

# Klimaatverandering en ecologie

Position Paper

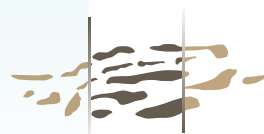


waddenacademie

OMGEVINGSBERAAD  
**Waddengebied**

# Klimaatverandering en ecologie

Position Paper



waddenacademie

OMGEVINGSBERAAD  
**Waddengebied**

Februari 2021

## Colofon

### Redactie

Piet Hoekstra  
Katja Philippart

### Met medewerking van

Rob Buiten  
Rob van Dorland  
Edwin Elias  
Theo Gerkema  
Peter Herman  
Bart van den Hurk  
Pavel Kabat  
Thijs van Kessel  
Ernst Lofvers  
Albert Oost  
Myron Peck  
Martijn van der Pol  
Ad van der Spek  
Stijn Temmerman  
Ingrid Tulp  
Robert Zijlstra

### Fotografie

Allix Brenninkmeijer (omslag, p. 20, 26)  
Sito Wijngaarden (p. 8)  
Jan Huneman (p. 16, 36, 30, 41)  
Luchtinspectie Rijkswaterstaat (p. 50)

### Grafisch ontwerp

BW H ontwerpers

### ISBN

9789490289560

Klimaatverandering en ecologie

Position Paper 2021-01  
Gepubliceerd door de Waddenacademie en het  
Omgevingsberaad Waddengebied  
© Waddenacademie februari 2021

### Contactpersoon Waddenacademie

Klaas Deen  
Secretaris Waddenacademie  
T 058 233 90 31  
E [klaas.deen@waddenacademie.nl](mailto:klaas.deen@waddenacademie.nl)  
<https://www.waddenacademie.nl>

### Contactpersoon Omgevingsberaad Waddengebied

Ruud de Jong  
Secretaris Omgevingsberaad Waddengebied  
T 058 233 90 10  
E [ruud.dejong@omgevingsberaadwadden.nl](mailto:ruud.dejong@omgevingsberaadwadden.nl)  
[https://www.waddenzee.nl/overheid/  
omgevingsberaad-waddengebied](https://www.waddenzee.nl/overheid/omgevingsberaad-waddengebied)

De basisfinanciering van de Waddenacademie is afkomstig van het Waddenfonds.

Citeren als:  
Hoekstra, P. & C.J.M. Philippart (2021)  
Klimaatverandering en ecologie. Position  
Paper Waddenacademie en Omgevingsberaad  
Waddengebied 2021-01

# INHOUDSOPGAVE

<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>4</b>
<b>VOORWOORD</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTIE</b>	<b>6</b>
<b>LEESWIJZER</b>	<b>7</b>
<i>Klimaatverandering en recente mondiale trends</i>	9
<b>Klimaatscenario's voor de Waddenzee</b>	<b>10</b>
<b>Oostelijk Wad kan haar zandhonger nog stillen</b>	<b>14</b>
<i>Zandreservoir in de buitendelta vangt nog veel op</i>	17
<b>Wind maakt dynamiek van de Waddenzee grillig</b>	<b>18</b>
<i>Hoger broeden door meer zomerstorm</i>	21
<b>Genoeg slib voor grotere Waddenzee?</b>	<b>22</b>
<b>Neerslag en temperatuur nu grotere zorg dan zeeniveau</b>	<b>24</b>
<i>Verschuift de timing van platvissen?</i>	27
<b>Bodemleven krijgt het warm en droog</b>	<b>28</b>
<i>Klimaat én visserij maken vis kleiner</i>	31
<b>Laat de natuur meer zelf opknappen</b>	<b>32</b>
<i>Natuur én mensen zijn veerkrachtig</i>	34
<i>Wadden zijn schakel in internationale keten</i>	37
<b>Wie naar klimaat wijst, wijst met drie vingers naar zichzelf</b>	<b>38</b>
<b>DISCUSSIE</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSIES</b>	<b>51</b>
<b>LITERATUUR REFERENTIES</b>	<b>52</b>
<b>NAMEN &amp; ADRESSEN</b>	<b>55</b>

# VOORWOORD

Klimaatverandering is een van de belangrijkste thema's van deze tijd. De gevolgen tekenen zich mondiaal af en worden met het jaar concreter. De zorgen nemen toe, ook voor het kwetsbare Waddengebied.

In 2009 presenteerde de Waddenacademie de agenda 'Kennis voor een duurzame toekomst van de Wadden.' Hierin werd stilgestaan bij de gevolgen van de klimaatverandering voor de ecologie van het Waddengebied. Tien jaar na het verschijnen van die agenda rijst de vraag hoe het er nu voor staat. Zijn er vanuit de wetenschap instrumenten aan te reiken waar beleidsmakers wat mee kunnen?

Deze vraag is voor de Waddenacademie en het Omgevingsberaad Waddengebied (het recent ingestelde adviesorgaan voor het Bestuurlijk Overleg Waddengebied) aanleiding om te komen met een toegankelijk en wetenschappelijk actueel rapport over de ecologische gevolgen van de temperatuurstijging en de veranderingen van het klimaat die daarop volgen. Het richt zich op de partijen die zitting hebben in het Omgevingsberaad Waddengebied en zal ook bestuurders en andere geïnteresseerden boeien.

Wetenschapsjournalist Rob Buiten heeft door interviews met deskundigen de situatie in kaart gebracht. Hij beschrijft de jongste scenario's voor de Waddenzee, de ecologische consequenties ervan en de handelingsperspectieven. De Waddenacademie reflecteert op deze resultaten in een synthese.

Eén vraag komt steeds weer bovendrijven: hoe houdbaar is het Europees beleid voor natuurbehoud en natuurherstel voor de Waddenzee? Het rapport geeft daar geen antwoord op, maar wil wel de start zijn van een zoektocht.

Wij hopen dat dit rapport inspireert en inzichten geeft hoe het ons zo dierbare Werelderfgoed gezamenlijk te beschermen en toekomst te geven.

Prof.dr.ir. C.J.M. Philippart  
Directeur Waddenacademie

Drs. A.M. Brok  
Voorzitter Omgevingsberaad Waddengebied

# INTRODUCTIE

Klimaat en klimaatverandering zijn onlosmakelijk verbonden met het ontstaan en de dynamiek van het Waddengebied. De opwarming van het klimaat na de ijstijden heeft geresulteerd in een stijgende zeespiegel met een steeds verder oprukkende zee in het aanvankelijk droogliggende Noordzeebekken. Dit proces is in belangrijke mate verantwoordelijk geweest voor de vorm en opbouw van het huidige waddengebied. Aanvankelijk resulteerde dit in een kust met strandwallen en barrière eilanden, een systeem dat zich met het stijgen van de zeespiegel ook geleidelijk in landwaartse richting ging verplaatsen. Met het stijgen van de zeespiegel steeg ook de grondwaterspiegel in het achterliggende gebied en werden uitgebreide veenpakketten gevormd. De veengebieden zijn uiteindelijk door menselijke ontginning en natuurlijke erosie ten prooi gevallen aan het water, waardoor de huidige (westelijke) Waddenzee kon ontstaan met zijn zeegaten en eilanden, platen en geulen en de slikken en kwelders. Het natuurlijke proces van landwaartse verplaatsing van het waddensysteem is vervolgens tot stilstand gekomen door tal van inpolderingen en bedijkingen, waardoor zelfs vaak een tegengestelde, zeewaartse trend in gang werd gezet.

Inmiddels is het onderwerp klimaatverandering niet meer weg te denken uit ons leven en wordt onze maatschappij bijna dagelijks geconfronteerd met de gevolgen. Klimaatverandering in het waddengebied impliceert allereerst veranderingen in lokale windcondities, lucht- en watertemperatuur en neerslag en verdamping. Bovenal is klimaatverandering, in combinatie met bodemdaling, verantwoordelijk voor zeespiegelstijging en het mogelijk op termijn ‘verdrinken’ van de Waddenzee. Daarmee raakt klimaatverandering aan tal van functies en beleidsterreinen in het waddengebied, zoals ecologie, natuur en visserij, kustveiligheid, zoetwatervoorziening in relatie tot landbouw en recreatie, toerisme en gezondheid.

Klimaatverandering in het waddengebied was dan ook het onderwerp van één van de eerste

position papers van de Waddenacademie in 2009, kort na haar oprichting in 2008. Inmiddels is er ruim tien jaar verstreken en is er behoefte aan een actualisering van de bestaande kennis en inzichten. Ditmaal is bewust gekozen voor een andere opzet van het rapport, een vorm die meer aansluit bij de snelheid waarmee bepaalde ontwikkelingen zich thans voltrekken. Het is een vorm die ook rekening houdt met de veelheid aan rapporten die in recente jaren reeds zijn gepubliceerd en ook in het komende jaar nog zullen verschijnen.

In 2017 zijn door het *Common Wadden Sea Secretariat* (CWSS) twee rapporten gepubliceerd over de invloed van klimaatverandering op de Waddenzee. Het betreft *Quality Status Reports over Climate ecosystems* (Philippart et al., 2017) en *Geomorphology* (Oost et al., 2017). Daarnaast is in 2019 het *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (SROCC) verschenen, een rapport dat vooral belangrijk is voor de Waddenzee in verband met een mogelijke versnelling van de zeespiegelstijging. Dit rapport vormde mede de basis voor een position paper voor de Waddenacademie en het Programma naar een Rijke Waddenzee over huidige en toekomstige zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust (Van den Hurk en Geertsema, 2020).

In 2021 wordt het *Sixth Assessment Report* (AR6) verwacht van het IPCC, met zowel de nieuwe resultaten van *Working Group 1 (The Physical Science Basis)* als *Working Group 2 (Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability)*. Deze rapporten zullen ongetwijfeld weer worden gebruikt voor het maken van meer regionale voorspellingen van de ontwikkelingen in het klimaat, zoals dat bijvoorbeeld door het KNMI wordt gedaan.

# LEESWIJZER

Dit rapport start met een kort actueel overzicht van de belangrijkste veranderingen in het mondiale klimaat, zoals in 2020 gerapporteerd door de VN in samenwerking met een aantal van haar zusterorganisaties zoals UNEP en WMO. Het schetst het bredere verhaal waarbinnen de veranderingen in het waddengebied moeten worden gezien. Het is daarbij vooral belangrijk om te constateren dat wereldwijde trends in het klimaat en regionale trends, bijvoorbeeld in het Waddengebied, lang niet altijd dezelfde richting op wijzen.

Het rapport vervolgt met een groot aantal korte interviews met gezaghebbende wetenschappers en kustbeheerders. In de vorm van korte verhandelingen geven zij elk vanuit hun eigen vakgebied een visie op de recente ontwikkelingen in het klimaat en de mogelijke effecten voor het waddengebied. Het eerste deel gaat vooral over de meest recente klimaatscenario's voor Nederland uit 2014 (de zogeheten KNMI'14 scenario's) en wat er inmiddels aan nieuwe of gewijzigde inzichten beschikbaar is. Volgende hoofdstukken beschrijven de invloed van wind, temperatuur en neerslag in het Waddengebied. Ook het onderwerp zeespiegelstijging komt aan de orde. De manier waarop de morfologie van de Waddenzee zal reageren op klimaatverandering en zeespiegelstijging is onderwerp van discussie in een drietal interviews over de transporten van zand en slib vanuit Noordzee naar de Waddenzee.

De invloed van klimaat op de ecologie komt tot uiting in een drietal beschouwingen, die achtereenvolgens ingaan op de invloed van temperatuurstijging op het bodemleven, de toekomst van slikken en kwelders en het vermogen van veerkrachtige natuur om al dan niet met klimaatverandering om te kunnen gaan. De rol van klimaatverandering in het kustbeheer wordt bekeken in verhouding tot de grote invloed van menselijke ingrepen in het waddensysteem. De laatste interviews vragen aandacht voor de relatie van het waddensysteem met het achterland.

Het laatste deel van het rapport geeft een korte reflectie vanuit de Waddenacademie op de gebundelde interviews. Grote gemene delers worden nader uitgediept of toegelicht en in een bredere context geplaatst. Dit onderdeel van het rapport wordt ook gebruikt om belangrijke kennisleemtes te identificeren. In aanvulling op en ter ondersteuning van de interviews biedt dit rapport ook relevante referenties per thema. Dit biedt de mogelijkheid voor de lezer om zich in bepaalde facetten nader te verdiepen.





## Klimaatverandering en recente mondiale trends

### Broeikasgassen en CO<sub>2</sub> emissies

- De concentraties van de belangrijkste broeikasgassen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O in de atmosfeer zijn in 2019 en 2020 verder toegenomen.
- De concrete reducties van emissies in 2020 zullen slechts leiden tot een beperkte reductie in de jaarlijkse toename van broeikasgassen met een lange verblijftijd in de atmosfeer.
- De wereldwijde emissie van fossiele CO<sub>2</sub> heeft in 2019 een nieuwe recordwaarde bereikt van 36,7 Gigaton. De uitstoot is daarmee 62 % hoger dan in 1990.

### Mondiaal klimaat in de periode 2016-2020

- De verwachting is dat (op basis van de beschikbare metingen) de periode van 2016-2020 de warmste periode zal zijn die ooit is gemeten. De mondiale gemiddelde oppervlaktetemperatuur bereikt daarbij een waarde die 1,1 °C boven die van de pre-industriële periode ligt (1850-1900). In vergelijking met het tijdvak 2011-2015 is de temperatuur met 0,24 °C (± 0,10 °C) gestegen.
- Extreme weerscondities en andere klimatologische gebeurtenissen hebben een belangrijke invloed gehad op het 'systeem Aarde'. In veel gevallen is een rol van de door de mens geïnduceerde klimaatverandering zichtbaar.

### Oceaan en de cryosfeer (ijsplaten en gletsjers)

- Het niveau van de mondiaal gemiddelde zeespiegel – op basis van satellietmetingen (1993-2020) – laat een versnellende stijging zien. Over de periode 1993-2020 bedraagt de stijging  $3,2 \pm 0,3$  mm per jaar; voor de perioden 2011-2015 en 2015-2020 is de

waarde toegenomen tot respectievelijk 4,1 en 4,8 mm per jaar.

- De versnelde stijging komt vooral door een groter verlies van ijs op land, naast de min of meer geleidelijke uitzetting van steeds warmer zeewater.
- IPCC (2019) meldt een gemiddelde stijging van 3 tot 4 mm per jaar voor het interval 2006-2015. Deze stijging is 2,5 keer zo sterk als de langjarige trend over de periode 1901-1990.
- De afname van het oppervlak zee-ijs rond de Noordpool zet zich onverminderd voort: per decennium is er sprake van een afname van 13 %.

### Water en de cryosfeer

- De verandering in het klimaat leidt tot een toename in water-gerelateerde natuurrampen, draagt bij aan een toename in waterstress voor gebieden die daar nu al gevoelig voor zijn en zal leiden tot toename van sterfgevallen door afnemende waterkwaliteit.
- Een tekort of een teveel aan water vormen een bedreiging voor een groot deel van de wereldbevolking. Maar liefst 90% van de natuurrampen worden veroorzaakt door overstromingen of periodes van droogte.
- Water is ook hét thema bij aanpassing aan het veranderende klimaat. De meest ingrijpende veranderingen gaan immers over regenval, verdamping, sneeuw en verandering van ijsmassa's.

| BRON: *United in Science (2020)*

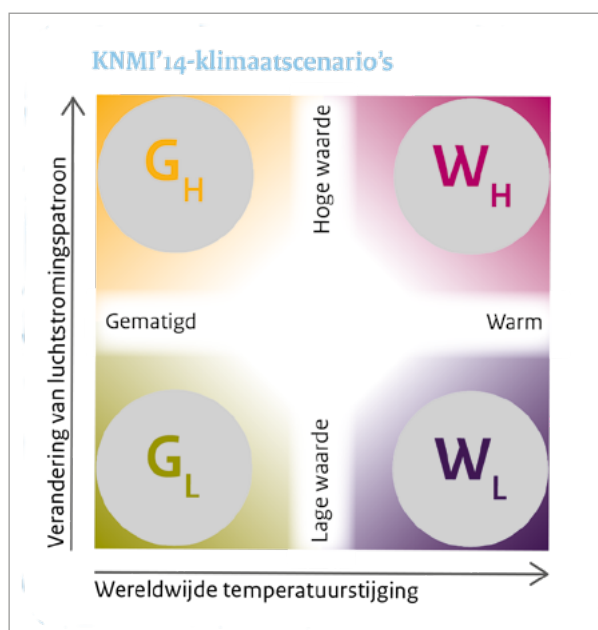
In de meest recente klimaatscenario's voorzien het Nederlandse KNMI en het VN-klimaatpanel (IPCC) een verdere stijging van temperatuur en zeespiegel. Wereldwijd is de versnelling van de zeespiegelstijging al duidelijk te zien. Voor de Nederlandse kust, en zeker ook in de Waddenzee, kan die versnelling nog niet worden vastgesteld vanwege de grote jaar-tot-jaar variaties. "Maar we moeten waken voor een te sterke fixatie op de gemeten getallen", waarschuwt professor Pavel Kabat van de Wereld Meteorologische Organisatie. "De wereldwijde trend is duidelijk."

