., Sterlini, P., Stocchi, P., and van de Wal, R.S.W., 2018. Sea-level change in the Dutch Wadden Sea, *Netherlands Journal of Geosciences*, 97(3), 79–127, doi: 10.1017/njg.2018.7.

²⁷ In RCP2.6 is aangenomen dat de mondiale broeikasgasemissies na 2020 afnemen, in RCP4.5 dat de broeikasgasemissies nog stijgen tot 2040 en daarna afnemen en in RCP8.5 is aangenomen dat de broeikasgasemissies in de hele 21^e eeuw blijven doorstijgen. De internationale afspraken over reductie van broeikasgasemissies in het 'Parijs-akkoord' komen overeen met een scenario tussen RCP 2.6 en 4.5 (Vermeersen et al., 2018).

zeespiegelstijging belangrijker dan de absolute stijging zelf. De waarden voor de globale zeespiegelverandering komen goed overeen met de waarden uit het meer recente IPCC SROCC rapport²⁸.

Voor de zeespiegelstijging heeft de studie²⁶ geleid tot de specifieke Waddenzee-projecties (gebaseerd op metingen van meetstations Delfzijl en Den Helder) in Figuur 4-1. De onzekerheid in deze projecties is met ongeveer 50 procent in 2100 aanzienlijk, maar alle scenario's laten een verwachte versnelde stijging zien, behalve in het mediaan gemiddelde en lagere onzekerheidsbereik van RCP2.6. Hieruit volgt dat ergens tussen 2018 en 2100 een kantelpunt bereikt zal worden waarbij de lagere zeespiegelstijging van de Waddenzee t.o.v. het wereldwijd gemiddelde, gaat naar een hogere zeespiegelstijging t.o.v. het wereldwijd gemiddelde (zie Bijlage 4 voor nadere onderbouwing).



Figuur 4-1 Geprojecteerde zeespiegelstijging in de Nederlandse Waddenzee conform de drie gehanteerde RCP scenario's. Onzekerheidsintervallen (5 – 95 procent) zijn getoond met stippellijnen en arceringen, de mediaan wordt gegeven voor de doorgetrokken lijnen (Vermeersen et al., 2018).

Voor de jaren 2030 en 2050 zijn de (mediaan) gemiddelde waarden voor de stijging van de zeespiegelstijging voor het Nederlandse deel van het Waddenzeegebied weergegeven in Tabel 4-1.

²⁸ Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019. Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)).

	RCP2.6	RCP2.6	RCP4.5	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP8.5
	5 ^e perc.	mediaan	5 ^e perc.	mediaan	95 ^e perc.	mediaan	95 ^e perc.
2030	2,6	4,9	4,3	5,5	6,7	6,8	9,1
2050	2,3	5,2	4,2	5,7	7,4	8,9	12,4

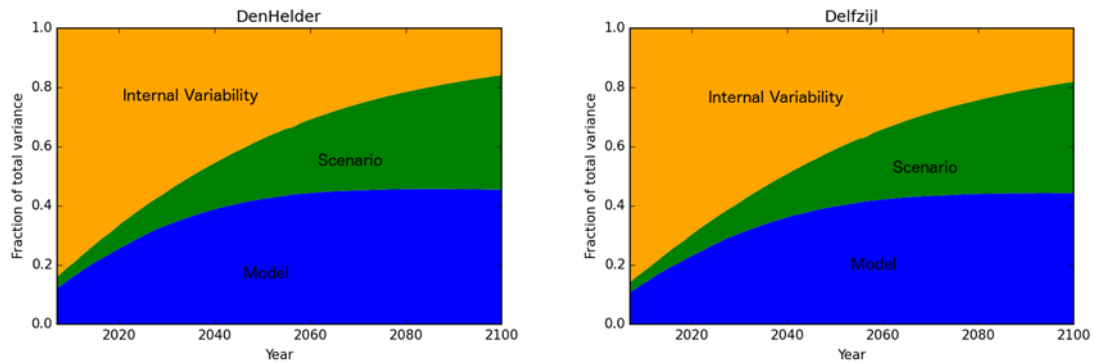
Tabel 4-1 Geprojecteerde zeespiegelstijgingssnelheden in mm per jaar in het Nederlandse deel van de Waddenzee per klimaatscenario voor 2030 en 2050, waarbij met alle onzekerheden rekening is gehouden behalve met een mogelijk versnelde afsmelt van Antarctica. Voor RCP2.6 en RCP8.5 zijn tevens respectievelijk de extreem laagste (5^e percentiel) en extreem hoogste (95^e percentiel) waarden gegeven en voor RCP4.5 zowel de extreem laagste (5^e percentiel) en extreem hoogste (95^e percentiel) waarden (Vermeersen et al., 2018).

Daarbij lopen de bijbehorende onzekerheden in 2050, samenhangend met onder andere de mate waarin de reductie in broeikasgassen succesvol verloopt, in de spreiding van de snelheden van zeespiegelstijging uiteen van 2,3 mm per jaar (afname van de versnelling van de zeespiegelstijging in de 21^e eeuw in RCP2.6) tot 12,4 mm per jaar (sterk toenemende versnelling van de zeespiegelstijging in de 21^e eeuw in RCP8.5). Dit valt af te leiden uit Tabel 4-1, waarin de extremen in de onzekerheden (5^{de} percentiel resp. 95^{ste} percentiel, die de grens aanduiden waar slechts 5% van de schattingen lagere respectievelijk hogere waardes hebben) voor de extreme scenario's (RCP2.6 resp. RCP8.5) worden weergegeven.

4.1.2 Gemeten zeespiegelstijging in de Waddenzee

Inclusief de natuurlijke bodemdaling ten gevolge van het verdwijnen van de ijsmassa's uit de laatste ijstijd is de gemeten gemiddelde relatieve (ten opzichte van de vaste aarde) zeespiegelstijging in de Waddenzee momenteel ongeveer 1,8 mm per jaar, terwijl de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging circa 3,3 mm per jaar bedraagt²⁶. Een deel van het verschil wordt verklaard door schommelingen in het waterniveau in het Noordzeebekken als gevolg van regionale wind- en luchtdrukverschillen. Op korte tijdsschalen, van een paar jaar tot enkele tientallen jaren, is het lastig om een eenduidig beeld te krijgen van de gemeten zeespiegelstijging. Men moet dan ook rekening houden met extra componenten zoals effect van dominante windrichting en dus ook onzekerheden in de zeespiegelmetingen. Natuurlijke variaties in het klimaat spelen daarbij een rol, zoals El Niño en de Noord-Atlantische Oscillatie. Op kortere tijdsschalen van enkele jaren worden zeespiegelvariaties voornamelijk veroorzaakt door veranderingen in windrichting en -sterkte in combinatie met het effect van getijden. Deze zeespiegelvariaties zijn tevens sterk locatieafhankelijk en kunnen tot kortstondige extreme waarden leiden. Voor Delfzijl variëren de jaarlijkse gemeten waarden van de zeespiegel tussen -111 en 151 mm per jaar; voor Den Helder tussen -100 en 89 mm per jaar²⁶. Over een periode van 10 jaar reduceren deze getallen tot -35 en 41 mm per jaar voor Delfzijl en tussen -35 en 22 mm per jaar voor Den Helder. Ook de 18.6 jaar maangetijddecyclus speelt daarbij een rol met een magnitude van een paar centimeter. Ruwweg kan men stellen dat tot aan 2030 de lokale en regionale variabiliteit in het Nederlandse deel van de Waddenzee de onzekerheden van zeespiegelstijging domineert, en dat na 2030 dit geleidelijk wordt overgenomen door onzekerheden in de modellen en het klimaatscenario (Figuur 4-2).

De toekomst van Hand aan de Kraan



Figuur 4-2 Bronnen van onzekerheid voor zeespiegelverandering van 2018 tot 2100 voor Den Helder en Delfzijl. Duidelijk is dat deze voor korte tijdschalen gedomineerd worden door meerjaarlijkse variabiliteit en vanaf 2030 allengs worden gedomineerd door onzekerheden in lange-termijn (RCP) klimaatscenario's en modellen (figuur uit Vermeersen et al., 2018).

4.2 Mening adviescollege panel over gebruik zeespiegel in de HadK

Ten aanzien van de effectiviteit van het HadK-principe komt het adviescollege tot de conclusie dat de zeespiegelstijging in de jaren 2006-2020 niet anders is geweest dan de voorspellingen op basis van het beleidsscenario. In deze zin heeft het HadK-principe voldaan. Om de effectiviteit van dit principe op de langere termijn te kunnen garanderen heeft het adviescollege een aantal aandachtspunten geïdentificeerd.

In het beleidsscenario wordt op de relatief korte termijn van vijf jaar vooruitgekeken. In die context is het belangrijk dat de verandering van inzichten in zeespiegelstijging op dit moment sneller verloopt dan ooit. Naar de mening van het adviescollege is een jaarlijkse monitoring van de nieuwste inzichten relevant om, indien nodig, tot tijdige bijstelling van het gebruikte zeespiegelstijgingsscenario te komen.

De overgang naar de huidige (in 2016 gemaakte) keuze voor het gebruik van het (mediaan) gemiddelde van het KNMI G en W scenario voor het richtscenario (kengetal c) ten opzichte van de voorgaande (2011) keuze voor het gebruik van de bovengrens van het KNMI W scenario, lijkt onvoldoende onderbouwd, zeker in het licht van het feit dat het IPCC de zeespiegelscenario's naar boven bijstelde. Hierdoor is het richtscenario naar beneden aangepast in vergelijking met de eerdere scenario's van 2006 en 2011, en dat is in tegenspraak met de hogere waarden van recente en huidige projecties van zeespiegelstijging, nog afgezien van een mogelijk extra versneld afsmelten van (West-) Antarctica. Daarnaast wordt stochastisch beschouwd onvoldoende rekening gehouden met het feit dat op tijdschalen tot 20 jaar de zeespiegelverandering in het Waddengebied wordt gedomineerd door korte-termijn (met name meerjaarlijkse) variabiliteit. Daardoor kunnen mogelijke versnellingen voor lange-termijn zeespiegelverandering binnen zo'n periode lastig tot niet vastgesteld worden. Wereldwijd wordt momenteel een versnelde zeespiegelstijging gemeten en dus is er de mogelijkheid dat in het Waddenzeegebied, ondanks de tot nu toe schijnbaar lage gemeten waarden, toch een versnelling van de zeespiegelstijging gaande is.

Het is dus een relevante vraag of een vijfjaarlijkse herziening van het beleids- en richtscenario voor de zeespiegelverandering in de Waddenzee niet frequenter, bijvoorbeeld jaarlijks, zou moeten gebeuren. Maar dit is slechts nuttig als de zeespiegelverandering in de Waddenzee geleidelijk zou verlopen en korte-termijn veranderingen (< 10 jaar, de 18,6 cyclus) goed bekend zouden zijn, zodat ieder jaar nauwkeurig de lineaire zeespiegelstijging zou kunnen worden gemeten. Dat is echter niet zo. Daarom is een vijfjaarlijkse herziening acceptabel, mits gekoppeld aan een jaarlijkse monitoring van zowel de nieuwste wetenschappelijke inzichten in zeespiegelstijging als van de feitelijke zeespiegelverandering.

4.3 Aanbeveling voor het gebruik zeespiegel in de HadK

Het adviescollege adviseert om voor HadK hogere waarden te hanteren voor het richtscenario (kengetal c) dan de afgelopen vijf jaar en om korte-termijn (tot 20 jaar) variabiliteit mee te nemen. Zelfs zonder rekening te houden met een mogelijk versneld afsmelten van (West-)Antarctica zijn de projecties voor de Waddenzee hoger dan de huidig gehanteerde waarden van TNO (2016). Daarbij lopen de gemiddelde stijgsnelheden in de projecties op tot 4,9 mm per jaar in 2030 in het RCP2.6 klimaatscenario, tot 6,8 mm per jaar in het RCP8.6 klimaatscenario.

Het Adviescollege beveelt een tweewegs benadering aan. De mate van terugdringing van broeikasgasemissies voor de komende 25 jaar blijft onduidelijk zodat men een keuze moet maken voor een RCP scenario dat het meest waarschijnlijk is. Eenmaal een scenario gekozen, met een bandbreedte tussen 5^e en 95^e percentiel, dient men vervolgens probabilistisch te werk te gaan voor wat betreft het projecteren van de diverse invloeden op de zeespiegel. Daarnaast beveelt het adviescollege aan om, in het licht van de snel veranderende inzichten in de verschillende klimaat- en zeespiegelscenario's, de in de HadK gebruikte scenario's op dit punt jaarlijks te evalueren. Indien nodig leidt dit tot een tijdige bijstelling van het gebruikte richtscenario voor zeespiegelstijging. Dat is ook in lijn met het steeds verder toenemend inzicht in de omvang van de zeespiegelstijging in de Waddenzee, en de effecten van korte termijn variabiliteit op schalen korter dan 20 jaar.

5 Meegroeivermogen en sedimentatie

In het HadK-principe is het meegroeivermogen gedefinieerd als het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied om de relatieve zeespiegelstijging op de lange termijn (over gemiddeld 19-jaarlijkse perioden) bij te houden terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans van de Waddenzee in stand blijven²⁹.

Het begrip gebruiksruimte van de gas- en zoutwinning is gedefinieerd als het verschil tussen het meegroeivermogen en de relatieve zeespiegelstijging. Dit verschil is de ruimte die te gebruiken is (na middeling over 6 jaar³⁰) voor menselijke activiteiten die zandhonger³¹ genereren, zoals bijvoorbeeld bodemdaling veroorzaakt door gaswinning²⁹. Het (vooraf) vaststellen van de gebruiksruimte voor gas- en zoutwinning gebeurt aan de hand van de verwachte zeespiegelstijging, de voorspelde bodemdaling door mijnbouwactiviteiten, en het vastgestelde meegroeivermogen per komberging. De gebruiksruimte wordt ieder jaar vastgesteld over een periode van 6 jaar, door 3 jaar vooruit en 3 jaar terug te kijken. Voor de zeespiegelstijging wordt gebruik gemaakt van scenario's, die iedere 5 jaar worden bijgesteld.

5.1 Huidige wetenschappelijke stand van zaken meegroeivermogen

De, voor de gaswinning onder de Waddenzee, gehanteerde meegroeivermogens zijn in 2006 bepaald voor de verschillende kombergingen in de Waddenzee (Figuur 5-1). Vanuit het voorzorgprincipe is gekozen voor lage schattingen, soms ook aangeduid met ondergrens. Voor de komberging Pinkegat werd het meegroeivermogen vastgesteld op 6 mm/jaar en voor de komberging Zoutkamperlaag 5 mm/jaar. Voor grote kombergingen, zoals Vlie en Marsdiep, werd het meegroeivermogen op 3 mm/jaar vastgesteld op basis van de destijds beschikbare historische kennis en systeemkennis²⁹. Op basis van studies na 2006³² is voor de zoutwinning in de westelijke Waddenzee het meegroeivermogen van de grote bekkens Vlie en Marsdiep later vastgesteld op 5 mm/jaar. Voor het bepalen van het meegroeivermogen is gebruik gemaakt van 1) geologische studies, 2) meetgegevens, en 3) modelstudies. In deze modelstudies wordt aangegeven dat kleine bekkens (Pinkegat) een hoger meegroeivermogen hebben dan grote bekkens (Vlie)³³, omdat de sedimentvraag kleiner is. Het meegroeivermogen is per kombergingsgebied bepaald, omdat de sedimentatiedynamiek in het Waddengebied sterk is en verstoringen uitgesmeerd worden per kombergingsgebied. In de integrale studie uit 1998³⁴, welke de basis legde voor het concept van meegroeivermogen, werd geconcludeerd dat de erosie van de Noordzeekust en sedimentatie op de wadplaten het meest bepalend zijn voor het meegroeivermogen.

²⁹ Ministerie van Economische Zaken, 2006, Gaswinning binnen randvoorwaarden, Passende beoordeling van het Rijksbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.

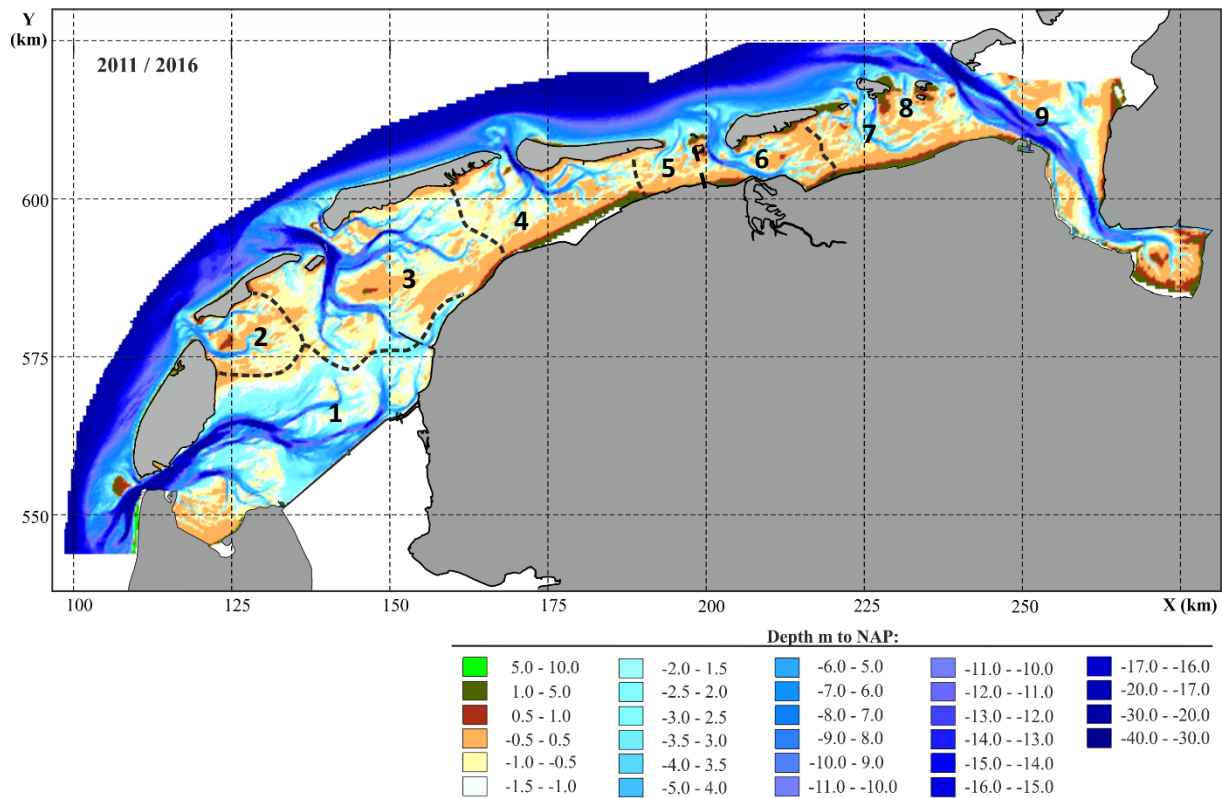
³⁰ Voortschrijdend gemiddeld symmetrisch

³¹ Zandhonger is de vraag naar zand om een nieuw geomorfologisch evenwicht in te stellen na een verandering in de waterhuishouding. Bij onvoldoende aanvoer, verdwijnen van zandplaten, schorren en slikken.

³² Cleveringa, J., (2010) Meegroeivermogen en gebruiksruimte in de getijdebekken Vlie en Marsdiep; Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee. Alkyon rapport A2062R3r5

³³ Hoeksema, H.J., Mulder, H.P.J., Rommel, M.C., de Ronde, J.G. & de Vlas, J., (2004) Bodemdalingstudie Waddenzee 2004: Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. RIKZ rapport 2004-025

³⁴ Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J. & Verburgh, J.J., 1998: Integrale bodemdalingstudie Waddenzee. NAM B.V., Assen



Figuur 5-1. Topografie van de Waddenzee met de kombergingsgebieden: 1=Marsdiep, 2=Eijerlandse gat, 3=Vlie, 4=Borndiep, 5=Pinkegat, 6=Zoutkamperlaag, 7= Lauwers, 8=Schild, 9=Eems-Dollard. Bron topografie: Rijkswaterstaat vaklodingen, via <https://opendap.deltares.nl/thredds/catalog/opendap/rijkswaterstaat/vaklodingen/catalog.html>

Meegroeivermogen op basis van het verleden (meten)

Geologische studies en de waargenomen sedimentatie geven een indicatie voor het benodigde meegroeivermogen om verdrinking van de Waddenzee te voorkomen. Gedurende het Holoceen vulden de grote kombergingsgebieden (zoals Vlie en Marsdiep) zich op met sediment toen de zeespiegelstijgingssnelheid was afgenomen tot 3 à 4 mm/jaar. Bij hogere zeespiegelstijgingssnelheden vond er onvoldoende (meetbare) sedimentatie plaats³⁵ om deze te compenseren. Anderzijds is een lange termijn sedimentatiesnelheid van 3-6 mm/jaar waargenomen op de droogvallende platen over een periode van 60 jaar (1927-1987)³⁶. In het Vlie en Marsdiep is een gerealiseerde sedimentatie vastgesteld van 4.7 mm/jaar gemiddeld over de periode 1935-2005 op basis van het sedimentvolume en het volume voor zandwinning³². In recente studies naar de verandering in volumeuitwisseling van zand en slib tussen Waddenzee en Noordzee op basis van meetgegevens en modelstudies, werd geconcludeerd dat er over de periode 1935-2005^{37,38} een netto import is van sediment in alle kombergingsgebieden, behalve in het Eijerlandse gat. Het afsluiten van de Zuiderzee en Lauwerszee zijn de belangrijkste oorzaken van deze netto sedimentatie, waardoor afgesloten geulen opvulden en grote sedimentatie plaats vond langs de kust van Friesland en Noord-Holland (met uitzondering van het Borndiep en Pinkegat). Het effect van deze afsluiting wordt echter steeds minder. De historische analyse laat dan ook zien dat de sedimentatie is afgenomen in de

³⁵ Beets, D.J. & Van der Spek, A.J.F., 1996: Development of the Dutch Coastal Plain during the Holocene; relation to sea-level rise and subsurface geology. In: Proceedings of the symposium: Effects of future sea-level rise and subsidence on the Wadden Sea tidal system; Sediment dynamics and biology; what do(n't) we know? p. 15-21.

³⁶ Biegel, E.R.J., 1993: Morphological changes due to sea-level rise in tidal basins in the Dutch Wadden Sea versus concepts morphological respons model MORRES. Rijksuniversiteit Utrecht IMAU rapport IMAU 93-14.

³⁷ Elias, E. (2019) Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Deltares rapport 11203683-001.

³⁸ Nederhoff, K., B. Smits, Z.B. Wang (2017) KPP Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en Baggerhoeveelheden. Deltares rapport 11200521.

Westelijke Waddenzee (Marsdiep en Vlie; periode 1991-2015). In de oostelijke Wadden is er vrijwel geen trend van sedimentimport waargenomen, wat niet betekent dat dit niet kan gebeuren als de vraag naar sediment toeneemt als gevolg van een toename van de relatieve zeespiegelstijging. Er zijn wel ruimtelijke verschillen binnen een bekken: in alle bekkens zijn de arealen aan wadplaten toegenomen³⁶. Deze ontwikkeling van de plaathoogte is mogelijk het gevolg van zeespiegelstijging³⁶, waardoor het watervolume in een getij kan toenemen, en geulen meer uitdiepen wat leidt tot sedimentatie op de wadplaten. Ook in de Duitse Waddenzee is een accumulatie waargenomen in de periode 1998-2016 waarbij de droogvallende gebieden in areaal toenemen, terwijl de geulen dieper worden³⁹. De onderzoekers wijten dit aan zeespiegelstijging.

Meegroeivermogen op basis van toekomstverkenning (modellen)

Met modelstudies is gekeken naar de kritische grens van de relatieve zeespiegelstijging, waarbij de maximale import van sediment de zandhonger niet meer bij kan houden en de wadplaten gaan afnemen in oppervlak en/of hoogte, en dus langzamerhand gaan verdrinken^{40,41}. Deze kritische zeespiegelstijginsnelheid ligt hoger dan het huidige vastgestelde meegroeivermogen. Al onder deze kritische grens voor verdrinking zijn er echter effecten op het plaatareaal/diepteligging van voor ecologie belangrijke geomorfologische elementen te verwachten⁴¹. Dit is in lijn met de beschikbare geologische data³⁵, waaruit blijkt dat de getijdebekken in West Nederland destijds niet meegroeiden bij een stijging van 0,8 m tot een paar meter in een eeuw.

