



Universiteit Utrecht

Faculteit Geowetenschappen



Oratie

Hitte is de nieuwe kou

Katja Philippart



Universiteit Utrecht

Hitte is de nieuwe kou

Inaugurele rede uitgesproken bij de aanvaarding van het bijzonder hoogleraarschap

Productivity of Coastal Marine Systems aan de faculteit Geowetenschappen van de

Universiteit Utrecht, op 14 november 2018 door Katja Philippart

COLOFON

ISBN

978 90 6266 523 5

Uitgave

Universiteit Utrecht, 2018

Foto Katja Philippart

Ed van Rijswijk

Grafische verzorging

C&M (9466) – Faculteit Geowetenschappen – Universiteit Utrecht

Omslag

© Martin Stock

Mijnheer de Rector Magnificus, gewaardeerde aanwezigen,

De klok op de Domtoren, hier in Utrecht, stond op vrijdagmorgen 3 augustus 2018 ineens stil. Door de hitte waren de wijzers blijven staan op 7 voor half 12. De Domklok werd gerepareerd, maar hield het net een weekje uit. Op zondagmiddag 12 augustus stonden de wijzers alweer stil. *“Het uurwerk is niet bestand tegen de hitte. De metalen as van het uurwerk is uitgezet en kwam klem te zitten”*, aldus de beheerder Jaap van Engelenburg. *“De Domtoren heeft dikke muren. Normaal zorgt dat voor verkoeling, maar die muren werken nu als een accu, het koelt niet af.”* (www.volkskrant.nl; www.ad.nl)



Bericht uit Utrecht
4 augustus 2018

Klok Domtoren stil door hitte

© Peter de Klein (Politie Utrecht)

De stilstaande klok in Utrecht was slechts één van de talloze gevolgen van de warmste zomer die ooit in Nederland werd gemeten. Uit de Waddenzee kwamen berichten binnen over massale sterfte van kokkels, en juist een succesvolle voortplanting van Japanse oester die aan de extreme warmte werden toegeschreven. De afgelopen zomer, die niet alleen zeer warm was maar ook bijzonder droog, gunde ons een blik op het klimaat dat ons te wachten staat als de wereldwijde opwarming verder doorzet.

Als onderzoeker van kustgebieden probeer ik te begrijpen wat de gevolgen van klimaatverandering zijn. Of dat nu om de ecologische verbanden, kinderkamerfuncties, en een effectieve bescherming van kwetsbare systemen gaat, of om de economische betekenis van deze hoogproductieve kustgebieden. Die opwarming is één ontwikkeling.

Maar wat zullen de gevolgen zijn van de voorspelde zeespiegelstijging, en veranderingen in de frequentie van voorkomen van extreme weersomstandigheden, zoals strenge winters, hittegolven en stormen (Philippart et al. 2011)?

Veel voorbeelden voor mijn betoog zijn afkomstig uit de Waddenzee, het grootste natuurlijke werelderfgoed van Nederland. Niet alleen omdat het onze achtertuin is waarin we de weg kennen en we uit een grote rijkdom aan gegevens kunnen putten. Maar ook omdat het aan de rand ligt van de Noordzee, een zee die wereldwijd op de tweede plaats staat van de snelst opwarmende zeeën (Belkin 2009). Wie de effecten van klimaatverandering op kustgebieden wil bestuderen, kan dus veel van de ontwikkelingen in de Waddenzee leren.

Rijke kustgebieden

Van oudsher staan kustgebieden bekend om hun rijkdom aan schelpdieren, vissen en vogels. Deze rijkdom heeft mogelijk zelfs bijgedragen aan de ontwikkeling van ons brein, door het beschikbaar maken van omega-3 vetzuren voor menselijke consumptie (Crawford 1992, Joordens et al. 2014), en aan de migratie van mensen uit Afrika ruim 70.000 jaar geleden, waarvan de sporen langs de kusten van de wereld als schelpenhopen zijn terug te vinden (Alvarez et al. 2011, Erlandson 2017, Tierny et al. 2017). Kustzeeën staan nog steeds garant voor 95% van de wereldwijde visvangst, terwijl die slechts ongeveer 22% van het totale oppervlak aan zeeën en oceanen beslaan (Stock et al. 2017). Met het oog op de