## KLIMAATSCENARIO'S VOOR DE WADDENZEE




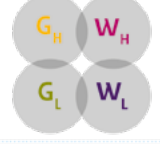






De meest recente klimaatscenario's voor Nederland zijn samengevat in de zogenoemde KNMI'14-scenario's, uit 2014. "Dé grote onzekerheid voor de lange termijn is de uitstoot van broeikasgassen", vertelt Rob van Dorland, senior klimaatonderzoeker bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) in De Bilt. "In onze scenario's houden we rekening met twee mogelijkheden. In het gematigde scenario G worden er wereldwijde maatregelen genomen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken en blijft de temperatuurstijging beperkt tot twee graden in 2100

ten opzichte van het eind van de twintigste eeuw. In het warme scenario W loopt de temperatuur vier graden op."

Een tweede onzekerheid in de klimaatscenario's is de overheersende windrichting. Van Dorland: "Ook daar zijn er grofweg twee opties: een hoge of een lage waarde, H of L voor de verandering in de patronen van luchtstroming. Combineren we die twee temperatuur- en luchtstromingsopties, dan hebben we feitelijk vier mogelijke scenario's: GH, GL, WH en WL." (zie figuur 1, KNMI 2014)



| Figuur 1, KNMI 2014

Algemene veranderingen		Scenario verschillen en natuurlijke variaties
<ul style="list-style-type: none"> <li>de temperatuur blijft stijgen</li> <li>zachte winters en hete zomers komen vaker voor</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>temperatuurveranderingen zijn verschillend voor de vier scenario's</li> <li>veranderingen in 2050 en 2085 zijn groter dan de natuurlijke variaties op de 30-jaar tijdschaal</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>de neerslag en extreme neerslag in de winter nemen toe</li> <li>de intensiteit van extreme regenbuien in de zomer neemt toe</li> <li>hagel en onweer worden heviger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>meer droge zomers in twee (<math>G_H</math> en <math>W_H</math>) van de vier scenario's</li> <li>natuurlijke variaties in neerslag zijn relatief groot, zodat de scenario's minder van elkaar verschillen</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>de zeespiegel blijft stijgen</li> <li>het tempo van de zeespiegelstijging neemt toe</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>het tempo van de zeespiegelstijging hangt sterk af van de wereldwijde temperatuurstijging</li> <li>geen verschil tussen scenario's met verschillend luchtstromingspatroon</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>de veranderingen in windsnelheid zijn klein</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>'s winters vaker westenwind in twee (<math>G_H</math> en <math>W_H</math>) van de vier scenario's</li> <li>het wind- en stormklimaat vertoont grote natuurlijke variaties</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>het aantal dagen met mist neemt af en het zicht verbetert verder</li> <li>de hoeveelheid zonnestraling nabij het aardoppervlak neemt licht toe</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>natuurlijke variaties zijn verschillend voor de verschillende klimaatvariabelen</li> </ul> 

Figuur 2: In bovenstaande tabel zijn de belangrijkste veranderingen voor de vier verschillende scenario's samengevat (KNMI, 2014).

### Minder zoetwater in een warmere Waddenzee

Volgens Van Dorland zijn er verschillende onderdelen uit de scenario's die consequenties zullen hebben voor de Waddenzee. "Allereerst zal ons land vaker met hittegolven te maken krijgen. In de kuststreek zijn dat er door het koelend effect van de Noordzee wat minder dan in het binnenland, maar ook de Wadden zullen zeker vaker met extreme hitte te maken krijgen. Tegelijk zullen er steeds minder strenge winters optreden."

"Daarnaast lijkt de kans op droogte in de zomer met name in het binnenland toe te nemen. Ook wordt naar verwachting de aanvoer van water in de grote rivieren gemiddeld minder door neerslagtekorten in de stroomgebieden, terwijl er in de winter juist méér water naar beneden stroomt. De afvoer van zoetwater op de zoute Waddenzee zal in de zomer dus afnemen en in de winter toenemen. Dat effect kan nog eens worden versterkt als in de zomer meer

water in het IJsselmeer wordt vastgehouden door de waterbeheerders, voor tijden van schaarste van zoet water", aldus Van Dorland.

### Meer zon en misschien meer oostenwind

De Wadden zullen 's zomers waarschijnlijk meer zonneschijn krijgen de komende decennia, verwachten de modellen van het KNMI. Van Dorland: "Er bestaat wel grote onzekerheid over de mate van verandering in stormbanen en depressies boven Europa in het winterseizoen. De jaar-tot-jaar variaties zijn veel groter dan de veranderingen in de klimaatmodellen." Ook over de windrichting houdt Van Dorland een duidelijke slag om de arm. "Er is een voorzichtige trend zichtbaar naar meer oostenwind in de zomer, wat weer consequenties zou hebben voor het zeeniveau in de Waddenzee, maar ook daar zijn de modellen nog niet eenduidig."

Net als over de richting, is over de kracht van de wind nog veel onzekerheid. Van Dorland: “Sinds de jaren zestig van de vorige eeuw neemt het aantal periodes met sterke wind – vanaf windkracht 6 Beaufort in het binnenland en vanaf windkracht 7 aan de kust – in Nederland af. Aan het einde van de twintigste eeuw was er sprake van een tijdelijke opleving van stormen. We hanteren hier als criterium windkracht 7, aangezien gebeurtenissen met windkracht 8 en hoger te zeldzaam zijn om statistisch significante uitspraken te doen. Wind blijft al met al een lastig verhaal.”

### **De Waddenzeespiegel stijgt minder hard**

De mondiale zeespiegelstijging bedraagt op dit moment ongeveer 4 mm per jaar. Die stijging is goed te verklaren uit de bijdragen van smeltende ijskappen, gletsjers en door het uitzetten van oceaanwater vanwege de temperatuurstijging. Van Dorland: “De zeespiegelstijging vertoont echter regionale verschillen door trage veranderingen in zeestromen, via veranderingen in het zoutgehalte en verschillen in warmteopname. Ook zijn er zwaartekrachtseffecten van smeltende ijsmassa’s op Groenland of Antarctica, waardoor de zeespiegel in de buurt van die ijsmassa’s zelfs kan dalen na smelt, terwijl hij elders dan dus juist harder stijgt. Voor onze kust meten we een stijging van de zeespiegel die nog beperkt blijft tot 2 mm per jaar. Voor de Noordzee is ook nog geen duidelijke versnelling zichtbaar in het tempo van stijging die uitstijgt boven de natuurlijke variaties. Op termijn zal dit wel degelijk zichtbaar worden”, verwacht Van Dorland.

Wat Van Dorland en collega’s níet kunnen verklaren is de stijging van de Waddenzeespiegel. “Die is nog geringer dan de veranderingen voor de Noordzeekust. Mogelijk heeft dit te maken met veranderingen in de getijwerking en windrichting, waardoor er meer water de Waddenzee uit wordt geblazen, maar helemaal begrijpen doen we het niet.”

“De zeespiegel stijgt in de praktijk overigens minder hard dan voorzien in de jongste KNMI’14-scenario’s”, zegt Bart van den Hurk, klimaatonderzoeker bij Deltares en bijzonder hoogleraar Klimaat-Maatschappij-interactie aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. “Met de enorme variatie in de gemeten zeespiegel is het vrijwel onmogelijk om heel nauwkeurige scenario’s voor de korte termijn te maken. Maar ook op de langere termijn is het lastig. Vanwege de zwaartekrachtseffecten zullen we op het noordelijk halfrond met name kijken naar de smelt op Antarctica. Verdwijnt er ijs van Antarctica, dan stijgt de mondiale zeespiegel uiteraard, maar rond Antarctica zelf zal de zeespiegel juist dalen. Op het noordelijk halfrond zal er daarom extra zeespiegelstijging te zien zijn.”

Van den Hurk verwacht dat er in komende KNMI-klimaatscenario’s enige aanpassing zal komen. “Met name de bovengrens zal iets worden opgerekt, als gevolg van de versnelling die te zien is in de mondiale zeespiegelmetingen.” Dat de metingen nu achterblijven bij de scenario’s is volgens Van den Hurk op geen enkele manier een reden om achterover te leunen. “Natuurlijk, er is ook geen reden voor paniek, maar onze overheid houdt in het beleid wel degelijk rekening met ook deze beperkte zeespiegelstijging. De zeespiegel is uiteindelijk een resultante van de hoogte van het water en de daling van het land, en die laatste is op sommige plaatsen sterker dan de stijging van het water.”

Op de wadden is de effectieve zeespiegelstijging een resultante van het waterniveau en de aanvoer van zand en slib. “Op dit moment kunnen de zandplaten de beperkte stijging van het water nog goed bijbenen” stelt Van den Hurk, “ook al zie je daar verschillen tussen verschillende delen van de Waddenzee.”

Klimaathydroloog professor Pavel Kabat, lid van de Wereld Meteorologische Organisatie WMO en medeoprichter van de Waddenacademie, waarschuwt net als Van Dorland en Van den

Hurk, dat we bij alle onzekerheden en natuurlijke variatie niet te veel moeten focussen op de absolute getallen. “Op zichzelf is het natuurlijk goed nieuws dat de zeespiegel in de Waddenzee minder hard stijgt en het scenario van verdrongen wadplaten voorlopig niet aan de orde lijkt. Tegelijk moeten we ons wel degelijk voorbereiden op die stijgende Waddenzeespiegel, want de internationale trend is overduidelijk.”

“De uitdaging”, stelt Kabat, “is om binnen de driehoek klimaat-natuur-cultuur gebruik te maken van de flexibiliteit van de Wadden. Met de Oosterscheldekering en de andere Deltawerken, hebben we na 1953 gekozen voor een harde, gefixeerde oplossing. Het dynamische systeem van de Waddenzee vraagt om een flexibele aanpak, om de veranderingen van het klimaat, maar ook de veranderende vragen vanuit de gebruikers te beantwoorden, terwijl we de natuur de nodige bescherming blijven geven. Natuur kan kusten beschermen en ook gebruik ondersteunen, bijvoorbeeld via toerisme. In die flexibele zin kunnen onze wadden een voorbeeld zijn voor de aanpak van klimaatproblemen in intergetijdegebieden in de rest van de wereld”, aldus Kabat.

Op dit moment werkt het KNMI aan nieuwe klimaatscenario's voor Nederland die in 2023 gepubliceerd zullen worden.

**Met het stijgen van de zeespiegel neemt de kans toe dat zandplaten op termijn ‘verdrinken’. Toch is daar nu nog nergens sprake van, benadrukt marien geoloog dr. Ad van der Spek van Deltares. “Op dit moment groeien veel platen zelfs nog.”**

## OOSTELIJK WAD KAN HAAR ZANDHONGER NOG STILLEN

Rekening houdend met de twee extremen in het KNMI’14-scenario – het gematigde scenario met slechts twee graden temperatuurstijging in 2100 en het warme scenario met vier graden stijging – zijn er ook twee extremen denkbaar voor de zandplaten in de Waddenzee, vertelt marien geoloog Ad van der Spek van Deltares. “In het eerste geval zal rond de komende eeuwwisseling slechts 1 of 2% van de wadplaten verdwijnen, in het andere geval 40%.”

Ondanks de uiterst bescheiden zeespiegelstijging in de Waddenzee op dit moment, gróeien de wadplaten in het oostelijk deel van de Waddenzee nog steeds. “Eén van de opmerkelijke plekken waar we dat zien gebeuren is rond Ameland.”, zegt Van der Spek. “Door de gaswinning zie je dat daar op het eiland een soort kom is ontstaan, die op het diepste punt zo’n dertig centimeter diep is. Maar op de wadplaten, aan de randen van die kom, zie je van die daling niets meer terug. Sterker nog, daar wordt nog zó veel zand aangevoerd uit de kustzone van de Noordzee, dat er helemaal geen sprake is van daling, maar zelfs van een lichte groei.”

Van der Spek en collega’s kunnen die groei van de wadplaten in het oostelijk deel tot op heden niet goed verklaren. “Sinds de Zuiderzee en de Lauwerszee zijn afgesloten, is de stroming door de zegaten tussen de eilanden veranderd. Dat heeft ook consequenties gehad voor de aan- en afvoer van zand. In de praktijk zijn de buitendelta’s, dus de gebieden aan de zeezijde van de gaten tussen de eilanden, minder actief geworden als leveranciers van zand. Toch wordt er nog meer zand aangevoerd dan we kunnen verklaren.”

“In het westelijk deel van het wad is het beeld radicaal anders”, aldus Van der Spek: “Daar zien we juist mínder aanvoer dan we op grond van onze

modellen zouden verwachten. In de diepere delen van de Waddenzee is meer dan genoeg ruimte voor groei, maar toch wordt daar nauwelijks extra zand afgezet, zo blijkt uit de continue monitoring.”

### Duurzaam suppleren

Van der Spek durft geen absoluut getal op een ‘kritische zeespiegelstijging’ te zetten. “We kunnen als waterbouwers heel veel opvangen met zandsuppleties. Dat houdt niet ineens op bij, zeg, 10 mm stijging van de waterspiegel per jaar. Het is een continue afweging van belangen. Meer suppleties kosten ook meer energie en tasten ook het bodemleven steeds vaker aan. Tot wanneer is het nog duurzaam om dat op te vangen? En dan heb ik het nog niet eens over de kwaliteit van de kust, die door steeds extremere zandsuppleties zou veranderen in een permanente bouwput.”

Ook al lijkt Van der Spek vooral enig optimisme uit te willen stralen ten aanzien van de zandhonger van de Waddenzee, toch wil hij zijn ogen niet sluiten voor de meer extreme scenario’s van een toekomstige stijging van de zeespiegel. “Twee jaar geleden hebben we bij Deltares zo’n extreem scenario doorgerekend. Daarbij komt er een moment dat de waterhuishouding en zeker ook de waterveiligheid veel budget gaan vragen. Veel problemen vallen dan samen. Ineens moet je de verdeling van zoetwater anders gaan organiseren. Je moet de effecten van zeespiegelstijging op de afvoer van rivierwater gaan opvangen. De verzilting van polders en kustgebieden wordt een probleem en ga zo maar door. De problemen van de Waddenzee zijn daarbij misschien nog geen primair veiligheidsprobleem. Sterker nog: door de aanwezigheid van zandplaten beschermt de

Waddenzee de kusten van Friesland en Groningen tegen al te hoge golven. Maar het potentiële verlies aan natuurwaarden door het verdwijnen van 40% of meer van de wadplaten is natuurlijk wel degelijk een serieus ecologisch probleem, met verstrekkende gevolgen voor bijvoorbeeld trekvogels.”

### **Zand volgen**

De problemen in de Waddenzee zullen – naast de trekvogels – eerder de kleinkinderen of zelfs de achterkleinkinderen van Van der Spek raken. “Maar dat betekent wel dat wij nu iets moeten doen.” Zelf kan hij als onderzoeker niet heel veel meer doen dan blijven monitoren en proberen te begrijpen waarom de wadplaten zich gedragen zoals ze zich gedragen. “De komende jaren willen we daarbij een nieuw instrument inzetten. Samen met onderzoekers van Wageningen University & Research, willen we zand dat we voor de ingang van het zeegat tussen Terschelling en Ameland gaan leggen, gaan volgen. Door naar de natuurlijke radioactiviteit van zandkorrels te kijken, kunnen we tegenwoordig bijna letterlijk zien waar een individuele zandkorrel vandaan komt. Op die manier hopen we steeds beter te begrijpen wat de dynamiek is van het zand in de Noordzee en de Waddenzee. Zo worden ook onze modellen steeds beter en kunnen we betrouwbaarder scenario’s maken voor de toekomst van de wadplaten.”





## Zandreservoir in de buitendelta vangt nog veel op

Kustmorfoloog Edwin Elias onderzoekt namens Deltares de dynamiek van het zand in de zogeheten buitendelta's. "Zo'n buitendelta moet je zien als een soort wadplaten en geulen aan de Noordzeekant van de zeegaten tussen de Waddeneilanden. Alleen zijn ze net wat dieper dan in de Waddenzee zelf, waardoor ze vrijwel niet droogvallen. Ze bestaan ook vooral uit zand. Bijvoorbeeld in het zeegat van Ameland, ligt over een gebied van 15 bij 5 kilometer een onvoorstelbare hoeveelheid zand voor de deur."