Recent is opnieuw gekeken naar de kritische snelheden voor verdrinking (Tabel 5-1). Voor kombergingsgebieden Pinkegat, Zoutkamperlaag en Vlie zijn de kritische grenzen respectievelijk 32,7; 17,1 en 6,3 mm/jaar⁴¹. De onzekerheid in kritische snelheden is echter groot (Tabel 5-1). De waarschijnlijke bandbreedte is 21-44 mm/jaar voor Pinkegat, 11-23 mm/jaar voor Zoutkamp en 4,1-8,5 mm/jaar voor Vlie, waarvan de laagste waarde één standaarddeviatie is, overeenkomend met een kans van ~16% op overschrijding van de kritische sedimentatiesnelheid. De ondergrens van deze waarschijnlijke bandbreedte van de kritische grens is voor de komberging Vlie lager dan het vastgestelde meegroeivermogen. Daarmee bestaat een kans op verdrinking van deze komberging mede als gevolg van delfstoffenwinning die daar plaats vindt, in combinatie met de zeespiegelstijging.

De kans op verdrinking als gevolg van zeespiegelstijging boven de kritische grens is voor Pinkegat en Zoutkamperlaag zeer klein. Alleen de ondergrens van Zoutkamperlaag wordt aan het einde van deze eeuw overschreden in de zeespiegelstijgingsscenario's van zowel het Deltaprogramma als van de recente Waddenacademiestudie (zie Hoofdstuk 4), maar dit is buiten de tijdhorizon van de gaswinning welke rond 2035 zal stoppen. Hoewel bij een extreme zeespiegelstijging⁴² de ondergrens vanaf ~2050 (Zoutkamperlaag) en ~2070 (Pinkegat) zou kunnen worden overschreden, is ook dit buiten de tijdhorizon van de gaswinning. Voor Vlie is de kritische zeespiegelstijginsnelheid (zowel ondergrens als mediane waarde) te verwachten in de komende 10 tot 30 jaar (zie Hoofdstuk 4).

³⁹ Benninghoff, M., Winter, C. (2019) Recent morphologic evolution of the German Wadden Sea. Sci Rep 9, 9293. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45683-1>.

⁴⁰ Van Goor, M.A., Zitman, T.J., Wang, Z.B. & Stive, M.J.F., 2003: Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets, Mar. Geol., 202(3-4): 211-227.

⁴¹ Wang, Z. B., E.P.L. Elias, A.J.F. van der Spek, Q. Lodder (2018) Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100 Netherlands J. Geosci. 97 183–214.

⁴² Haasnoot, M., L. Bouwer, F. Diermanse, J. Kwadijk, A. van der Spek, G. Oude Essink, J. Delsman, O. Weiler, M. Mens, J. ter Maat, Y. Huismans, K. Sloff, E. Mosselman, (2018) Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002.

De toekomst van Hand aan de Kraan

	Marsdiep (Texel)	Eijerlandse Gat	Vlie	Borndiep (Ameland)	Pinkegat	Zoutkamperlaag
Kritische snelheid (mm/jaar)	7,0 (4,5-9,5)	18,0 (11,6-24,4)	6,3 (4,1-8,5)	10,4 (6,7-14,1)	32,7 (21,1-44,3)	17,1 (11,1-23,1)

Tabel 5-1. Kritische zeespiegelstijgsnelheid voor verdrinking gemodelleerd met het ASMITA model⁴¹. De tabel geeft de mediane waarde en één standaarddeviatie afwijking. De lage waarde komt overeen met een kans van 16% op verdrinking van de Wadplaten.

Een recente verkennende studie⁴³ suggereert dat het meegroeivermogen kan worden ingeschat aan de hand van de kritische grens voor verdrinking (Figuur 5-2). Voor bekkens die niet ver uit morfologisch evenwicht zijn, zoals Pinkegat, zou bijvoorbeeld een factor van *maximaal* 40% van de kritische grens voor verdrinking genomen kunnen worden⁴³. Als de relatieve zeespiegelstijgsnelheid boven de 40% van de kritische grens voor verdrinking komt, dan raakt het systeem uit balans. Alhoewel er nog geen verdrinking van de Waddenzee plaatsvindt bij een relatieve zeespiegelstijgsnelheid tussen 40% van de kritische grens en de kritische grens, zijn er wel relevante gevolgen voor de Waddenzee en daarmee mogelijk een aantasting van de natuurlijke waarden. Voor bekkens die verder van het morfologisch evenwicht zijn en waar dus nu al grote zandhonger bestaat, zoals Vlie en Marsdiep, is al maximale import en sedimentatie aanwezig, en zal een ander percentage van de kritische verdrinking moeten worden afgeleid.

Er zijn twee belangrijke beperkingen aan bovengenoemde studie⁴³. Ten eerste is er alleen gekeken naar effecten op het oppervlak van de wadplaten. Echter, ook als de sedimentbalans (uitwisseling van sedimentvolumes) weer herstelt als de bodemdaling stopt, kunnen er wel effecten zijn op de ecologie. Een tijdelijke afname van bijvoorbeeld droogvallende wadplaten kan, vooral als dat samenvalt met andere (menselijke) effecten, toch belangrijke gevolgen hebben (zie Hoofdstuk 6). Ten tweede geeft de studie niet aan of een combinatie met een versnelde zeespiegelstijging het herstelvermogen van de platen op de langere termijn beïnvloedt. Dit kan bijvoorbeeld doordat de aanvoer vanuit Noordzeekust verandert (maar als Rijkswaterstaat zal blijven suppleren om de kustlijn te handhaven is dit niet waarschijnlijk), of wanneer de bodemdaling in een periode van versnelde zeespiegelstijging plaatsvindt.

De invloed van zeespiegelstijging op de morfologie van estuaria is dynamisch en zeer complex en hangt af van de stijging zelf, de beschikbaarheid van sediment en de morfologie van een bekken. Dit bepaalt de hoeveelheid water (en daarmee sediment om mee te groeien) dat een bekken binnen kan stromen tijdens een getij, wat vervolgens weer invloed heeft op de morfologie. Een recente studie concludeerde dat getij een belangrijke bepalende factor kan zijn voor de respons van estuaria op zeespiegelstijging, met name voor grote en diepe systemen⁴⁴. Ook de golfwerking^{45,46,47}, welke groter wordt bij een grotere waterdiepte, kan van belang zijn voor de morfologie. Dergelijke interacties van

⁴³ Wang, Z.B., J. Cleveringa, A. Oost, (2017) Morfologische effecten bodemdaling in relatie tot gebruiksruimte. Deltares en Arcadis, rapport 1230937

⁴⁴ Leuven, J.R.F.W., Pierik, H.J., van der Vegt, M., Bouma, T., Kleinhans, M.G., 2019. Sea-level-rise-induced threats depend on the size of tide-influenced estuaries worldwide. *Nature Climate Change* 9, 986-992. Doi: 10.1038/s41558-019-0608-4.

⁴⁵ Herrling, G. and C. Winter, 2015. Tidally- and wind-driven residual circulation at the multiple inlet system East Frisian Wadden Sea. *Continental Shelf Research* 106, dx.doi.org./10.1016/j.csr.2015.06.00

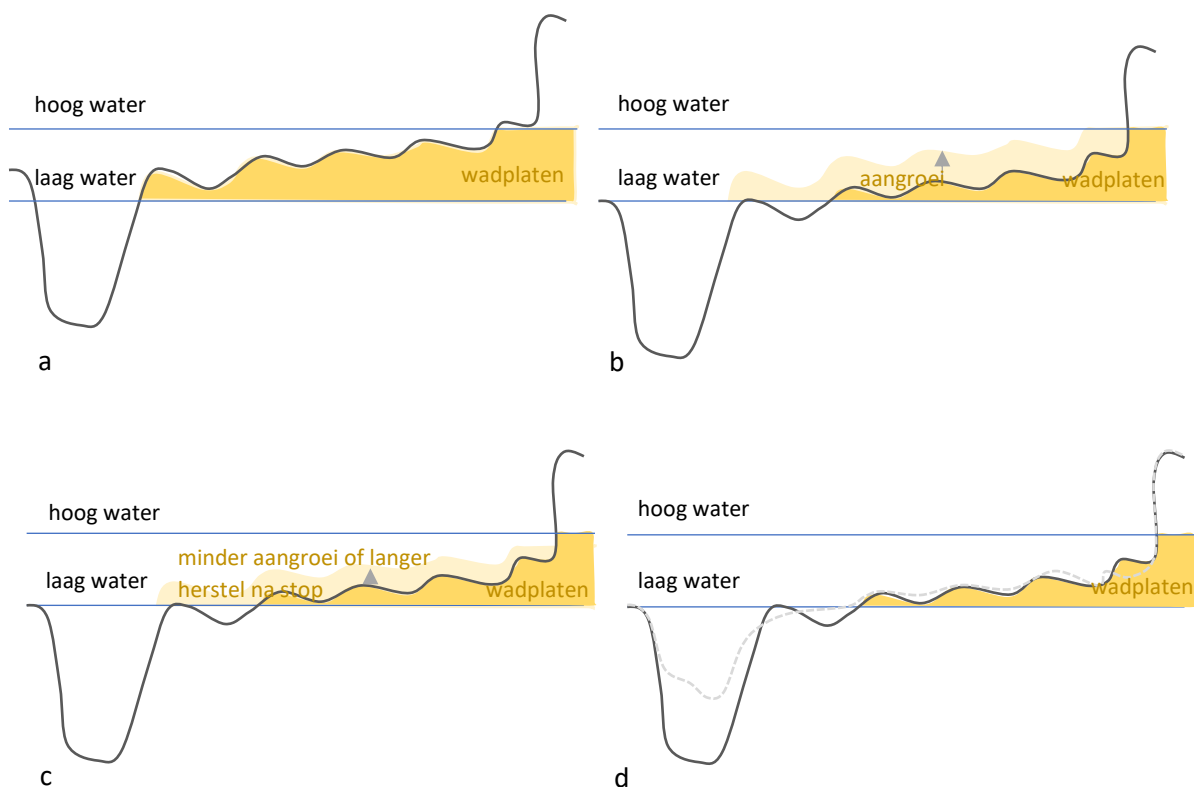
⁴⁶ Sassi, Maximilliano, Matias Duran-Matute, Thijs van Kessel and Theo Gerkema, 2015. Variability of residual fluxes of suspended sediment in a, multiple tidal inlet system: the Dutch Wadden Sea. *Ocean Dynamics*, 65, 1321-1333.

⁴⁷ Duran-Matute, Matias, Theo Gerkema and Maximilliano G. Sassi, 2016. Quantifying the residual volume transport through a multiple inlet system in response to wind forcing: the case of the Western Dutch Wadden Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121, 8888-8903.

getij en golfwerking bij een verder stijgende zeespiegel zijn niet meegenomen in het bepalen van het meegroeivermogen

Zandsuppleties

Het zand waarmee de bodemdaling wordt opgevuld, wordt in eerste instantie onttrokken binnen het kombergingsgebied aan de platen, geulen en de buitendelta's van de Waddenzee. Uiteindelijk wordt dit weer onttrokken aan de kustzones grenzend aan de buitendelta's. Omdat het Nederlandse kustbeleid erop gericht is de kustlijn vast te houden zal het zandvolume moeten worden aangevuld met zandsuppleties⁴⁸. Rijkswaterstaat voert al jaarlijks suppleties uit op de Nederlandse kust om de kustlijn te handhaven. De hoeveelheid suppletie is afhankelijk van de zeespiegelstijging en zal aangepast moeten worden bij hogere zeespiegelstijging⁴³. Het is belangrijk te bedenken dat het meegroeivermogen vooral gaat over het sedimentvolume. Het is onbekend of zandsuppletie een invloed heeft op de sedimentamenstelling, en of daarbij bijvoorbeeld het aandeel slib afneemt.



Figuur 5-2 a. Relatieve zeespiegelstijgsnelheid onder het vastgestelde meegroeivermogen. De wadplaten groeien mee met relatieve zeespiegelstijging. Er komt evenveel sediment het kombergingsgebied in als er nodig is om aan te groeien. b. Relatieve zeespiegelstijgsnelheid tijdelijk boven het vastgestelde meegroeivermogen resulteert in afname wadplaatvolume, areaal en toename van diepte. Dit kan herstellen als de relatieve zeespiegelstijgsnelheid weer onder het meegroeivermogen komt. c. Relatieve zeespiegelstijgsnelheid boven ~40% van de kritische grens. De import van sediment neemt onvoldoende toe in vergelijking met de vraag door een grotere diepte van de Waddenzee. Het systeem raakt verder uit evenwicht. De cumulatieve effecten op de wadplaten zijn groter en herstel duurt langer als de stijgsnelheid weer lager wordt dan wanneer de stijgsnelheid onder de 40% blijft. d. Relatieve zeespiegelstijgsnelheid boven de kritische grens voor verdrinking. Het systeem raakt nog meer uit evenwicht. Dit resulteert op de hele lange termijn in verdrinking; een afname van wadplaatvolume, areaal en toename diepte. Uiteindelijk ontstaat er mogelijk een nieuw evenwicht en verandert de morfologie doordat geulen worden opgevuld (stippellijn) door sedimentatie.

⁴⁸ Arcadis (2013) Passende beoordeling zoutwinning onder de Waddenzee. Rapport C01022.100263.0500

5.2 Mening adviescollege over gebruik meegroeivermogen in de HadK

Het HadK-principe vergt adequate en voldoende regelmatige monitoring, opdat tijdig signalen om bij te sturen gedetecteerd kunnen worden. Voor het actualiseren van de zeespiegelstijgingsscenario's en bijhouden van de bodemdaling is een mechanisme voor bijstelling aanwezig, maar voor het meegroeivermogen niet. Wel is het meegroeivermogen voor Vlie en Marsdiep bij de vaststelling van de voorwaarden voor de zoutwinning in 2013 aangepast aan recente inzichten. Er zijn echter aanwijzingen dat het meegroeivermogen kan veranderen⁴⁹ als gevolg van suppleties aan de Nederlandse kust en toekomstige zeespiegelstijging. Daarnaast is het meegroeivermogen nu gebaseerd op een gemiddelde van een kombergingsgebied en is deze voor zand en slib hetzelfde, terwijl het op theoretische gronden aannemelijk is dat er verschillen zijn tussen zand en slib, en dat zand eerder aan het begin van een bekken neerslaat in tegenstelling tot slib. Ook over het meegroeivermogen kunnen dus nieuwe inzichten ontstaan, die mogelijk aanpassingen vragen aan het huidige gebruik in de HadK. Monitoring en evalueren is ook daarom van belang.

De huidige praktijk van het HadK is dat het meegroeivermogen wordt gebruikt als een grens die hard gedefinieerd is. De vastgestelde grens van het meegroeivermogen is echter eerder een expert-beoordeling op basis van geologische data, metingen van sedimentatie en sedimentatievolumes, en modelleringen van de kritische relatieve snelheid van zeespiegelstijging, dan dat dit wetenschappelijk kan worden vastgesteld. Vaak wordt gesteld dat op basis van het voorzorgsprincipe een lage waarde van het meegroeivermogen is gekozen waardoor voor zeespiegelstijging en bodemdaling een meer realistisch scenario kan worden gekozen. Impliciet worden daarmee echter andere onzekerheden, zoals extreme scenario's van zeespiegelstijging en ecologische effecten, in een 'black box' gestopt, waardoor deze niet meer zichtbaar zijn in de HadK-analyse⁵⁰. Het zichtbaar maken van de onzekerheid en het inzichtelijk maken van de betrouwbaarheid van de waarde van het meegroeivermogen is belangrijk voor het vertrouwen om tijdig bij te sturen.

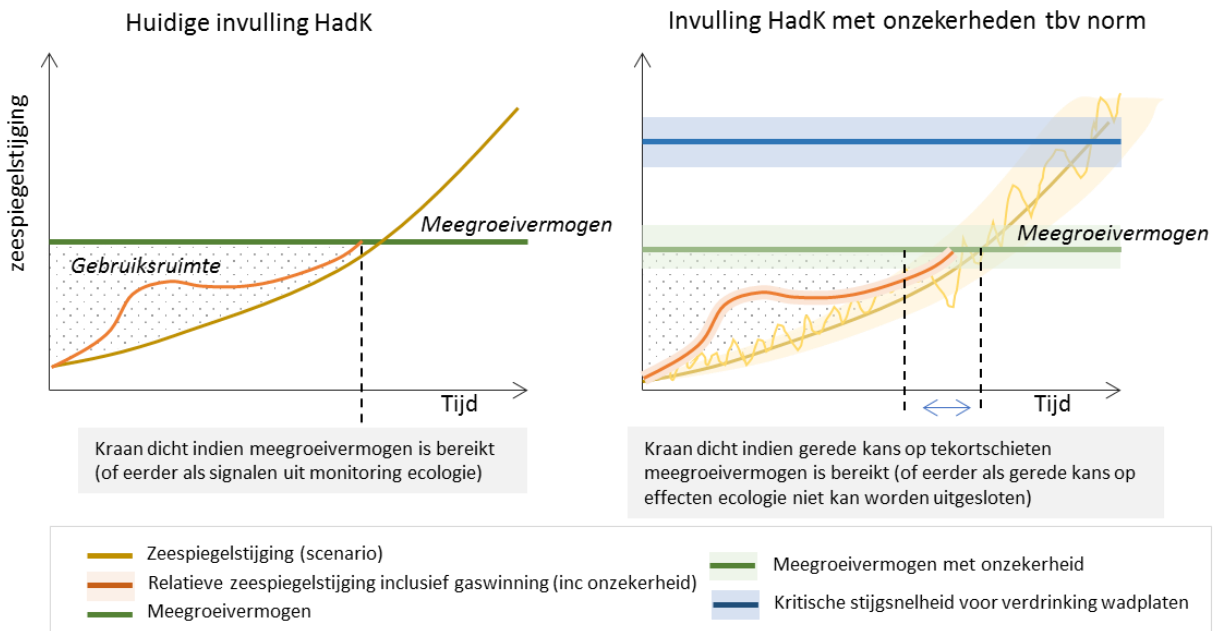
5.3 Aanbeveling voor het gebruik van meegroeivermogen in de HadK

Het gebruik van het huidige meegroeivermogen in het HadK-principe voldoet. Met het oog op de onzekerheden, de dynamiek van het Waddenzeesysteem en de mogelijke versnelde zeespiegelstijging, adviseert het adviescollege wel om het meegroeivermogen *nader* te onderbouwen en te evalueren. Het adviescollege beveelt aan om het meegroeivermogen te relateren aan de (gemodelleerde) kritische zeespiegelstijgsnelheid voor verdrinking, in aanvulling op de historische gegevens. Hierdoor is het meegroeivermogen, inclusief de bijbehorende onzekerheden, met behulp van modellen eenduidig vast te stellen (zie Figuur 5-3). Tevens concludeert het adviescollege dat ten aanzien van komberging Vlie er twijfels zijn of het meegroeivermogen voldoende conservatief is ingeschat.

⁴⁹ Bijvoorbeeld: als de buitendelta's niet kunnen meegroeien bij een snellere zeespiegelstijging doordat er onvoldoende wordt gesuppleerd, dan wordt het meegroeivermogen minder, of als het getij en de golfwerking veranderen.

⁵⁰ Ecologische effecten worden gemonitord en kunnen op deze manier wel zichtbaar worden (zie ook hoofdstuk 6).

De toekomst van Hand aan de Kraan



Figuur 5-3. Huidige (links) en aangepaste (rechts) invulling HadK. De mediane waarde voor de kritische stijgsnelheid voor kans op verdrinking wadplaten geeft 50% kans op verdrinking. Eén standaarddeviatie is weergegeven als onzekerheidsbandbreedte. De ondergrens van de kritische stijgsnelheid geeft dan 16% kans op verdrinking wadplaten. Het meegroeivermogen in de figuur rechts is gedefinieerd op 40% van de kritische stijgsnelheid. Deze waarde is anders dan het meegroeivermogen zoals gedefinieerd in de linker figuur.

Het adviescollege adviseert ook om de signaalwaarde van het meegroeivermogen beter te onderbouwen, en te onderzoeken in hoeverre het gehanteerde meegroeivermogen voldoende tijdig een signaal geeft om effecten te voorkomen, ook voor uitzonderlijke situaties zoals een extreem versnelde zeespiegelstijging. Modelsimulaties kunnen helpen inschatten wat de effecten zijn van het bereiken of overschrijding van het meegroeivermogen op de wadplaten. Een toekomstverkenning met een model kan het HadK-principe daarom ondersteunen door vooraf te analyseren wat er onder verschillende mogelijke situaties van winning, zeespiegelstijging, wind en bodemdaling, maar ook verschillende modelparameters, kan gebeuren met het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans. Op deze manier kan per toekomstscenario het risico op kans op overschrijding van het meegroeivermogen, en/of kans op verlies wadplaten, vooraf worden ingeschat en meegenomen worden in de besluitvorming omtrent delfstoffenwinning in de Waddenzee. Op deze manier wordt het meegroeivermogen op eenzelfde analoge stochastische (inclusief projectie van mogelijke scenario's) manier onderzocht als aanbevolen voor bodemdaling en zeespiegelstijging.

6 Natuurwaarden wadplaten Waddenzee

Onderstaande analyse kent een aantal begrenzings. Zo is hierbij alleen gekeken naar de natuurwaarden op de wadplaten; andere leefgebieden zoals geulen, kwelders en het Lauwersmeer zijn buiten beschouwing gelaten. Verder beperkt het zich tot natuurwaarden zoals die zijn gedefinieerd binnen de Vogel- en Habitatrictlijnen. Er is niet getoetst aan de hand van andere verdragen zoals die bijvoorbeeld zijn gemaakt in het kader van de Waddenzee als Unesco Werelderfgoed⁵¹, trilaterale afspraken⁵² en rond bescherming van migrerende vogels⁵³. Uitbreiding van de analyse naar de overige leefgebieden en de andere verdragen is zeker mogelijk, maar vraagt om aanvullende studies.

Het HadK-principe moet ervoor zorgdragen dat er geen schade wordt veroorzaakt aan de natuurwaarden in de Waddenzee. Op grond van artikel 6, lid 3 van de Habitatrictlijn is toelating van een project in de Waddenzee slechts mogelijk indien er wetenschappelijk gezien (op basis van de best beschikbare informatie) redelijkerwijs geen twijfel over bestaat dat er geen aantasting optreedt van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee. Natuurlijke kenmerken zijn hierbij gedefinieerd als Natura 2000-soorten en habitattypen waarvoor het gebied doelstellingen kent.

Daarbij moet bij de beoordeling vooraf uitdrukkelijk rekening worden gehouden met cumulatie van effecten van verschillende processen, waaronder ook toekomstige effecten zoals klimaatverandering. In de passende beoordeling van zowel de gaswinning⁵⁴ als de zoutwinning⁵⁵ wordt als randvoorwaarde gesteld dat, om de ontwikkeling van de staat van instandhouding van de Vogel- en Habitatrictlijngebieden in de gaten te houden, de initiatiefnemer een breed opgezette monitoring dient uit te voeren. Alle relevante onderliggende data en literatuurverwijzingen met betrekking tot dit hoofdstuk worden gegeven in Bijlage 5.

6.1 Toepassing natuurwaarden in de HadK

Voor de gas- en zoutwinning wordt een procesketen van oorzaak en gevolg verondersteld, de zogenaamde “ketenaanpak”. Op basis van effectketens voor de Waddenzee (Bijlage B5.4) wordt gesteld dat er eventuele effecten voor Natura 2000 soorten wadvogels en habitats verlopen via een keten van veranderingen in diepe bodemdaling, het oppervlak en de hoogte van de wadplaat (en daarmee de overspoelingsduur), de habitat (waaronder de sedimentsamenstelling), en de samenstelling van bodemdieren van de wadplaten (en daarmee het voedselaanbod voor de vogels).

Hieronder wordt eerst ingegaan op de monitoring van de gaswinning en daarna op de monitoring van de zoutwinning.

6.1.1 Gaswinning

Sinds 2008 wordt het oogstbaar voedselaanbod in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag in kaart gebracht voor 13 van de 51 vogelsoorten (de soorten waarvoor deze aanpak mogelijk is op basis van voldoende kennis en data) die in de passende beoordeling worden genoemd (Bijlage 5A).

⁵¹ <https://whc.unesco.org/en/list/1314/>

⁵² <https://www.waddensea-worldheritage.org/trilateral-wadden-sea-cooperation>

⁵³ <https://www.unep-aewa.org>

⁵⁴ Ministerie van Economische Zaken (2006) Gaswinning binnen randvoorwaarden. Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. 20 januari 2006.

⁵⁵ Arcadis (2013) Passende beoordeling zoutwinning onder de Waddenzee Frisia zout B.V., 1 oktober 2013, 076816298: A4 – Definitief; C01022.100263.0500.