*Aanlanding visvangst
in Oman*

© Kees Camphuysen (NIOZ)

groeierende wereldbevolking (10 miljard in 2050) en toenemende voedselbehoefte (70% meer eiwitten in 2050) zal die vraag alleen maar verder toenemen. Er zal waarschijnlijk een flinke uitbreiding van de bestaande maricultuur (van zeewier, schaaldieren, schelpdieren en vis) in kustgebieden nodig zijn. (European Union 2017, United Nations 2017).

Kustgebieden zijn ook drukbevolkt, denk hierbij bijvoorbeeld aan megasteden als Tokyo, Mumbai en Mexico-City. De verwachting is dat de bevolking hier onevenredig snel zal toenemen, bijvoorbeeld omdat mensen door klimaatverandering naar de kusten zullen gaan verhuizen (Hugo 2011). Menselijke bewoning, oogst en bescherming tegen de kracht van de zee laten al duizenden jaren hun sporen na in het landschap van kustgebieden (Lotze et al. 2006). Waar de overgangen tussen zoet en zout en tussen land en water ooit geleidelijk waren, zijn deze nu wereldwijd als harde grenzen zichtbaar. Door met Google Earth in te zoomen op kusten van de wereld, kan iedereen zien waar voormalige kustgebieden zijn ingepolderd, waar vissen en garnalen worden gekweekt in zoutwaterbassins, en waar de uitwisseling tussen zoet en zout water door dammen wordt ingeperkt.

Naast deze economische betekenis, worden veel kustgebieden wereldwijd gewaardeerd vanwege hun landschappelijke schoonheid, natuurlijke dynamiek en biologische diversiteit. Deze waardering is een relatief recente ontwikkeling. Nog maar 100 jaar geleden werden de plannen gesmeed om de Zuiderzee, een estuarium met een oppervlak van bijna 6000 km², met een dam af te sluiten. Die dam – de Afsluitdijk – is er gekomen, maar slechts een halve eeuw terug waren er ook plannen om delen van de Waddenzee grotendeels geschikt te maken voor het verbouwen van aardappelen. Die plannen zijn niet doorgegaan.



Een vlucht kanoetstrandlopers
© Jan van de Kam

In 2009 is de waardering voor landschap en natuur door UNESCO bekrachtigd toen de Waddenzee op de werelderfgoedlijst werd geplaatst. De nieuwe kijk op het gebied heeft ook geleid tot een nieuwe economie, inmiddels kennen de Nederlandse wadden meer dan 14 miljoen fans waarvan er ruim 1 miljoen per jaar op bezoek komen (hotspotmonitor.nl; statline.cbs.nl).

Populatiegroei en klimaatverandering stellen ons voor de volgende prangende vragen. Wat zijn de mogelijkheden om aan de groeiende vraag naar ruimte en voedsel te voldoen, en hoe doen we dat zonder afbreuk te doen aan het landschap en de natuur van kustgebieden? Wat zijn eigenlijk de belangrijkste factoren die de rijkdom van deze gebieden bepalen, en hoe gevoelig zijn die voor opwarming? En hoe kunnen de waarnemingen tijdens de extreem warme zomer van 2018 ons helpen om die vragen te beantwoorden?