"Dat zand in de buitendelta's is hét reservoir waar de wadplaten hun zandhonger uit stillen. Theoretisch is het denkbaar dat de zeespiegel op enig moment zo hoog wordt dat er geen zand meer van de buitendelta's naar de wadplaten gaat, maar dat is echt een extreem scenario. Als het evenwicht teveel zou verschuiven en het zandtransport naar de platen wordt minder, dan is er altijd nog de optie om de buitendelta's te voeden met zand. Nu wordt er vooral op de stranden gesuppleerd. Dat is relatief duur en geeft ook verstoring van de kustnatuur en het toerisme. Rijkswaterstaat heeft in 2018 een eerste experiment gedaan om niet het strand maar de buitendelta voor het zeegat van Ameland te voeden. Dat ging om 'slechts' 5 miljoen kuub zand. Inderdaad een enorme bult, maar nog steeds maar een klein beetje in het licht van de 35 miljoen kuub die daar jaarlijks door Moeder Natuur wordt verplaatst."

"In mijn onderzoek probeer ik te volgen waar al dat zand heengaat. Deels doen we dat met zogeheten tracers. Dat is letterlijk gekleurd zand dat we terug kunnen vinden nadat het zand langs natuurlijke weg is verspreid. Met deze tracers ontwikkelen en testen we computermodellen waarmee we de onderliggende morfologische processen steeds beter leren te begrijpen, zodat we op een betrouwbare manier ook toekomstige zandbewegingen kunnen

voorspellen. Zo ver is het nog niet. Maar één conclusie durf ik nu al wel te trekken: voorlopig maak ik mij geen zorgen over de capaciteit van de buitendelta's om de zandhonger van de Waddenzee te stillen."

**Hoe hoog staat het water? Hoe verspreidt het zoetwater zich door de Waddenzee? En hoeveel zand en slib wordt er aan- of afgevoerd met het getij? “Bij al die vragen speelt de wind een cruciale rol”, zegt fysisch oceanograaf Theo Gerkema van het NIOZ in Yerseke.**

## WIND MAAKT DYNAMIEK VAN DE WADDENZEE GRILLIG

Lange tijd heerste het beeld dat de dynamiek in de Waddenzee vooral wordt bepaald door het zich herhalende getij. Pas in het afgelopen decennium is duidelijk geworden dat de wind door zijn grote variabiliteit grilligheid geeft aan de dynamiek van het wad. “Neem het Marsdiep”, geeft Gerkema als voorbeeld. “Als de wind uit het zuidwesten komt, wordt daar maximaal water de westelijke Waddenzee ingeblazen. Zou er meer of minder zuidwestelijke wind komen in de toekomst, dan zou dat consequenties hebben, niet alleen voor de waterstand in de Waddenzee, ook voor afvoer van zoetwater dat via de spuisluizen bij de Afsluitdijk wordt geloosd. Ook het transport van slib zou veranderen wanneer de dominante windrichting in de toekomst verandert.”

Met hulp van Duitse collega's, heeft het team van Gerkema op het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee in Yerseke recent nieuwe data verzameld vanuit modelberekeningen aan de dynamiek van de Wadden. “Tot voor kort werkten we met modellen die maar drie jaar bestreken. Binnen zo'n kort tijdsbestek is de natuurlijke variatie zó groot, daar kunnen we nooit de lange termijneffecten van bijvoorbeeld de wind uit destilleren. Met de supercomputers van de Duitse collega's analyseren we nu datasets van 40 jaar. Daar zullen we de komende jaren wél meer specifieke informatie over de invloed van de wind uit kunnen halen en ook de gemiddelde toestand van de verschillende delen van de Waddenzee op een langere termijn kunnen bepalen.”

### Zout en slib

Eén van de aspecten waar Gerkema en zijn collega's naar kijken is het zoutgehalte van het

Waddenzeewater. “Vaak wordt gekeken naar de gemiddelde waarden op een bepaalde plek, maar de betekenis daarvan is maar betrekkelijk. De extremen zijn ook van belang voor de vraag of een organisme ergens kan leven. Wij willen dus onderzoeken wat windkracht en -richting doen met bijvoorbeeld de afvoer van zoetwater uit de spuisluizen en daarmee met het zoutgehalte op verschillende plekken in de Waddenzee.”

Een ander belangrijk punt voor het onderzoek van Gerkema is het transport van slib. “Slib wordt aangevoerd vanuit het reservoir dat voor de Noordzeekust in de waterkolom zweeft. Uit modelberekeningen is al gebleken dat de windrichting ook daar een grote invloed heeft. Meer of minder aanvoer van slib uit de kustzone, heeft consequenties voor het groeipotentieel van de droogvallende platen in een heel langzaam stijgende Waddenzee.”

### Bassins

Voor zijn onderzoek deelt Gerkema de Waddenzee op in verschillende zogeheten bassins of kombergingen: gebieden die worden gevoed door de zeegaten tussen de Waddeneilanden en die worden begrensd door de relatief ondiepe wantijen achter de eilanden. “Het Borndiep bijvoorbeeld, achter Ameland, ondervindt een heel andere invloed van de wind dan het Marsdiep. Om extra water achter Ameland te krijgen heb je wind nodig die pal uit het noorden komt en dat gebeurt in onze omgeving minder vaak dan de dominante zuidwestelijke richting die voor de aanvoer door het Marsdiep het meest gunstig is. Op die manier loopt de verversingstijd van het water in de verschillende bassins van de Waddenzee vermoedelijk sterk

uiteen. Waar een druppel Noordzeewater op de ene plek misschien binnen een paar dagen alweer de Waddenzee uit is gestroomd, kan dat op een andere plek wel tientallen dagen duren. Dat heeft ook consequenties voor de aanvoer van voedingsstoffen waar schelpdieren en andere organismen van moeten leven.”

### **Zeeniveau**

De invloed van wind op het jaarlijks gemiddelde zeeniveau langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee laat zich volgens Gerkema uitdrukken in ongeveer een decimeter meer of minder, afhankelijk van de overheersende windrichting. “Op de kortere termijn is die variatie ten gevolge van het variabele jaarlijkse windklimaat dus belangrijker dan de mondiale zeespiegelstijging. Daar hebben we het nu nog over millimeters per jaar. Op de langere termijn, zeg tegen het einde van deze eeuw, zal de mondiale zeespiegelstijging het effect van de wind op de Waddenzee waarschijnlijk wel overstijgen. Maar voor de kortere termijn is het van belang dat we de effecten van de wind goed leren begrijpen om te weten wat er op de Wadden kan gebeuren in een veranderend klimaat.”



## Hoger broeden door meer zomerstorm

Martijn van de Pol, ecooloog aan het Nederlands Instituut voor Ecologie, NIOO-KNAW, werkt aan een langlopend onderzoek naar scholeksters op Schiermonnikoog. “Dat onderzoek loopt al sinds 1983! Eén van de zaken waar wij naar kijken, is de invloed van extreem weer op het broedsucces van de vogels. Waar de klimaatscenario’s van het KNMI misschien nog geen significante toename van (zware) stormen door het jaar kunnen aantonen, zien wij al wél dat nesten van scholeksters steeds vaker van de kwelder worden gespoeld door springtij en harde westenwind in voorjaar en zomer. Kwam dat vroeger ongeveer eens in de tien jaar voor, nu is dat al ongeveer twee keer per zeven jaar. Wrang genoeg neemt de schade aan de populatie door stormen niet echt toe, maar dat komt vooral omdat andere problemen, zoals predatie en voedselgebrek nóg sterker zijn toegenomen.”

“De periode dat scholeksters de minste kans hebben om weg te spoelen is tussen eind april en begin augustus. Idealiter zouden ze de eerste helft van mei moeten beginnen met leggen. Toch zien we dat ze al die jaren pas in de tweede helft van mei beginnen. Ondanks de toegenomen kans op ‘waterschade’, zien we die eerste eileg niet echt vervroegen. We zien wel dat jonge dieren die zich voor het eerst vestigen, steeds vaker op iets hogere plekken gaan broeden. Jonge vogels lijken zich graag te vestigen op plekken waar ze in eerdere jaren de meeste alarmerende kuikens hebben gehoord of gezien. In die zin lijkt er dus toch een soort leereffect en passen de scholeksters zich enigszins aan de veranderende weersomstandigheden aan.”

Naast zand bestaan de droogvallende delen en de geulen van de Waddenzee ook uit fijner slib. Anders dan zand wordt dat slib bij eventuele tekorten niet actief gesuppleerd. “Om te weten of er genoeg slib is om aan de toekomstige natuurlijke vraag te voldoen, moeten we ook gaan kijken waar we de grenzen van de Waddenzee gaan trekken”, zegt Thijs van Kessel, senior onderzoeker bij Deltares.

## GENOEG SLIB VOOR GROTERE WADDENZEE?

Geen 62 micrometer, ook geen 64 micrometer, maar precies 63 micrometer! Dat is de harde grens die het verschil markeert tussen de grotere zandkorrels en de kleinere slibdeeltjes. “Ja, dat klinkt misschien wat absoluut”, erkent sedimentoloog Thijs van Kessel van Deltares. “Het is een wat pragmatisch gekozen grens. In het laboratorium heb je zeven met verschillende maasgroottes en ooit is afgesproken dat alles wat op de ‘63-mu-zeef’ blijft liggen zand wordt genoemd en alles dat er doorheen past heet dan slib. Behalve die deeltjesgrootte is een ander kenmerk van slib dat er, naast kleine silt- en kleideeltjes ook meer organische stof in zit; typisch tot een procent of tien. Die organische stof is weer essentieel voor het ecosysteem. Door vlokvorming kunnen deze deeltjes in de waterkolom overigens soms uitgroeien tot deeltjes die groter zijn dan 63 mu en dan alsnog op de zeef blijven liggen.”

In de dagelijkse praktijk van het wad blijken die verschillen tussen zand en slib, hoe arbitrair ook, wel degelijk relevant. Van Kessel: “Zanddeeltjes zakken sneller naar de bodem en slibdeeltjes blijven langer in de waterkolom zweven. Dat maakt voor de verdeling en het transport veel uit! Zandtransport wordt sterk bepaald door de lokale golf- en stromingscondities. Bij slibtransport is dit verband zwakker en spelen vooral ‘vraag en aanbod’ een grote rol. Als ergens een diepe kom ontstaat op het wad, dan kan die snel worden gevuld met slibdeeltjes. Dat kan makkelijk om een meter aanwas per jaar gaan, maar dan moeten die slibdeeltjes er wel zijn!”

Behalve van het aanbod, is het opslibben van geulen, kwelders en wadplaten ook afhankelijk

van de stroomsnelheid, benadrukt Van Kessel. “Slib wordt makkelijk aangevoerd, maar spoelt ook makkelijker weer weg. Vooral in stroomluwe gebieden, zoals bij kwelders en op het wantij achter de eilanden, maar ook in havenkommen, zie je veel slib neerslaan. Wanneer kwelders door een stijgende zeespiegel onder water komen te staan, of de luwte neemt anderszins af, dan ben je je slib ook zomaar weer kwijt.”

Waar de aanvoer van zand voor een deel afhankelijk is van menselijke activiteiten, zoals suppleties, kan slib de eventuele overblijvende gaten nu dus relatief makkelijk – bij voldoende aanbod en luwte – vullen. Maar Van Kessel waarschuwt dat dit systeem niet oneindig is. “Uit metingen blijkt dat er jaarlijks tien tot twintig miljoen ton slib voor onze kust langskomt. Dat is meer dan de helft van wat er via de Straat van Dover wordt aangevoerd. Op dit moment is de slibvraag van de Waddenzee een paar miljoen ton. Dat is dus geen probleem. Maar zou de slibvraag door bodemdaling of zeespiegelstijging ineens een factor tien groter worden, dan komt er wel degelijk een tekort aan slib op de wadplaten en de kwelders.”

### Vergroting van de Waddenzee

De vergroting van de vraag hoeft niet alleen door een stijging van de zeespiegel of een daling van de bodem te komen. “Er wordt steeds vaker gesproken over het inzetten van de natuur bij de bescherming van onze kusten. Aan het laten opslibben van nieuwe kwelders zitten wat dat betreft beperkingen, omdat we niet te veel ruimte van

de Waddenzee willen afsnoepen. Een alternatief zijn de zogeheten wisselpolders. Dat zijn gebieden tussen twee dijken waar we het getij weer toe zouden kunnen laten. Op die manier brengt de zee twee keer per dag slib aan in de wisselpolder en ontstaat er een groeiend gebied voor natuur, voor kustbescherming en misschien zelfs voor landbouw. Nu gebeurt dat alleen op heel kleine, experimentele schaal, maar wanneer we op een serieuze schaal dit soort wisselpolders zouden inzetten voor de kustbescherming, dan moeten we die toegenomen vraag naar slib wel in de kustboekhouding zetten”, zo waarschuwt Van Kessel. “Als we wisselpolders grootschalig gaan inrichten, rekken we feitelijk de grenzen van de Waddenzee op, met de slibvraag die daarbij hoort.”

### **Zoetwater trekt slib aan**

Ook veranderingen in de afvoer van zoetwater via de Waddenzee zullen hun weerslag hebben op de slibbalans, stelt Van Kessel. “In de waterbouw geldt de regel: ‘Zoetwater trekt slib aan’. Dat is te begrijpen als je bedenkt dat het relatief lichte zoetwater dat bijvoorbeeld uit de spuisluizen van de Afsluitdijk komt, vooral langs het wateroppervlak wegstroomt. Zoutwater met relatief meer slib komt dan via de bodem weer naar binnen, de Waddenzee in. Een verhoogde afvoer van zoet regenwater in de winter en een verlaagde afvoer in de zomer zal dus mogelijk een consequentie hebben voor het netto slibtransport: meer slib in de winter en minder slib in de zomer. Maar de dynamiek van wind en golven en biologische effecten op de valsnelheid en stabiliteit van slib spelen ook een rol. Het is lastig om alle stukjes van deze puzzel te combineren tot één passend geheel.”

Los van de slibbewegingen van Moeder Natuur, heeft de afvoer van zand en slib door de mens, bijvoorbeeld tijdens het uitbaggeren van vaargeulen of havens, een aanzienlijke invloed op de waterstanden. Van Kessel: “Verdieping van geulen vergemakkelijkt de getijdebewegingen.

In de estuaria van de Schelde en ook van de Eems, zie je dat het water in bovenstroomse gebieden aanmerkelijk hoger komt nadat wij mensen de vaargeul hebben verdiept. Dat effect is op dit moment nog groter dan de natuurlijke zeespiegelstijging.”

“Uiteindelijk”, stelt Van Kessel, “moeten we nog veel meer monitoren, onderzoek doen en modellen verfijnen om precies te begrijpen wat het veranderende klimaat met het slib in onze getijdegebieden doet. En dat begrip is op den duur onmisbaar. Net als in het geval van zand, praat je bij slib over het groeivermogen van de Waddenzee. Bovendien moeten we zand en slib ook in samenhang bekijken, omdat er bijna nergens gebieden zijn die voor 100% uit het een of het ander bestaan.”

**Met hogere temperaturen en per saldo ook meer neerslag, wordt het groeiseizoen van planten langer. “Wat het voor de eencellige algen op de wadplaten betekent is nog de vraag”, zegt geoloog Albert Oost van Deltares. “Maar dergelijke effecten zijn vooralsnog veel ingrijpender dan de nu nog langzame zeespiegelstijging in het Waddengebied.”**

## NEERSLAG EN TEMPERATUUR NU GROTERE ZORG DAN ZEENIVEAU

“Mag ik het gewoon eens heel boud uitdrukken?”, vraagt Albert Oost, sedimentair geoloog bij Deltares in Delft. “Zeespiegelstijging is zeker voor de Waddenzee op dit moment volgens mij een nogal overschat probleem. Van de wereldwijde zeespiegelstijging van nu 3,4 mm per jaar, zien we voor onze Noordzeekust nu 2 mm terug; in de Waddenzee zelfs nog iets minder: 1,3 tot 1,75 mm. Waar dat verschil vandaan komt, is niet helemaal duidelijk. De stijging wordt bijvoorbeeld beïnvloed door de bewegelijke aardkorst. Enkele jaren geleden heeft internationaal onderzoeksteam, onder andere van de Technische Universiteit Delft, laten zien dat die aardkorst enigszins flexibel is. Door de veranderende druk ten gevolge van het afsmelten van de ijsmassa’s van Groenland en het Arctisch gebied, stijgt in sommige gebieden de bodem meerdere millimeters per jaar. Ons land zit net op een grensgebied, dat juist weer wat extra daalt. Maar door dergelijke bewegingen van de aardkorst stijgt de zeespiegel wereldwijd ongeveer 10% minder dan je op basis van de hoeveelheid water zou verwachten. En daar doorheen spelen dan nog de zwaartekrachteffecten. Als het ijs op Groenland zou smelten, vermindert daar de zwaartekracht, waardoor ook bij ons de zeespiegel juist iets zou dalen. Smelt op Antarctica geeft bij ons juist weer extra stijging.”