Bij de berekening van het oogstbaar voedselaanbod (in de vorm van 7 proxies⁵⁶) wordt rekening gehouden met:

- i) de grootte en droogvalduur van de wadplaten. De grootte van de wadplaten wordt bepaald aan de hand van (1x per 5 jaar uitgevoerde) lodingen vanaf schepen en (ca. 2x per jaar uitgevoerde) lasermetingen (LiDAR) vanuit vliegtuigen. De droogvalduur van de wadplaten wordt vervolgens berekend aan de hand van de hoogte van de wadplaten en lineaire interpolatie van waterstanden t.o.v. NAP, zoals gemeten bij getijstations⁵⁷;
- ii) de biomassa, dichtheid, grootte, vleesinhoud en ingraafdiepte van de prooidieren in de wadbodem. De gegevens over de bodemdieren zijn afkomstig van langjarige meetprogramma's aan litorale bodemdieren sinds 2009 (SIBES)⁵⁸ en aan schelpdierbanken sinds 1990 (WOT)^{59,60} in de gehele Waddenzee.
- iii) het dieet, het eetgedrag en de opnamesnelheid van de desbetreffende vogelsoort.

Verder worden de langjarige veranderingen in aantallen vogels (zoals geteld op de hoogwatervluchtplaatsen aan de randen van Pinkegat en Zoutkamperlaag) vergeleken met die in de rest van de Nederlandse Waddenzee en in de Duitse en Deense Waddenzee³⁰. Hierbij is aangenomen dat de hoogwatertellingen van de vogels aan de randen van deze kombergingen een correct beeld geven van de aantallen vogels tijdens laagwater op de nabijgelegen wadplaten binnen de kombergingen.

In 2019 stelt de Auditcommissie Gaswinning⁶¹ dat het huidige monitoringsprogramma (dat in de loop van jaren is aangepast op basis van voortschrijdend inzicht) een goede basis vormt om onder meer de jaarlijkse en trendmatige veranderingen in natuurwaarden in en om de Waddenzee te kunnen volgen en verklaren. Zij onderkent hierbij dat het aantal mogelijk verklarende variabelen voor de vogelaantallen en vogelverspreiding in en rondom de Waddenzee zeer groot is, en beveelt aan om:

- na te gaan in hoeverre 'machine learning' ingezet kan worden om nog niet eerder gedetecteerde verbanden tussen de verklarende variabelen bloot te leggen en beter zicht te krijgen op trends in vogelaantallen;
- voor de referentiegebieden meer recente gegevens (vanaf 2014) over de voedselbeschikbaarheid te gebruiken; en

⁵⁶ Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

⁵⁷ Rappoldt, C., Ens, B.J. & Schekkerman, H. (2019) Wadvogel habitat model Wadmap. Technische documentatie EcoCurves Rapport 30, 109 pp. EcoCurves, Haren.

⁵⁸ SIBES staat voor "Synoptic Intertidal Benthic Survey of the Wadden Sea" waarbij het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee de wadbodem van de Waddenzee monitort als onderdeel van onderzoeksprogramma's naar hoe vogels en vissen de Waddenzee gebruiken als voedselbron en hoe zij zich verspreiden over het wad, zie bijvoorbeeld Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H., Piersma, T. (2013) Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *J Sea Res.* 82: 103-116.

⁵⁹ WOT staat voor "Wettelijke Onderzoeks Taken" waarvoor Wageningen Marine Research in opdracht van het Ministerie van LNV Waddenzee brede surveys naar schelpdierbanken uitvoert om mosselbankcontouren en mossel- en kokkelbestanden te bepalen, zie bijvoorbeeld van Asch, M., D. van den Ende, J. van der Pool, E.B.M. Brummelhuis, C. van Zweeden, Y. van Es, K. Troost (2020) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2019. CVO Report 19.009 & van den Ende D., Troost K., van Asch M., Perdon J. & van Zweeden C. (2020) Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen van de Nederlandse zoute getijdenwateren in 2019: bestand en arealen. 43pp. Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), IJmuiden.

⁶¹ Auditcommissie Gaswinning (2019) Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2018. 19 december 2019/ projectnummer: 3366.

- onderzoek te doen naar een optimalisatie in de keuze van referentiegebieden. Hiermee zouden trends en ruimtelijke verschillen in voedselbeschikbaarheid naar verwachting beter gerelateerd kunnen worden aan die in aantallen wadvogels

In 2020⁶² wordt, op basis van de lokale monitoring gegevens tot en met 2019, geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling voor 12 van de 13 onderzochte vogelsoorten. Geen van de 13 onderzochte soorten scoorde 100% (dat wil zeggen op alle punten van het beslisschema), en de uiteindelijke conclusie van de studie is gebaseerd op “expert judgement”. Voor de steenloper kon geen conclusie worden getrokken. Verder wordt in dit rapport melding gemaakt van een eigenstandig uitgevoerde “machine learning” studie⁶³ naar de relatie tussen het voorkomen van bodemdieren en sediment samenstelling, droogligtijd, schuifspanning en golfwerking.

In dezelfde studie uit 2020⁶⁴ wordt aanbevolen om:

- i) de aangenomen relaties tussen de laagwaterfoerageergebieden en de hoogwatervluchtplaatsen te controleren;
- ii) de aangenomen dieetkeuzes van de wadvogels verder aan te scherpen; en
- iii) de mogelijke rol van andere factoren dan de lokale voedselbeschikbaarheid (zoals sedimentsamenstelling, kokkelvisserij, binnendijkse foerageermogelijkheden en verstoring door onder meer vliegtuigen en roofvogels) op de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee verder te onderzoeken.

In 2020 adviseert de Auditcommissie Gaswinning⁶⁵ om:

- i) na te gaan of machine learning, binnen de nu beschikbare gegevens, ook nog breder ingezet kan worden, bijvoorbeeld om niet eerder gedetecteerde verbanden tussen diepe-bodemdaling, morfologie en ecologie bloot te leggen;
- ii) ook voor de referentie de bodemdiergegevens vanaf 2014 te benutten (i.p.v. een beperking tot de periode 2008-2013) en daarbij te onderzoeken of, door gericht referentiegebieden te kiezen binnen de Waddenzee, de analyse-inspanning voor het verkrijgen van bodemdiergegevens kan worden verkleind; en
- iii) na te gaan in hoeverre andere ontwikkelingen in de Waddenzee, zoals de toekomstige aanleg van twee ondergrondse stroomkabels, zou kunnen interfereren met het monitoringprogramma.

6.1.2 Zoutwinning

De zoutwinning in de Waddenzee is recent gestart in september 2020. De veranderingen in hoogteligging en sedimenttype als gevolg van de zoutwinning kan van invloed zijn op de fauna in de

⁶² Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

⁶³ Folmer, E., A. Dekinga, S. Holthuijsen, J. van der Meer, D. Mosk, T. Piersma, H. van der Veer (2017) Species Distribution Models of Intertidal Benthos - Tools for Assessing the Impact of Physical and Morphological Drivers on Benthos and Birds in the Wadden Sea. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research Report, uitgevoerd in opdracht van Deltares n het kader van het project ‘Natuurlijk Veilig’ over effecten van kustsuppleties op fauna.

⁶⁴ Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

⁶⁵ Auditcommissie Gaswinning (2020) Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2018. 26 november 2020/ projectnummer: 3467.

kombergingen van Vlie en Marsdiep, waaronder de Ballastplaat⁶⁶. De Auditcommissie Zoutwinning⁶⁷ beveelt in 2017 aan om de periode tot de start van de zoutwinning (toen verwacht in 2021) te benutten voor een nulmeting. Hierbij adviseerde zij onder meer om:

- i) de ratio achter de meetstrategie, werkhypotheses en de beoogde verwerking van de meetresultaten goed uit te leggen; en
- ii) te laten zien welke andere (al dan niet vrij beschikbare) meetprogramma's en informatiebronnen over de Waddenzee beschikbaar zijn en daarbij aan te geven wat het belang hiervan kan zijn om bij (onverwachte) negatieve veranderingen in de natuur in de Waddenzee te bepalen of deze wel of niet het gevolg zijn van de zoutwinning.

In 2019 werd voor de nulmeting en de langjarige monitoring van de natuurwaarden m.b.t. de zoutwinning voorgesteld⁶⁸ om deze te richten op:

- i) hoogtemetingen van de Ballastplaat (m.b.v. vaklodingen, spijkermetingen, LiDAR en aanvullende metingen);
- ii) bemonstering van sedimentsamenstelling;
- iii) bemonstering van 3 soorten bodemdieren (kokkels, mosselen & nonnetjes); en
- iv) tellingen van 4 van de 46 in de passende beoordeling genoemde vogelsoorten waarvan 3 wadvogels op hoogwatervluchtplaatsen (scholekster, bonte strandloper, kanoetstrandloper) en 1 ruiende watervogel (bergeend) op het open water vanaf schepen.

In 2018 start de nulmeting voor de zoutwinning en de resultaten daarvan worden in 2019^{69,70} gerapporteerd. Voor de nulmeting van de sedimentsamenstelling is een eigen bemonstering (in 2018 en 2019) uitgevoerd in 5 deelgebieden (1 binnen de bodemdalingsschotel met 4 stations, en 4 buiten met elk 4-8 stations). Voor de nulmeting aan de bodemdieren is een selectie van 8 deelgebieden gemaakt (3 binnen en 5 buiten de bodemdalingsschotel) uit een langjarige (1990-2016) bemonstering van schelpdierbanken. De nulmeting van het aantal wadvogels op hoogwatervluchtplaatsen is gebaseerd op tellingen (en schattingen bij ontbrekende waarden) voor september (voor de jaren 1975 tot en met 2016). Er is gekozen voor september omdat in deze maand het aandeel van de geschatte waarden het laagst is. De nulmeting van de bergeend is gebaseerd op tellingen in augustus (voor de jaren 2016 tot en met 2018), de maand waarin deze soort het gebied ten oosten van de Ballastplaat gebruikt als ruigebied.

In 2019 oordeelt de Auditcommissie Zoutwinning⁷¹ dat de bruikbaarheid van een deel van de metingen nog onvoldoende is en dat delen van het meetprogramma daarom een andere invulling nodig hebben. Zij verwijst hierbij specifiek naar de onmogelijkheid om bergeenden als 'signaal'-soort voor de eventuele effecten van zoutwinning te gebruiken (door de te korte tijdserie en het gebrek aan geschikte referentiegebieden), en dat de meetresultaten en analysetechnieken van de overige geselecteerde vogels (scholekster, bonte strandloper en kanoet) en van de bodemdieren

⁶⁶ Arcadis (2013) Passende beoordeling zoutwinning onder de Waddenzee Frisia zout B.V., 1 oktober 2013, 076816298: A4 – Definitief; C01022.100263.0500.

⁶⁷ Auditcommissie Zoutwinning (2017) Advies opzet nulmeting monitoring zoutwinning Waddenzee Havenmond. Brief aan Ministerie van Economische Zaken, 25 april 2017, kenmerk 3203.

⁶⁸ Arcadis (2019) Monitoring t0-situatie Waddenzee, Studiegebied zoutwinning. Frisia Zout B.V. 25 april 2019.

⁶⁹ van der Zee, E., R. Snoek, M. Olivierse, L. Perk (2019) Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee. Jaarrapport 2018, Altenburg en Wymenga, rapport 2525, 21 maart 2019 & van der Zee, E., R. Snoek, M. Olivierse, L. Perk (2019) Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee. Jaarrapport 2019. A&W-rapport 2525.19 Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.

⁷⁰ Arcadis (2019b) Monitoring t0-situatie Waddenzee, Studiegebied zoutwinning: data analyse. Frisia Zout B.V. Referentie: 083888249 0.1 - Datum: 18 april 2019.

⁷¹ Auditcommissie Zoutwinning (2019) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de resultaten van de nulmeting. 19 december 2019/ projectnummer: 3203.

onvoldoende compleet zijn om eventuele negatieve effecten van de zoutwinning te kunnen aantonen of uitsluiten.

In 2020 herhaalt de Auditcommissie Zoutwinning⁷², op basis van de herziene nulmeting zoals gerapporteerd in 2020⁷³, dat de voorspellende waarde van de huidige monitoring laag is en dat de in een eerder advies uit 2019 benoemde zwakke punten nog onvoldoende geadresseerd zijn. Zij stelt dat de voorspellende waarden laag zijn, gezien de grote fluctuatie in meetresultaten gedurende de afgelopen jaren (en dat deze fluctuaties ook in de toekomst kan optreden), waardoor de relatie met de zoutwinning moeilijk aan te geven is. De Auditcommissie geeft opnieuw het advies om voor de effectenstudies van de natuurwaarden een alternatieve aanpak uit te werken, met een eventueel onderzoek naar andere vogelsoorten. Hierbij verwijst de Auditcommissie naar soorten die bij de monitoring van de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen gebruikt worden en een hoge voorspellende waarde hebben. Het meest recente rapport van de Auditcommissie Zoutwinning⁷⁴ geeft aan dat de inmiddels voorgestelde aanpassing van Arcadis⁷⁵ om trends van 13 soorten vogels te volgen op basis van 'seizoensmiddellingsaantallen' i.p.v. de 'septemberaantallen', zal leiden tot een grotere voorspellende waarde van het monitoringsprogramma. De overige metingen (sedimenthoogte, sedimentsamenstelling en bodemdieren) blijven als zodanig gehandhaafd zoals eerder voorgesteld in 2019⁷⁶.

6.1.3 Cumulatieve effecten

Wat betreft eventuele cumulatieve effecten wordt in de passende beoordeling van zowel de gaswinning in 2006 als de zoutwinning in 2013 een overzicht gegeven (Bijlage 5B) van 19 respectievelijk 13 activiteiten, waaronder lichtvervuiling, geluidsoverlast, verstoring, vervuiling, bodemberoering, en bodemdaling. Hierbij wordt gesteld dat geen van deze activiteiten tot eventuele gevolgen zal leiden die cumuleren met de delfstofwinning. Wat betreft eventuele effecten van klimaatverandering wordt expliciet melding gemaakt van eventuele zeespiegelstijging (zie ook hoofdstuk 4); andere effecten zoals langjarige veranderingen in het klimaat⁷⁷ (b.v. toenemende temperatuur en kans op drogere zomers) worden niet beschouwd (Bijlage B5.2).

Meer recent worden wel andere factoren genoemd die mogelijk van invloed zijn op de waarnemingen. Zo noemt het meest recente monitoringrapport een aantal factoren (waaronder kokkelvisserij en verstoring) die mogelijk belangrijk zijn om eventuele veranderingen in lokale aantallen vogels te kunnen duiden⁷⁸. Ook adviseert de Auditcommissie Gaswinning⁷⁹ om na te gaan in hoeverre andere ontwikkelingen in de Waddenzee, zoals de toekomstige aanleg van twee ondergrondse stroomkabels, zouden kunnen interfereren met het monitoringprogramma rond de gaswinning.

⁷² Auditcommissie Zoutwinning (2020) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de herziene resultaten van de nulmeting. 27 mei 2020/ projectnummer: 3203.

⁷³ Arcadis (2019c) Monitoring t0-situatie Waddenzee, Studiegebied zoutwinning: Herziene versie rapportage 2019.

⁷⁴ Auditcommissie Zoutwinning (2020) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de nulmeting en het meetjaar 2019. 31 augustus 2020/ projectnummer: 3475.

⁷⁵ Arcadis (2020) Monitoring t0-situatie studiegebied zoutwinning Waddenzee. D10012045:5 - Datum: 30 juni 2020.

⁷⁶ Arcadis (2020) Monitoring t0-situatie studiegebied zoutwinning Waddenzee. D10012045:5 - Datum: 30 juni 2020

⁷⁷ <http://www.klimaatscenarios.nl>

⁷⁸ Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

⁷⁹ Auditcommissie Zoutwinning (2020) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de herziene resultaten van de nulmeting. 27 mei 2020/ projectnummer: 3203.

6.2 Huidige wetenschappelijke stand van zaken

Voor het in kaart brengen en meten van eventuele gevolgen van delfstofwinning voor natuurwaarden zijn er een aantal wetenschappelijke inzichten en nieuwe technische ontwikkelingen beschikbaar waarmee verbeteringen kunnen worden aangebracht in de huidige monitoringsaanpak. Hieronder volgt een beknopte beschouwing voor de meest relevant geachte onderdelen volgens een ketenaanpak, d.w.z. van veranderingen in omgevingsfactoren tot effecten op natuurwaarden op wadplaten. Voor een meer uitgebreide beschrijving met bronvermeldingen wordt verwezen naar Bijlage 5C.

De overspoelingsduur van de wadplaten per getijdencyclus, randvoorwaardelijk voor de soortensamenstelling van de bodemdieren en bepalend voor de maximale foerageertijd voor wadvogels, kan sterk in de ruimte en tijd variëren door variaties in bodemhoogte (als gevolg van sedimentatie en erosie) en waterhoogte (als gevolg van wind in combinatie met het astronomisch tij). Voor bodemdieren en vogels zullen de gevolgen van deze variatie niet alleen afhangen van de gemiddelde overspoelingsduur, maar ook van de hoogte van de extremen en met welke frequentie en aaneengesloten duur die extremen voorkomen. Nieuwe meettechnieken (zoals drones, satellietbeelden en automatische sensoren) maken het mogelijk om waterhoogtes en bodemhoogtes in de voor bodemdieren en vogels relevante resoluties (veranderingen in oppervlak en ligging drooggevallen wad gedurende getijdeperiodes) in de ruimte en tijd te monitoren.

De sedimentsamenstelling van de wadplaten is van invloed op de bodemdieren, en op de detectie en bereikbaarheid van ingegraven bodemdieren voor foeragerende vogels. Indien de bodemdalingsschotel wordt ingevuld door fijner of grover sediment dan de oorspronkelijke samenstelling, kan dit directe gevolgen hebben voor de toegankelijk voor de vogels van bodemdieren, en indirecte gevolgen voor het totale potentiële voedselaanbod via veranderingen in de bodemfauna. Het sediment van de wadplaten lijkt de laatste jaren (2009-2015) iets zandiger te worden, d.w.z. een gemiddelde toename van mediane korrelgrootte (+0.89 μm per jaar) en een afname van slibgehalte (-0.24% per jaar), met name vlak bij de vastelandskust⁸⁰. Maar wat de oorzaak hiervan is (bijvoorbeeld of dit een lange-termijn gevolg is van de morfologische veranderingen door afsluitingen en kwelderwerken⁸¹ en in hoeverre dit relevant is voor wadvogels en hun voedselaanbod) is op dit moment nog onduidelijk. Nieuwe meet- en analysetechnieken zijn in staat gebleken om de sedimentsamenstelling vanuit de lucht middels drones en satellieten te karteren.

Het oogstbaar voedselaanbod voor wadvogels tijdens laagwater wordt bepaald door de soortensamenstelling, dichtheid, vleesinhoud, grootteverdeling en ingraafdiepte van de bodemdieren. Het niet meenemen van al deze aspecten geeft een onvolledige weergave van het voedsellandschap voor vogels, en kan daarmee een vertekend beeld opleveren van eventuele veranderingen in het voedselaanbod voor vogels, al dan niet als gevolg van delfstofwinning. Verwacht wordt dat machinaal leren en nieuwe statistische analysemethoden voor bestaande data van Waddenzee-brede meetprogramma's van bodemdieren, meer nauwkeurige resultaten op zullen leveren over eventuele veranderingen in de ruimtelijke verdeling van het oogstbaar voedselaanbod voor de vogels in de Waddenzee⁸².

⁸⁰ Folmer, E., A. Dekinga, S. Holthuijsen, J. van der Meer, D. Mosk, T. Piersma, H. van der Veer (2017) Species Distribution Models of Intertidal Benthos - Tools for Assessing the Impact of Physical and Morphological Drivers on Benthos and Birds in the Wadden Sea. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research Report.

⁸¹ Herman, P.M.J. et al. (2018) Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model. Deltares, 11202177-000-ZKS-0011, Versie 1.0, 17 december 2018, definitief.

⁸² Folmer, E., A. Dekinga, S. Holthuijsen, J. van der Meer, D. Mosk, T. Piersma, H. van der Veer (2017) Species Distribution Models of Intertidal Benthos - Tools for Assessing the Impact of Physical and Morphological Drivers on Benthos and Birds in the Wadden Sea. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research Report & Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. 2020. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in

Het dieet van wadvogels hangt naast het oogstbaar voedselaanbod ook af van hun soort-specifieke specialisaties, die niet alleen verschillen tussen soorten, maar ook binnen een soort gedurende het jaar, tussen generaties van een soort, en tussen individuen als gevolg van specialisaties in gedrag. Nieuwe technieken, zoals stabiele isotopen en automatische volgsystemen, maken het mogelijk om het dieet van de verschillende vogels beter te doorgronden. Daarmee wordt het mogelijk om een betere (meer actuele) vertaling te maken van bodemdieren naar oogstbaar voedselaanbod.

De opnamesnelheid van voedsel door wadvogels tijdens laagwater wordt (naast droogvalduur, voedselaanbod en het dieet) ook bepaald door de efficiëntie van zoeken, vangen en verteren, en door hun gedrag. Wat betreft gedrag kunnen vogels zich van elkaar verwijderen bij concurrentie om voedsel, samscholen tot een dichte groep bij gevaar, en wegvliegen als reactie op mogelijk gevaar bijvoorbeeld als gevolg van verstoringen door menselijk handelen. “Real time” metingen aan het gedrag van vogels in relatie tot elkaar en tot externe factoren, kan inzicht geven in hoeverre het oogstbaar voedselaanbod daadwerkelijk bepalend is voor de aanwezigheid en verspreiding van de wadvogels op de wadplaten.

Steeds meer studies laten zien hoe huidige alsook mogelijk toekomstige cumulatieve effecten, bijvoorbeeld als gevolg van klimaatverandering, bij een effectenbeoordeling kunnen worden meegenomen, waarbij onzekerheden zoals als gevolg van bandbreedtes in dosis-effect relaties en beperkte data sets, expliciet worden meegenomen. Het meten van effecten van natuurlijke dynamiek (b.v. stormen) en menselijke activiteiten (b.v. verstoring door geluid) op de voor de delfstofwinning relevante natuurwaarden geeft informatie over in hoeverre eventuele veranderingen in deze natuurwaarden wel of niet zijn toe te schrijven aan delfstofwinning.

6.3 Mening adviescollege over gebruik natuurwaarden in HadK

Het adviescollege constateert dat de huidige meetprogramma's een schat aan informatie aandragen waarmee de effectiviteit van het HadK-principe voortdurend getoetst kan worden. Daarbij geldt dat bij redelijke wetenschappelijke twijfel over het effect van de delfstoffenwinning op de natuurwaarden wordt aangegeven dat er 'aan de kraan' (reductie of stopzetting van de delfstofwinning) moet worden gedraaid. Het adviescollege is echter van mening dat er geen voor de effectenstudies hanteerbare definitie is gegeven van wat redelijke twijfel is.

Daarnaast is er slechts zeer beperkt (alleen voor vogels, gebaseerd op data voor 1990-2007) onderzoek verricht naar de mogelijkheid om aan de hand van bestaande monitoringdata door te rekenen hoe sterk een verandering in welke natuurwaarden moet zijn om als een effect van delfstofwinning zichtbaar te worden (dus om als signaal boven de achtergrondruis uit te komen)⁸³. Dit maakt het lastig om een verandering in natuurwaarden binnen de bodemdalingsschotels t.o.v. ontwikkelingen in de referentiegebieden toe te wijzen aan de delfstoffenwinning. Ook kan hierdoor niet aangegeven worden of, en zo ja, hoe een grotere of kleinere meetinspanning (b.v. meer of minder meetstations) leidt tot een beter of slechter detectievermogen van een eventueel effect van delfstofwinning.

de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen & Auditcommissie Zoutwinning (2020) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de herziene resultaten van de nulmeting. 27 mei 2020/ projectnummer: 3203.

⁸³ Wiersma P., Roodbergen M., Goedhart P.W. & Ens B.J. 2009. Ontwikkeling en toepassing van een poweranalyse voor de vogelmonitoringgegevens in het kader van de nieuwe gaswinning. SOVON-onderzoeksrapport 2009/11. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen. NB: Hierbij bleek onder meer dat voor 8 van de 14 onderzochte soorten uit de watervogeltellingen van de Waddenzee een lokale reductie in aantallen van 10% per jaar kan worden aangetoond na 6 tot 8 jaar (dus na een ongeveer een halvering van de aantallen zoals aanwezig in het eerste jaar).

Er is niet volledig (gaswinning) of geen (zoutwinning) gebruik gemaakt van alle data, met name die uit het bestaande SIBES meetprogramma aan sedimentsamenstelling en bodemdieren. Dat volgt langjarige (sinds 2009) en grootschalige (meer 4500 meetpunten) ontwikkelingen in de Waddenzee (en daarmee binnen en buiten de bodemdalingsschotels) volgen. Voor de monitoring rond de gaswinning is geen gebruik gemaakt van de SIBES⁸⁴ gegevens vanaf 2014 voor het volgen van de ontwikkelingen in de referentiegebieden. Voor de monitoring voor de zoutwinning is voor wat betreft de bodemdieren alleen gebruik gemaakt van de WOT⁸⁵ metingen en zijn eigenstandige metingen aan sedimentsamenstelling uitgevoerd. Daardoor zijn de gegevens met betrekking tot sediment en de bodemdieren niet compleet en is niet alle beschikbare informatie gebruikt om eventueel negatieve effecten van de delfstofwinning (met name de zoutwinning) te kunnen aantonen of uitsluiten.