Hoe koud het kan zijn ... en wat dat voor schelpdieren kan betekenen

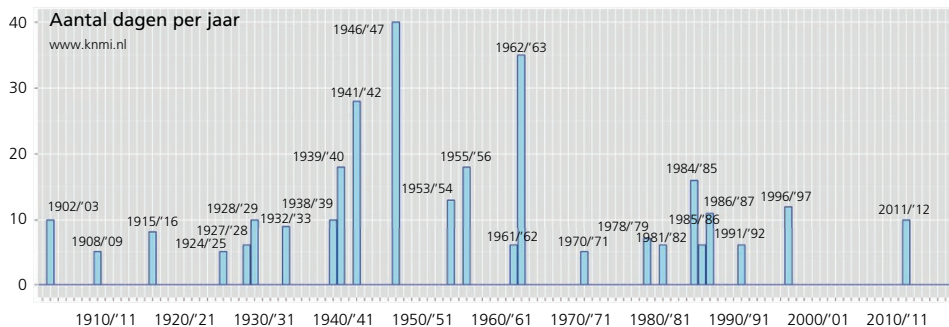
Dit jaar begon vrij koud, eind februari en begin maart dreven er ijsschotsen in de Waddenzee. Strengere winters gaan vaak gepaard met extra sterfte van planten en dieren in kustgebieden, waaronder schelpdieren, vissen en vogels (Crisp 1964, Camphuysen et al. 1996). Zo vroor het in de strenge winter van 1962-1963 in Groot-Brittannië maar liefst 47 dagen! Het werd een winter waarin de kusten van Engeland, Ierland en Schotland bezaaid



Bericht uit de Waddenzee
27 februari 2018

Ijsvorming in de Dollard

Koudegolven in Nederland (De Bilt, 1901/'02-2017/'18)



raakten met dode en stervende schelpdieren, en waarbij tongvangsten in de zuidelijke Noordzee soms voor de helft uit dode vissen bestonden (Crisp 1964).

Opvallend was dat er na veel van de strenge winters, inclusief die van 1962–1963, in de daaropvolgende zomer veel jonge schelpdieren in kustwateren te vinden waren, veel meer dan na zachte winters (Crisp 1964, Beukema 1979, Strasser et al. 2001a). De oorzaak van de enorme variatie in het jaarlijkse voortplantingssucces van schelpdieren, en de correlatie met wintertemperatuur, is een van de grote raadsels in deze gebieden.

Zou succesvolle reproductie na een strenge winter het gevolg kunnen zijn van het lagere energieverbruik van deze koudbloedige dieren bij lage temperaturen, waardoor er meer reserves overblijven die kunnen worden gebruikt voor de voortplanting in het voorjaar (Honkoop & van der Meer 1997)? Zou een zachte winter kunnen leiden tot een vervroegde voortplanting, waardoor de jonge schelpdieren eigenlijk te vroeg ter wereld komen om van de voorjaarspiek in voedselaanbod als gevolg van de algenbloei te kunnen profiteren? Zouden ze dan daardoor minder snel groeien en ze na vestiging op de wadbodem vervolgens een makkelijke prooi zijn voor garnalen (Philippart et al. 2003)?

Alles bleek een rol te spelen, maar een eenduidige verklaring voor het succes of het falen van schelpdierreproductie is tot nu toe uitgebleven. De meest aantrekkelijke theorie van dit moment is dat alle omstandigheden gunstig moeten zijn in die eerste levensfase: voldoende voedsel, weinig predatoren, optimale temperatuur voor groei, en rustig weer op het moment van vestiging op de zeebodem (Balke et al. 2011, Nystrom et al. 2012).



Bericht uit de Waddenzee
14 juli 2018

*Succesvolle voortplanting van
kokkels, strandgapers en nonnetjes*

© André Seinen (Meromar Seafoods BV)

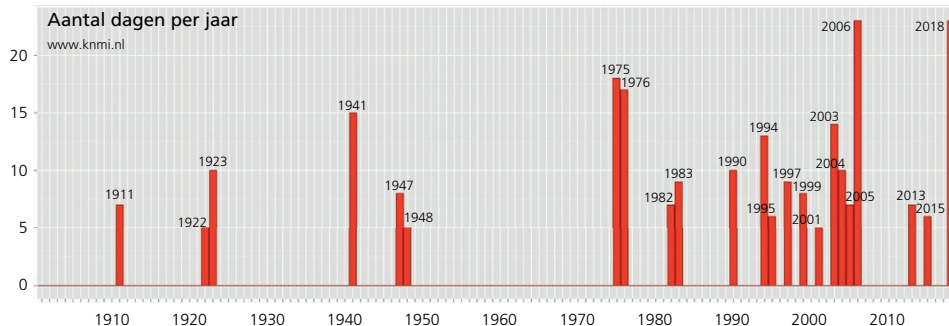
Niet alle soorten schelpdieren bleken, wat betreft sterfte en geboorte, even gevoelig voor de invloed van strenge winters. Strenge winters in de Waddenzee, bijvoorbeeld, gingen vaak gepaard met hoge sterfte van kokkels en werden vaak gevolgd door geboortepieken in mosselen, kokkels, strandgapers en nonnetjes (Beukema et al. 1996, Strasser et al. 2001a, 2001b). Dit had tot gevolg dat na strenge winters, de wadplaten gedomineerd werden door deze vier soorten. Een verdere afname in de frequentie van strenge winters, zoals voorspeld voor de komende decennia, zou dan ook kunnen leiden tot een verschuiving in soorten.