Al met al wil ook Oost het probleem van de stijgende zeespiegel zeker niet bagatelliseren. “De grote onzekerheid zit in Antarctica. Wanneer daar grote massa’s landijs smelten zal dat wel degelijk ook bij ons grote effecten hebben. Ik denk alleen dat er hier en nu al andere klimaateffecten zijn waar we in het Waddengebied meer aandacht aan moeten schenken.”

Volgens Oost hebben extra neerslag en stijgende temperaturen nu al een significante invloed op het leven in en rond de Waddenzee. “We zien langere perioden van extreme droogte waardoor planten afsterven en kale plekken ontstaan in de duinen. Zware neerslag met hoosbuien zorgen er vervolgens voor dat deze plekken uitspoelen. Dit maakt het gebied vatbaarder voor verstuiving. Is dat goed of is dat slecht? Daar is nog nauwelijks onderzoek naar gedaan.”

“In de Waddenzee komt minder zoetwater binnen tijdens droogteperioden, terwijl daarnaast grotere afvoerpieken optreden in de herfst en winter. Wat het effect van deze schommelingen is op de levende en niet-levende natuur is niet bekend. Ook is het groeiseizoen van planten meetbaar langer geworden. Dat is van groot belang op de eilanden waar het de plantengroei aanjaagt. Dit kan mogelijk verdere verruiging van de vegetatie in de hand werken. Ook de algen op de wadplaten worden beïnvloed door de stijgende temperaturen, al is nu nog niet duidelijk hoe precies. Algen helpen het sediment vast te leggen. Daarnaast zijn er algen die zweven in het water en zwevend sediment kunnen helpen met vlokvorming, waarmee het sneller neerslaat. Langs die weg heeft de stijgende temperatuur potentieel dus ook een effect op het vastleggen van slib”, aldus Oost.

### Kijken door matglas

Om de precieze effecten van de temperatuur op bijvoorbeeld het vastleggen van slib te kunnen meten, doet onder meer Rijkswaterstaat metingen in de verschillende kombergingen in de Waddenzee. “Maar die metingen zijn niet erg frequent, zodat we



niet goed kunnen zien hoe de processen lopen. We kijken tot nu toe als het ware door een matglaasje”, vindt Oost. “We zien de zaken echt niet scherp genoeg. Sinds kort is het mogelijk om ook via satellieten heel regelmatig naar de hoeveelheid algen en platen in verschillende delen van de Waddenzee te kijken. Rijkswaterstaat laat daar ook onderzoek naar doen. Daar zullen we veel meer gebruik van moeten maken. Alleen op die manier zullen we de film van de Wadden voldoende scherp in beeld krijgen. Dan kun je het systeem zien ‘ademen’, met zand en slib dat in de zomer wordt vastgelegd en sediment dat in de winter weer in suspensie komt.”

Eén van de specifieke zaken waar Oost graag meer gedetailleerde informatie over wil verzamelen is de hoeveelheid slib in het systeem. “Zand is voornamelijk niet echt een probleem. Dat kan worden aangevoerd via zandsuppleties. Maar hoeveel slib zit er in het systeem langs de Hollandse en de Britse kust? En hoeveel wordt daaraan onttrokken door natuurlijke aangroei, maar ook door baggerwerkzaamheden? Slib is in die zin een trilateraal probleem, dat we met alle Waddenlanden gezamenlijk zullen moeten bekijken.”

## **Weerbare Wadden**

Om toekomstige uitdagingen van de Wadden op te vangen, is het volgens Oost essentieel dat de natuur weerbaarder wordt gemaakt. “Op de eilanden is tekort aan zoetwater in de zomer nu al een majeure uitdaging. Door bijvoorbeeld sloten dicht te gooien en naaldbossen te vervangen door loofbos, met per saldo minder verdamping, kun je de buffercapaciteit vergroten.”

Een andere maatregel waar Oost aan denkt, zijn geleidelijke overgangen in de natuur tussen bijvoorbeeld zoet en zout, hoog en laag of nat en droog. “Als we verbindingen tussen de verschillende delen van het Waddensysteem herstellen, hebben planten en dieren meer mogelijkheden om langs die gradiënten te verplaatsen wanneer de klimaatverandering dat nodig maakt. Dan

moet je denken aan (zomer)polders die weer kwelders zouden kunnen worden. Op het Duitse Waddeneiland Langeoog zijn daar goede ervaringen mee opgedaan. Waar herstel van die zogeheten connectiviteit niet mogelijk is, kun je misschien andere alternatieven voor planten en dieren creëren. De keten van nieuwe binnendijkse natuurgebieden langs de waddendijk van Texel is een goed voorbeeld.”

## **Samenwerken**

Oost benadrukt dat er in trilateraal verband samengewerkt moet worden in het klimaatonderzoek rond de Waddenzee. “In Nederland hebben we een achttal zeegaten met achterliggende kombergingen. In het complete Waddensysteem liggen richting het oosten nog vierentwintig zeegaten. En wie weet wat daar in de verre toekomst nog allemaal gaat veranderen. Wanneer de zeespiegel volgens de verwachtingen stijgt, is het terecht dat we ons op de langere termijn zorgen maken over het verlies van droogvallende wadplaten en gebieden die nu nog boven gemiddeld hoogwater liggen. Maar het is ook duidelijk dat de zeespiegelstijging dan nog eeuwen zal doorgaan. Op die lange termijn zou het wel eens kunnen zijn dat er extra getijdesystemen bij gaan komen bij een stijgende zeespiegel. Als het niet rond de Waddenzee is, dan zeker wel elders.”



## Verschuift de timing van platvissen?

Al vijftig jaar telt Wageningen Marine Research in september de vissen in de Waddenzee en in de Noordzeekustzone. Onderzoeker Ingrid Tulp: “De metingen waren oorspronkelijk bedoeld om de aanwas van jonge platvis te bekijken. We zien al vrij lang een gestage achteruitgang van het aantal jonge vissen. Omdat we steeds op hetzelfde moment meten, is het natuurlijk mogelijk dat we door de opwarming van de Waddenzee tegenwoordig ‘te laat’ meten. Daarom hebben we onze gegevens vergeleken met de dagelijkse fuikmetingen van het NIOZ op de zuidpunt van Texel. Uit die vergelijking komt eerder een verlating van de aankomst in de Waddenzee, dan een vervroeging.”

“Een mogelijke verklaring voor de achteruitgang van het aantal jonge platvissen op de wadden is de opwarming. De stofwisseling van koudbloedige vissen wordt door hogere zeewatertemperaturen aangejaagd. Ze hebben daardoor meer eten nodig om te kunnen groeien, maar als dat er niet voldoende is, stagneert de groei. Dat zien we ook gebeuren in de loop van de zomer. Omdat ze niet meer goed kunnen groeien, vertrekt jonge schol tegenwoordig al veel eerder in hun leven naar de diepere, koelere Noordzee.”

“Ook het voedsel van platvis merkt de gevolgen van het veranderende klimaat. Zo laat ouder onderzoek van het NIOZ zien dat schelpdieren in warme jaren eerder paaien en de jonge larven zich ook vroeger vestigen op de platen. Maar in zulke jaren verschijnen ook de garnalen eerder op de wadplaten, waar ze massaal schelpdierlarven eten. In koude jaren komen de garnalen later en zijn de schelpdieren al te groot voor de garnalen. In warme jaren slaan garnalen dus een flinke bres in de hoeveelheid schelpdieren. Die jonge schelpdieren zijn ook weer voedsel voor jonge platvissen.”

“Het is interessant om te zien of en zo ja hoe verschuiving in timing van garnalen en andere

bodemdieren verband houdt met de ontwikkelingen in platvissen. Daarvoor moet er vaker gemeten worden dan een keer per jaar. Daarom zijn we vorig jaar ook begonnen met een bescheiden maandelijkse monitoring. Zo kunnen we de timing in relatie tot klimaatverandering hopelijk beter in beeld krijgen.”

**De veranderingen in temperatuur en neerslag hebben nu al hun weerslag op de algen en het andere bodemleven in de Waddenzee. “De Waddenzee zal verschuiven naar een ‘nieuw gewoon’, met de bijbehorende winnaars en verliezers”, ziet ecoloog Katja Philippart van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en de Universiteit Utrecht.**

## BODEMLEVEN KRIJGT HET WARM EN DROOG

De afgelopen zomers waren exemplarisch voor misschien wel het ‘nieuwe gewoon’ waar de Waddenzee mee te maken zal krijgen: warm en droog! ‘Hitte is de nieuwe kou’, schreef Katja Philippart dan ook boven haar inaugurele rede, waarmee zij in 2018 haar leerstoel Productiviteit van kustsystemen aanvaarde aan de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht. “Vroeger was een extreem koude winter een belangrijke sturende factor voor bijvoorbeeld de rijkdom van het bodemleven in de Waddenzee. De laatste jaren zien we steeds vaker dat warmte het probleem lijkt te worden”, aldus Philippart. “In de zomer van 2018 was de gemiddelde temperatuur vlak boven en net onder de wadbodem bijvoorbeeld vier graden hoger dan in 1974!”

Om de vraag wat die hogere temperatuur betekent voor de algen op de bodem en in de waterkolom moet Philippart een beetje grinniken. “Dat is net zoets als vragen wat de warmte op het land betekent voor ‘de’ vogels. Voor een lepelaar is dat een heel ander verhaal dan voor een huismus. Zo is het met de algen ook. Er is niet alleen een verschil tussen bodemalgen en algen in de waterkolom, er zijn ook nog eens heel veel verschillende soorten die allemaal op een eigen manier omgaan met warmte, droogte, voedingsstoffen en zoutgehalte.”

“Een aanpak zou zijn om een goede doorsnede te maken van die grote black box vol honderden soorten algen”, veronderstelt Philippart. “We hebben eerder geprobeerd om in de literatuur dergelijke gegevens te verzamelen van de twintig meest voorkomende soorten. Maar die gegevens waren er niet of nauwelijks en het bleek toen dus nog niet mogelijk om de veranderingen in de

aanwezige biomassa van algen sluitend te verklaren, laat staan om de effecten van klimaatverandering nu goed te voorspellen.”

### Zomerdip

Waar de warmte op het land voor een verlenging van het groeiseizoen voor planten lijkt te zorgen, is dat voor ‘de’ bodemalgen waarschijnlijk nog niet aan de orde, stelt Philippart. “Het groeiseizoen van algen wordt voor een belangrijk deel door de hoeveelheid licht bepaald en door de aanwezigheid van voedingsstoffen. De eerste voorzichtige waarnemingen suggereren geen verlenging van het groeiseizoen door de warmte, maar juist een extra groeidip in de zomer. Het zou zomaar kunnen dat die paar graden extra de temperatuur net boven het optimum hebben gebracht voor veel soorten bodemalgen. Omdat microscopisch kleine algen in de bodem en in het water letterlijk de basis zijn van de voedselketens op het wad, heeft dat potentieel vergaande consequenties.”

Eén van de diergroepen die veranderingen in het algenaanbod als eerste zullen voelen, zijn de schelpdieren. Philippart. “Van verschillende soorten schelpdieren, zoals kokkels, mossels, mesheften en strandgapers zien we nu al een dip in het aantal larven in de zomer. We zien ook al vaker massale sterfte van volwassen kokkels op de wadplaten. Het is verleidelijk om dat aan de warmte te wijten, maar de precieze oorzaak kennen we nog niet. De temperatuur ligt nog bepaald niet boven hun ‘dodelijke’ bovengrens. Mogelijk schuilde het probleem in het aanbod van hun voedsel, dus in algen. Warmte jaagt de stofwisseling van de

koudbloedige schelpdieren op. Daardoor hebben ze ook meer voedsel nodig. Was de hoeveelheid algen misschien beperkend door een combinatie van veel vraag en weinig aanbod?”

## **Droogte**

Een andere verklaring voor de veranderingen op de wadplaten schuilt misschien in de droogte. “Die moet je op twee manieren zien”, vertelt Philippart. “Een warme zomer met veel oostenwind, blaast water de Waddenzee uit. De platen vallen daardoor langer droog en warmen extra op onder de bakkende zon. Aan de andere kant heeft het leven in de Waddenzee ook te maken met de droogte in het binnenland. Doordat wij ’s zomers het schaarse zoetwater langer vasthouden in bijvoorbeeld het IJsselmeer, wordt er minder water gespuid op de Waddenzee. Hierdoor komen er in de zomer minder zoetwateralgen in de Waddenzee. Ook de natuurlijke zoutgradiënt, die door de aanleg van de Afsluitdijk sowieso al enorm is verstoord, komt daarmee nog verder onder druk te staan. Tijdens warme zomers is het zoutgehalte aan de Waddenzeekant van de Afsluitdijk soms zelfs al hoger dan in de Noordzee. Verschillende algen en ook schelpdieren zullen daar op een verschillende manier mee omgaan.”

“Uiteindelijk”, stelt Philippart, “zal het voedselweb van de Waddenzee winnaars en verliezers kennen door het veranderende klimaat. Het wad is per definitie dynamisch, dus we moeten in ieder geval niet doen alsof er een stabiele toestand was die door de veranderende omstandigheden aan het wankelen wordt gebracht. Misschien gaan we voor bepaalde schelpdieren wel naar een situatie zoals we die al veel langer kennen van de Engelse zuidkust. Daar zie je ieder jaar massale sterfte van oudere kokkels, waardoor er juist veel ruimte is voor eenjarige schelpdieren. Misschien worden dat wel de schelpjes met een betere vlees-schelpverhouding, waardoor ze aantrekkelijker worden als voedsel voor wadvogels? Of neemt de totale schelpdierproductie af? Wie zal het zeggen?”

Binnen die veranderende omstandigheden heeft de mens wel degelijk een grote invloed. “Door de warmte zullen zuidelijke soorten langzaam opschuiven naar het noorden. Maar als wij daar als mensen doorheen gaan fietsen, door bijvoorbeeld exotische schelpdieren te introduceren, met ballastwater of zelfs bewust, voor de kweek, kan dat wel vergaande consequenties hebben. Dat bewijst de geschiedenis van de Amerikaanse zwaardschede, die waarschijnlijk met ballastwater hier is gekomen en van de Japanse oester, die door kwekers is geïntroduceerd. De exotische zwaardschedes hebben zich, ‘eerste rang’, aan de randen van wadplaten gevestigd, waar ze vooraan zitten om algen uit het opkomende water te filteren. De grote en bijna niet te kraken Japanse oesters hebben een deel van de niche overgenomen van inheemse schelpdieren, waar vogels vervolgens nauwelijks meer van kunnen profiteren. Binnen de toch al veranderende interacties op het wad zouden wij onze invloed zoveel als mogelijk moeten beperken. Natuurlijke aanpassingen aan de nieuwe omstandigheden kunnen dan zonder al te veel haperingen verlopen. De Waddenzee kan dan haar belangrijke functies voor mens en natuur blijven vervullen.”



## Klimaat én visserij maken vis kleiner

De Amerikaanse biologisch oceanograaf Myron Peck geeft sinds kort leiding aan de afdeling Coastal Systems van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee. “Ik bestudeer de impact van het veranderende klimaat op het mariene leven, zoals op visbestanden. Er lijkt een duidelijke interactie te bestaan tussen die klimaateffecten en visserij: beide maken vissen gemiddeld kleiner. De visserij doordat zij de grootste individuen uit de populaties heeft gevestigd, het klimaat omdat grote vissen meer moeite hebben met stijgende temperaturen. Een grotere vis consumeert meer zuurstof, wat alleen maar lastiger wordt wanneer een hogere watertemperatuur de stofwisseling van de koudbloedige vissen opjaagt. Daardoor ontstaat er een ‘evolutionaire druk’ richting kleinere volwassen vissen.”