Wat betreft de monitoring van de mogelijke effecten van de zoutwinning zijn er onvoldoende wetenschappelijke aanwijzingen dat de huidige selectie van de te volgen soorten bodemdieren een zo volledig mogelijk beeld geeft van eventuele significante effecten op het voedselaanbod voor alle gemonitorde soorten vogels. De beperking tot de drie geselecteerde soorten schelpdieren is niet goed onderbouwd, en is minder dan op basis van bestaande gegevens (zie monitoring gaswinning waar een meer volledig palet van bodemdieren wordt gevolgd) mogelijk is.

Er wordt bij de effectenbeoordeling geen rekening gehouden met cumulatieve effecten, waaronder die als gevolg van klimaatverandering (m.u.v. zeespiegelstijging) en verstoring. Deze effecten vormen geen onderdeel van de monitoringprogramma's rond de gas- en zoutwinning. Veel van deze gegevens zijn wel beschikbaar of beschikbaar te maken; wat ontbreekt is een geautomatiseerde bewerking en interpretatie van de verschillende gegevensbronnen, bijvoorbeeld aan de hand van "machine learning"⁸⁶.

6.4 Aanbeveling voor het gebruik van natuurwaarden in de HadK

Het adviescollege adviseert om voor de implementatie van het HadK-principe de volgende aanpassingen te doen.

Voor de toelaatbaarheid van de activiteiten geldt dat redelijke wetenschappelijke twijfel over significante negatieve gevolgen voor het N2000-gebied moet ontbreken. Significantie moet daarbij worden gezien vanuit de natuurlijke kenmerken die het gebied geschikt laten zijn voor de relevante

⁸⁴ SIBES staat voor "Synoptic Intertidal Benthic Survey of the Wadden Sea" waarbij het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee de wadbodem van de Waddenzee monitort als onderdeel van onderzoeksprogramma's naar hoe vogels en vissen de Waddenzee gebruiken als voedselbron en hoe zij zich verspreiden over het wad, zie bijvoorbeeld Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H., Piersma, T. (2013) Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *J Sea Res.* 82: 103-116.

⁸⁵ WOT staat voor "Wettelijke Onderzoeks Taken" waarvoor Wageningen Marine Research in opdracht van het Ministerie van LNV Waddenzee brede surveys naar schelpdierbanken uitvoert om mosselbankcontouren en mossel- en kokkelbestanden te bepalen, zie bijvoorbeeld van Asch, M., D. van den Ende, J. van der Pool, E.B.M. Brummelhuis, C. van Zweeden, Y. van Es, K. Troost (2020) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2019. CVO Report 19.009 & van den Ende D., Troost K., van Asch M., Perdon J. & van Zweeden C. (2020) Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen van de Nederlandse zoute getijdenwateren in 2019: bestand en arealen. 43pp. Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), IJmuiden.

⁸⁶ Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen & Auditcommissie Zoutwinning (2020) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de herziene resultaten van de nulmeting. 27 mei 2020/ projectnummer: 3203.

Natura 2000-soorten en -habitats^{87,88}. Het startpunt van het HadK-principe is dat de activiteit geen schade veroorzaakt aan de natuurwaarden. Hierbij is monitoring van de natuurwaarden opgelegd om definitief uitsluitel te geven over het ontbreken van significante effecten als gevolg van die activiteit. Dit betekent dat bij deze monitoring geen lacunes in relevante kennis (b.v. in dosis-effect relaties) en/of onzekerheden over de waarden van de metingen van de eventuele effecten mogen bestaan.

Het adviescollege adviseert om de onzekerheden in oorzaak-gevolg relaties, in de veranderingen in waarden (trends) van indicatoren binnen en buiten de bodemdalingsschotels, en in de bijdragen van cumulatieve effecten zo expliciet mogelijk te maken, en deze onzekerheden vervolgens als bandbreedtes expliciet mee te wegen in de beoordeling of er wel of geen sprake is van redelijke twijfel.

Het succes van het HadK-principe staat of valt bij de kwaliteit van de meetgegevens en de analyses. Het adviescollege adviseert om voor de monitoring van de natuurwaarden meer gebruik te maken van de meest recente inzichten, meettechnieken en analysemethoden. Hierbij valt te denken aan i) het bepalen van het oppervlak, de hoogte en sedimentsamenstelling de wadplaten aan de hand van "remote sensing" (b.v. drones en satellieten), ii) het bepalen van de relatie tussen hydrodynamiek, sedimentatie en erosie m.b.v. automatische sensoren, iii) het volgen van het gedrag van vogels rondom (hoogwatervluchtplaatsen) en op wadplaten d.m.v. zenders, en iv) de inzet van recent ontwikkelde statistische en "machine learning" technieken om de relaties tussen om verbanden tussen diepe-bodemdeling, morfologie en natuurwaarden beter te detecteren. Bij een overstap naar een nieuwere methode moet de consistentie van de langjarige meetseries uiteraard geborgd blijven (b.v. door het enige tijd gelijktijdig uitvoeren van historische en innovatieve metingen of een andere vorm van kalibratie).

Ook adviseert het adviescollege om de monitoring uit te voeren op basis van een wetenschappelijk goed onderbouwde set van variabelen waarmee het gehele palet van te beschermen soorten en habitats zo goed mogelijk wordt afdekt. Daarbij kan zoveel mogelijk worden aangesloten bij langlopende Waddenzee-brede meetprogramma's die zowel binnen als buiten de bodemdalingsgebieden worden uitgevoerd, zoals het SIBES programma aan sedimentsamenstelling en bodemdieren. Een eerdere analyse (voor de jaren 2008-2012) vond geen verschil tussen bodemdieren in een gaswinningsgebied (met een toenmalige diepe bodemdaling van 2 cm of meer) en daarbuiten⁸⁹, maar deze analyse is sindsdien niet meer herhaald en ook geen onderdeel van de beoogde monitoring van de zoutwinning. Voor de monitoring van de gas- en zoutwinning wordt aanbevolen om, zover als relevant, zoveel mogelijk dezelfde type metingen en analyses aan dezelfde natuurwaarden uit te voeren, en deze met elkaar te delen om zo te komen tot de beste en de best vergelijkbare effectenstudies.

Het adviescollege adviseert om nader onderzoek te doen bij welke signaleringswaarden (vastgestelde natuurwaarden en/of snelheden van verandering van een bepaalde natuurwaarden t.o.v. die in referentiegebieden (zie hoofdstuk 7.2) en onzekerheden in deze waarden (zie hoofdstuk 7.3) de gas- en zoutwinning moet worden gereduceerd of stopgezet, de zogenaamde normstelling (zie ook hoofdstuk 7.4).

⁸⁷ Zie de uitspraken van Hof van Justitie van de EU in a) de zaak C-127/02 (Waddenzee), 29 januari 2004, para. 48, b) de zaak C-404/09 (Com. v. Spain), 24 november 2011, para. 99, c) de zaak C-182/10 (Solvay and Others), 16 februari 2012, para 67, en d) de zaak C-258/11 (Sweetman), 11 april 2013, para. 40.

⁸⁸ Bastmeijer, K. (2019) The Ecosystem Approach for the Marine Environment and the Position of Humans: Lessons from the EU Natura 2000 Regime. IN: Langlet, D. & R. Rayfuse (Eds) The ecosystem approach in ocean planning and governance: perspectives from Europe and beyond. Brill Nijhoff, Leiden, pp. 195-220.

⁸⁹ Compton, T.J. et al (2013) Progress report for the 2012 sampling of the Synoptic Intertidal Benthic Surveys across the Dutch Wadden Sea. NIOZ Report 2013-9.

Het adviescollege adviseert verder om de bestaande (historische) data te analyseren op de signaal-ruis verhouding om te bepalen of de huidige meetinspanning voldoende is om tijdig dergelijke waarden in signalering te detecteren en, zo niet, welke extra inzet (b.v. een lokale verdichting van het netwerk en/of “real time” metingen) nodig zou zijn om een eventueel effect van bodemdaling op natuurwaarden te kunnen detecteren en/of uit te kunnen sluiten. Daarbij is het nodig de effecten van natuurlijke dynamiek (b.v. stormen) en menselijke activiteiten (b.v. geluid, licht, verstoring en bodemberoering) die mogelijk van invloed kunnen zijn op de natuurwaarden, zo kwantitatief mogelijk in kaart te brengen. Dit is essentieel om de ruis in de waarnemingen te verkleinen en om deze aspecten expliciet mee te nemen in de effectenbeoordeling, onder meer door het ontwikkelen van meer kwantitatieve beslisschema's over het al dan niet reduceren of stoppen van de delfstofwinning waarin zowel de normstelling (zie hoofdstuk 7) als de cumulatieve effecten expliciet worden gemaakt.

Samengevat

Ten aanzien van de effectiviteit van het HadK-principe komt het adviescollege tot de conclusie dat er geen negatieve effecten op de natuurwaarden in de jaren 2006-2020 zijn geobserveerd die toegeschreven kunnen worden aan de bestaande gaswinningen. In deze zin heeft het HadK-principe voldaan. Om de effectiviteit van dit principe op de langere termijn te kunnen garanderen, voor zowel de gas- als de zoutwinning, heeft het adviescollege een aantal aandachtspunten geïdentificeerd. De effectiviteit van het Hand aan de Kraan-principe om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen hangt af van de zeggingswaarde van de meetgegevens uit de monitoring, waaronder:

- de vertegenwoordiging van de selectie van soorten voor het hele palet van de te beschermen soorten (b.v. wat betreft meest relevante bodemdieren als onderdeel van het dieet van wadvogels),
- de relatie tussen de meetgegevens (b.v. aantal vogels op HVPs) en de benodigde informatie (b.v. aantal vogels op wadplaten),
- de aannames in de effectenketens (b.v. die ten aanzien van het dieet en het gedrag van de vogels),
- de signaal-ruis verhouding in de meetgegevens (is onder meer afhankelijk van de dichtheid van het meetnet),
- de keuze van de juiste referenties (wat betreft gebieden, jaren en soorten), en
- de invloed van de cumulatieve effecten in de bodemdalingsschotels en de referentiegebieden.

Voor de zoutwinning kan geconcludeerd worden dat er op dit moment nog niet optimaal gebruik is gemaakt van de bestaande mogelijkheden om i) de onzekerheden in die zeggingswaarde zo kwantitatief mogelijk te beschrijven, ii) waar mogelijk, de onzekerheden te verkleinen, en iii) de onzekerheden expliciet mee te nemen in evaluaties van eventuele effecten.

Omdat verwacht mag worden dat de onzekerheden in de toekomst eerder groter dan kleiner zullen worden, onder meer als gevolg van effecten van klimaatverandering, zou het HadK-principe meer toereikend kunnen zijn om de mogelijke langetermijngevolgen voor de beschermde natuurwaarden van het Waddengebied te beheersen indien de onzekerheden in de meetgegevens zo veel mogelijk worden verkleind en als onderdeel van de normering worden meegenomen (zie hoofdstuk 7).

7 Hand aan de Kraan – geïntegreerd

Zoals eerder opgemerkt, heeft het adviescollege zich in dit advies beperkt tot de wetenschappelijke aspecten van het HadK-principe, daarbij praktische, juridische en bestuurlijke aspecten niet beschouwend.

In de voorgaande hoofdstukken 3 t/m 6 worden alle onderdelen van het HadK-principe afzonderlijk besproken. Bij ieder onderdeel plaatst het adviescollege kanttekeningen, in veel gevallen geformuleerd als aanbevelingen om het geldende HadK-principe aan te vullen in het licht van veranderingen of nieuwe inzichten die zich sinds de definiëring van het HadK in 2006 hebben voorgedaan. Vaak worden die aanbevelingen ingegeven door de groeiende onzekerheden die in de toekomst gaan gelden als gevolg van klimaatverandering en zeespiegelstijging. In dit hoofdstuk wordt allereerst kort teruggeblikt op het functioneren van HadK over de periode 2006-2020; daarna wordt ingegaan op het geïntegreerde principe van HadK. Tot slot worden, mede gebaseerd op de in voorgaande hoofdstukken gegeven specifieke aanbevelingen, een aantal algemene slotconclusies getrokken.

Sinds 1986 wordt er gas gewonnen uit het gasveld Ameland in het oostelijke deel van het Waddengebied. In 1988 begon ook de gaswinning uit het gasveld Zuidwal in het westelijke deel van het Waddengebied. In 2007 begon de gaswinning uit de gasvelden Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Deze gaswinning werd door een Rijksprojectbesluit met Passende Beoordeling mogelijk gemaakt. Hierin werden de voorschriften uiteengezet waaronder de gaswinning dient plaats te vinden, naast het HadK-principe ook de monitoring van natuurwaarden. Voorafgaand aan de start van de gaswinning in de Moddergat-, Lauwersoog- en Vierhuizen-velden werd in 2006 een nulmeting uitgevoerd om de natuurwaarden in kaart te brengen. Op vergelijkbare wijze is in 2019 een nulmeting uitgevoerd in het kader van de zoutwinning.

Van belang voor het HadK-principe is de gemiddelde bodemdaling over de komberging waarin de mijnbouwactiviteiten plaatsvindt, evenals de snelheid van sedimentatie en zeespiegelstijging. Aangezien de gemiddelde snelheden over de betreffende kombergingen vaak moeilijk te duiden zijn, is het nuttig stil te staan bij de gemeten bodemdaling over de periode 2006-2019. In die periode was de plaatselijke maximale bodemdaling⁹⁰ door gaswinning 7,5 cm net ten zuiden van het eiland Ameland. Deze bodemdaling neemt vanaf Ameland gezien snel af: in het overgrote deel van de komberging Pinkegat (waar de bodemdaling optreedt door de gaswinning van Ameland, Moddergat en Nes) bedraagt de daling tussen 2-3 cm. De zeespiegel is in dezelfde periode gestegen met ongeveer 2,5 cm. Voor Pinkegat is het meegroeivermogen, het natuurlijk vermogen van de Waddenzee om de combinatie van bodemdaling en zeespiegelstijging tegen te gaan door sedimentatie, vastgesteld op 6 mm per jaar (8,4 cm in 14 jaar). Dit is een ondergrens van de sedimentatie en geeft een waarde aan die zeker gehaald werd. In het Pinkegat werd gedurende de periode 2006 tot 2019 een minimale sedimentatie van 7,8 cm waargenomen, ruim meer dan de zeespiegelstijging en gemiddelde bodemdaling in Pinkegat (4,5 tot 5,5 cm). In alle evaluatierapporten die sinds 2007 zijn verschenen wordt, naar de mening van het adviescollege, daarom terecht gesteld dat de som van de bodemdalingssnelheid en zeespiegelstijging ruim bleef binnen de eerder gestelde grenzen, namelijk die waarbij de sedimentatie in staat is de ontstane ruimte te compenseren. In die zin heeft het HadK-principe de afgelopen jaren voldaan, zoals ook geconcludeerd wordt in de hoofdstukken 3, 4 en 5.

Sinds 2006 is een uitgebreid meet- en monitoringsprogramma opgezet voor de gevolgen van de gaswinning, dat volgens de Auditcommissie Gaswinning (2019) in de loop der jaren steeds beter is

⁹⁰ zoals gemeten op de pleistocene diepte

gaan werken. Ook op basis van deze gegevens moet geconcludeerd worden dat er geen significante veranderingen hebben plaatsgevonden in het Waddengebied die eenduidig zijn toe te schrijven aan gaswinning, en dat de natuurwaarden in die periode daardoor niet extra onder druk zijn gezet (zie hoofdstuk 6). Gezien de recente start (in september 2020) van de zoutwinning is daarover in dit opzicht nog te weinig bekend.

7.1 Meten, monitoren, en signaleren

Hoewel het bovenstaande beschouwd kan worden als sterke empirische evidentie voor de effectiviteit van HadK, is het adviescollege kritisch in een aantal opzichten. Dit heeft zowel betrekking op het meet- en monitoringsprogramma als op de basisprincipes van het HadK-principe die onvoldoende rekening houden met de, niet geringe, onzekerheden wat betreft de zeespiegelstijging en sedimentatie. Voor de bodemdaling door gaswinning wordt naar de mening van het adviescollege overigens wel rekening gehouden met alle onzekerheden inclusief de zogenaamde na-ijleffecten. Bij dat laatste is van belang op te merken dat naar de mening van het adviescollege mogelijk langdurig na-ijlen na stoppen van de gaswinning adequaat is meegenomen in het huidige HadK, dus met inachtnaam van voldoende veiligheidsmarge ook in geval van lang na-ijlen. Voor de zoutwinning plaatst het adviescollege, in lijn met de betrokken auditcommissie, nadrukkelijk vraagtekens bij de kwaliteit van de monitoring (zie hoofdstuk 6). Tevens concludeert het adviescollege dat ten aanzien van komberging Vlie er twijfels zijn of het meegroeivermogen voldoende conservatief is ingeschat (zie hoofdstuk 5).

Het succes van het HadK-principe staat of valt met de kwaliteit van de meetgegevens met betrekking tot de natuurwaarden en de mogelijkheid om met behulp van deze meetgegevens de eventuele effecten van mijnbouwactiviteiten te kunnen uitsluiten. Sinds de start voor de gaswinning in de Waddenzee is er grote progressie geboekt op het gebied van meettechnieken, waaronder het “real time” volgen van gezenderde vogels die foerageren op wadplaten⁹¹. Verder maken drones, satellietbeelden en automatische sensoren het mogelijk om waterhoogtes en bodemhoogtes in de voor bodemdieren en vogels relevante resoluties (veranderingen in oppervlak en ligging van het drooggevallen wad gedurende getijdeperiodes) in de ruimte en tijd te monitoren^{92,93}. Gedrag van bodemdieren, zoals ingraafdieptes die een direct gevolg heeft voor de bereikbaarheid als prooi voor vogels, blijken niet alleen tussen de seizoenen maar ook tussen jaren te variëren⁹⁴. Het belang van het gedrag van vogels voor voedselopname wordt steeds meer onderkend. Ook op het gebied van statistische analyse van data is grote vooruitgang geboekt, waardoor ontwikkelingen in natuurwaarden beter kunnen worden geduid⁹⁵.

Het adviescollege constateert (hoofdstuk 6) dat nieuwe technieken, nieuwe inzichten, en een deel van de gegevens met betrekking tot de natuurwaarden onbenut blijven en vooral dat het totaal van beschikbare gegevens niet goed geïntegreerd wordt in een compleet meet- en monitoringprogramma dat op grote schaal en systematisch de autonome ontwikkeling van het gehele waddengebied, binnen en buiten de bodemdalingsschotels, beschrijft.

In de context van het bovenstaande is het cruciaal dat er geen helder beeld is ten aanzien van welke indicatoren in voldoende mate bepalend zijn om ongewenste ontwikkelingen als gevolg van gas- of

⁹¹ <https://www.nioz.nl/en/about/cos/coastal-movement-ecology/shorebird-tracking/watlas-tracking-regional-movements>

⁹² <https://www.wur.nl/nl/project/Onderzoek-mosselbanken-met-drones.htm>

⁹³ <https://www.waddenacademie.nl/organisatie/publicatie-lijst/publicatie-detail/object-based-remote-sensing-van-benthische-macrofauna-in-de-waddenzee-een-verkennend-onderzoek>

⁹⁴ Compton T.J. et al. (2016) Burrowing behavior of a deposit feeding bivalve predicts change in intertidal ecosystem state. *Front. Ecol. Evol.*, 22 March 2016 | <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00019>

⁹⁵ <https://becarioprecario.bitbucket.io/inla-gitbook/index.html>

zoutwinning adequaat te signaleren en misschien nog belangrijker, bij welke grenswaardes ingegrepen zou moeten worden. Hierbij speelt ook dat het onduidelijk is in hoeverre de ruimtelijke resolutie van kombergingen en de temporele resolutie van jaarlijkse metingen voldoende is om eventuele ongewenste ontwikkelingen ten gevolge van delfstoffenwinning tijdig te kunnen detecteren. Daarnaast is het onduidelijk of de huidige data voldoende de mogelijkheid biedt om te onderzoeken hoe groot een signaal zou moeten zijn om gedetecteerd te kunnen worden en wat het effect van bodemdaling door mijnbouwactiviteiten zou zijn op de indicatoren.

Uit het bovenstaande blijkt dat het van belang is dat deugdelijke sleutelindicatoren gekozen worden en vervolgens systematisch onderzocht worden op bruikbaarheid. Dit zouden bijvoorbeeld de volgende kunnen zijn:

- a. Sedimenthoogte en de daarmee samenhangende overspoelingduur (bepaalt de maximale foerageertijd voor wadvogels per getijdencyclus);
- b. Sedimentsamenstelling (bepaalt direct de toegankelijkheid van de wadbodem voor enkele soorten op droogvallende wadplaten foeragerende wadvogels, en indirect deels de samenstelling van de bodemfauna en daarmee het voedselaanbod);
- c. Soortensamenstelling, dichtheid, verdeling, vleesinhoud, grootteverdeling en ingraafdiepte van bodemdieren (bepaalt de hoeveelheid oogstbaar voedsel die voor foeragerende wadvogels beschikbaar is);
- d. De verdeling van de wadvogels op de wadplaten tijdens laag water die, naast het gevolg van voedselaanbod als beschreven in bovenstaande factoren, ook wordt bepaald door gedrag zoals verspreiding bij concurrentie om voedsel en samenscholing tot een dichte groep bij gevaar;
- e. Aantal vogels op de hoogwatervluchtplaatsen (tijdens hoogwater) als indicator voor aantal vogels op de nabijgelegen wadplaten (tijdens laagwater).

Het adviescollege adviseert om een kwantitatieve analyse uit te voeren naar de gevoeligheid van de waarden van de sleutelindicatoren voor i) de mogelijke veranderingen onder invloed van bodemdaling, ii) voor de onderliggende aannames en iii) voor de databeschikbaarheid. Op basis daarvan ontstaat meer duidelijkheid over de onzekerheid in de uitspraken over gevolgen van de delfstoffenwinning voor de natuurwaarden. Ook adviseert zij om hierbij te onderzoeken in hoeverre de toepassing van nieuwe technieken van meten en analyseren deze onzekerheid kan verkleinen.

7.2 Cumulatieve effecten

Omdat de natuurwaarden op de wadplaten van de Waddenzee niet alleen worden bepaald door natuurlijke dynamiek en de mijnbouw, maar ook door de gevolgen van andere menselijke activiteiten (waaronder klimaatverandering en verstoring), zijn veranderingen in observaties of metingen niet gemakkelijk eenduidig te correleren aan de mijnbouwactiviteiten. Maar in tegenstelling tot wat tot nu toe het geval is, zou voor detectie van ongewenste gevolgen van mijnbouwactiviteiten gebruik gemaakt kunnen worden van veranderingen in ruimtelijke patronen over de gehele Waddenzee, waarbij de ontwikkelingen in indicatoren in ruimte en tijd vergeleken worden met voorspelde patronen als gevolg van de winning. Veel van de menselijke en natuurlijke verstoringsbronnen tijdens hoog- en laagwater worden al continue gemonitord, maar een geautomatiseerde bewerking en interpretatie van de verschillende gegevensbronnen (zoals die van scheepsbewegingen, visserijactiviteiten en baggeractiviteiten) ontbreekt nog⁹⁶. Voor een correct beeld en een juiste evaluatie zouden dan ook de eventuele (cumulatieve) effecten van andere menselijke ingrepen op

⁹⁶ Ens B.J., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., van Kessel J. & Nienhuis J. (2020) Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

die indicatoren moeten worden meegenomen. Hiermee kan voorkomen worden dat overschrijdingen als gevolg van delfstofwinning niet (tijdig) worden onderkend, of dat eventuele veranderingen in natuurwaarden onterecht als gevolg van delfstofwinning worden aangemerkt.

Het adviescollege adviseert om zoveel mogelijk gebruik te maken van de grootschalige (Waddenzee-brede) bestaande meet- en monitoringprogramma's van natuurwaarden en sturende factoren (inclusief cumulatieve effecten) van de hele Nederlandse Waddenzee, ten einde eventuele afwijkende ontwikkelingen in indicatoren in bodemdalingsschotels beter te kunnen signaleren en duiden.

7.3 Onzekerheden

Zoals hierboven is opgemerkt, steunt het abiotische deel van de HadK-principe op een drietal variabelen (zeespiegelstijging, bodemdaling en sedimentatiesnelheid) waarbij in de HadK voor ieder van deze variabelen één waarde of scenario gekozen wordt. In de voorgaande delen van dit advies werd geconcludeerd dat dit ongewenst is (zie discussies in hoofdstukken 3, 4, 5 en 6). Een stochastische benadering, waarin een duidelijk beeld ontstaat van de kansen dat bepaalde waardes of scenario's zich gaan voor doen, en op welke termijn, is voor deze drie parameters een dringend gewenste aanvulling op het nu gehanteerde HadK-principe. Hierdoor immers ontstaat de mogelijkheid om zowel wetenschappelijk als maatschappelijk een duidelijker debat te voeren over de kans dat ongewenste effecten zullen optreden, en beter rekening te houden met de onzekerheden en scenario's die een kleine kans hebben (i.p.v. één waarde te kiezen). Voor de bodemdaling door gaswinning wordt overigens nu al adequaat rekening gehouden met dergelijke onzekerheden inclusief de zogenaamde na-ijleffecten.