In het begin van de zomer van dit jaar kwamen er van alle kanten berichten binnen over een geboortegolf van jonge kokkels, strandgapers en nonnetjes in de Waddenzee, wat in de lijn leek met het ijs aan het eind van de winter. Maar toen moest de hittegolf nog komen.

Hoe warm het was ...

Als gevolg een stabiel hogedrukgebied boven Scandinavië kreeg Noord Europa in 2018 de warmste zomer ooit gemeten (www.knmi.nl). De balans van de gevolgen van de afgelopen zomer voor het zeeleven in noordwest Europese kustgebieden is nog niet opgemaakt. We kunnen alvast wel een voorschot nemen op wat er deze periode is gebeurd. Dat kan inzicht geven in wat ons mogelijk te wachten staat als de verwachte toename van hittegolven in de gematigde klimaatzone inderdaad doorzet (Lhotka et al. 2018).

Hittegolven in Nederland (De Bilt, 1901-2018)



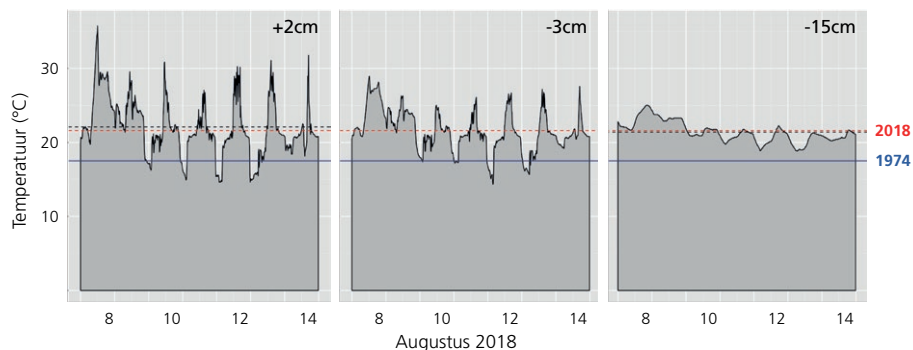
Na die gunstige start in het voorjaar werden er in de loop van de zomer grote aantallen dode en afstervende kokkels gevonden, met als eerste schatting dat meer dan 80% van de kokkels die aan het eind van de winter nog leefden in de loop van de zomer gestorven zijn (R Dekker, NIOZ; ongepubliceerd). Als boosdoener werd de buitengewoon lange hittegolf aangewezen. Maar hoe warm was het dan eigenlijk voor die schelpdieren afgelopen zomer? Sommige schelpdieren zoals mosselen leven op het oppervlak van de wadbodem, andere zoals nonnetjes zijn tot meer dan 10 cm ingegraven (Zwarts & Wanink 1993). Maakt het wat temperatuur betreft uit op welke diepte je leeft als schelpdier?

Omdat nog maar weinig onderzoekers de temperatuur in de wadbodem hebben gemeten, en zeker niet tijdens een hittegolf, hebben we daarom begin augustus een aantal thermometers geplaatst. Op dezelfde locaties als onze voorgangers in augustus 1974 (Vugts & Zimmerman 1984), en op dezelfde dieptes, namelijk 2 cm boven het wadoppervlak en op 3 cm en 15 cm diepte in de wadbodem.