Voor vissoorten die in de Noordzee en de Waddenzee aan de zuidgrens van hun verspreidingsgebied zitten, zoals kabeljauw of haring, kan de klimaatverandering net een extra zetje de verkeerde kant op geven. Tegelijk betekent dit voor andere soorten misschien weer een kans. Ansjovis of zeebaars zitten hier aan de noordgrens van hun verspreidingsgebied. Misschien gaan die het wel beter doen. Maar waar klimaat de negatieve impact van de visserij versterkt, is het in ieder geval belangrijk om extra goed te letten op het beheer van de visbestanden.”

**Bij de huidige scenario's voor zeespiegelstijging, lijkt een groot deel van de wetlands onder druk te komen. Aardwetenschapper professor Stijn Temmerman van de Universiteit Antwerpen is iets minder pessimistisch. "Op basis van modellen schatten wij: 0 tot hooguit 30% van de wetlands langs de kusten. Maar dit is een wereldwijd gemiddelde. Voor de Waddenzee ben ik voorzichtig optimistisch."**

## LAAT DE NATUUR MEER ZELF OPKNAPPEN

Als aardwetenschapper met een speciale interesse voor kwelders, schorren en mangroves, onderzoekt Stijn Temmerman kustwetlands op verschillende plaatsen in de wereld. "Vergelijk ik de kustgebieden aan de oostkust van de Verenigde Staten en de kwelders in de Delta en de Waddenzee, dan komen wij er niet slecht vanaf", stelt hij. "Waar sommige kwelders in Noord-Amerika nu al aan het verdrinken zijn, groeien die bij ons nog op veel plaatsen."

"Eén van onze 'geluksfactoren' is het forse getij", denkt Temmerman. "Op de Wadden heb je een getijverschil tot wel drie meter. In de Schelde kan dat zelfs oplopen tot zes meter. Dat betekent dat er ieder tij potentieel ook een enorme hoop sediment kan worden aangevoerd. In de Delta hebben we bovendien veel aanvoer van sediment via de rivieren. Op de Wadden is dat minder, maar ook daar is nog steeds veel aanvoer van slib en zand via de Noordzee."

In een artikel in het wetenschappelijk tijdschrift *Nature* in 2018 schreven Temmerman en collega's bovendien dat het verlies van kustwetlands rond 2100 als gevolg van de stijgende zeespiegel een stuk beperkter zal blijven dan in de meer pessimistische scenario's die nu rondgaan. "Op basis van modellen denken wij dat 0 tot 30% van de wetlands langs de kusten wereldwijd in gevaar komt. Maar let wel: dat is dus op basis van modellen en die zijn zo goed als de informatie die we er nu instoppen."

Temmerman wil zichzelf dan ook zeker geen optimist noemen. "Dat het rond 2100 misschien zal meevallen, betekent niet dat de lange termijn er niet somber uitziet. En wat dat betreft is er voor de Waddenzee meer dan genoeg reden om

je extra zorgen te maken. Vergeleken met andere zogeheten 'barrière-kustsystemen', hebben de Wadden bijvoorbeeld relatief weinig kwelders achter de eilanden en voor het vasteland. De lagune van Venetië, om maar één gebied te noemen, heeft in verhouding een veel groter aandeel kwelders. Nog wel."

De relatief optimistische schattingen van Temmerman en collega's in *Nature* gingen bovendien uit van de mogelijkheid dat wetlands zich landinwaarts kunnen verplaatsen bij een stijgende zeespiegel. "Die mogelijkheid is rond de Wadden natuurlijk beperkt, door dijken en andere bebouwing. In die zin zijn de zogenoemde wisselpolders waar nu over wordt gesproken wel interessant. Door de buitenste dijk open te maken en het getij toe te laten tot het gebied tussen twee dijken, ontstaat er een gebied dat van nature met de zeespiegelstijging mee kan groeien. Op die manier laat je de natuur een deel van het werk doen."

Temmerman blijkt sowieso een groot fan van de oplossingen die de natuur zelf aandraagt. "Het gaat vaak mis op het moment dat je de natuurlijke krachten inperkt. In die lagune van Venetië bijvoorbeeld, zie je dat de zeegaten tussen de barrière-eilanden te veel zijn vastgelegd door harde structuren. Daardoor neemt het transport van sediment van zee naar de lagune af en wordt het totale systeem alleen maar zwakker."

"De weerbaarheid van de Waddenzee en andere kustecosystemen kan dan ook het best worden versterkt door de natuur meer haar gang te laten gaan", stelt Temmerman. "En wanneer er dan toch suppleties moeten worden uitgevoerd, dan is een concept als de zandmotor een goed, semi-natuurlijk



alternatief. Wind en stroming verdelen dan het zand op een min of meer natuurlijke manier, vanaf een plek die wij hebben gecreëerd.”

Een andere plek waar de natuur een klein handje geholpen kan worden is volgens Temmerman voor de Groningse en Friese Waddenkust. “Ik hoor dat collega’s huiverig zijn om ruimte van de droogvallende platen in de Waddenzee af te snoepen door kweldergroei te stimuleren. Ik deel die vrees niet. Zoals gezegd: de Waddenzee heeft internationaal gezien relatief weinig kwelders. Het zou dan ook geen kwaad kunnen om de oude kwelderwerken hier en daar weer in ere te herstellen. Met kwelders creëer je ook weer paaiplaatsen voor vissen en garnalen en hoogwatervluchtplaatsen voor trekvogels. En ze beschermen achterliggende dijken tegen de impact van golven tijdens stormen.”

Hoe en waar de kwelders het beste groeien, dat hoopt Temmerman de komende jaren te leren rond Ameland. “Samen met collega’s van de Wageningen Universiteit, die daar al lange tijd onderzoek doen, willen we de effecten van de gaswinning bestuderen. In feite is dat een onbedoeld experiment, waarbij de bodem daalt en de zeespiegel dus relatief sneller stijgt. Sommige delen van kwelders groeien wel snel met de relatieve zeespiegelstijging mee, andere niet. We moeten daarvan zien te leren wat de cruciale factoren zijn voor snelle of trage groei. Ook willen we leren hoeveel koolstof in kweldersystemen wordt vastgelegd. Op die manier kunnen kwelders niet alleen helpen bij het bestrijden van de gevolgen maar misschien ook een beetje van de oorzaken van de klimaatverandering.”

**Klimaatverandering in de Waddenzee is niet synoniem met dood en verdoemenis. Dat stelt ecooloog Peter Herman van Deltares. “Ook in warmere landen, zoals Portugal, heb je per slot van rekening productieve wadsystemen. Toch zullen we moeten waken over de essentiële ecologische functies van onze Waddenzee, zoals die voor trekvogels.”**

## NATUUR ÉN MENSEN ZIJN VEERKRACHTIG

Ecoloog Peter Herman is er de man niet naar om zich van de wijs te laten brengen door doemscenario's. Verdrinkende wadplaten? “Er zal nog heel lang een afnemende energiegradiënt blijven bestaan van de Noordzee naar de Waddenzee. Zolang we de Noordzeekust onderhouden met zandsuppleties zullen zand en slib wel blijven neerslaan in de Waddenzee. De wadplaten zullen dan ook wel mee blijven groeien, tenzij de zeespiegel echt heel veel sneller dan nu gaat stijgen.” Opwarmende zee en wadbodem? “Als er in Portugal ook productieve wadsystemen bestaan, dan zal er toch ook wel een toekomst zijn voor onze getijdegebieden?”

Herman wil maar zeggen: “Verandering is niet per se synoniem met problemen. De pool met soorten is groot, dus als bij wijze van spreken de schol wordt vervangen door de schar is dat niet noodzakelijk een probleem. Je zou zelfs kunnen zeggen dat invasies van exoten in die zin nuttig kunnen zijn.”

Toch maakt ook Herman zich wel degelijk enige zorgen over de klimaatverandering rond de Waddenzee. “Dé grote zorg is natuurlijk het verlies aan essentiële ecologische functies. De plaats van onze Waddenzee in het leven van veel trekvogels is zo'n essentiële functie. Maar vervolgens moeten we natuurlijk wel constateren dat ons handelingsperspectief beperkt is. Die trekvogels kunnen we zo goed en zo kwaad als dat gaat nog helpen, bijvoorbeeld door andere belastende activiteiten, zoals bodemberoerende visserij, uit het waddengebied te weren. In het licht van de klimaatverandering moeten we nuchtere keuzes maken in ons beleid. Wat zijn de consequenties van ons handelen en kunnen we zaken doen of laten in het licht van de veranderingen die op ons afkomen.”

“Tegelijk zien we nu ook al een enorme amplificatie van de stijgende temperatuur in het Arctisch gebied. Het is maar zeer de vraag wat we daar nu nog aan kunnen doen. Dat is niet alleen een probleem voor de daar broedende trekvogels. Misschien moeten we ons juist wel veel meer zorgen maken over de hoeveelheden methaan die uit de permafrost vrijkomen.”

Als ecooloog die met name de kustdynamiek onderzoekt, maakt Herman zich vooral zorgen over de samenhang tussen de landschappen aan beide zijden van de waddendijken. “Met de groeiende kwelders en wadplaten, komen de polders binnendijks relatief steeds lager te liggen. Ik denk dan ook dat we over brede, ‘zeewerende landschappen’ zullen moeten gaan nadenken. Nu zitten we met smalle dijken die feitelijk een vrij waardeloze cesuur in het landschap vormen. Wanneer we over wisselpolders gaan nadenken, die tussen een systeem met dubbele dijken met de zeespiegel meegroeien, creëren we een brede landschappelijke overgang, waar zowel de natuur als de economie wat aan kunnen hebben.”

Toch zijn dergelijke oplossingen niet van vandaag op morgen te realiseren, waarschuwt Herman. “Zo'n wisselpolder groeit met millimeters, hooguit centimeters per jaar. Dat is dus een oplossing voor de verdere toekomst, maar wel een waar we nu al over moeten nadenken of beslissingen over moeten nemen.”

Ook de vismigratierivier die de komende jaren in de vernieuwde Afsluitdijk zal worden gerealiseerd is zo'n ‘geleidelijke overgang’ die volgens Herman potentieel waardevol kan zijn. “Ik zal de ontwikkelingen van die vismigratierivier met veel belangstelling volgen, al vraag ik mij ook serieus af

hoe waardevol dit systeem kan zijn. Het zal sowieso niet het hele verhaal zijn. Want wat gebeurt er wanneer de vissen wel door de Afsluitdijk kunnen migreren, maar vervolgens hun neus stoten tegen de vele barrières die we in onze binnenlandse grote wateren hebben gemaakt?”

“Uiteindelijk”, stelt Herman, “is de huidige tijd toch meer interessant dan zorgelijk. We hebben het over veranderingen die aan het eind van deze eeuw echt nijpend zouden kunnen zijn. Begrijp me goed: dat is een tijdschaal die kort en indrukwekkend is in het licht van de veranderingen die op ons afkomen. Tegelijk betekent het dat er nog drie of vier generaties ingenieurs langs zullen komen die aan oplossingen kunnen werken. We zijn verplicht om die creativiteit aan te wenden. Maar dan moeten we nu wel in actie komen. Het gevoel van urgentie, of liever: het ontbrekende gevoel van urgentie, dat is iets wat mij wel degelijk schrik aanjaagt.”



## Wadden zijn schakel in internationale keten

Jan van Gils, onderzoeker aan het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en bijzonder hoogleraar bij de Rijksuniversiteit Groningen, bestudeert kanoeten; in hun overwinteringsgebied in Mauritanië, in hun broedgebied in Siberië en op de tussenstop in de Waddenzee. “We hebben ontdekt dat kanoeten tegenwoordig te laat aankomen in de broedgebieden om optimaal te profiteren van het aanbod van insecten voor de kuikens. Die insecten komen door het snel veranderende klimaat in het Arctisch gebied steeds vroeger uit de bodem. De jonge vogels krijgen daardoor niet genoeg tijd om op te groeien en vertrekken met ondergewicht naar het zuiden. Die te kleine jongen hebben vervolgens een meetbaar slechtere overleving in Afrika.”

“Tets vergelijkbaars zien collega’s bij de rosse grutto, die ook in Afrika overwintert en in Siberië broedt. Alleen daar zit de flessenhals bij de volwassen dieren. Die tanken in het vroege voorjaar nog snel bij in de Waddenzee en vertrekken dan met grote haast en te weinig vetreserves naar de broedgebieden. We zien dan ook dat de overleving van de volwassen rosse grutto’s de afgelopen jaren verslechtert.”

De grote gemene deler is de Waddenzee als tankstation, halverwege een lange trekweg tussen het Arctisch gebied en Afrika. Veranderingen op het wad die gevolgen hebben voor de schelpdieren, hebben ook hun weerslag op de kansen van kanoeten. En wanneer wij de bodem van het wad beroeren, wat de aanwezigheid van wormen beïnvloedt, heeft dat consequenties voor de rosse grutto’s die met een veranderend klimaat moeten dealen. Er zitten dus duidelijke internationale ecologische consequenties aan alles wat er op het wad gebeurt.”

**Met de huidige snelheid van stijgen, lijkt de zeespiegel in de Waddenzee niet de allereerste zorg van beheerder Rijkswaterstaat. De veranderende temperatuur en de afnemende afvoer van zoet water in de droge perioden roepen voor de kortere termijn wel concrete vragen op. “Bovendien moeten we nog steeds kijken naar de gevolgen van veranderingen uit het verleden, zoals de aanleg van de Afsluitdijk”, zeggen Ernst Lofvers en Robert Zijlstra van Rijkswaterstaat Noord-Nederland.**

## WIE NAAR KLIMAAT WIJST, WIJST MET DRIE VINGERS NAAR ZICHZELF

De zomer van 2020 heeft het nog maar eens duidelijk laten zien: wanneer er minder regen valt, moet zoveel mogelijk zoetwater worden vastgehouden om de drinkwatervoorziening en het verdrogende land te kunnen bedienen. In de recente, droge zomers werd dan ook minder water op de Waddenzee geloosd, bijvoorbeeld via de spuisluizen in de Afsluitdijk. Dit leidde al tot grote veranderingen in het zoutgehalte van de Waddenzee, waar na diverse grote waterbouwkundige werken geen sprake meer is van een geleidelijke gradiënt van zoet naar zout. “De veranderingen in de neerslag worden daarmee uitvergroot door onze eigen ingrepen in de waterhuishouding rond de Waddenzee.” Dat zegt Ernst Lofvers, als geomorfoloog werkzaam bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland. “We zijn geneigd vooral naar het klimaat te kijken als het gaat over de zoet-zoutgradiënt in de Waddenzee, maar de menselijke ingrepen in de waterhuishouding hebben een veel directer effect.”

De invloed van het wel of niet spuien van zoetwater mag dan voor velen relatief duidelijk zijn, voor veel andere menselijke ingrepen geldt dat niet, stelt Lofvers. “Dat de aanleg van de Afsluitdijk in 1932 bijna een eeuw later nog steeds een enorme impact heeft op de dynamiek van de Waddenzee is bij velen niet bekend. De geulen en wadplaten zijn zich nog steeds aan het herschikken! De Westelijke Waddenzee vult zich daarbij in flink tempo met zand en slib. De complete impact van die Afsluitdijk is nog steeds niet helemaal uitgewerkt.”

Iets vergelijkbaars geldt volgens Lofvers voor de aanleg van de Lauwersmeerdijk, zowel voor het wad

als voor het eiland Schiermonnikoog en zelfs voor de Noordzeekustzone. “Zelfs nóg oudere ingrepen als de kwelderwerken en bedijkingen langs de Groningse en Friese kust werken nog in bepaalde mate door. We zien op veel plekken trends van een ‘droger’ wordende Waddenzee, maar we begrijpen nog niet voor de volle honderd procent hoe die trends zich zullen voortzetten. Het wordt helemaal ingewikkeld als je daarbij de klimaateffecten als versnellende zeespiegelstijging bij op moet tellen. Die versnelling van de stijging is aannemelijk maar de omvang is nog erg onzeker, laat staan de effecten op de Waddenzee.”

Toch laat de Waddenzee volgens Lofvers zien dat het systeem de potentie heeft om zich steeds weer te herschikken na veranderingen van buitenaf. “We zien dat vooral de menselijke waterhuishoudkundige ingrepen langs de randen van het wad over afgelopen duizend jaar een dominante rol hebben gespeeld in de omvang en het uiterlijk van de Waddenzee. Deze impact is groter geweest dan van het veranderende klimaat. Het is dus van belang dat we naast de mogelijke gevolgen van klimaatverandering goed moeten blijven kijken naar ons eigen handelen in en rond het gebied.”