Omdat in het HadK-principe de drie parameters in gelijke mate en geïntegreerd uitwerken op de natuurwaarden, is het zeer gewenst dat zij in samenhang stochastisch beschouwd worden. Dat wil zeggen dat niet alleen voor de individuele parameters zeespiegelstijging, bodemdaling, sedimentatie uitspraken gedaan moeten kunnen worden, maar dat ook in geïntegreerde samenhang de kans verduidelijkt moet kunnen worden welke kwantitatieve effecten op de natuurwaarden er te verwachten zijn. In de tot nu toe gehanteerde ketenbenadering ontbreekt dit kwantitatieve aspect. Indien een dergelijk probabilistisch model gekoppeld wordt aan een optimaal ingericht en gebruikt Waddenzee-breed meet- en observatienetwerk (dat ook andere sturende factoren dan bodemdaling omvat), leidt dit tot een bevredigend stelsel van het bewaken van de natuurwaarden. Daarbij is voorwaardelijk dat met behulp van het meet- en observatienetwerk onderscheid gemaakt wordt tussen de grote natuurlijke voorkomende variaties in het waddengebied, en de aan zout- en gaswinning toe te schrijven veranderingen, inclusief een duidelijk signaal van indicatoren met signaalfunctie.

Het adviescollege realiseert zich terdege dat het maken van een geïntegreerd probabilistisch model geen eenvoudige opgave is. Het is dan ook zaak om stap voor stap te opereren, allereerst door onder gebruikmaking van bestaande modellen onzekerheden te exploreren, om vervolgens de modellen te combineren tot een geïntegreerd model. Belangrijk is te constateren dat op basis van een dergelijk geïntegreerd model scenario's ontwikkeld kunnen worden waarin de onzekerheden verwerkt zijn. De resulterende scenario's zijn op deze wijze ook van een onzekerheidsmarge te voorzien. Dit kan bijdragen aan het verhelderen van het wetenschappelijk en maatschappelijke debat.

Gezien het bovenstaande adviseert het adviescollege om te onderzoeken hoe een verbeterde methodiek, die rekening houdt met de niet geringe onzekerheden, kan worden toegepast. Een dergelijke aanpak geeft beter rekenschap van de wetenschappelijke onzekerheden en verheldert naar verwachting het maatschappelijk debat.

7.4 Norm

In het huidige HadK-principe is de voorwaarde dat er ‘redelijkerwijs’ geen twijfel bestaat dat er geen schade wordt toegebracht aan de natuurlijke waarden van de Waddenzee, en moet de gemiddelde zeespiegelstijging tezamen met de verwachte bodemdaling door de mijnbouwactiviteit onder het vastgestelde minimale meegroeivermogen blijven. Als het HadK-principe ingevuld wordt op bovenbeschreven wijze, zal de uitkomst zich presenteren als een kans dat in de komende jaren het meegroeivermogen wordt overschreden en kan deze overschrijding ook worden gekwantificeerd. Alle parameters en hun onzekerheid, inclusief extreme scenario’s voor de zeespiegelstijging, kunnen dan worden meegenomen. Om te definiëren wanneer er ‘redelijkerwijs’ geen twijfel is dat er geen schade wordt toegebracht aan de natuurlijke waarden van de Waddenzee, is een norm vereist voor het maximaal toegestane risico op schade. Zo’n norm behelst zowel de kans op schade aan de instandhoudingsdoelen van het Natura 2000 gebied als de grootte ervan. Dit is ook de standaardprocedure op andere beleidsterreinen waar risico’s een rol spelen (bijvoorbeeld risico’s voor personen door aardbevingen of overstromingen, of lekkage van CO₂ in CCS toepassingen).

Een belangrijke notie in de huidige discussie is het tijdsaspect. Terwijl de mijnbouwactiviteiten worden afgebouwd rond 2035 voor de kleine gasvelden en tot maximaal 2052 voor de zoutwinning, zal de zeespiegelstijging doorgaan en blijven versnellen, ook na die datum. Op natuurlijke wijze zal dus ook zonder bodemdaling door delfstoffenwinning het meegroeivermogen van de Waddenzee op een zeker moment⁹⁷ overschreden worden. Dit kan worden meegenomen in de norm door in de grootte van de schade ook dit tijdsaspect te beschouwen, bijvoorbeeld door de tijdsduur te bepalen waarmee door het effect van delfstofwinning de levensduur van de Waddenzee bekort wordt.

Het adviescollege adviseert op grond van het bovenstaande een norm te ontwikkelen die alle bovengenoemde aspecten integreert en het risico uitdrukt op aantasting van natuurwaarden in de Waddenzee door de gas- en zoutwinning.

7.5 Slotconclusie

Het adviescollege is ingesteld voor het onafhankelijk wetenschappelijk toetsen van:

- de effectiviteit van het HadK-principe om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen; en
- de vraag of het HadK-principe toereikend is om de mogelijke langetermijneffecten voor de beschermde natuurwaarden van het Waddengebied te beheersen.

Daartoe heeft het adviescollege niet alleen gekeken naar de (juistheid van de) wetenschappelijke fundering van het HadK-principe, maar ook een uitgebreide literatuur analyse gedaan van de effectiviteit van het principe in de praktijk en de toekomst. Dat laatste is relevant gezien de zich snel wijzigende omstandigheden in de Waddenzee, vooral met betrekking tot de stijgende zeespiegel.

Ten aanzien van de effectiviteit van het HadK-principe voor de gaswinning om de natuurwaarden in het Waddengebied te beschermen komt het adviescollege tot de conclusie dat het HadK-principe, mede gezien de ervaringen van de afgelopen 15 jaar in de Waddenzee, effectief is gebleken om de onzekerheid over eventuele effecten te minimaliseren. Dit geldt voor zowel de individuele componenten van HadK, zoals besproken in hoofdstuk 3 tot en met 6, als voor het

⁹⁷ Het exacte moment van overschrijding en de mate waarin de delfstofwinning een eerdere overschrijding veroorzaakt is sterk afhankelijk van de komberging en het zeespiegelstijgingsscenario. In het westelijke deel van de Waddenzee zal de zeespiegelstijging eerder leiden tot verdrinking dan in het oostelijke deel van de Waddenzee. Volgens de laatste scenario’s (Wang et al., 2018) zal dit niet voor 2100 plaatsvinden. Als dit het geval is dan is de delfstofwinning al beëindigd en heeft dit geen effect meer hierop.

Wang, Z. B., E.P.L. Elias, A.J.F. van der Spek, Q. Lodder (2018) Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100 Netherlands J. Geosci. 97 183–214.

geïntegreerde principe. In die zin voldoet HadK en kan de eerste vraag in de opdracht van het adviescollege positief beantwoord worden.

Ten aanzien van de vraag of het HadK-principe ook toereikend is in het licht van toekomstige veranderingen, concludeert het adviescollege dat de onzekerheden ten aanzien van de verschillende elementen van HadK voor de langere termijn aanzienlijk zijn. In dat licht is het wenselijk om het HadK-principe uit te breiden met een betere analyse van de onzekerheden die de verschillende elementen van HadK kenmerken. Het adviescollege concludeert dat alleen voor bodemdaling de onzekerheid gedegen en kwantitatief in kaart is gebracht; voor de andere elementen van HadK (de zeespiegelstijging, het meegroeivermogen van sediment, en de natuurwaarden) dient naar de mening van het adviescollege een soortgelijke onzekerheidsanalyse toegevoegd te worden. Ook adviseert zij hierbij meer expliciet rekening te houden met huidige en toekomstige cumulatieve effecten. Tot het moment dat een aanvulling van het HadK-principe beschikbaar is die meer rekening houdt met alle onzekerheden, biedt naar mening van het adviescollege de toepassing van het huidige HadK-principe voldoende waarborg voor de effectieve bescherming van de natuurwaarden in de Waddenzee als het gaat om het beoordelen van gaswinningsprojecten.

Voor de toepassing van het HadK principe voor de zoutwinning gelden dezelfde aanbevelingen als voor de gaswinning, met dien verstande dat het adviescollege concludeert dat bij de zoutwinning er grond is voor twijfel of HadK op dit moment voldoet. Dit betreft zowel de volledigheid van het meet- en monitoringsprogramma (zie voorafgaande in dit hoofdstuk en hoofdstuk 6) als de aanwezigheid van voldoende marge in de gedefinieerde meegroeiruimte (zie hoofdstuk 5). De huidige onzekerheid over de eventuele effecten op natuurwaarden kan verkleind worden door meer en beter gebruik te maken van bestaande Waddenzee-brede langjarige meetgegevens, bijvoorbeeld aan de hand van een draagkrachtbenadering zoals die voor de monitoring van de effecten van de gaswinning wordt toegepast. Ten aanzien van meegroeivermogen concludeert het adviescollege dat de nieuwste inzichten aangeven dat die op afzienbare termijn overschreden wordt door de huidige zeespiegelstijging (zie hoofdstuk 5). Dit betreft in het bijzonder komberging Vlie. Naar de mening van het adviescollege dienen beide zaken binnen het komende auditjaar geadresseerd te worden om vast te stellen of dit inderdaad zo is.

Daarnaast zouden de verschillende elementen van HadK regelmatig moeten worden geëvalueerd dan eens in de vijf jaar: in het geval van zeespiegelstijging is jaarlijkse evaluatie van de nieuwste inzichten nodig. Indien nodig kan dit leiden tot een tijdige bijstelling van het gebruikte richtscenario voor zeespiegelstijging in de HadK.

Het adviescollege adviseert specifiek om:

- te onderzoeken hoe een verbeterde HadK methodiek, die rekening houdt met de niet geringe onzekerheden, kan worden toegepast. Dit is een complex probleem wat zorgvuldige probleemstelling nodig heeft. Een dergelijke (probabilistische) aanpak, mogelijk gecombineerd met scenario's, geeft beter rekenschap van de wetenschappelijke onzekerheden en risico's. Daarnaast passen ook de extreme scenario's hierbinnen waardoor deze methodiek het maatschappelijk debat kan verhelderen alsook meer vertrouwen kan geven in de bescherming van de natuurwaarden van de Waddenzee ook bij snellere zeespiegelstijging dan waarmee nu rekening wordt gehouden. Om hier enige druk op uit te oefenen vindt het adviescollege dat een opdracht tot onderzoek binnen één jaar na het verschijnen van dit advies verstrekt moet zijn.
- Jaarlijks te evalueren of er nieuwe inzichten zijn met betrekking tot de zeespiegelstijgingsscenario's, dit vooral in het licht van de snel veranderende wetenschappelijke inzichten. Indien nodig leidt dit tot een tijdige bijstelling van het gebruikte zeespiegelstijgingsscenario.

- Het meegroeivermogen nader te onderbouwen en aan te vullen met een eenduidig vast te stellen waarde inclusief onzekerheden. Deze waarde kan bepaald worden aan de hand van modelering van de kritische zeespiegelstijging voor verdrinking. Daarnaast adviseert het adviescollege om vooraf te evalueren of deze aangepaste waarde van het meegroeivermogen een geschikte signaalwaarde is voor het inschatten van mogelijke risico's voor aantasting van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee.
- De bestaande meet- en monitoringsprogramma's uit te breiden naar de gehele Nederlandse Waddenzee om de ontwikkeling in indicatoren en voorspelde patronen beter te kunnen vergelijken voor gebieden met en zonder delfstofwinning.
- Een analyse uit te voeren op (nader vast te stellen) sleutelindicatoren om een uitspraak te kunnen doen over het tijdig en betrouwbaar signaleren van effecten van delfstofwinning voor de natuurwaarden.
- Een norm te ontwikkelen, vergelijkbaar aan waterveiligheid, die alle bovengenoemde aspecten integreert en het risico uitdrukt op aantasting van natuurwaarden in de Waddenzee door de gas- en zoutwinning.

Bijlage 1 Samenstelling van het adviescollege

Voorzitter Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee

Prof. dr. G.J. van der Zwaan, voormalig Rector Magnificus van de Universiteit Utrecht, en emeritus hoogleraar Biogeologie aan de Universiteit Utrecht

Leden adviescollege

Prof. dr. L.L.A. Vermeersen, Hoogleraar Planetaire Exploratie bij Luchtvaart- en Ruimtetechniek en Civiele Techniek en Geowetenschappen bij de TU Delft, en senior onderzoeker bij het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek aan Zee (NIOZ)

Dr. M. Haasnoot, deeltijd Universitair Hoofddocent bij Geowetenschappen aan de Universiteit van Utrecht, en senior onderzoeker bij Deltares op het gebied van klimaatadaptatie en adaptief waterbeheer

Prof. dr. ir. C.J.M. Philippart, Hoogleraar aan de Universiteit Utrecht op het gebied van productie van nabij de kust gelegen marine ecosystemen, senior onderzoeker bij het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek aan Zee (NIOZ), en directeur Waddenacademie.

Dr. P. A. Fokker, senior onderzoeker bij TNO op het gebied van de reservoir geomechanica, bezoekend professor aan de Politecnico di Torino in Italië voor reservoir engineering, en verbonden aan de Universiteit van Utrecht op het gebied van reservoir geomechanica.

Secretaris adviescollege

Dr. K. van Thienen-Visser – senior coördinerend specialistisch adviseur ondergrond bij het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Bijlage 2 Bijdragen van andere partijen (Nederlandse Unesco Commissie, Waddenvereniging, SodM)

Tijdens het proces om tot een evaluatie te komen van het HadK-principe hebben meerdere partijen bijgedragen aan de discussies en het finale advies. In deze bijlagen worden de schriftelijke bijdragen kort samengevat. In de discussies met deze partijen heeft het adviescollege geconcludeerd dat dit advies zich beperkt tot de inhoud van het HadK-principe, en dat alle aangedragen aandachtspunten die gaan over bestuurlijke context, toezicht, of bredere vraagstukken betreffende het karakter van de Waddenzee en de werelderfgoed status, buiten de reikwijdte van dit advies vallen.

Nederlandse Unesco Commissie

De Nederlandse Unesco Commissie is recent bezorgd geworden over de status van de Waddenzee als werelderfgoed. Via het Werelderfgoed Centrum werd Unesco in 2019 op de hoogte gebracht van de bij derden levende zorg over de impact van delfstoffenwinning tezamen met nieuwe informatie over zeespiegelstijging door klimaatverandering. Daarnaast heeft Unesco begin 2020 een brief gestuurd naar de Nederlandse staat omdat door de Waddenvereniging via het Werelderfgoed Centrum zorgen waren geuit over het huidige HadK-principe voor delfstofwinning in de Waddenzee.

De inhoudelijke zorgen van Unesco betreffen vooral klimaatverandering, en daarmee gepaard gaande versnelling van de relatieve zeespiegelstijging, en de na-ijlende bodemdaling volgend op delfstoffenwinning. Deze zorgen worden door het adviescollege geadresseerd in hoofdstuk 3 en 4.

Waddenvereniging

De Waddenvereniging geeft aan dat na ruim 13 jaar ervaring met mijnbouw onder de Waddenzee duidelijk is geworden dat de toekomst voorspellen lastiger is dan gedacht. Ze vraagt zich af of we met het voortschrijdend inzicht van de afgelopen 13 jaar nog wel de noodzakelijke zekerheid hebben dat mijnbouw in de toekomst geen schade aan de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee gaat veroorzaken.

Het adviescollege begrijpt de zorgen van de Waddenvereniging ten aanzien van de komberging Vlie en heeft die geadresseerd in het advies. Het adviescollege denkt dat er een gereede kans is dat in dit gebied onvoldoende sedimentatie plaatsvindt om de zeespiegelstijging door klimaatverandering te compenseren. Vooral hoofdstuk 6 gaat in op de monitoring en de vooruitgang die hierin is geboekt respectievelijk nodig kan worden geacht. Daarnaast geeft hoofdstuk 7 antwoord op de vragen van de Waddenvereniging of het HadK-systeem op dit moment voldoet en of dit nog het geval zal zijn op langere termijn.

SodM

De toezichthouder heeft in een recent advies aangegeven dat het HadK-systeem goed in elkaar zit, en in potentie voldoende waarborgen biedt om de veiligheid van natuurwaarden in de Waddenzee te borgen. SodM geeft wel aan dat er zwakke plekken zitten in het systeem en doet drie aanbevelingen:

1. Morrel niet aan het meegroeivermogen
2. Maak gebruik van een realistische verwachtingswaarde en zorg voor helder inzicht in de zorgvuldigheid waarmee deze tot stand komt.
3. Creëer ruimte – en een toetsingskader- voor langzame, niet-schadelijke, maar langdurige na-ijlende bodemdaling.

Aanbeveling 3 (het toetsingskader) valt buiten de competentie van dit adviescollege. Het adviescollege doet wel uitspraken die raken aan aanbeveling 1 en 2. Het adviescollege geeft aan dat zij van mening is dat het meegroeivermogen op zichzelf inderdaad voldoet, maar dat het HadK-

principe in het licht van groeiende onzekerheid, onder andere in verband met de klimaatverandering, aanvulling verdient. In die zin gaat het adviescollege verder dan SodM; dit wordt uitgelegd in hoofdstuk 5. Aanbeveling 2 wordt onderschreven door het adviescollege. Ook in dit advies wordt beargumenteerd dat de parameters, inclusief hun onzekerheid, moeten worden meegenomen in de HadK. Dit dient zorgvuldig te gebeuren. Ook hier gaat het adviescollege verder dan SodM en geeft aan dat de opdracht voor onderzoek tot uitbreiding van de HadK-methodiek binnen één jaar na het verschijnen van dit advies verstrekt moet zijn.

Bijlage 3 Technische onderbouwing bodemdaling

In 2018 verscheen een speciale editie van het Netherlands Journal of Geosciences, gewijd aan zeespiegelstijging, bodemdaling en morfodynamica in de Nederlandse Waddenzee (Van der Spek, 2018). Veel van de in deze bijlage vermelde kennis is ook in die uitgave beschikbaar – voor bodemdaling is in het bijzonder het artikel “Subsidence in the Dutch Wadden Sea” relevant (Fokker et al, 2018). Het artikel geeft ook veel referenties die dieper ingaan op de verschillende aspecten die bodemdaling in de Waddenzee betreffen.

B3.1 Monitoren van bodemdaling in de Waddenzee

Bodemdaling (of stijging) is de relatieve hoogteverandering in de tijd tussen twee punten. Het kan worden gemeten met technieken die inherent relatief zijn, zoals optisch waterpassen, of met technieken die posities geven ten opzichte van een geodetische referentie, zoals “Global Navigation Satellite Systems” (GNSS, waarvan GPS een voorbeeld is). Dit zijn ook de twee belangrijkste technieken die in de Waddenzee worden ingezet (Fokker et al, 2018). InSAR, een recente satelliet technologie die steeds vaker wordt toegepast voor bodemdalingsmetingen op land, is niet bruikbaar in de Waddenzee omdat deze methode gebruik maakt van zogeheten “Persistent Scatterers”, natuurlijke radar reflectoren aan het oppervlak. Nog afgezien van de beperkte tijd dat de wadplaten droog liggen zijn er geen consistente reflectoren in de Waddenzee.

De gevoeligheid van de meting van beweging van een zekere laag in de bodem hangt af van de mechanische fundering van het peilmerk waarop die meting wordt gedaan (Ketelaar, 2009). De mate waarin de metingen het beoogde effect representeren wordt idealisatie precisie genoemd. Dit is iets anders dan de meetprecisie. Alle informatie wordt meegenomen middels een door de Technische Universiteit Delft (TUD) ontworpen procedure, waarbij zowel optische waterpassingen, hydrostatische waterpassingen, continue GPS, als campagne GPS metingen worden gebruikt (Van Leijen et al, 2017, NAM, 2017):

- De verschillende bijdragen van de continu-GPS-tijdseries worden bepaald: de trend; de temperatuur invloed; de atmosferische invloed; harmonische componenten; sprongen en ruis. Zo worden componenten die niet van de gezochte bodemdaling afkomstig zijn eruit gefilterd.
- Deze gefilterde GPS data worden gesampled zodat er één datapunt per jaar wordt bepaald, overeenkomend met de epoche van de GPS meetcampagnes.
- Er worden temperatuur correcties gedaan voor de GPS meetpunten op de platforms AWG-1 en AME-2.
- De covariantiematrix (de nauwkeurigheid) voor GPS tijdseries wordt bepaald met de methode van Williams (2015).
- Uitschieters in de GPS en waterpas data worden verwijderd.

De methode is een logische toepassing en extensie van standaard geodetische praktijken en eerdere studies gericht op het kwantificeren van bodemdaling door gas- en zoutwinning (Kenselaar & Martens, 2000; Houtenbos, 2000; Houtenbos et al, 2005, Vanicek, 1980).

Het meetnet dat NAM heeft ingericht in de Waddenzee omvat een aantal gefundeerde peilmerken op onderlinge afstanden van ongeveer 1 – 2 km. Deze afstand is gebaseerd op hoe bodemdaling door diepe oorzaken ontstaat: de diepte van de bron (gaswinning, zoutwinning) manifesteert zich in bodemdaling over een gebied met vergelijkbare afmeting als die diepte. NAM heeft de methode en haar toepassing uitgebreid gedocumenteerd in (NAM, 2017).

Het adviescollege beoordeelt de monitoring van de bodemdaling boven de NAM gasvelden als adequaat, toegespitst op het identificeren van bodemdaling als gevolg van gaswinning. Met de diepte van de gaswinning (~3 km) heeft het netwerk van peilmerken een dichtheid waarmee de bodemdaling goed in kaart kan worden gebracht; de combinatie van GPS en waterpassing die elk jaar

wordt uitgevoerd, in combinatie met de continue GPS series op land, geven verder een goede temporele resolutie. Meetfouten en idealisatieprecisie worden meegenomen op een wijze die verdere analyse en interpretatie met behulp van ondergrondmodellen op een verantwoorde wijze mogelijk maakt.

Voor de zoutwinning bepleit het adviescollege dat een vergelijkbaar meetnet wordt opgezet.

B3.2 Modelleren en interpreteren van bodemdaling in de Waddenzee

Gaswinning

Bij gaswinning wordt gas gewonnen uit gashoudend gesteente. De structuur van dat gesteente wordt in kaart gebracht met behulp van geofysisch onderzoek en putgegevens. Dit heet geologisch modelleren (Dake, 1983). Aan het gasreservoir kunnen ook waterhoudende lagen zijn verbonden: deze worden ook aquifers genoemd. Voor het geologisch modelleren is standaard software beschikbaar. Vanzelfsprekend worden ook gegevens en kennis van nabije en vergelijkbare velden meegenomen in dit proces. Met voldoende inzicht in de geologische structuur en de stromingseigenschappen kan een schatting van de winbare hoeveelheid gas worden gemaakt.

Als er gas wordt geproduceerd neemt de druk in het gasreservoir af. Ook de waterdruk in verbonden aquifers kan afnemen. Het modelleren van de drukontwikkeling in het reservoir heet reservoir modelleren (Dake, 1983). Ook hiervoor is standaard software beschikbaar. Een belangrijk element van reservoir modelleren is het in lijn brengen van gemeten putgegevens met gemodelleerde putgegevens. Dit gebeurt door modelparameters te kalibreren. Naarmate de productie vanuit een gasveld vordert wordt de bepaling van de parameters nauwkeuriger. Voor verbonden aquifers blijft de onzekerheid vaak groter. De achtergrond hiervan is dat er meestal geen putten zijn in die aquifers, zodat de drukontwikkeling daar niet direct kan worden gemeten. Verder is er, door het grote verschil in compressibiliteit tussen gas en water, maar een klein effect van de drukdaling in de aquifer op de druk in het gasvoerende deel (Hagoort, 1988).

Een afname van de poriedruk in een reservoir veroorzaakt een toename van de spanning tussen de zandkorrels die het skelet van het zandsteen vormen. Het zandsteen zal als gevolg daarvan compacteren, inklinken. Deze mechanische respons wordt vervolgens naar het oppervlak gepropageerd en uit zich als bodemdaling aan het oppervlak (Geertsma, 1973; Fjaer et al, 2008). Het modelleren van reservoircompactie en bodemdaling is niet eenduidig, omdat het mechanische gedrag van de gehele ondergrond daarbij betrokken is en het compactiegedrag van het reservoir niet altijd goed bekend is. Ook hierbij is kalibratie dus cruciaal (Fokker et al, 2018). Een moeilijk te vangen onzekerheid is het kruipgedrag van gesteente: voortgaande vervorming terwijl de drijvende kracht niet meer verandert (Marketos et al, 2015, 2016; Spiers et al, 2017). Dit kan optreden in het reservoir maar ook in de bovenliggende lagen. Het gevolg is dat de daling van de bodem een zekere “remweg” nodig heeft om tot stilstand te komen. De moeilijkheid om bodemdaling als gevolg van het na-ijl gedrag te kwantificeren heeft als achtergrond dat het tijdens productie niet goed kan worden onderscheiden van daling die direct door de huidige productie wordt veroorzaakt.

In al de beschreven modelstappen zitten modelkeuzes en modelparameters waarin onzekerheid aanwezig is. De belangrijkste twee zijn de mogelijke drukdaling in al dan niet verbonden aquifers (Hower en Jones, 1991) en het na-ijl gedrag van bodemdaling als gevolg van de complexe geomechanische respons van de ondergrond (Hettema et al, 2002; Marketos et al, 2015, 2016). De moderne wetenschappelijke manier om daar mee om te gaan is om die onzekerheid expliciet te maken met behulp van vele realisaties (een ensemble) en zoveel mogelijk te beperken met behulp van data (Evensen, 2009; Emerick and Reynolds, 2013).

NAM gebruikt de methode die in het Long Term Subsidence project is ontwikkeld (NAM, 2017; TNO, 2017). In deze methode worden fundamenteel alle onzekerheden doorgerekend op het effect op bodemdaling. Dat gebeurt op een stochastische wijze: de onzekerheid in de geologie wordt in rekening gebracht door een aantal mogelijke geologische modellen te maken; de onzekerheid in de

reservoir modellering wordt in kaart gebracht door over de eerdere geologische modellen de dynamische modelvariëaties te leggen; en over het totale aantal modelcombinaties dat daaruit voortkomt wordt nog eens de geomechanische onzekerheid gelegd. Dit resulteert in vele duizenden modellen, die uiteraard een grote spreiding in uitkomsten laten zien.

Om de modelresultaten en de voorspellingen te verbeteren en de spreiding te verkleinen worden de metingen, de data gebruikt. Dit is een invers modelleer proces omdat de fysische wetten het resultaat van de parameters berekenen en juist de kennis van die parameters moet worden verbeterd (Tarantola, 2005). NAM (NAM, 2017) gebruikt de LTS methode met een “particle filter” (Van Leeuwen, 2009; Nepveu et al, 2010). Hiermee wordt een groter gewicht toegekend aan de modellen waarvan de voorspellingen beter passen bij de metingen. Met dat aangepaste gewicht worden vervolgens ook de toekomstverwachting berekend en de effecten van de verschillende scenario’s. Een alternatieve methode is een “ensemble smoother” (Emerick & Reynolds, 2013; Zoccorato et al, 2018) maar deze methode is ingewikkelder omdat zij een aanpassing van de modellen vereist, niet slechts een aanpassing van de gewichten.

Het adviescollege is van mening dat de LTS methode de meest geavanceerde rekenmethodes gebruikt om drukverdeling in de reservoirs, en de daaruit voortkomende reservoircompactie en bodemdaling te berekenen – inclusief de spreiding die inherent is aan de onzekerheid in modellen en modelparameters. Ook wordt een state-of-the-art, stochastische interpretatiemethode gebruikt om de metingen te duiden, voorspellingen te doen en schattingen te maken van het effect van verschillende keuzes omtrent toekomstige gasproductie. De onzekerheid omtrent het na-ijl gedrag van de daling en de voortgaande depletie van aquifers na het stoppen van produceren wordt op een realistische manier in rekening gebracht.

Zoutwinning

Zoutwinning (Geluk et al, 2007) gebeurt door water in de steenzoutlaag te pompen. In het water lost steenzout op en er ontstaat een caverne die met zoutverzadigde pekkel is gevuld. De pekkel wordt geproduceerd en in de zoutfabriek wordt het zout weer uit de pekkel gehaald. Door het mechanische, viskeuze kruipgedrag van steenzout en doordat de druk van de pekkel lager is dan de mechanische spanning in het zout convergeert de caverne: de wanden van de caverne bewegen naar binnen. Dit vertaalt zich naar een daling van de bodem aan het oppervlak.

Voor de zoutwinning zijn de onzekerheden kleiner omdat de directe effecten beperkt blijven tot de caverne zelf: een verbonden aquifer is niet aan de orde. Wel kan er een effect zijn van zoutkruip (Spiers et al, 1990) die doorgaat ook nadat de drijvende kracht is gestabiliseerd (Manivannan en Bérest, 2017; Cornet et al, 2017, 2018). Op dit gebied is al wel veel kennis opgedaan bij de vier Barradeel zoutcavernes van Frisia Zout bij Harlingen (Fokker et al, 2002; Breunese et al, 2003). Voor de cavernes in de Waddenzee (Havenmond) vindt de commissie het belangrijk dat de prognoses van cavernevolumeverandering en de daaraan gerelateerde bodembeweging worden voorzien van een kwaliteitslabel. Niet alleen de verwachtingswaarde moet worden bepaald, maar ook de bandbreedte die de onzekerheid representeert. Vanzelfsprekend moet nadat de productie is gestart de bodemdalingsprognose regelmatig worden vergeleken met de data en moeten de modellen regelmatig worden gekalibreerd.

B3.3 Samenhang met het HadK-principe

Het Hand aan de Kraan principe is ontwikkeld om te borgen dat de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee in stand blijven (Passende Beoordeling, 2006; De Waal et al, 2012; Van Thienen-Visser et al, 2015). Het houdt in dat de initiatiefnemers voor gas- en zoutwinning moeten aantonen dat door vermindering van de winning de bodemdaling tijdig en zodanig beperkt kan worden dat de gebruiksruimte ook in het geval van een nog extremer dan momenteel voorziene zeespiegelstijging niet zal worden overschreden. Met andere woorden, de bodemdaling moet onder een zekere drempelwaarde blijven om schade aan de natuur redelijkerwijs uit te sluiten. De drempelwaarde

wordt bepaald als een gemiddelde per kombergingsgebied, omdat het sediment binnen het kombergingsgebied zo mobiel is dat een echte “bodemdalingssom” niet ontstaat.

De eis dat de initiatiefnemer moet aantonen dat de drempelwaarde niet zal worden overschreden, ook niet als de zeespiegelstijging opeens extreem blijkt, is rigide. Als op korte termijn blijkt dat de zeespiegelstijging zo is toegenomen dat de gebruiksruimte nul is, dan is er zelfs met de kleinst mogelijke na-ijling van bodemdaling al sprake van een overschrijding. In de praktijk, zoals door NAM gehanteerd, worden de mogelijkheid van een na-ijl effect en de grootte ervan op een realistische wijze gemodelleerd en gewogen. Een vertaling van het huidige Hand aan de Kraan principe naar de praktijk kan dan ook zijn dat “er redelijkerwijs geen twijfel is dat de gebruiksruimte ook in het geval van een nog extremer dan momenteel voorziene zeespiegelstijging niet zal worden overschreden”.

De bedrijfsvoering, inclusief de technische omschrijving, en het bijbehorende monitoringsprogramma zijn in de NAM aanpak helder gedefinieerd. Als metingen en berekeningen uitwijzen dat de gebruiksruimte dreigt te worden overschreden, dan legt de NAM zelf de hand aan de gaskraan zodat toekomstige bodemdalingssnelheden weer onder de toegestane waarden vallen. Het adviescollege oordeelt positief over de wijze van toepassing van het Hand aan de Kraan principe door NAM.

De zoutwinning in de Waddenzee is nog niet gestart. Er is al wel een nulmeting gedaan; maar de rapportage van de resultaten is nog niet volledig. Dit is begrijpelijk in deze context. Bodembeweging kan pas worden gerapporteerd als er metingen op opvolgende tijdstippen zijn gedaan.

B3.4 Aanbevelingen

NAM past het Hand aan de Kraan principe toe op een wetenschappelijk verantwoorde manier. Frisia staat goed voorgesorteerd om dat ook te doen bij de zoutwinning die is voorzien. Voor de zoutwinning beveelt de commissie nog wel aan om verwachtingswaardes van bodemdaling te voorzien van een bandbreedte.

Het Hand aan de Kraan principe zoals dat op dit moment is geformuleerd is echter rigide. Het adviescollege beveelt aan om dat te interpreteren als “de initiatiefnemer dient aan te tonen dat door vermindering van de winning de bodemdaling tijdig en zodanig beperkt kan worden dat **er redelijkerwijs geen twijfel is dat** de gebruiksruimte ook in het geval van een nog extremer dan momenteel voorziene zeespiegelstijging niet zal worden overschreden”.

Beter nog is om een herformulering te ontwikkelen waarin een aanvaardbaar risico wordt gedefinieerd. Zo bestaan er bijvoorbeeld normen voor individueel ($1 \cdot 10^{-6}$) en groepsrisico voor overlijden ten gevolge van blootstelling aan gevaarlijke stoffen ($1 \cdot 10^{-6}$), en er is een norm voor individueel risico voor overlijden door overstroming of aardbeving van $1 \cdot 10^{-5}$ (Jonkman et al, 2008; Yin, 2020). Voor de Waddenzee kan ook een maximaal toelaatbaar risico worden bepaald. Al de onzekerheden moeten dan in samenhang worden gezien: wat is de kans dat de gebruiksruimte wordt overschreden? Hoe groot is het effect in termen van “verdrinking” van de Waddenzee? Hoe hangt dit samen met de onzekerheden in de ontwikkeling van de zeespiegel? Hoe goed zijn de sedimentstromen gedefinieerd? Wat is een acceptabel risico? Men zou kunnen denken in termen van hoeveel jaar eerder de verdrinking van de Waddenzee een feit zou kunnen zijn en de kans dat dat inderdaad plaatsvindt. Het vraagt echter wel gedegen studie en steun van alle betrokkenen om dat te ontwikkelen.

B3.5 Referenties

Breunese, J.N., van Eijs, R.M.H.E., de Meer, S. & Kroon, I.C., 2003. Observation and prediction of the relation between salt creep and land subsidence in solution mining. The Barradeel Case. Solution Mining Research Institute (SMRI) Meeting, 5–8 October 2003, Chester, UK.

Cornet, J.S., M. Dabrowski, and D.W. Schmid. "Long-term cavity closure in non-linear rocks." *Geophysical Journal International* 210.2 (2017): 1231-1243.

De toekomst van Hand aan de Kraan

- Cornet, J.S., M. Dabrowski, and D.W. Schmid. "Long term creep closure of salt cavities." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 103 (2018): 96-106.
- Dake, L.P. *Fundamentals of reservoir engineering*. Elsevier, 1983.
- De Waal, J. A., et al. "The effective subsidence capacity concept: How to assure that subsidence in the Wadden Sea remains within defined limits?." *Netherlands Journal of Geosciences* 91.3 (2012): 385-399.
- Emerick A, Reynolds AC. Investigation of the sampling performance of ensemble-based methods with a simple reservoir model. *Comput Geosci*. 2013;17:325–350. <http://dx.doi.org/10.1007/s10596-012-9333-z>.
- Evensen G. *Data Assimilation, The Ensemble Kalman Filter*. 2nd ed. Springer; 2009.
- Fjaer, E, et al. *Petroleum related rock mechanics*. Elsevier, 2008.
- Fokker, P.A., T. Bakker, F.H. Wilke and H.J. Barge. Aspects of deep salt mining -Salt mining by FRISIA ZOUT. Technical paper presented at the 2002 Fall meeting of SMRI, Bad Ischl, Austria
- Fokker, Peter A., et al. "Subsidence in the Dutch Wadden Sea." *Netherlands Journal of Geosciences* 97.3 (2018): 129-181.
- Geertsma, J. (1973). Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs. *Journal of Petroleum technology*, 25(06), 734-744.
- Geluk, M. C., Paar, W. A., & Fokker, P.A. (2007). Salt. In T. E. Wong, D. A. J. Batjes & J. de Jager (Eds.), *Geology of the Netherlands* (pp. 279-290). Amsterdam, Netherlands: Royal Dutch Academy of Arts and Sciences.
- Hagoort, J. *Fundamentals of gas reservoir engineering*. Elsevier, 1988.
- Hettema, M., E. Papamichos, and P. M. T. M. Schutjens. "Subsidence delay: field observations and analysis." *Oil & Gas Science and Technology* 57.5 (2002): 443-458.
- Houtenbos, A.P.E.M. "The quantification of subsidence due to gas-extraction in the Netherlands." *Land Subsidence, proceedings of the IAHS Sixth International Symposium On Land Subsidence (SISOLS)*. 2000.
- Houtenbos, A.P.E.M., M.W.A. Hounjet, and B.J. Barends. "Subsidence from geodetic measurements in the Ravenna area." *Proceedings of the 7th International Symposium on Land Subsidence*. Shanghai: Deltares (WL)), 2005.
- Hower, T. L., and R. E. Jones. "Predicting recovery of gas reservoirs under waterdrive conditions." *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 1991.
- Jonkman, S.N., J.K. Vrijling, and A.C.W.M. Vrouwenvelder. "Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method." *Natural Hazards* 46.3 (2008): 353-389.
- Kenselaar, F., M.H.F. Martens (2000). Spatial temporal modelling of land subsidence due to gas extraction. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Mathematical Geodesy and Positioning
- Ketelaar, V.B.H., 2009. *Satellite radar interferometry: subsidence monitoring techniques*. Springer (Dordrecht).
- Manivannan, S, and P. Bérest. "Transient Closure of a Cylindrical Hole in a Salt Formation Considered as a Norton–Hoff Medium." *Rock Mechanics and Rock Engineering* 52.8 (2019): 2701-2707.

- Marketos, G., Broerse, D.B.T., Spiers, C.J. & Govers, R., 2015. Long-term subsidence study of the Ameland gas field: time-dependence induced by rocksalt flow. Utrecht University (Utrecht). Available at <https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/ee804e7a-f0c1-4ea1-a98b-50e4e4fa8f9a?open=true>.
- Marketos, G., C. J. Spiers, and R. Govers. "Impact of rock salt creep law choice on subsidence calculations for hydrocarbon reservoirs overlain by evaporite caprocks." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 121.6 (2016): 4249-4267.
- NAM, 2017. Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study.
- NAM publiekssamenvatting 2018
- Nepveu, M., I.C. Kroon, and P.A. Fokker. "Hoisting a red flag: an early warning system for exceeding subsidence limits." *Mathematical Geosciences* 42.2 (2010): 187-198.
- Passende Beoordeling (2006). Gaswinning binnen randvoorwaarden: Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.
- Spiers, C. J., et al. "Experimental determination of constitutive parameters governing creep of rocksalt by pressure solution." *Geological Society, London, Special Publications* 54.1 (1990): 215-227.
- Spiers, C.J., S.J.T. Hangx, and A.R. Niemeijer. "New approaches in experimental research on rock and fault behaviour in the Groningen gas field." *Netherlands Journal of Geosciences* 96.5 (2017): s55-s69.
- Tarantola A. (2005): Inverse Problem theory and Methods for Model Parameter Estimation. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- TNO (2017) Ensemble-based Subsidence Interpretation and Prediction ESIP: Technical Reference Manual. TNO report-R11278
- Van der Spek, Ad JF. "The development of the tidal basins in the Dutch Wadden Sea until 2100: the impact of accelerated sea-level rise and subsidence on their sediment budget – a synthesis." *Netherlands Journal of Geosciences* 97.3 (2018): 71-78.
- Van Leeuwen, Peter Jan. "Particle filtering in geophysical systems." *Monthly Weather Review* 137.12 (2009): 4089-4114.
- Van Leijen, F., Samiei Esfahany, S., van der Marel, H. & Hanssen, R.F., 2017. Uniformization of geodetic data for deformation analysis. Contribution to the research project: Second phase of the long-term subsidence study in the Wadden Sea region (LTS2), Final Report, v1.0, 25 January 2017. Delft University of Technology (Delft).
- Van Thienen-Visser, K., Breunese, J.N. & Muntendam-Bos, A.G., 2015. Subsidence due to gas production in the Wadden Sea: how to ensure no harm will be done to nature. 49th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. American Rock Mechanics Association. Paper No. ARMA 2015-098. Conference proceedings.
- Vanicek P, Castle RO, Balazs EI. Geodetic leveling and its applications. *Rev Geophys.* 1980;18(2):505–524. <http://dx.doi.org/10.1029/RG018i002p00505>.
- Williams, S., 2015. Description of GPS uncertainties within the long term study on anomalous time-dependent subsidence. Technical report. National Oceanographic Centre (Liverpool).

Yin, J, et al. "Flood risks in sinking delta cities: time for a reevaluation?." *Earth's Future* 8.8 (2020): e2020EF001614.

Zoccarato, Claudia, Massimiliano Ferronato, and Pietro Teatini. "Formation compaction vs land subsidence to constrain rock compressibility of hydrocarbon reservoirs." *Geomechanics for Energy and the Environment* 13 (2018): 14-24.

Bijlage 4 Technische onderbouwing zeespiegelstijging

Uitgegaan wordt van de studie van Vermeersen et al. (2018) voor wat betreft zeespiegelscenario's voor het Nederlandse deel van de Waddenzee voor de periode 2018 – 2100. Hierin zijn door 24 wetenschappers uit landen rondom de Noordzee, na een uitgebreide literatuurstudie aangevuld met modelsimulaties, zeespiegelscenario's opgesteld. Deze projecties gaan uit van IPCC AR5 projecties en zijn specifiek geëvalueerd voor het Nederlandse deel van de Waddenzee, waarbij meer-jaarlijkse variabiliteit die zo kenmerkend is voor het Nederlandse deel van het Waddenzeegebied is meegenomen. Tevens zijn de IPCC AR5 projecties bijgewerkt met recentere inzichten en modellen. De 24 wetenschappers vertegenwoordigden alle specialisaties en expertises die van belang zijn voor het bepalen van zeespiegelverandering in ruimte en tijd voor het Nederlandse deel van het Waddenzeegebied. Deze omvangrijke studie, verricht in opdracht van de Waddenacademie, is internationaal gereviewd onder auspiciën van NWO. De resultaten ervan maken deel uit van de Oplegnotitie *Sea-level rise, subsidence and morphodynamics in the Dutch Wadden Sea, 2030, 2050, 2100* die in 2018 aan het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat is aangeboden. We verwijzen naar de uitgebreide literatuurlijst met meer dan 250 referenties in Vermeersen et al. (2018) voor onderbouwing en nadere verklaring van de modellen en projecties. In deze Bijlage 4 lichten we een tweetal specifieke facetten nader toe, de vergelijking tussen mondiale projecties met de Waddenzee projecties en het mogelijke effect van het versneld afsmelten van de West-Antarctische ijskap. Alle figuren zijn uit Vermeersen et al. (2018).

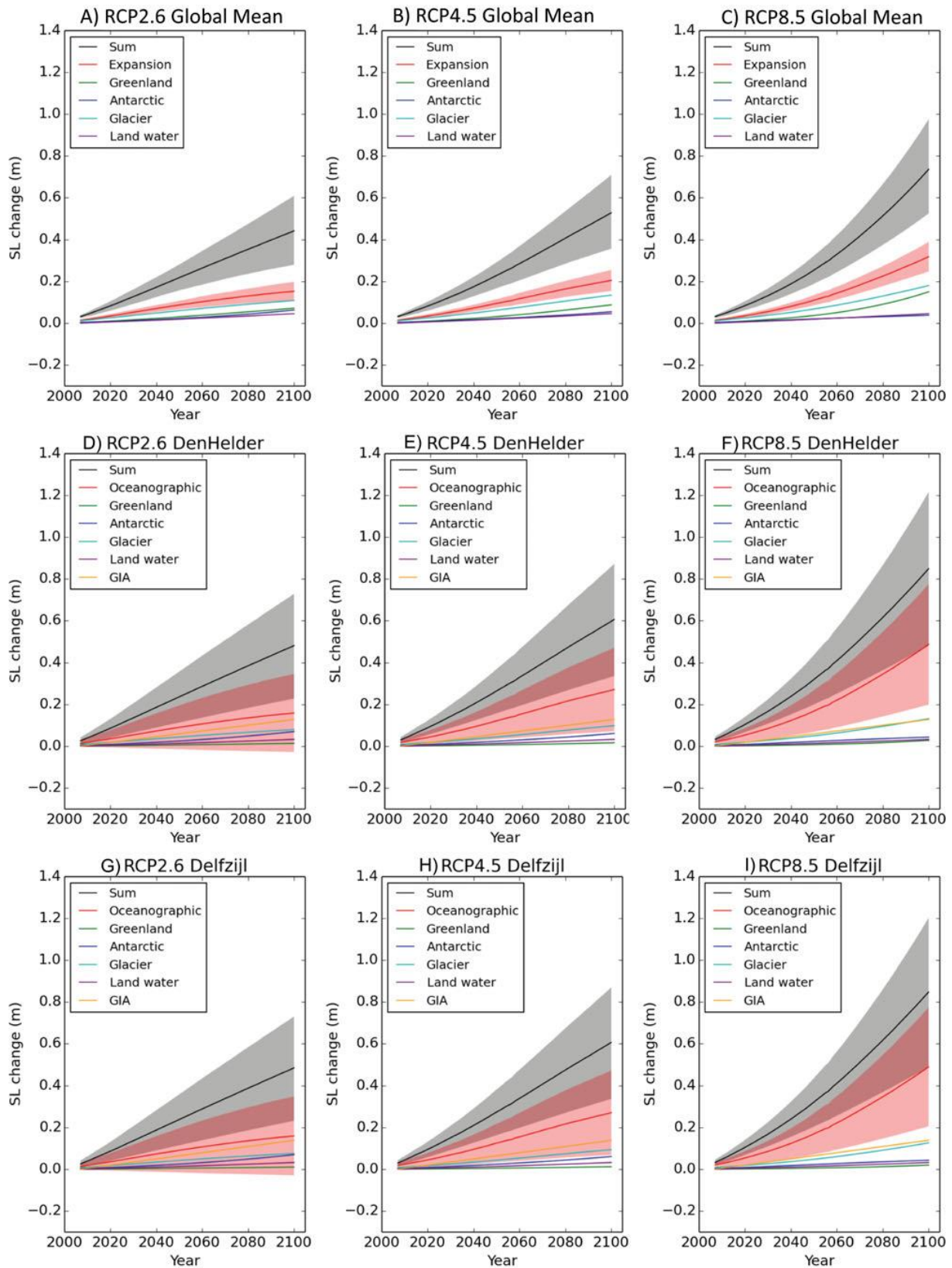
B4.1. Mondiaal gemiddelde zeespiegelprojecties vergeleken met zeespiegelprojecties voor de Waddenzee.

Een belangrijke onzekerheid voor wat betreft het bepalen van zeespiegelscenario's voor de Waddenzee tot 2050 is het moment waarop een lange-termijn versnelling zal plaatsvinden. In de loop van de 21e eeuw zal namelijk de zeespiegelstijging in de Noordzee en Waddenzee hoger worden dan het wereldwijd gemiddelde door twee oorzaken: het sterker opwarmen van het water door verdere temperatuurstijging van de atmosfeer op gematigde breedten dan gemiddeld elders in de oceanen, en verhoogde afsmelt van het ijs op West-Antarctica die een sterkere zeespiegelstijging veroorzaakt op het Noordelijk Halfrond door het gravitatie-effect. Huidige gemeten waarden voor de zeespiegelstijging van de Waddenzee van rond de 2 mm per jaar blijven achter bij de gemiddeld mondiale zeespiegelstijging van meer dan 3 mm per jaar die tevens aan het versnellen is⁹⁸. In de projecties van Figuur B3-1 wordt duidelijk dat voor alle projecties, dus ook voor RCP2.6, deze trend in de loop van de 21^e eeuw zal worden omgebogen naar een hogere zeespiegelstijging voor de Waddenzee ten opzichte van het wereldwijd gemiddelde. Het is door de sterke variabiliteit op tijdschalen korter dan 20 jaar lastig te bepalen wanneer precies deze omdraaiing van de trend zal beginnen.

In de projecties van Figuur B3-1 is geen rekening gehouden met een mogelijk versnelde afsmelt van de West-Antarctische ijskap.