Die brede kijk wordt volmondig onderschreven door Robert Zijlstra, adviseur waterveiligheid en morfologie en net als Lofvers werkzaam bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland. “Gelet op alle grote ingrepen en de verwachte veranderingen in het klimaat, willen we de natuurlijke processen waar mogelijk meer ruimte geven. Op die manier zal de Waddenzee ook beter bestand zijn tegen

een veranderend klimaat. In de Programmatische Aanpak Grote Wateren bereiden we de maatregelen op dat gebied voor. Het gaat daarbij om vragen over de Wadden, maar via bijvoorbeeld het probleem van zoetwatertoevoer ook over het IJsselmeer, en daarmee ook over de grote rivieren.”

### **Aandacht voor het achterland**

Zijlstra en Lofvers stellen dan ook dat ook het achterland, inclusief de dijk die dat achterland beschermt, meer aandacht verdient bij vragen rond klimaatimpact op de Wadden. “In wezen zijn de dynamische wadden van zichzelf al heel weerbaar”, stelt Zijlstra. “Zeker in vergelijking met andere grote Nederlandse watersystemen is de Waddenzee nog in staat om relatief goed te reageren op klimaatveranderingen. Als je bedenkt wat de natuur zelf allemaal regelt in termen van zand- en slibtransport en het ‘zelfophogend vermogen’ van de bodem, dan zijn we op de wadden zeer goedkoop uit als je het vergelijkt met bijvoorbeeld de zandsuppleties van Rijkswaterstaat aan de Noordzeekant van de eilanden.”

De grootste uitdagingen voor de kortere termijn liggen op de wadden dan ook niet in een stijgende zeespiegel, laat staan in verdrinkende wadplaten. Sterker nog: de wadbodem komt nu gemiddeld sneller omhoog dan de snelheid van de zeespiegelstijging. Dit leidt niet alleen in gestaag uitbreiden van wadplaten maar ook in dichtslibbende vaargeulen. Lofvers: “Het is zeer aannemelijk dat we in de toekomst steeds meer moeten baggeren om de geulen op afgesproken diepte te houden. We zijn bijvoorbeeld nu al vele jaren bezig met continu baggeren van de vaargeul tussen Holwerd en Ameland. Dat kost niet alleen miljoenen per jaar, het leidt ook tot vertroebeling en andere negatieve ecologische effecten. Dergelijke ontwikkelingen zullen zich waarschijnlijk ook elders gaan voordoen. Je moet je dus afvragen of de huidige manier van handelen wel zo efficiënt en duurzaam is. Door de huidige ‘verondieping’ van de Waddenzee moeten we misschien gaan kijken naar het gebruik

van andere schepen, die minder diep steken, en kijken of we nóg beter de natuurlijke loop van geulen op het wad kunnen volgen, waardoor we minder zand en slib hoeven te verplaatsen.”

Ook die problemen van dichtslibbende vaargeulen hebben te maken met menselijke ingrepen, stelt Lofvers. “Door de veranderde dynamiek na de aanleg van de Afsluitdijk en de Lauwersmeerdijk, is een deel van de komberging achter de eilanden verkleind. Om het relatief snelle opvullen van de Waddenzee enigszins tegen te gaan, zouden we kunnen verkennen of we die kombergingen weer enigszins kunnen herstellen. Bijvoorbeeld door op gecontroleerde wijze het getij weer beperkt toe te laten in delen van Noord-Friesland en Noord-Groningen, via openingen in de zeedijken. Met de aanvoer van vers slib, creëer je binnendijks nieuw ophogend land. Dit land groeit dan gratis mee met de zeespiegelstijging en kan leiden tot waardevolle getijdenatuur, en later ook vruchtbare landbouwgrond. Het is allemaal nog erg speculatief, maar je zou daarmee dus een soort wisselcultuur krijgen, zogeheten wisselpolders.”

Zijlstra beaamt: “Om de effecten van het veranderende klimaat op te vangen, ligt onze opgave, en daarmee ons handelingsperspectief voor zowel waterveiligheid als ecologie, zowel voor als áchter de dijken. Om tot een meer klimaatbestendig watersysteem te komen moeten we zorgen dat we de hard begrensde gebieden tussen het vasteland en de Waddenzee verzachten. Dat zijn niet alleen opgaven voor de waterhuishouding, maar ook voor voldoende broedgelegenheid voor vogels en leefgebieden voor vissen met natuurlijke zoet-zoutovergangen. De zogeheten vismigratierivier in de Afsluitdijk is een goede aanzet om de zoet-zoutgradiënt weer een natuurlijker verloop te geven.”

Behalve de mogelijkheden om – met name in het achterland – de effecten van het veranderende klimaat op de kortere termijn op te vangen, nodigen de beide beheerders hun collega’s ook uit

om 'over hun graf heen te regeren'. "Op de lange termijn zal de stijgende zeespiegel natuurlijk wél een issue worden, vooral voor de veiligheid en de algehele waterhuishouding van het binnenland. De Waddenzee zal echt niet van vandaag op morgen verdrinken, maar om dat ook in de verdere toekomst te voorkomen, zullen we nu al goed naar de impact van ons eigen handelen moeten kijken."





# DISCUSSIE

## Klimaatverandering en klimaatscenario's voor de Wadden

In deze discussie over klimaatverandering gaan we uit van het Nederlandse Waddengebied als geheel en maken we geen onderscheid tussen Waddeneilanden, Waddenzee en het aangrenzend vasteland. Daar waar het verschil wel relevant is – bijvoorbeeld als het gaat over de watertemperatuur in de Waddenzee – wordt dit duidelijk vermeld.

De meest recente voorspellingen voor de ontwikkeling van het klimaat in Nederland zijn door het KNMI in 2014 samengevat in een viertal scenario's voor Nederland (KNMI'14). De temperatuurstijging bedraagt daarbij tussen de 2 en 4 graden in 2100 ten opzichte van het einde van de twintigste eeuw. Daarnaast bestaat er onzekerheid over de ontwikkeling van circulatiepatronen in de atmosfeer en daardoor de overheersende windrichting.

## Temperatuurontwikkeling

Het is duidelijk dat de jaargemiddelde temperatuur in Nederland in de laatste eeuw vrij consequent is gestegen (PBL, 2020). In 2019 was deze temperatuur  $2,1 \pm 0,6$  °C hoger dan ruim een eeuw geleden, in 1907. De afgelopen 25 jaar was sprake van een gestage stijging van  $0,04$  °C per jaar. Overigens is het proces van opwarming niet gelijk verdeeld over de verschillende seizoenen. Vooral de zomer is koploper met een temperatuurstijging van  $2,7$  °C over de periode 1907–2019. In de winter is de opwarming tot nog toe beperkt gebleven, zij het dat ook de variabiliteit in de winter groter is:  $1,8 \pm 1,3$  °C (PBL, 2012).

De stijging van de jaargemiddelde temperatuur in Nederland overtreft dan ook de mondiale trend in temperatuur. De literatuur noemt een aantal oorzaken die het verschil zouden kunnen verklaren (PBL, 2020):

- Een snellere opwarming in Nederland omdat landmassa's meer opwarmen dan de oceanen;

- Sinds 1950 wordt het windklimaat in Nederland gekenmerkt door meer (zuid) westenwind in de late winter en het vroege voorjaar en minder bewolking;
- Stijgende temperaturen van het Noordzeewater en een toename in de hoeveelheid zonnestraling door schonere lucht in voorjaar en zomer.

Het door Van Dorland (p. 11) geschetste beeld met een toename van hittegolven in de zomer en meer natte periodes in de winter komt overeen met de hierboven gesignaleerde trends. Minder zoetwatertoevoer naar de Waddenzee in de zomer en een juist meer in de winter is dan ook een logisch gevolg. Het optreden van hittegolven en periodes van extreme droogte (zoals in de afgelopen jaren) heeft ook invloed op de natuur. Oost (p. 24) stelt vast dat langere periodes met extreme droogte op de eilanden heeft geleid tot het afsterven van planten en het ontstaan van kale plekken in de duinen.

## Windklimaat

Het windklimaat speelt in het Waddengebied een belangrijke rol in relatie tot waterveiligheid, de dynamiek in de Waddenzee zelf en landschapsvormende processen op de eilanden. De veranderingen in het windklimaat lijken vooralsnog klein te zijn en sterk afhankelijk van de ontwikkeling van toekomstige circulatiepatronen in de atmosfeer. Windsnelheid en richting in combinatie met zeespiegelstijging zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn op stormvloeden in het waddengebied. Gerkema (p. 18) benadrukt dat daarnaast de wind een rol speelt in het golfklimaat en van grote invloed is op circulatiepatronen en transportprocessen in de Waddenzee. Zandtransport door wind, verstuiving en duinvorming zijn voorts van grote betekenis voor de eilanden. Een verandering in het windklimaat heeft dan ook gevolgen voor processen als duinvorming en uitstuiving van de zeereep.

## Zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust

Ook de veranderingen in de zeespiegel verschillen op mondiale schaal, via landelijke schaal tot regionale schaal (Van den Hurk & Geertsema, 2020). Gelet op de complexiteit van het proces van zeespiegelstijging is dat overigens niet verwonderlijk. Daar waar de mondiale trend in zeespiegelstijging 4 mm per jaar is, geldt voor de Nederlandse kust een stijging die aanzienlijk kleiner is: 2 mm per jaar. Vroeger of later zal het mondiale signaal zich echter ook moeten vertalen in een versnelde zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Het valt wel op dat de trend in de Waddenzee nog lager uitpakt dan langs de Noordzeekust: met waarden van 1,3 tot 1,7 mm per jaar blijft de stijging tot nog toe beperkt (Van den Hurk & Geertsema, 2020; Themanummer NJG 2018).

Tot op heden is niet duidelijk wat de reden is voor het verschil tussen Noordzeekust en Waddenzee. Wel is het een feit dat de Waddenzee op tal van plaatsen nog onder invloed staat van morfologische aanpassingen als gevolg van inpolderingen, bedijkingen en afsluitingen (Zuiderzee, Lauwerszee). Zo zijn in de oostelijke Waddenzee de depositiesnelheden groter dan de zeespiegelstijging waardoor sprake is van een algehele verondieping van de getijbekkens of kombergingsgebieden. In de westelijke Waddenzee is nog steeds sprake van een uitbreidend areaal van de wadplaten dat ten koste gaat van de geulen. Dit alles zou van invloed kunnen zijn op de fysische eigenschappen van het getij (amplitude, voortplantingssnelheid, karakter van de getijgolf – staand of lopend) en daarmee de dynamiek in waterstanden.

Ook de interactie met windeffecten is naar verwachting van grote betekenis. Gerkema & Duran-Matute (2017) stellen vast dat de jaarlijkse variatie in gemiddeld zeeniveau in de Waddenzee in sterke mate wordt verklaard door de west-oost component van de netto windenergievector. Op de korte termijn kan een jaarlijkse variatie in windcondities leiden tot 10 cm verhoging of

verlaging in het jaarlijks gemiddelde zeeniveau en is deze variatie dus aanmerkelijk groter dan de huidige trend in gemiddelde zeespiegelstijging (Gerkema & Duran-Matute, 2017). Bijzonder is ook hun conclusie dat in de laatste eeuw, voor alle bestudeerde stations, de stijging van het gemiddelde zeeniveau tijdens het winterhalfjaar sterker is dan in het zomerhalfjaar.

Het is in ieder geval een belangrijke kennisvraag die nog nader moet worden onderzocht:

- Welke processen en factoren zijn verantwoordelijk voor het verschil in zeespiegelstijging tussen Noordzeekust en Waddenzee?

Een andere kennisvraag met voorlopig een meer open einde is:

- Wanneer zal de mondiale trend van een versnelling in zeespiegelstijging zich ook langs de Nederlandse Noordzeekust en de Waddenzee manifesteren?

## Stroming en circulatiepatronen in de Waddenzee

Gerkema (p. 18) geeft aan dat het klassieke beeld van vollopen tijdens vloed en leeglopen tijdens eb van getijbekkens via de zeegaten en onder invloed van vooral het getij aan herziening toe is. De invloed van de wind op stromings- en circulatiepatronen in de Waddenzee kan groot zijn en wordt nog steeds sterk onderschat. Recente modelstudies voor de westelijke Waddenzee (Duran-Matute et al., 2016) tonen aan dat vooral de wind verantwoordelijk is voor het netto transport van water door de zeegaten. Zo geldt voor het zeegat Marsdiep dat er sprake is van een sterke netto import van water tijdens sterke westenwind. Netto uitstroming daarentegen is vooral een gevolg van harde noordenwind. Voor het Vlie, het zeegat tussen Vlieland en Terschelling, geldt het omgekeerde patroon, waarbij het netto zeewaartse transport

een maximum bereikt bij westenwind en de instroom een maximum bij noordenwind. Dit aspect heeft ook vooral te maken met de uitwisseling (connectiviteit) van de verschillende kombergingsgebieden.

Modelstudies laten ook zien dat in het geval van sterke westenwind de waterstand in de westelijke Waddenzee gemakkelijk met wel 1,3 m kan toenemen, waardoor het wantij onder Terschelling niet langer een obstakel vormt voor de stroming en er een groot netto transport kan plaatsvinden van de westelijke naar de oostelijke Waddenzee. Bij een sterke oostenwind wordt het omgekeerde effect bereikt: dan daalt de waterstand, vallen wadplaten langer droog en wordt het wantij juist weer een obstakel voor de uitwisseling tussen de kombergingen in het oosten en het westen.

De instroom van water van de Noordzee naar de Nederlandse Waddenzee vindt niet alleen via de zeegaten plaats, maar ook deels over ('overwash') en door het sediment ('inundatie') van de 'staarten' van met name de oostelijke Waddeneilanden (Engelstad et al., 2018). Bij afgaand tij zal vooral het zeegat weer als belangrijkste route voor de uitstroom fungeren waardoor het lijkt alsof er meer water uit dan in de Waddenzee stroomt.

Veranderingen in de wind-gedreven stromingen – al of niet in combinatie met golven – zullen naar verwachting ook van grote invloed zijn op de verspreiding en menging van zoet en zout water in de Waddenzee, de mate van verversing van het water in de getijbekkens en de transporten van zand en slib (e.g. Sassi et al., 2015; Schulz et al., 2020). Het effect van golven wordt niet expliciet genoemd maar het is bekend dat golfwerking sterk kan bijdragen aan de opwerveling en het transport van sediment in getijbekkens. Het is belangrijk om te signaleren dat hierbij deels sprake is van een samenloop van omstandigheden in het weer en de stromingen. In de westelijke Waddenzee, bijvoorbeeld, leidt een sterke westenwind niet alleen tot een verhoging in waterstanden en

noordoostwaartse netto stromingen, maar gaat dan ook gepaard met sterke golfwerking (Donker, 2014).

Veranderingen in windvelden zijn dus ook in sterke mate verantwoordelijk voor de variatie in dynamiek van het waddensysteem, zowel tussen de seizoenen als tussen jaren. De grote vraag die Gerkema (p. 19) terecht stelt is of het mogelijk is om over langere tijdschalen gezien (decaden) periodes te identificeren waarbinnen toch van een soort van gemiddelde toestand kan worden gesproken.

Belangrijke kennisvragen die hier naar voren komen zijn:

- Wat is de invloed van wind op de import, de doorvoer en export van water en sediment in de Waddenzee? Wat zijn de verschillen tussen de westelijke en de oostelijke Waddenzee in dit verband?
- Wat is de invloed van de wind op de verversingsgraad van het water (in % van het totale volume per getijperiode) in getijbekkens?
- Wat is de invloed van de wind op de verspreiding van zoet en zoutwater in de Waddenzee, ook voor wat betreft het optreden van extremen? Hoe worden deze extremen verder beïnvloed door een afname in zoetwater aanvoer in droge zomers en een toename in natte winters? En wat betekent dit voor organismen in de Waddenzee?
- Hoe belangrijk is de wind voor de connectiviteit van de bekkens in de westelijke en de oostelijke Waddenzee? M.a.w. hoe belangrijk zijn de transporten van water en sediment over de verschillende wantijen onder invloed van wind?
- Wat is de invloed van golfwerking op de genoemde processen?
- In welke mate en op welke wijze zal een verandering in windklimaat langs de Noordzeekust van de eilanden van invloed zijn op de bovengenoemde processen?