⁹⁸ zie <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>

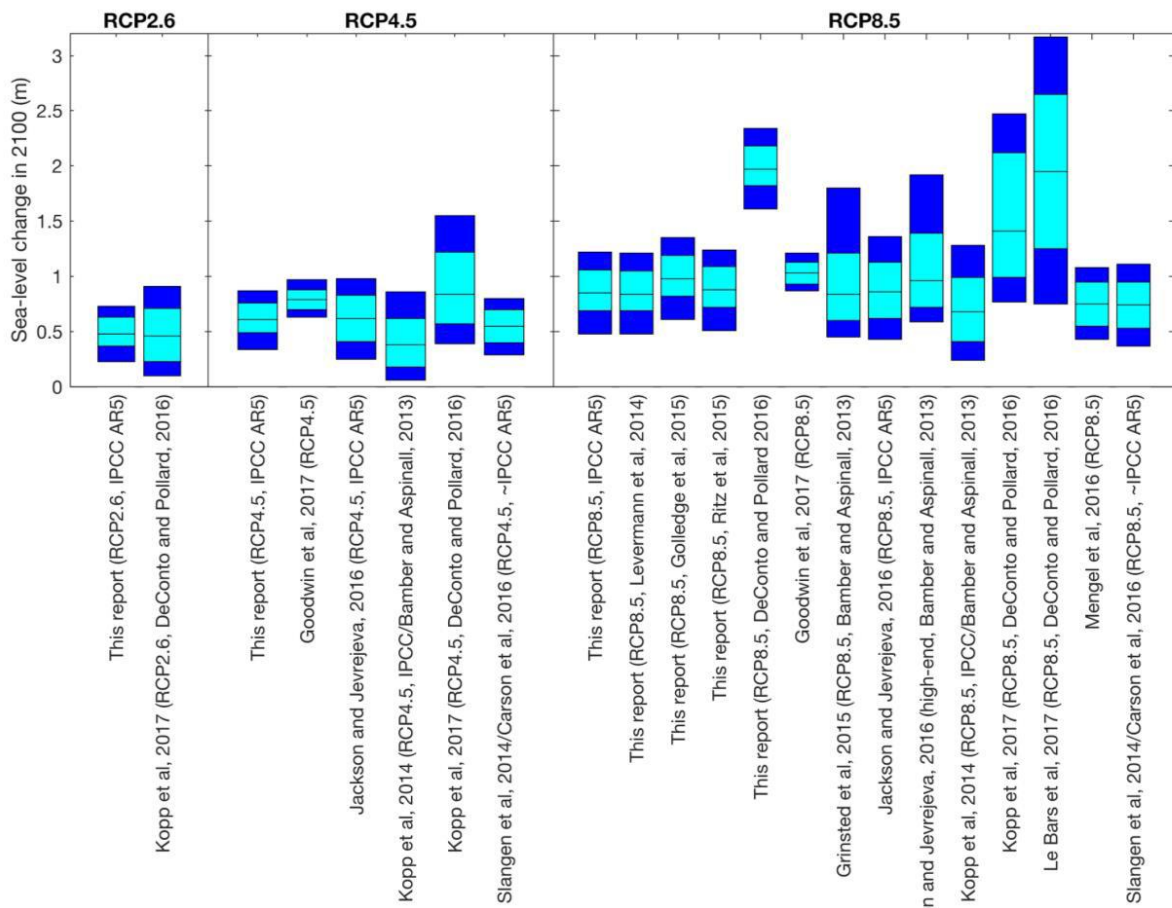
De toekomst van Hand aan de Kraan



Figuur B3-1. Geprojecteerde zeespiegelstijging voor het globaal gemiddelde (A, B en C), voor Den Helder (D, E en F) en voor Delfzijl (G, H en I) voor de drie beschouwde scenario's RCP2.6, RCP4.5 en RCP 8.5. Tevens zijn in elk van de negen gevallen de individuele bijdragen weergegeven (gekleurde curves) waaruit het totale signaal (zwarte curves) is opgebouwd. De bij elke curve behorende gearceerde gebieden geven de onzekerheden (5^e tot 95^e percentiel) in de projecties weer.

B4.2. Effecten van een mogelijk versnelde afsmelt van de West-Antarctische ijskap

Alhoewel in de scenario's een mogelijk versnelde of catastrofale afsmelt van de West-Antarctische ijskap niet is meegenomen, is het interessant om dit in een zij-scenario wel te beschouwen. Met nadruk moet hier echter gesteld worden dat wetenschappelijke consensus over de mogelijkheid of waarschijnlijkheid van zo'n versnelde of catastrofale afsmelt ontbreekt. De grote spreiding aan modellen wordt duidelijk in Figuur B3-2, waar de geprojecteerde zeespiegelstijging over de periode 2005 – 2100 van een aantal individuele wetenschappelijke artikelen over de afgelopen jaren zijn gerangschikt naar RCP scenario, waaronder een aantal die een versneld catastrofale afsmelt meenemen. Daarom beveelt het adviescollege aan om in het licht van de snel veranderende inzichten in de verschillende klimaat- en zeespiegelscenario's de in de HadK gebruikte scenario's op dit punt jaarlijks te evalueren. Indien nodig leidt dit tot een tijdige bijstelling van het gebruikte richtscenario voor zeespiegelstijging. De globale zeespiegelstijging uit deze artikelen is vertaald naar zeespiegelstijging voor Den Helder. Voor de wijze waarop dit is gedaan verwijzen we naar Vermeersen et al. (2018).



Figuur B3-2. Overzicht van een aantal publicaties over de afgelopen jaren, gesorteerd naar opklimmend RCP scenario, waarbij de projecties naar Den Helder zijn vertaald. Startjaar voor de zeespiegelstijging is 2005. Rond de mediaan (zwart lijntje) is de spreiding rond het 17^e tot 83^e percentiel (licht-groene kleur) en rond het 5^e tot 95^e percentiel (donkere blauwe kleur) weergegeven. “This report” verwijst naar Vermeersen et al. (2018).

Bijlage 5 Technische onderbouwing natuurwaarden

B5.1 Natuurwaarden Waddenzee

Te beschermen natuurwaarden in de Waddenzee (PKB-Waddengebied) volgens de Europese Habitatrichtlijn en Vogelrichtlijn zoals beschreven (+) en verder uitgewerkt (++) in de passende beoordelingen (PB) van de gaswinning (Ministerie van Economische Zaken 2006) en de zoutwinning (Arcadis 2013), en vervolgens meegenomen in de monitoring (MON) van de gaswinning (Ens et al. 2020) en de nulmetingen (NUL) van de zoutwinning (Arcadis 2019a, 2019b; van der Zee et al. 2019a, 2019b).

		Gaswinning		Zoutwinning	
		PB	MON	PB	NUL
HABITATRICHTLIJN					
Habitat	H110A	Permanent overstroomde ondiepe zandbanken	+		+
	H1140A	Bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten	+		+
	H1130	Estuaria	+		
Typische soorten	H1140A	Kokkel			++ +
	H1110A & H1140A	Mossel			++ +
	H1110A & H1140A	Nonnetje			++ +
	H1140A	Zager			++
Soorten	Rivierprik				+
	Zeeprik		+		+
	Fint		+		+
	Grijze zeehond		+		++
	Gewone zeehond		+		++
VOGELRICHTLIJN					
Soorten	Aalscholver (broedend en niet-broedend)		+		+
	Bergeend		+	+	++ +
	Blauwe kiekendief* (alleen broedend)		+		+
	Bontbekplevier (broedend en nietbroedend)		+	+	+
	Bonte strandloper		+	+	++ +
	Brandgans*		+		+
	Brilduiker		+		+
	Bruine kiekendief* (alleen broedend)		+		
	Drieteenstrandloper		+	+	+
	Dwergstern* (alleen broedend)		+		+
	Eider (broedend en niet-broedend)		+		++
	Fuut		+		+
	Goudplevier*		+		
	Grauwe gans		+		+
	Groenpootruiter		+		+
	Grote stern* (alleen broedend)		+		+
	Grote zaagbek		+		+
	Grutto		+		+
	Kanoetstrandloper		+	+	++ +
	Kievit		+		+
Kleine mantelmeeuw (alleen broedend)		+		+	

De toekomst van Hand aan de Kraan

Kleine zwaan*	+		+	
Kluut* (broedend en niet-broedend)	+	+	+	
Kolgans	+			
Krakeend	+		+	
Krombekstrandloper	+		+	
Lepelaar* (broedend en niet-broedend)	+		+	
Meerkoet	+			
Middelste zaagbek	+		+	
Nonnetje	+			
Noordse stern* (alleen broedend)	+		+	
Pijlstaart	+	+	+	
Rosse grutto*	+	+	+	
Rotgans	+		+	
Scholekster	+	+	++	+
Slechtvalk*	+		+	
Slobeend	+		+	
Smient	+		+	
Steenloper	+	+	+	
Strandplevier* (alleen broedend)	+		+	
Toendrarietgans	+		+	
Toppereend	+		++	
Tureluur	+	+	+	
Velduil* (alleen broedend)	+		+	
Visdief* (alleen broedend)	+		+	
Wilde eend	+		+	
Wintertaling	+		+	
Wulp	+	+	++	
Zilverplevier	+	+	+	
Zwarte ruiter	+		+	
Zwarte stern* (alleen slaapplaats)	+		+	

B5.2 Activiteiten binnen Waddenzee

Activiteiten binnen de Waddenzee zoals beschreven (+) in de passende beoordelingen (PB) van de gaswinning (Ministerie van Economische Zaken 2006) en de zoutwinning (Arcadis 2013) die mogelijk kunnen leiden tot cumulatie met delfstofwinning.

		Gaswinning		Zoutwinning	
		PB	MON	PB	NUL
Baggeren & storten van baggerspecie	Vaargeulen (Rijkswaterstaat)			+	
	Havens Harlingen			+	
	Drempelverwijdering Boontjes			+	
	Bedekken kabels & leidingen			+	
Visserij	Mosselvisserij & mosselkweek	+		+	
	Garnalenvisserij	+		+	
	Schelpdierwinning			+	
	Schelpenwinning				
	Mechanische pierenwinning	+			
Winning delstoffen	Gaswinning Pollendam			+	
	Gaswinning Anjum, Slochteren, Ameland en Zuidwal	+			
	Zoutwinning Fryslan	+			
Toevoer zoetwater	Extra spuicapaciteit IJsselmeer			+	
	Peilbesluit IJsselmeer			+	
	Aanleg zoet-zout overgangen	+			
Infrastructuur	Ruimtelijke ontwikkeling Afsluitdijk			+	
	Traverse N31			+	
	Reststoffen Energie Centrale			+	
	Parkeren offshore installaties	+			
	Aanleg & onderhoud van stranden	+			
	Aanleg van kabels & leidingen	+			
	Havens & bedrijfsterreinen	+			
	Bouwwerken t.b.v. afwatering	+			
Verstoring	Wadlopen & excursies	+			
	Sportvissen & pieren spitten	+			
	Scheepvaart (beroeps- en recreatievaart)	+			
	Militaire activiteiten	+			
	Vliegbewegingen (incl. burgerluchtvaart)	+			
	Kwelderbeheer	+			
	Onderzoek & monitoring	+			
	Opsporing waddengas	+			

B5.3 Achtergrondinformatie natuurwaarden

Natuurwaarden

Voor een monitoring in het kader van het HadK-principe dienen de effecten op de in stand te houden *natuurlijke kenmerken en waarden* te worden gevolgd, zodanig in meetfrequentie en dekking dat daarmee vastgesteld kan worden of er dreiging is van aantasting van de natuurlijke kenmerken van het gebied door de delfstofwinning alleen of door cumulatie van de invloed van delfstofwinning met andere invloeden. Indien er wetenschappelijk gezien twijfel bestaat dat er de winning leidt tot

schadelijke gevolgen voor natuurlijke waarden en kenmerken, dan dienen de winningsactiviteiten te worden gereduceerd of gestopt (Ministerie van Economische Zaken 2016).

Voor de Waddenzee worden de *natuurlijke kenmerken en waarden* beschreven als beschermde leefgebieden en beschermde soorten (niet-vogels) zoals gedefinieerd in de Habitatrictlijn, en beschermde vogels zoals gedefinieerd in de Vogelrichtlijn (Bijlage B451). Voor de beschermde habitat typen (wadplaten en ondiepe permanent ondergedoken zandbanken) is het doel om het huidige oppervlak te behouden en de kwaliteit ervan te verbeteren, waarbij die kwaliteit onder meer bepaald kan worden aan de hand van het voorkomen van zogenaamde “typische” soorten, waaronder schelpdieren, wormen en vissen. Voor de beschermde soorten die geen vogel zijn, geldt dat er gestreefd dient te worden naar behoud van de omvang en de kwaliteit van het leefgebied voor het behoud (grijze zeehond) of voor een uitbreiding (de vissen rivierprik, zee-prik en fint, en de gewone zeehond) van de populatie.

Voor de vogels geldt dat de omvang en kwaliteit van hun leefgebied de ruimte moet blijven bieden (“behoud van draagkracht”) aan een minimaal aantal vogels (van de niet in de Waddengebied broedende soorten) of broedparen (voor de broedvogels van het Waddengebied) van alle in dit gebied beschermde vogelsoorten (Bijlage B5.1). Voor een aantal vogelsoorten (dwergstern, eider, scholekster, steenloper, toppereend) geldt een zogenaamde “verbeterdoelstelling”, d.w.z. dat er wordt gestreefd naar een verbetering van de kwaliteit van het leefgebied zodat de draagkracht voor deze soorten toeneemt (<https://www.natura2000.nl>).

Samengevat, de bescherming (en, voor sommige soorten, de verbetering) van populaties van bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren in de Waddenzee verloopt vooral via het behoud of de verbetering van de omvang en kwaliteit van hun leefgebieden, waarbij vaak het aanbod van voldoende voedsel wordt genoemd om de beoogde aantallen te kunnen waarborgen (<https://www.natura2000.nl>).

Habitats

De monitoring richt zich nu met name op de natuurwaarden van de wadplaten. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de staat van een aantal van de te beschermen vogelsoorten afhankelijk is van de omvang en kwaliteit van het habitat type “ondiepe permanent ondergedoken zandbanken”, waaronder duikende zee-eenden zoals eidereenden voor hun voedsel (Cervenci et al. 2015) en bergeenden voor de rui (Kleefstra et al. 2011). De mogelijke effecten van bodemdaling als gevolg van gas- en zoutwinning op deze soorten via veranderingen in dit habitat zijn tot nu toe niet expliciet meegenomen in de beoordelingen van de natuurwaarden in de uitvoering van het HadK-principe.

Overspoelingsduur

Inzichten - De overspoelingsduur van de wadplaten per getijdencyclus is bepalend voor de soortensamenstelling van de bodemdieren (Compton et al. 2013) en de maximale foerageertijd voor wadvogels (Reise 1985; Folmer et al. 2010). Deze kan worden berekend aan de hand van de hoogte van de wadplaat (t.o.v. NAP) en de variabele hoogte van de zeespiegel. De hoogte van de wadplaat kan sterk variëren, niet alleen als gevolg van geleidelijke sedimentatie en erosie (b.v. als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en geulverplaatsing), maar ook als gevolg van bijvoorbeeld het weer. Bij langdurig rustige weersomstandigheden zal versnelde sedimentatie optreden, terwijl een storm kan leiden tot een afslag van wel 8 centimeter in een dag (Yeo and Risk 1979). De hoogte van de zeespiegel is vooral getij-gedreven, maar ook hiervoor geldt dat weersomstandigheden (atmosferische druk, windkracht- en richting) een jaarlijkse variatie in de gemiddelde zeespiegel van meer dan ± 50 cm kunnen veroorzaken (Gerkema & Duran-Matute 2017). Voor bodemdieren en vogels zullen de gevolgen van deze variatie niet alleen afhangen van de gemiddelde overspoelingsduur, maar ook van de hoogte van de extremen en met welke frequentie en aaneengesloten duur die voorkomen.

Monitoring - Om de variatie in de ruimte en in de tijd van de overspoelingsduur goed in kaart te brengen kan naast de bestaande gegevens (Elias & Wang 2013) tevens gebruik gemaakt worden van nieuwe analyses van bestaande data (Nauw et al. 2017), en van nieuwe meettechnieken zoals drones (Dai et al. 2018; Brunier et al. 2020) en satellietbeelden (Bué et al. 2020) in combinatie met automatische sensoren die met een hoge temporele resolutie zowel de hoogte van het water als die van de bodem kunnen meten (Hu et al. 2015). Hiermee kan de nauwkeurigheid van de huidige metingen van bijvoorbeeld de waterhoogte verhoogd worden tot bijvoorbeeld 10 Herz (10x per seconde), waardoor er een verband kan worden beschreven tussen extremen in waterhoogtes (golfhoogtes) en erosie- en sedimentatiesnelheden van de wadbodem.

Sedimentsamenstelling

Inzichten - De sedimentsamenstelling heeft niet alleen invloed op de bodemdieren (Compton et al. 2013; zie 5.2.3), maar mogelijk ook op de detectie en bereikbaarheid van ingegraven bodemdieren voor foeragerende vogels (Colwell & Landrum 1993; Ens et al. 2020). Foeragerende wadvogels lijken droger substraat te vermijden (Goss-Custard 1977; Grant 1984; Colwell & Landrum 1993), en experimentele studies hebben aangetoond dat de sedimentsamenstelling bepalend is voor hoe diep een vogel naar een ingegraven prooi kan zoeken en dat vogels daarom grover sediment vermijden (Myers et al. 1980; Quammen 1982). Indien de bodemdalingsschotel (aanvankelijk) wordt ingevuld door fijner of grover sediment, kan dit directe gevolgen hebben voor de toegankelijk van de bodemdieren voor de vogels en indirecte gevolgen voor het totale potentiële voedselaanbod.

Monitoring - De “Synoptic Intertidal Benthic Survey of the Wadden Sea” (SIBES) is een Waddenzee-breed meetprogramma waarbij jaarlijks in de zomer sinds 2008 op ca. 4500 stations de sedimentsamenstelling (mediane korrelgrootte en slibgehalte) en alle bodemdieren (soorten, dichtheden, groottes, vleesgewicht en, waar mogelijk, leeftijd) van de wadplaten worden bepaald (Aarts et al. 2010; Bijleveld et al. 2012; Compton et al. 2013). De bemonstering van schelpdierbanken (vooral gericht op mosselen, kokkels en Japanse oesters) wordt sinds 2004 op de wadplaten van de Waddenzee in het voorjaar uitgevoerd (van Asch et al. 2020). Gegevens van dergelijk grote en langjarige meetprogramma’s kunnen ook gebruikt worden voor het beter duiden van trends als achtergrond van de huidige ontwikkelingen, en voor een inschatting van de natuurlijke variatie waar rekening mee gehouden moet worden bij een effectenonderzoek (Nichols & Williams 2006; White 2019). Zowel SIBES als het schelpdierbanken meetprogramma worden al wel gebruikt voor de monitoring van de draagkracht van de bodemdalingstudies van de gaswinning (Ens et al. 2020), en bestrijken ook het gebied waar de zoutwinning plaatsvindt. Om de seizoendynamiek in de bodemdieren mee te nemen, zou overwogen kunnen worden om in de bodemdalingsschotels van de gas- en zoutwinning een (beperkt) aantal stations vaker dan 1x per jaar (b.v. maandelijks) te bemonsteren of met behulp van “remote sensing” technieken te karteren (de Vries et al. 2019).

Voedselaanbod voor wadvogels

Inzichten - De beschikbaarheid van bodemdieren als voedsel voor wadvogels tijdens laagwater wordt bepaald door de soortensamenstelling, dichtheid, vleesinhoud, grootteverdeling en ingraafdiepte van die bodemdieren (Zwarts & Wanink 1993). De soortensamenstelling van bodemdieren op wadplaten van de Waddenzee wordt vooral bepaald door overspoelingsduur, het type sediment en (voor algeneters waaronder de schelpdieren) door het aanbod aan microalgen, bestaande uit zwevende algen, bodemalgen en zoetwateralgen (Compton et al. 2013; Christianen et al. 2017; Jung et al. 2019). De variatie in de dichtheid van bodemdieren wordt vooral bepaald door de variatie in de voortplanting (die jaarlijks maar onregelmatig succesvol plaatsvindt) en door massasterfte tijdens strenge winters en hittegolven (Strasser et al. 2003; Beukema et al. 2010; Troost & van Asch 2018). De vleesinhoud bij schelpdieren varieert gedurende het seizoen, maar ook met de dichtheid (Bijleveld et al. 2016). De ingraafdiepte is in principe soort- en grootte-specifiek, maar kan ook variëren gedurende het jaar en tussen de jaren (Zwarts et al. 1992; van Gils et al. 2006; Compton et

al. 2016). Het niet meenemen van deze aspecten geeft een onvolledig en vaak onjuist beeld van het voedsellandschap voor vogels (Bijleveld et al. 2016), en kan daarmee een vertekend beeld opleveren van eventuele veranderingen in de het voedselaanbod van vogels, al dan niet als gevolg van delfstofwinning.

Monitoring - Data van Waddenzee-brede meetprogramma's van bodemdieren worden vaak gekenmerkt door een groot aantal nul-observaties (waarbij de soort niet aanwezig was, of tijdens de bemonstering door een lage dichtheid gemist is) en de aanwezigheid van ruimtelijke autocorrelatie (waarbij gebieden die dicht bij elkaar liggen veel op elkaar lijken wat betreft de soortensamenstelling). Er zijn nieuwe methoden voor statistische analyses ontwikkeld, die met deze beide aspecten rekening houden en daardoor betere kaarten van de ruimtelijke verdeling van de bodemdieren en daarmee een beter inzicht in eventuele veranderingen in het potentiële voedselaanbod voor de vogels opleveren (Lyashevskaya et al. 2016; Zuur & Ieno 2018).

Voedselopname door wadvogels

Inzichten - Het dieet van wadvogels hangt (naast het voedselaanbod) ook af van hun soort-specifieke specialisaties, waarbij bijvoorbeeld vogels met een langere snavel dieper ingegraven bodemdieren kunnen bereiken dan vogels met een kortere snavel (Lifjeld 1984; Zwarts & Wanink 1991), en vogels met een sterkere spiermaag beter in staat zijn om schelpdieren inwendig te kraken dan vogels met een minder sterke spiermaag (Dekinga 2001). Deze eigenschappen verschillen echter niet alleen tussen soorten, maar ook binnen een soort gedurende het jaar (Piersma & van Gils 2011), tussen generaties van een soort (van Gils et al. 2016) en tussen individuen als gevolg van specialisaties in gedrag (Bijleveld et al. 2014; van der Kolk et al. 2020). Deze diversiteit in prooi-predator relaties kan geadresseerd worden door het voedsellandschap (de beschikbaarheid van potentiële prooien) te vergelijken met de daadwerkelijke predatie (selectie van dat voedselaanbod), bijvoorbeeld aan de hand van onderzoek m.b.v. isotopen, aan prooiresten in faeces en door veldwaarnemingen van foerageergedrag (Enners et al. 2019; Horn et al. 2020) en, steeds meer gebruikelijk, met behulp van automatische volgsystemen met accelerometers (Shamoun-Baranes et al. 2012; Pot et al. 2019).

De opnamesnelheid van voedsel door wadvogels tijdens laagwater wordt, naast droogvalduur, voedselaanbod en het dieet zoals beschreven in bovenstaande paragrafen, ook bepaald door de efficiëntie van zoeken, vangen en verteren, door gedrag zoals verspreiding bij concurrentie om voedsel (Goss-Custard 1980; Ens & Goss-Custard 1984; van der Meer & Ens 1997; Bijleveld et al. 2012) en samenscholing tot een dichte groep bij gevaar (Oudman et al. 2018) en als reactie op verstoringen door menselijk handelen (van der Kolk et al. 2020b). De totale voedselopname per jaar wordt bepaald door de opnamensnelheid per uur, het aantal uren per dag waarop deze snelheid gehaald kan worden en het aantal dagen waarop er in de Waddenzee wordt gegeten, waarbij vogels hun opnamesnelheid tijdelijk kunnen verhogen bij een verkorte droogvaltijd onder experimentele condities (Swennen et al. 1989), maar hiervoor geen aanwijzingen zijn dat dit ook in het veld gebeurt (Meire 1996; Urfi et al. 1996). Recente waarnemingen aan een verkorte verblijftijd van rosse grutto's in de Waddenzee als gevolg van klimaatverandering suggereren dat de jaarlijkse voedselopname voor deze vogelsoort is afgenomen (Rakhimberdiev et al. 2018).

Monitoring - De verspreiding van wadvogels tijdens laagwater kan tegenwoordig "real time" gevolgd worden met behulp van een combinatie van zenders op de vogels en ontvangstations op het wad zoals dat nu al voor de scholekster (Linssen et al. 2019) en de kanoetstrandloper ("Wadden Sea Advanced Tracking and Localisation of Animals in real life Systems; WATLAS") wordt uitgevoerd. Hierdoor wordt niet alleen gemeten wanneer en hoe de vogels zich tijdens een getijperiode over het wad bewegen, maar ook waar ze hun voedsel vergaren. In combinatie met "real time" gegevens over de waterhoogtes en de interpolaties van de hoge-resolutie (maandelijkse) metingen aan de plaathoogtes en voedselbeschikbaarheid kunnen ontwikkelingen in natuurwaarden (en eventuele overschrijdingen van drempelwaarden) direct gevolgd worden.

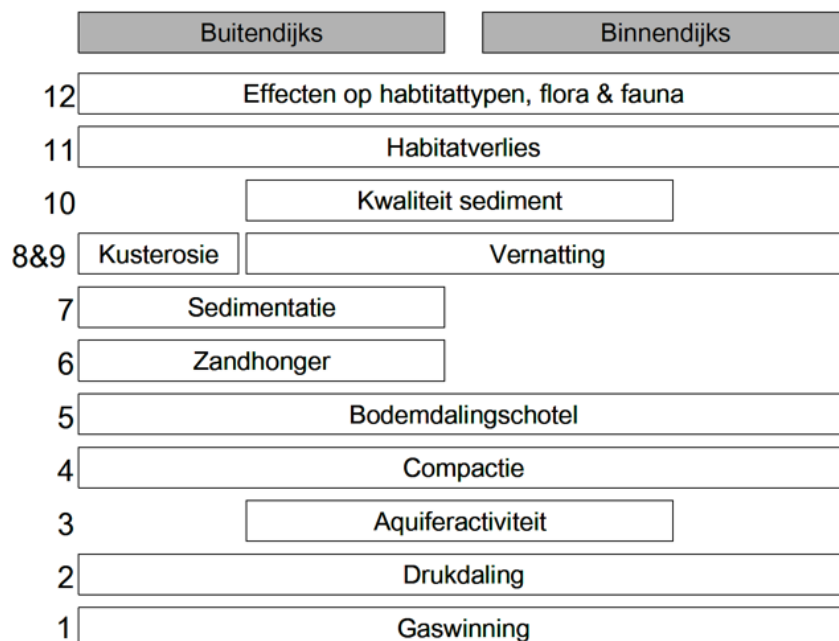
Cumulatieve effecten

Inzichten - Steeds meer studies laten zien hoe overige/ cumulatieve effecten bij een effectenbeoordeling kunnen worden meegenomen, en geven daarbij handvaten om een enkelvoudig effect afkomstig van verschillende bronnen te kwantificeren (zoals bijvoorbeeld geluid afkomstig van scheepsvaart, wind en heideactiviteiten; Sertlek et al. 2019). In het geval van meerdere effecten kan bijvoorbeeld een op risico gebaseerde benadering gevolgd worden die rekening houdt met leemtes en onzekerheden in kennis (Hodgson et al. 2019; Stelzenmüller 2020). Als gesteld wordt dat natuurwaarden niet mogen worden aangetast, dan betekent dit dat er een veelomvattende analyse van de onderliggende processen gedaan moet worden om waar te kunnen maken dat dit ook inderdaad niet gebeurt en/of dat eventuele veranderingen in natuurwaarden onterecht aan de delfstofwinning worden toegeschreven. Belangrijk is om hierbij op te merken dat niet alleen huidige maar ook toekomstige effecten (zoals die van klimaatverandering voor kustgebieden; O'Meara et al. 2017) dienen te worden meegenomen.

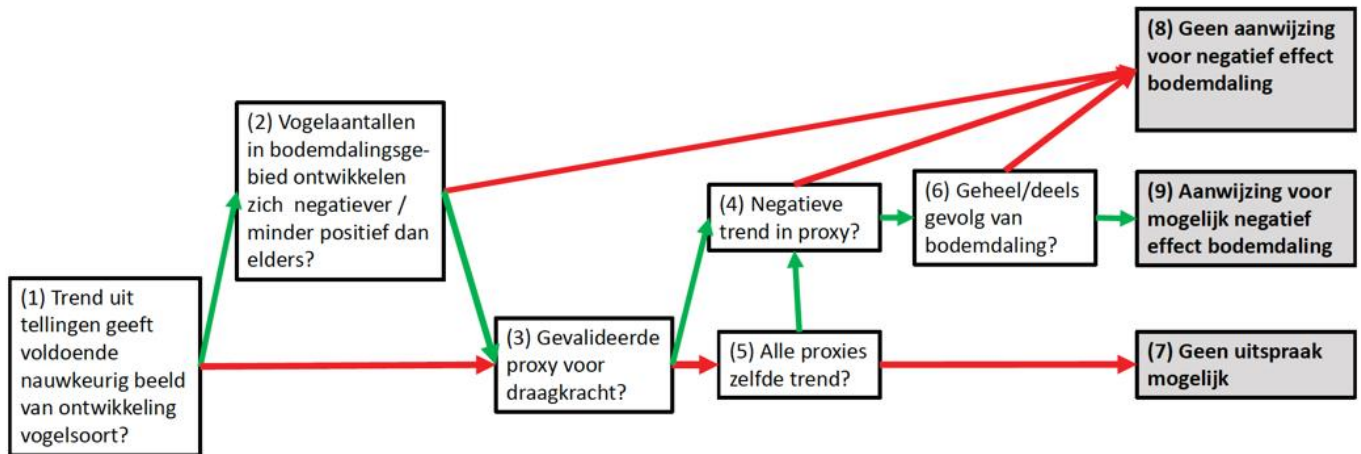
Monitoring - Omdat de verspreiding van de wadvogels op de wadplaten medebepaald wordt door menselijke activiteiten zoals verstoringen door schepen en vliegtuigen, zou ook hiervoor een "real time" systeem opgezet kunnen worden. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het geïntegreerd beschikbaar maken van de actuele bewegingen van diverse typen vliegtuigen (flightradar.live) en schepen (marinetraffic.com), inclusief de activiteiten die zij uitvoeren (zoals visserij; Tulp et al. 2020). Het meenemen van dergelijke cumulatieve effecten geeft direct informatie over in hoeverre veranderingen zijn toe te schrijven aan delfstofwinning en/of aan andere factoren. Verder zou verkend kunnen worden in hoeverre de recente inzichten en handvaten rond cumulatie (Stelzenmüller 2020) toegepast kunnen worden voor de delfstofwinning in de Waddenzee.

B5.4 Hoofdpijnen van effecten (oorzaak-gevolg) ketens en beslisschema's voor natuurwaarden zoals beschreven in de Passende Beoordelingen en de Monitoringrapportages voor de aardgaswinning en de zoutwinning.

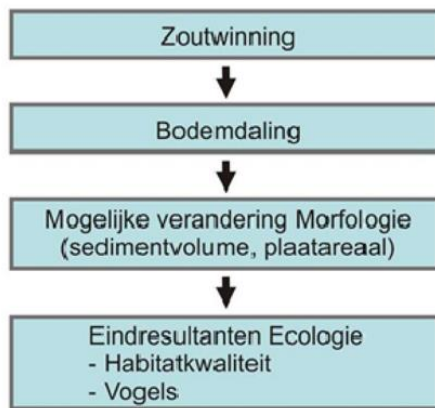
a. Effectenketen Passende Beoordeling Aardgaswinning (Ministerie van Economische Zaken 2006)



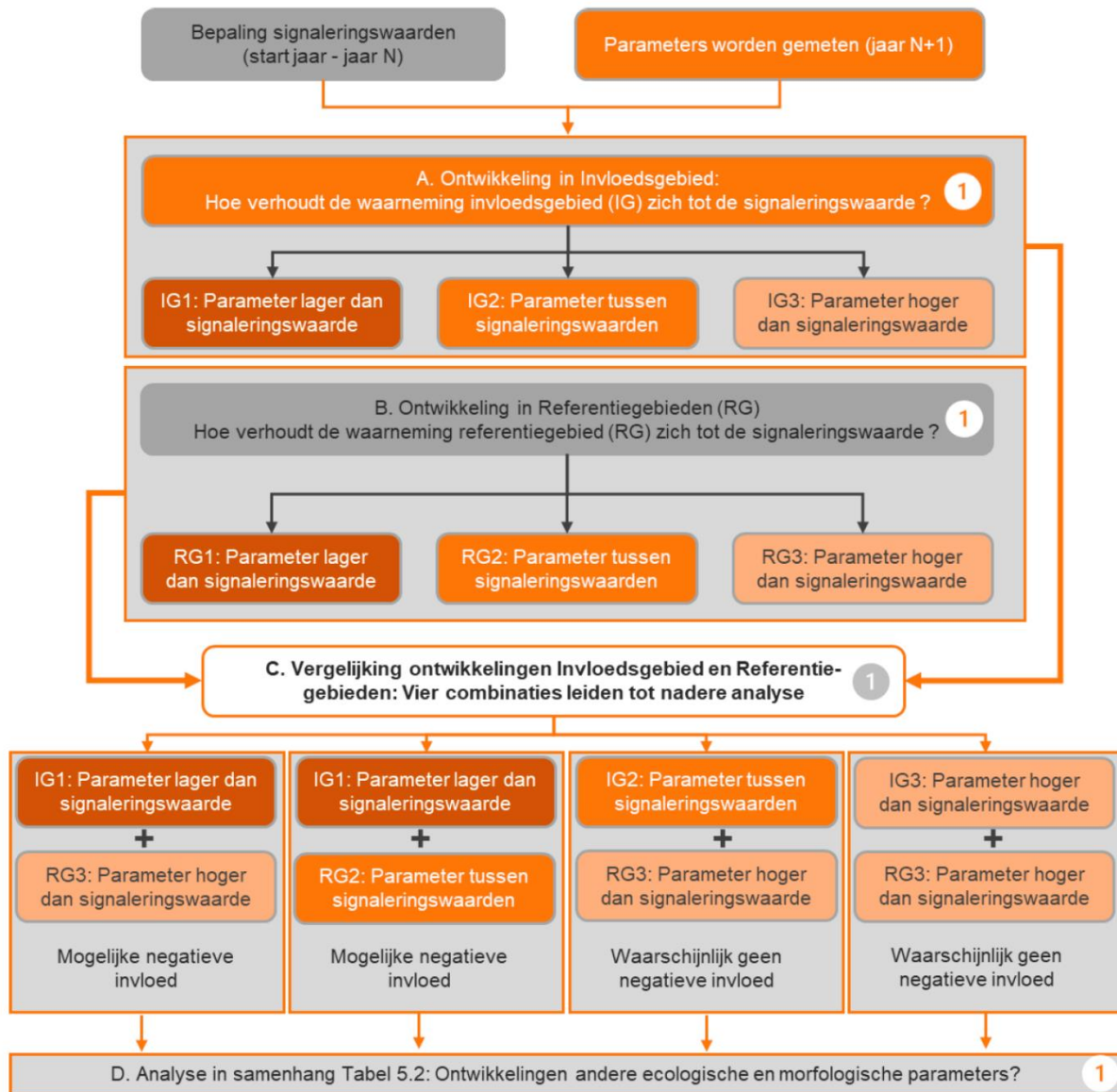
b. Beslisschema Monitoring Aardgaswinning (voor wadvogels; Ens et al. 2020)



c. Effectenketen Passende Beoordeling Zoutwinning (Arcadis 2013)



d. Beslisschema Monitoring Zoutwinning (Arcadis 2019c).



B5.5 Referenties

- Aarts, G., et al. (2010) Benthic macrofauna in relation to natural gas extraction in the Dutch Wadden Sea. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research.
- Arcadis (2013) Passende beoordeling zoutwinning onder de Waddenzee Frisia zout B.V., 1 oktober 2013, 076816298: A4 – Definitief; C01022.100263.0500.
- Arcadis (2019a) Monitoring t0-situatie Waddenzee, Studiegebied zoutwinning. Frisia Zout B.V. 25 april 2019.
- Arcadis (2019b) Monitoring t0-situatie Waddenzee, Studiegebied zoutwinning: data analyse. Frisia Zout B.V. Referentie: 083888249 0.1 - Datum: 18 april 2019.
- Arcadis (2019c) Monitoring t0-situatie Waddenzee, Studiegebied zoutwinning: Herziene versie rapportage 2019.
- Arcadis (2020) Monitoring t0-situatie studiegebied zoutwinning Waddenzee. D10012045:5 - Datum: 30 juni 2020

- van Asch, M., et al. (2019) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2019. CVO-rapport 19.009. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), IJmuiden.
- Auditcommissie Aardgaswinning (2019) Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2018. 19 december 2019/ projectnummer: 3366.
- Auditcommissie Zoutwinning (2019) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de resultaten van de nulmeting. 19 december 2019/ projectnummer: 3203.
- Auditcommissie Zoutwinning (2020) Zoutwinning Waddenzee. Advies Auditcommissie over de herziene resultaten van de nulmeting. 27 mei 2020/ projectnummer: 3203.
- Beukema, J.J., et al. (2010) Long-term variability in bivalve recruitment, mortality, and growth and their contribution to fluctuations in food stocks of shellfish-eating birds. *Marine Ecology Progress Series* 414: 117–130
- Brotas, V., et al. (1995). Spatio-temporal distribution of the microphytobenthic biomass in intertidal flats of Tagus Estuary (Portugal). In: *Space Partition within Aquatic Ecosystems*. Springer, Dordrecht, pp. 93-104.
- Bué, I., et al. (2020) Intertidal Bathymetry Extraction with Multispectral Images: A Logistic Regression Approach. *Remote Sensing* 12: 1311.
- Bijleveld, A.I., et al. (2012) Experimental evidence for cryptic interference among socially foraging shorebirds. *Behavioral Ecology* 23: 806-814.
- Bijleveld, A.I., et al. (2014) Personality drives physiological adjustments and is not related to survival. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281, 20133135.
- Bijleveld, A.I., et al. (2016) Understanding spatial distributions: negative density-dependence in prey causes predators to trade-off prey quantity with quality. *Proceedings of the Royal Society B* 283: 20151557.
- Bijleveld, A.I., et al. (2018). Presence-absence of marine macrozoobenthos does not generally predict abundance and biomass. *Scientific Reports* 8: 3039.
- Brunier, G., et al. (2020) Assessing the relationship between macro-faunal burrowing activity and mudflat geomorphology from UAV-based Structure-from-Motion photogrammetry. *Remote Sensing of Environment* 241: 111717.
- Cervenci, A., et al. (2015) Distribution of wintering Common Eider *Somateria mollissima* in the Dutch Wadden Sea in relation to available food stocks. *Marine Biology* 162: 153-168.
- Christianen, M.J., et al. (2017). Benthic primary producers are key to sustain the Wadden Sea food web: stable carbon isotope analysis at landscape scale. *Ecology* 98: 1498-1512.
- Colwell, M.A. & Landrum, S.L. (1993) Nonrandom shorebird distribution and fine-scale variation in prey abundance. *Condor* 95: 94–103.
- Commissie MER (2017) Advies opzet nulmeting monitoring zoutwinning Waddenzee Havenmond. Brief van de Cie MER aan Min EZK, 25 april 2017, kenmerk 3203.
- Compton, T.J., et al. (2013) Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 82: 103-116.
- Compton, T.J., et al. (2013) Synoptic intertidal benthic surveys across the Dutch Wadden Sea (2008 to 2011). Royal Netherlands Institute for Sea Research NIOZ, Report 2013-1.
- Compton T.J., et al. (2016) Burrowing behavior of a deposit feeding bivalve predicts change in intertidal ecosystem state. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4: 19.
- Dai, W., et al. (2018) UAV Photogrammetry for Elevation Monitoring of Intertidal Mudflats. *Journal of Coastal Research* 85: 236-240.
- Dekinga, A., et al. (2001) Time course and reversibility of changes in the gizzards of red knots alternately eating hard and soft food. *Journal of Experimental Biology* 204: 2167-2173.

De toekomst van Hand aan de Kraan

- van den Ende D., et al. (2020) Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen van de Nederlandse zoute getijdenwateren in 2019: bestand en arealen. Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), IJmuiden. 43 pp.
- Enners, L., et al. (2019) Foraging patterns and diet composition of breeding Pied avocets (*Recurvirostra avosetta*) in the German Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 229: 106399.
- Ens, B.J. & Goss-Custard, J.D. (1984) Interference among Oystercatchers *Haematopus ostralegus*, feeding on mussels, *Mytilus edulis*, on the Exe estuary. *Journal of Animal Ecology* 53: 127-231.
- Ens B.J., et al. (2019) Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Folmer, E.O., et al. (2010) How well do food distributions predict spatial distributions of shorebirds with different degrees of self-organization? *Journal of Animal Ecology* 79: 747-756.
- van Gils, J.A., et al. (2006) Shellfish dredging pushes a flexible avian top predator out of a marine protected area. *PLoS Biology* 4: 2399-2404.
- van Gils J.A., et al. (2016) Body shrinkage due to Arctic warming reduces red knot fitness in tropical wintering range. *Science* 352: 819-821.
- Goss-Custard, J.D. (1980) Competition for food and interference among waders. *Ardea*, 68: 31-52.
- Goss-Custard, D., et al. (1977) The ecology of the Wash. I. Distribution and diet of wading birds (Charadrii). *Journal of Applied Ecology* 14: 681-700.
- Grant, J. (1984) Sediment microtopography and shorebird foraging. *Marine Ecology Progress Series* 19: 293- 296.
- Hodgson, E.E., et al. (2019) Moving beyond silos in cumulative effects. Assessment. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7: 211.
- Horn, S., et al. (2020) Species composition of foraging birds in association with benthic fauna in four intertidal habitats of the Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 233: 106537.
- van den Hout P.J. (2009) Mortaliteit is het topje van een ijsberg van angst. Over Slechtvalken en steltlopers in de Waddenzee. *Limosa* 82: 122-133.
- van den Hout P.J. & Piersma T. (2013) Laagwatersverspreiding van steltlopers in de Waddenzee. *Limosa* 86: 25-30.
- Hu, Z., et al. (2015) Continuous monitoring bed-level dynamics on an intertidal flat: Introducing novel, stand-alone high-resolution SED-sensors. *Geomorphology* 245: 223-230
- JMMB (Joint Monitoring Group of Migratory Birds) (2013) Moulting Shelduck in the Wadden Sea 2010 – 2012. www.waddensea-secretariat.org, Wilhelmshaven Germany.
- Jung, A.S., et al. (2019) Seasonal variation in the diet of estuarine bivalves. *PLOS ONE* 14: e0217003.
- Kleefstra, R, et al. (2011) Het toegenomen belang van de Nederlandse Waddenzee voor ruiende Bergeenden. *Limosa* 84: 145-154.
- van der Kolk, H.J., et al. (2020a) Shorebird feeding specialists differ in how environmental conditions alter their foraging time. *Behavioral Ecology* 31: 371-382.
- van der Kolk, H.J., et al. (2020b). Spatiotemporal variation in disturbance impacts derived from simultaneous tracking of aircraft and shorebirds. *Journal of Applied Ecology* 00: 1-13.
- Kraan, C., et al. (2009) Landscape-scale experiment demonstrates that Wadden Sea intertidal flats are used to capacity by molluscivore migrant shorebirds. *Journal of Animal Ecology* 78: 1259-1268.
- Kraan, C., et al. (2010) The role of environmental variables in structuring landscape-scale species distributions in seafloor habitats. *Ecology* 91: 1583-1590.

De toekomst van Hand aan de Kraan

- Lifjeld, J.T. (1984) Prey selection in relation to body size and bill length of five species of waders feeding in the same habitat. *Ornis Scandinavica* 15: 217-226.
- Linssen, H., et al. (2019) Disturbance increases high tide travel distance of a roosting shorebird but only marginally affects daily energy expenditure. *Avian Research* 10: 31.
- Lyashevskaya, O., et al. (2016) Mapping species abundance by a spatial zero-inflated Poisson model: a case study in the NL-Wadden Sea. *Ecology and Evolution* 6: 532-543.
- van der Meer, J. & Ens, B.J. (1997) Models of interference and their consequences for the spatial distribution of ideal and free predators. *Journal of Animal Ecology* 66: 846-858.
- Meire, P.M. (1996) Feeding behaviour of Oystercatchers *Haematopus ostralegus* during a period of tidal manipulations. *Ardea* 84A: 509-524.
- Ministerie van Economische Zaken (2006) Gaswinning binnen randvoorwaarden. Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. 20 januari 2006.
- Ministerie van Economische Zaken (2016) Gas- en zoutwinning Waddenzee: 'hand aan de kraan'-principe. Brief met kenmerk DGETM-EO / 16069176. 30 mei 2016
- Myers, J., et al. (1980) An experimental analysis of prey availability for sanderlings (Aves: Scolopacidae) feeding on sandy beach crustaceans. *Canadian Journal of Zoology* 58: 1564-1574.
- Nauw J., et al. (2017) Estimates of exposure times in the Wadden Sea: A comparison of methods. *Journal of Sea Research* 127: 12-25.
- Nichols, J.D. & Williams, B.K. (2006) Monitoring for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 668-673.
- O'Meara, T.A., et al. (2017) Rising tides, cumulative impacts and cascading changes to estuarine ecosystem functions. *Scientific Report* 7, 10218.
- Oudman, T., et al. (2018) Resource landscapes explain contrasting patterns of aggregation and site fidelity by red knots at two wintering sites. *Movement Ecology* 6: 24.
- Piersma, T. & van Gils, J.A. (2011) *The flexible phenotype: a body-centred integration of ecology, physiology, and behaviour*. Oxford University Press, Oxford.
- Pot, M.T., et al. (2019) Wintering geese trade-off energetic gains and costs when switching from agricultural to natural habitats. *Ardea* 107: 183-196.
- Quammen, M.L. (1982) Influence of subtle substrate differences on feeding by shorebirds on intertidal mudflats. *Marine Biology* 71: 339-343.
- Rakhimberdiev E., et al. (2018) Fuelling conditions at staging sites can mitigate Arctic warming effects in a migratory bird. *Nature Communications* 9: 4263.
- Rappoldt, C., et al. (2019) Wadvogel habitat model Wadmap. Technische documentatie EcoCurves Rapport 30. EcoCurves, Haren.
- Reise, K. (1985) *Tidal Flat Ecology: An Experimental Approach to Species Interactions*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Reise, K., & Kohlus, J. (2008). Seagrass recovery in the Northern Wadden Sea? *Helgoland Marine Research* 62: 77-84.
- Sertlek, H.Ö., et al. (2019) Source specific sound mapping: Spatial, temporal and spectral distribution of sound in the Dutch North Sea. *Environmental Pollution* 247: 1143-1157.
- Shamoun-Baranes J, et al. (2012) From sensor data to animal behaviour: an oystercatcher example. *PLoS ONE* 7: e37997.
- Stelzenmüller, V. (2020) Operationalizing risk-based cumulative effect assessments in the marine environment. *Science of the Total Environment* 724: 138118

- Strasser, M., et al. (2003) How predictable is high bivalve recruitment in the Wadden Sea after a severe winter? *Journal of Sea Research* 49: 47-57.
- Swennen C., et al. (1989) Time-stressed Oystercatchers, *Haematopus ostralegus*, can increase their intake rate. *Animal Behaviour* 38: 8-22.
- Troost, K. & van Asch, M. (2018) Herziene schatting van het kokkelbestand in de Waddenzee en 1 Oosterschelde in het najaar van 2018. CVO Report 18.014, Wageningen University and Research, 2 Wageningen.
- Tulp, I., et al. (2020) Dose-response relationship between shrimp trawl fishery and the macrobenthic fauna community in the coastal zone and Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 156: 101829.
- de Vries, J., et al. (2019) Object-based remote sensing van benthische macrofauna in de Waddenzee, een verkennend onderzoek. Waddenacademie Position paper 2019-02.
- Urfi, A.J., et al. (1996) The ability of oystercatchers *Haematopus ostralegus* to compensate for lost feeding time: Field studies on individually marked birds. *Journal of Applied Ecology* 33: 873-883.
- White, E.R. (2019) Minimum time required to detect population trends: the need for long-term monitoring programs. *BioScience* 69: 40-46.
- Yeo, R.K. & Risk, M.J. (1979) Intertidal catastrophes: effect of storms and hurricanes on intertidal benthos of the Minas Basin, Bay of Fundy. *Journal of the Fisheries Board of Canada* 36: 79-96.
- van der Zee, E., et al. (2019a) Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee Jaarrapport 2018, Altenburg en Wymenga, rapport 2525, 21 maart 2019.
- van der Zee, E., et al. (2019b) Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee. Jaarrapport 2019. A&W-rapport 2525.19 Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwalden.
- Zuur, A.F. & Ieno, E.N. (2018) *Beginner's Guide to Spatial, Temporal and Spatial-Temporal Ecological Data Analysis with R-INLA. Volume II: GAM and zero-inflated models.* Highland Statistics Ltd., Newburgh, United Kingdom.
- Zwarts, L., et al. (1992). Annual and seasonal variation in the food supply harvestable by knot *Calidris canutus* staging in the Wadden Sea in late summer. *Marine Ecology Progress Series* 83: 129-139.
- Zwarts, L. & Wanink J.H. (1989) Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. *Marine Biology* 100: 227-240.
- Zwarts, L. & Wanink J.H. (1991). The macrobenthos fraction accessible to waders may represent marginal prey. *Ecologia* 87: 581-587.
- Zwarts, L. & Wanink J.H. (1993) How the food supply harvestable by waders in the Wadden Sea depends on the variation in energy density, body weight, biomass, burying depth and behaviour of tidal-flat invertebrates. *Netherlands Journal of Sea Research* 31: 441-476.
- Zwarts, L., et al. (1996) Predicting seasonal and annual fluctuations in the local exploitation of different prey by Oystercatchers *Haematopus ostralegus*: a ten-year study in the Wadden Sea. *Ardea* 84A: 401-440.