## Sedimenthuishouding van het Waddensysteem

De sedimenthuishouding van het waddengebied wordt gekenmerkt door een zeer dynamisch samenspel van tij, wind en menselijk handelen. Het gedrag van zand, slib en mengsels van beide onder invloed van deze processen, bepaalt letterlijk het uiterlijk van de Waddenzee. Daar waar zand vooral wordt aangevoerd vanuit de kustzone van de Noordzee, de buitendelta's en koppen van de eilanden, wordt de beschikbaarheid van slib vooral bepaald door aanvoer uit de Straat van Dover in het zuidelijke Noordzeebekken. Slib vervult een belangrijke rol in de Waddenzee. Het fungeert als bouwstof en substraat waarbij het deels verantwoordelijk is voor de opbouw van platen, slikken en kwelders. Slib heeft daarnaast invloed op het voedselweb in de vorm van de aanvoer van organisch materiaal en het bieden van een substraat voor bodembewonende microalgen. Maar hoge concentraties aan slib in de waterkolom bepalen daarentegen ook de troebelheid van de waterkolom en zijn daarmee van invloed op het doordringen van zonlicht en daarmee op de primaire productie.

Gerkema (p. 18) wijst erop dat de toevoer en sedimentatie van slib uit de Noordzee ook onder invloed staat van wind, wat zou betekenen dat veranderingen in overheersende windrichtingen leiden tot veranderingen in toevoer van sediment. Daarnaast wordt door Van Kessel (p. 22) de vraag gesteld of er in de toekomst wel voldoende slib beschikbaar zal zijn voor een goed functioneren van de Waddenzee. Recentelijk is door Deltares een studie gestart om dit voor het gehele Nederlandse, Duitse en Deense Waddensysteem in kaart te brengen in de vorm van een Trilaterale slibbalans (Waddenacademie met PRW position paper in voorbereiding). Deze studie is opgezet met het doel om na te gaan hoeveel slib in feite in het Waddensysteem wordt aangevoerd, hoeveel daarvan tot afzetting komt in de kombergingsgebieden en hoeveel door de mens aan het systeem wordt onttrokken (van Maren et al., 2016).

Inzicht in deze slibbalans is belangrijk met het oog op toenemende menselijke activiteiten in het gebied en de verwachting dat een toename van zeespiegelstijging ook gepaard zal gaan met een extra vraag naar slib. Oost, Temmerman, Herman, Lofvers en Zijlstra (p. 25, 32, 34 & 38) geven aan dat het vergroten van de Waddenzee d.m.v. het meer betrekken van het achterland (de zogenaamde wisselpolders of dubbele dijk aanpak) zou kunnen helpen om een deel van de effecten van zeespiegelstijging op te vangen. Zeewater dat over voormalige lagergelegen polders stroomt voert verslib aan, waardoor het binnendijkse land meegroeit met de zeespiegelstijging en ruimte biedt aan waardevolle getijdenatuur (met geleidelijke zoetzout overgangen) en vruchtbare landbouwgrond.

Belangrijke vragen die in dit kader zullen moeten worden beantwoord zijn:

- Is op basis van de huidige slibbalans de aanvoer van slib vanuit de zuidelijke Noordzee voldoende om de vraag naar slib in de Trilaterale Waddenzee op te kunnen vangen?
- Hoe zal deze slibbalans zich in de toekomst nader ontwikkelen en wat betekent dat voor de beschikbaarheid van slib voor menselijk gebruik en voor een toenemende vraag naar slib in het kader van zeespiegelstijging?
- Wat is het effect van een toekomstige landwaartse strategie, met bijvoorbeeld wisselpolders om de effecten van zeespiegelstijging op te kunnen vangen, op de vraag naar en de beschikbaarheid van slib?

Alhoewel slibimport belangrijk is voor het functioneren van de Waddenzee is de import van zand vele malen groter en bedraagt op dit moment naar schatting 4,5 miljoen m<sup>3</sup> zand per jaar (Elias, 2018). Deze zandimport vervult dan ook een belangrijke rol in het meegroeien van zandplaten en daarmee het compenseren van de zeespiegelstijging. Overigens zien we in dit verband een onverklaarbaar verschil tussen de ontwikkelingen in de oostelijke

en de westelijke Waddenzee, zoals gesignaleerd door Van der Spek (p. 14). In de oostelijke Waddenzee wordt meer sediment aangevoerd dan strikt nodig is om de zeespiegelstijging bij te houden waardoor op dit moment nog sprake is van verondieping van de getijbekkens. Die algehele verondieping is medeverantwoordelijk voor de vaargeulproblematiek van Ameland. Lofvers (p. 38) geeft aan dat in de westelijke Waddenzee de aanleg van de Afsluitdijk na bijna een eeuw nog steeds van invloed is op de dynamiek van geulen en wadplaten. Hier kan meer sediment worden afgezet dan op dit moment wordt aangevoerd. In beide situaties geldt dat het huidig morfologisch modelinstrumentarium onvoldoende in staat is om deze ontwikkelingen te kunnen voorspellen en verklaren. Daarbij moet een onderscheid worden gemaakt tussen, ten eerste: complexe fysische modellen voor de relatief korte termijn (getijcyclus tot enkele jaren) en ten tweede: de sterk vereenvoudigde en geschematiseerde morfologische modellen voor de lange termijn (decaden – eeuwen).

Voor de eerste categorie modellen geldt dat er twee belangrijke verbeteringen moeten worden doorgevoerd in de formulering van de biofysische processen in de modellen. Het betreft enerzijds de interactie van zand- en slibfracties in sedimenttransport processen en anderzijds de invloed van biota op de mobiliteit van sediment. Organismen hebben het vermogen om sediment juist vast te leggen, denk aan de rol van bodemalgen, zeegrassen en kwelderplanten, maar ook om door vergraving de mobiliteit juist weer te vergroten (Donker et al., 2015; Herman et al., 2018; de Vet et al., 2020b). Met een al dan niet klimaatgestuurde verandering in organismen kunnen dus ook veranderingen optreden in de mobiliteit van sediment en daarmee lokale erosie- en sedimentatiesnelheden en dus de sedimenthuishouding van de Waddenzee.

Als op langere termijn de zeespiegelstijging niet meer wordt bijgehouden door sedimentatie, zullen de wadplaten gaan verdrinken en zal het

droogvallend wad en de daarmee samenhangende natuurwaarden verloren gaan. Belangrijke vragen hierbij zijn: op welk moment de kritieke waarde van zeespiegelstijging voor ‘verdrinking’ van wadplaten zal worden bereikt, d.w.z. wanneer het maximaal geïmporteerde sedimentvolume de behoefte aan sediment in de Waddenzee niet langer kan compenseren, en: is het mogelijk om deze ontwikkeling af te remmen of te compenseren (Van der Spek 2018)? Om hier gefundeerde uitspraken over te kunnen doen wordt tot nog toe vooral een beroep gedaan op een sterk geschematiseerd morfologisch model, het zogenaamde ASMITA-model (Stive et al., 1998; Kragtwijk et al., 2004; zie ook Wang et al., 2018; Themnummer NJG 2018).

Dit model kent echter belangrijke beperkingen en maakt ook maar in geringe mate gebruik van de recent ontwikkelde proceskennis en morfologische ontwikkelingen in de Waddenzee. Zo is het model alleen gebaseerd op de werking van het getij (gemiddelde condities) en houdt het geen rekening met de effecten van wind en golven en daarmee ook de uitwisseling van water en sediment tussen getijbekkens. Het model is niet in staat om te werken met zand- en slibfracties en ook de ruimtelijke resolutie in het model laat te wensen over. Voldoende redenen om te streven naar de ontwikkeling van een nieuwe generatie morfologisch model voor de lange termijn om een beter inzicht te krijgen in de effecten van zeespiegelstijging en (grootschalige) menselijke ingrepen.

Volgens Van der Spek (p. 14) en Elias (p. 17) zouden zandsuppleties in de kustzones boven de Waddeneilanden en de buitendelta's in de zeegaten mogelijk nog enige tijd die zandhonger van de Waddenzee kunnen stillen, maar gezien de kosten en gevolgen voor natuurwaarden lijkt dit geen duurzame oplossing.

Omdat dergelijke handelingsperspectieven om langjarige en grootschalige investeringen (op basis van wetenschappelijke onderbouwing) vragen, is het

urgent om deze opties nu al mee te nemen in het beheer van het Waddengebied.

Kennisvragen zijn:

- Wat is de invloed van zeespiegelstijging en klimaatverandering op het Waddengebied in termen van (extreme) waterstanden, getijden golfwerking, de aanvoer en verdeling van zoet- en zoutwater, de verandering in water- en luchttemperatuur en de daarmee samenhangende transporten van zand en slib?
- Welke geomorfologische ontwikkelingen kunnen op basis hiervan worden verwacht en in hoeverre zijn deze weer van invloed op de waterbeweging via positieve dan wel negatieve terugkoppelingen in het Waddensysteem?
- Wat is de mogelijke (grootschalige) rol van planten en dieren op snelheden van erosie en sedimentatie in de Waddenzee?
- In hoeverre kunnen ingrepen zoals zandsuppleties, eco-engineering technieken met gebruik van organismen en het landwaarts verruimen van het Waddensysteem door bijvoorbeeld het openen van zeedijken de gevolgen van zeespiegelstijging afremmen of compenseren?

## **Veranderingen in de natuur van de Waddenzee**

Naast de gevolgen van zeespiegelstijging op langere termijn, ondervindt de Waddenzee nu al de gevolgen van het veranderende klimaat. Zo verandert de frequentie en de timing van weersextremen zoals ijswinters, hittegolven, stormvloed en zomerstormen en stortbuien. De waargenomen gevolgen van klimaatverandering voor natuurwaarden van de Waddenzee, zoals temperatuurstijging, zeespiegelstijging en veranderingen in neerslagpatronen, vallen in vier categorieën in te delen: GTST!

1. Veranderingen in de Geografische verspreiding, waarbij leefgebieden en

daarmee de bijbehorende soorten in het algemeen richting de polen schuiven, waardoor je op een locatie als de Waddenzee steeds meer soorten uit het zuiden ziet binnenkomen en andere soorten naar het noorden ziet wegtrekken (Herman & Philippart, p. 34 & 28);

2. Veranderingen in de Timing van jaarlijks terugkerende gebeurtenissen in het leven van planten en dieren (Chen et al., 2011), zoals het moment waarop de jonge platvissen weer terug naar de Noordzee zwemmen (Tulp, p. 27) en het tijdstip waarop trekvogels de Waddenzee bezoeken om op te vetten tijdens hun migratie (Van Gils, p. 37). Hierdoor kan een ont koppeling tussen schakels in het voedselweb ontstaan, zoals die tussen prooien en predators (Temmerman, p. 32);
3. Selectie tussen en binnen soorten, onder meer als gevolg van de verschuivingen in geografische verspreidingen maar ook als gevolg van het aanpassingsvermogen van soorten aan de nieuwe lokale omstandigheden (Lurgi et al., 2012; Cheung et al., 2013). Zo lijkt voor vissen de opwarming tot kleinere individuen te leiden (Peck, p. 31), en zoeken scholeksters het hogerop om minder kans te lopen op overspoeling van hun nesten tijdens een zomerstorm (Van de Pol, p. 21);
4. Teleconnectie waarbij lokale gevolgen van klimaatverandering op grote ruimtelijke schaal doorwerken. Zo is voor trekvogels waargenomen dat beperkte groei van kuikens als gevolg van voedselgebrek in het Arctisch gebied uiteindelijk gevolgd wordt door een hogere sterfte in hun tropisch overwinteringsgebied (Van Gils, p. 37; van Gils et al., 2016). Het valt zeker niet uit te sluiten dat dergelijke langeafstand effecten ook bestaan voor andere soorten die tijdens hun leven een groot verspreidingsgebied kennen, zoals paling.

Plant- en diersoorten en hun leefgebieden worden vaak door meerdere van de bovenstaande gevolgen tegelijkertijd beïnvloed. De effecten kunnen ook nog eens versterkt worden door andere gevolgen van menselijk handelen, de zogenaamde cumulatieve effecten, maar de kennis hierover is nog zeer beperkt.

De recente bevindingen over de invloed van sterke wind op de uitwisseling van water tussen de kombergingen (Gerkema, p. 18) zijn ook van belang voor de gelijktijdige uitwisseling van zoutwaterorganismen, zoals zwevende algen en schelpdierlarven (Folmer et al., 2014). Dit betekent bijvoorbeeld dat er voor lokale beschermingsmaatregelen (zoals garanderen van voldoende schelpdieren op wadplaten als voedsel voor trekvogels) niet alleen naar de lokale omstandigheden gekeken moet worden, maar ook naar het beheer in de nabijgelegen kombergingen. Ook beheermaatregelen in het achterland (zoals een spuiregim) en in de kustzone van de Noordzee (zoals zandsuppletie en het sluiten van gebieden voor visserij) zullen van invloed zijn op de natuurontwikkeling in de Waddenzee.

Belangrijke kennisvragen zijn hierbij:

- Welke verschuivingen in leefgebieden en soorten kunnen we als gevolg van klimaatverandering verwachten, en wat zijn daarvan de consequenties voor de ecologische functies van het Waddengebied?
- Wat zijn de ontwikkelingen buiten het Waddengebied (b.v. zoetwaterafvoer IJsselmeer, infrastructuur Noordzee, klimaatverandering in het hoge noorden en diepe zuiden) die mogelijk relevant zijn voor de leefgebieden, soorten en ecologische functies van het Waddengebied?
- Welke andere menselijke invloeden (zoals spuiregimes en bodemberoerende visserij) kunnen interfereren met de gevolgen van klimaatverandering voor de Waddenzee?

## Aanpakken of loslaten

Een belangrijke vraag bij deze ontwikkelingen is hoe we met de veranderingen in natuurwaarden als gevolg van klimaatveranderingen kunnen en moeten omgaan. De natuurwetgeving is daarin niet consequent (Philippart et al., 2020). Zo lijken zowel het “leidende principe” van de trilaterale Waddenzee (“een zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling en het behoud van de dynamiek & geomorfologie van het gebied, kwaliteit van bodem, lucht en water daarmee samenhangende flora & fauna”) als twee van de drie criteria (criterium xiii dat verwijst naar een dynamisch landschap, en criterium ix verwijzend naar ongestoorde ecologische processen) voor de uitzonderlijke universele waarde (UUW) van het Werelderfgoed Waddenzee ruimte te bieden voor de ontwikkeling naar een warmer kustecosysteem.

De Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen en het 3<sup>e</sup> criterium van de UUW (criterium x dat verwijst naar belangrijke habitats voor soort- bescherming) lijken echter te leiden tot een verplichtingen om maatregelen te nemen om de lokale effecten van klimaatverandering op soorten en hun leefgebieden te voorkomen, mitigeren, herstellen of compenseren. Deze mogelijke tegenstelling vraagt om een gezamenlijke besluitvorming over hoe we om willen gaan met de effecten van klimaatverandering op het waddengebied, en hoe we de mogelijke veranderingen in soorten, leefgebieden en functies (zoals primaire productie als basis voor het voedselweb, kinderkamerfunctie voor jonge vissen en tankstation voor trekvogels) daarin meenemen.

Wat betreft lokale maatregelen die een bijdrage beogen aan het behouden en versterken van soorten, leefgebieden en/of ecologische functies, is ook kennis nodig over in hoeverre dergelijke maatregelen elkaar kunnen versterken of verzwakken. Zo zal een zeewaartse uitbreiding van kwelders achterliggende dijken beschermen tegen de impact van golven tijdens stormen



(Temmerman, p. 32) maar ten koste gaan van het oppervlak aan wadplaten. Het kan ook gevolgen hebben voor de hydrodynamiek en geomorfologie van de desbetreffende komberging.

Kennisvragen die hieruit volgen zijn:

- Wat zijn de mogelijkheden en gevolgen van het behoud en de versterking van de te beschermen soorten en habitats in het Waddengebied, en wat zijn daarvan de consequenties (ecologisch, bestuurlijk, ruimtelijk, en financieel)?
- Wat zijn de scenario's voor het toelaten van verschuivingen in leefgebieden en soorten als gevolg van klimaatverandering, wat zijn daarvan de gevolgen voor de ecologische functies voor het Waddengebied?
- Wat zijn mogelijkheden om de veerkracht van de natuurwaarden van de Waddenzee te versterken (b.v. landinwaartse uitbreiding, reduceren andere menselijke activiteiten), en wat moet de schaal van die maatregelen zijn om een relevante en positieve nettobijdrage te leveren (dus ook rekening houdend met mogelijke negatieve effecten van de maatregelen)?



# CONCLUSIES

Klimaatverandering heeft nu al dagelijks effect op de ecologie van de Waddenzee. Op dit moment worden al effecten van temperatuurverhoging waargenomen, met verschuivingen in soorten, de kenmerken van die soorten en de ecologische functies van het gebied, zoals kinderkamerfunctie voor jonge vis en tankstation voor trekvogels, tot gevolg. Dit laat onverlet dat effecten van veranderingen in patronen van wind en neerslag (en daarmee van rivierafvoer) invloed hebben en zullen uitoefenen op de stromingen en golven en daarmee onder meer de uitwisseling tussen kombergingen en de zoetzout overgangen. Via de sedimentdynamiek zijn er ook effecten op erosie en sedimentatie in geulen, op wadplaten en in kwelders. Ook leefgebieden van soorten zullen veranderen door de variaties in het zoutgehalte van het water en de droogvalduur van de wadplaten. Een verschuiving in soorten en leefgebieden in de Waddenzee lijkt onvermijdelijk. De vraag is of en, zo ja, hoe we op basis van voldoende kennis deze overgang zo kunnen laten verlopen dat de ecologische functies overeind blijven.

De belangrijkste vraag hierbij is wat we kunnen verwachten wat betreft die veranderingen, en hoe we die met beheermaatregelen zo kunnen begeleiden dat we een duurzame bescherming en ontwikkeling van de Waddenzee als natuurgebied en het behoud van het unieke open landschap kunnen waarborgen. Hierbij moeten we ons ook de vraag stellen wat dit betekent voor de huidige wet- en regelgeving. Het Europees beleid voor natuurbehoud en herstel is gericht op specifieke soorten. Dat is van grote betekenis geweest voor de huidige natuurwaarden van de Waddenzee, maar komt door klimaatverandering steeds meer onder druk te staan. Een eventuele aanpassing van dit natuurbeleid mag echter niet leiden tot ontwikkelingen die afbreuk doen aan natuurwaarden.

Op de langere termijn zullen we geconfronteerd worden met versnelde zeespiegelstijging. De gevolgen hiervan zullen mede bepaald

worden door huidige maatregelen en ingrepen. Willen we bijvoorbeeld de Waddenzee en het waddengebied blijven beschermen en benutten, dan zijn grootschalige maatregelen, zoals mogelijk zandsuppleties of openingen in de huidige dijken, nodig. Dit soort grootschalige ingrepen vraagt om een grondige wetenschappelijke basis, om zo goed mogelijk van tevoren in te schatten wat de kosten en de baten zijn. Ze vragen ook om een maatschappelijke discussie over wat wel en niet aanvaardbaar wordt geacht. Het zou goed zijn om deze discussie zo vroeg mogelijk te laten beginnen, bijvoorbeeld aan de hand van realistische scenario's. Op die manier kunnen de huidige maatregelen, ingrepen en investeringen die nodig zijn voor een weerbare Waddenzee worden meegewogen in de diverse andere uitdagingen voor het gebied, zoals ruimte voor bewoners en de energietransitie.

# LITERATUUR REFERENTIES

- Baptist, M.J., T. Gerkema, B.C. van Prooijen, D.S. van Maren, M. van Regteren, K. Schulz, I. Colosimo, J. Vroomd, T. van Kessel, B. Grasmeijer, P. Willemsen, K. Elschot, A.V. de Groot, J. Cleveringa, E.M.M. van Eekelen, F. Schuurman, H.J. de Lange & M.E.B. van Puijenbroek (2019) Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development by applying a 'Mud Motor'. *Ecological Engineering* 127, 312–323.
- Busch, J.A & A. Bostelman (2020) Climate Vulnerability Index: World heritage in changing climate. IN: CWSS Annual Report 2020 Common Wadden Sea Secretariat, pp. 12–15.
- Chen, I.C., J.K. Hill, R. Ohlemuller, D.B. Roy & C.D. Thomas (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333, 1024–1026.
- Cheung, W.W.L., J.L. Sarmiento, J. Dunne, T.L. Frölicher, V.W.Y. Lam, M.L. Deng Palomares, R. Watson & D. Pauly (2013) Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Climate Change* 3, 254–258.
- Cozzoli, F., T.J. Bouma, P. Ottolander, M. Salvador Lluch, T. Ysebaert & P.M.J. Herman (2018) The combined influence of body size and density on cohesive sediment resuspension by bioturbators. *Scientific Reports* 8, 3831.
- Donker, J.J.A., M. van der Vegt & P. Hoekstra (2013) Wave forcing over an intertidal mussel bed. *Journal of Sea Research*, 82, 54–66.
- Donker, J.J.A., M. van der Vegt & P. Hoekstra (2015) Erosion of an intertidal mussel bed by ice-and wave-action. *Continental Shelf Research* 106, 60–69
- van Duren, L.A., T. van Kessel, A.G. Brinkman, A. de Kluijver, F. Fey, F. & C.A. Schmidt (2015) Verkenning Slibhuishouding Waddenzee. Een samenvatting van twee jaar modelleren en kennis verwerven. Rapport Deltares, Imares en Rijkswaterstaat, 40 pp.
- Elias, E. (2019) Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. *Deltares*, 11203683-001-ZKS-0002, Versie 0.2, 19 september 2019, definitief.
- Engelstad, A., B.G. Ruessink, D. Wesselman, P. Hoekstra, A. Oost & M. van der Vegt (2017) Observations of waves and currents during barrier island inundation. *Journal of Geophysical Research Oceans* 122, 3152–3169.
- Folmer, E.O., J. Drent, K. Troost, H. Büttger, N. Dankers, J. Jansen, M. van Stralen, G. Millat, M. Herlyn & C.J.M. Philippart (2014) Large-scale spatial dynamics of intertidal mussel (*Mytilus edulis* L.) bed coverage in the German and Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* 17, 550–566.
- Gerkema, T. & M. Duran-Matute (2017) Interannual variability of mean sea level and its sensitivity to wind climate in an inter-tidal basin. *Earth System Dynamics* 8, 1223–1235.
- van Gils, J.A., S. Lisovski, T. Lok, W. Meissner, A. Ozarowska, J. de Fouw, E. Rakhimberdiev, M.Y. Soloviev, T. Piersma & M. Klaassen (2016) Body shrinkage due to Arctic warming reduces red knot fitness in tropical wintering range. *Science* 352, 819–821.
- Herman, P.M.J. V.N. de Jonge, N. Dankers, B.J. Ens, W.J. Wolff, B. Brinkman, M. Baptist, M.A. van Leeuwe, J.P. Bakker, C.J.M. Philippart, J. Kromkamp, J. van Beusekom, M. van Katwijk, T. Piersma, H.W. van der Veer, E.J. Lammerts, A.P. Oost, J. van der Meer, H.J. Lindeboom, H. Olf & G. Jansen (2009) (Natuur)behoud in een veranderende wereld. Position Paper Waddenacademie 2009–03.
- Herman, P., J. Vroom, T. van Kessel, P. Dankers, J. Cleveringa, B. de Vries, B. Smits & N. Villars (2018) Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model. *Deltares* 11202177-000-ZKS-0011, Versie 1.0, 17 december 2018, definitief.
- Heron S.F., J.C. Day, R. Zijlstra, B. Engels, A. Weber, H. Marencic & J.A. Busch (2020) Workshop report: Climate Risk Assessment for Wadden Sea World Heritage property. Application of the Climate Vulnerability Index – Outstanding Universal Value (OUV) Vulnerability. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. 68 pp.

- Kabat, P., C.M.J. Jacobs, R.W.A. Hutjes, W. Hazeleger, M. Engelmoer, J.P.M. Witte, R. Roggema, E.J. Lammerts, J. Bessembinder, P. Hoekstra & M. van den Berg (2009) *Klimaatverandering en het Waddengebied*. Position Paper Waddenacademie 2009-06.
- KNMI (2014) KNMI'14 scenario's voor Nederland. [http://www.klimaatsscenario's.nl/images/Brochure\\_KNMI14\\_NL.pdf](http://www.klimaatsscenario's.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf)
- Kragtwijk, N.G., T.J. Zitman, M.J.F. Stive & Z.B. Wang (2004) Morphological response of tidal basins to human interventions. *Coastal Engineering* 51, 207-221.
- van Maren, D.S., A.P. Oost, Z.B Wang & P.C. Vos (2016) The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems estuary. *Marine Geology* 376, 147-157.
- Lodder, Q.J., Z.B. Wang, E.P.L. Elias, A.J.F. van der Spek, H. de Loo & I.H. Townend (2019) Future response of the Wadden Sea tidal basins to relative sea-level rise—an aggregated modelling approach. *Water* 2019-11, 2198.
- Louise, C., M. Moyano, C. Guy, S. Howald, F.C. Mark, Z.I José-Luis & M.A. Peck (2020) Food availability modulates the combined effects of ocean acidification and warming on fish growth. *Scientific Reports* 10, 2338.
- Lurgi, M., B.C. Lopez & J.M. Montoya, (2012) Climate change impacts on body size and food web structure on mountain ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367, 3050– 3057.
- McLean, N., H.P. van der Jeugd, C.A.M. van Turnhout, J.S. Lefcheck & M. van de Pol (2020) Reduced avian body condition due to global warming has little reproductive or population consequences. *Oikos* 129, 714-730.
- Philippart, C.J.M., H.M. van Aken, J.J. Beukema, O.G. Bos, G.C. Cadée & R. Dekker (2013) Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography* 48, 2171-2185.
- Philippart, C.J.M., R. Anadón, R. Danovaro, J.W. Dippner, K.F. Drinkwater, S.J. Hawkins, T. Oguz, G. O'Sullivan & P.C. Reid (2011) Impacts of climate change on European marine ecosystems: observations, expectations and indicators. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 52-69.
- Philippart, C.J.M., K. Bastmeijer & P. Hoekstra (2020) Fastening our Wadden Sea seat belts: Protecting natural values in times of rapid climate change. IN: CWSS Annual Report 2020 Common Wadden Sea Secretariat, pp. 5-11.
- Pörtner, H.O. & M.A. Peck (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *Journal of Fish Biology* 77, 1745-1779.
- Reneerkens, J. (2020) Climate change effects on Wadden Sea birds along the East-Atlantic flyway. Report Wadden Academy and Programme Towards a Rich Wadden Sea. Waddenacademie Position paper 2020-02.
- Sassi, M., M. Duran-Matute, T. van Kessel & T. Gerkema (2015) Variability of residual fluxes of suspended sediment in a multiple tidal-inlet system: the Dutch Wadden Sea. *Ocean Dynamics* 65, 1321-1333.
- Schepers, L., M.L. Kirwan, G.R. Guntenspergen & S. Temmerman (2020) Evaluating indicators of marsh vulnerability to sea level rise along a historical marsh loss gradient. *Earth Surface Processes and Landforms* 45, 2107-2117.
- Schuerch, M., T. Spencer, S. Temmerman, M.L. Kirwan, C. Wolff, D. Lincke, C.J. McOwen, M.D. Pickering, R. Reef, A.T. Vafeidis, J. Hinkel, R.J. Nicholls & S. Brown (2018) Future response of global coastal wetlands to sea level rise. *Nature* 561, 231-234.
- Schulz, K., K. Klingbeil, C. Morys & T. Gerkema (2020) The fate of mud nourishment in response to short-term wind forcing. *Estuaries and Coasts*. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00767-4>
- van der Spek, A.J.F. (2018) 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, 71-78.

- Stive, M.J.F., M. Capobianco, Z.B. Wang, P. Ruol & M.C. Buijsman (1998) Morphodynamics of a Tidal Lagoon and adjacent Coast. 8th International Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas, The Hague (1996); 397-407.
- Themanummer NJG (2018) Sea-level rise, subsidence and morphodynamics in the Dutch Wadden Sea; 2030, 2050, 2100. Netherlands Journal of Geosciences 97-3, <https://www.waddenacademie.nl/organisatie/publicatie-lijst/publicatie-detail/integrale-studie-naar-zeespiegelstijging-bodemdaling-en-sedimentatie-in-de-nederlandse-waddenzee>
- Tulp, I., H.W. van der Veer, P. Walker, L. van Walraven & L.J. Bolle (2017) Can guild- or site-specific contrasts in trends or phenology explain the changed role of the Dutch Wadden Sea for fish? *Journal of Sea Research* 127, 150-163.
- United in Science (2020) A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information. Partners: United Nations, WMO, UNEP, Global Carbon project, IPCC, UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO – IOC) and Met Office. See also: [public.wmo.int/en/resources/united\\_in\\_science](https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science).
- de Vet, P.L.M., B.C. van Prooijen, I. Colosimo, N. Steiner, T. Ysebaert, P.M.J. Herman & Z.B. Wang (2020a) Variations in storm-induced bed level dynamics across intertidal flats. *Scientific Reports* 10, 12877.
- de Vet, P.L.M., B.C. van Prooijen, I. Colosimo, T. Ysebaert, P.M.J. Herman & Z.B. Wang (2020b) Sediment disposals in estuarine channels alter the eco-morphology of intertidal flats. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 125, e2019JF005432.
- Verheggen, B., B. Strengers, J. Cook, R. van Dorland, K. Vringer, J. Peters, H. Visser & L. Meyer (2014) Scientists' views about attribution of global warming. *Environmental Science & Technology* 48, 8963-8971.
- Wesselman, D., R. de Winter, A. Engelstad, R. McCall, A. van Dongeren, P. Hoekstra, A. Oost & M. van der Vegt (2018) The effect of tides and storms on the sediment transport across a Dutch barrier island. *Earth Surface Processes and Landforms* 43, 579-592.
- Wesselman, D., R. de Winter, A. Oost, P. Hoekstra & M. van der Vegt (2019) The effect of washover geometry on sediment transport during inundation events. *Geomorphology* 327, 28-47.
- van Wijnen, H.J. & J.P. Bakker (2001) Long-term surface elevation change in salt marshes: a prediction of marsh response to future sea-level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52, 381-390.
- Zhu, Z., V. Vuik, P.J. Visser, T. Soens, B. van Wesenbeeck, J. van de Koppel, S.N. Jonkman, S. Temmerman & T.J. Bouma (2020) Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0556-z>

# NAMEN & ADRESSEN

Rob Buiten (buiten@freeler.nl)

R. Buiten Wetenschapsjournalist, Rijnlaan 1,  
2105 XH Heemstede

Rob van Dorland (rob.van.dorland@knmi.nl)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut  
(KNMI), Postbus 201, 3730 AE De Bilt

Edwin Elias (edwin.elias@deltares.nl)

Deltares, Postbus 177, 2600 MH Delft

Theo Gerkema (theo.gerkema@nioz.nl)

Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek  
der Zee (NIOZ), Postbus 140, 4400 AC Yerseke

Peter Herman (peter.herman@deltares.nl)

Deltares, Postbus 177, 2600 MH Delft

Piet Hoekstra (piet.hoekstra@waddenacademie.nl)

Waddenacademie, Ruiterskwartier 121a,  
8911 BS Leeuwarden

Bart van den Hurk (bart.vandenhurk@deltares.nl)

Deltares, Postbus 177, 2600 MH Delft

Pavel Kabat (pkabat@wmo.int)

World Meteorological Organization (WMO), PO  
Box 2300, CH-1211 Geneva 2, SWITZERLAND

Thijs van Kessel (thijs.van.kessel@deltares.nl)

Deltares, Postbus 177, 2600 MH Delft

Ernst Lofvers (ernst.lofvers@rws.nl)

Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Postbus 2232,  
3500 GE Utrecht

Albert Oost (a.oost@staatsbosbeheer.nl)

Deltares, Postbus 177, 2600 MH Delft  
(adres in 2020)

Staatsbosbeheer, Postbus 2, 3800 AA Amersfoort  
(huidig adres)

Myron Peck (myron.peck@nioz.nl)

Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek  
der Zee (NIOZ), Postbus 59, 1790 AB Den Burg

Katja Philippart

(katja.philippart@waddenacademie.nl)  
Waddenacademie, Ruiterskwartier 121a,  
8911 BS Leeuwarden

Martijn van der Pol (M.vandePol@nioo.knaw.nl)

Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-  
KNAW), Postbus 50, 6700 AB Wageningen

Ad van der Spek (ad.vanderspek@deltares.nl)

Deltares, Postbus 177, 2600 MH Delft

Stijn Temmerman

(stijn.temmerman@uantwerpen.be)  
Universiteit van Antwerpen, Universiteitsplein 1,  
2610 Wilrijk, BELGIË

Ingrid Tulp (ingrid.tulp@wur.nl)

Wageningen Marine Research, Postbus 68,  
1970 AB IJmuiden

Robert Zijlstra (robert.zijlstra@rws.nl)

Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Postbus 2232,  
3500 GE Utrecht



waddenacademie

OMGEVINGSBERAAD  
**Waddengebied**