Zoals te verwachten lag de gemiddelde temperatuur in 2018 (de rode gestippelde lijn) hoger, ongeveer 4 graden Celsius, dan die op dezelfde diepte als die in 1974. Bij vergelijking van de temperaturen op verschillende dieptes in 2018 bleek ook dat de gemiddelde temperatuur aan de oppervlakte en dieper in de wadbodem niet eens zo veel van elkaar verschilden, minder dan 1 graad Celsius.

De temperatuur varieerde boven en net onder het oppervlak echter aanzienlijk meer dan dieper in de grond. Als het wad gedurende een mooie zomerdag droogviel, dan warmde

Omgevingstemperatuur op (+) en in (-) de bodem van een wadplaat



het bodemoppervlak snel op en liepen de temperaturen daar veel verder op dan op enige diepte. Maar 's nachts nam juist de temperatuur aan de oppervlakte af, veel sneller en verder dan dieper in het sediment. De diepere wadbodem hield de warmte vast en de temperatuur was daar meer constant, net als bij de dikke muren van de Domtoren in Utrecht.

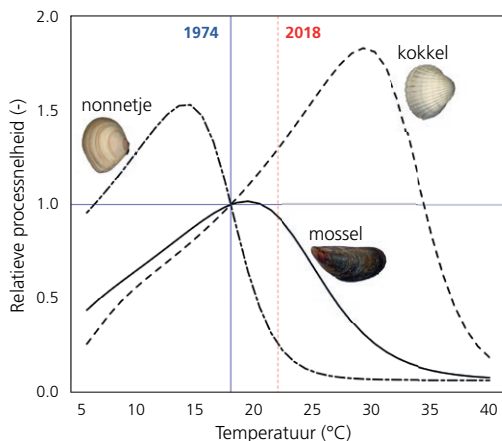
... en hoe de schelpdieren dat hebben ervaren

Wat zouden deze gemeten temperaturen hebben betekend voor groei en overleving van de schelpdieren in de Waddenzee?

Ieder schelpdier heeft een eigen temperatuurtolerantie en een optimum temperatuur waarbij fysiologische processen, zoals stofwisseling, het snelst verlopen. Voor nonnetjes, die binnen Europa tussen de Straat van Gibraltar en de Witte Zee voorkomen, ligt dit optimum bij een lagere temperatuur dan bijvoorbeeld voor kokkels, die ook aan de westkust van Afrika voorkomen (www.marinespecies.org, van der Veer et al. 2006, Kooijman 2010).

Hoe verder de temperatuur in de leefomgeving afligt van het optimum, hoe minder gunstig het voor het schelpdier is, zeker als te hoge temperaturen dagen tot weken aanhouden (Ansell et al. 1981). Hoe een schelpdier de zomertemperatuur heeft ervaren hangt dus af van de temperaturen op de diepte waarop het is ingegraven en van de temperatuurgevoeligheid van de desbetreffende soort.

Temperatuurgevoeligheid schelpdieren

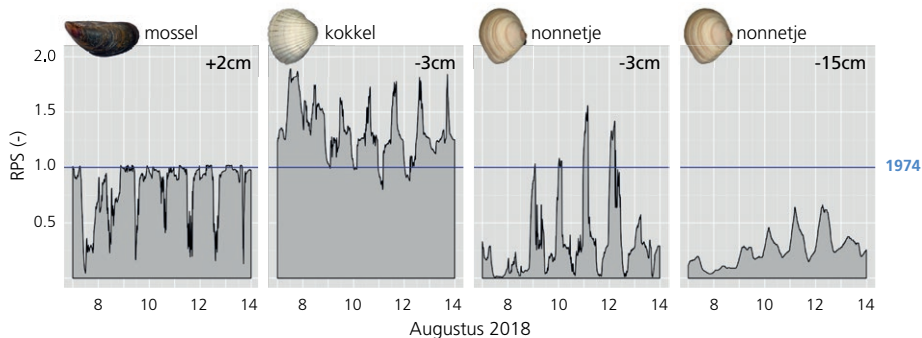


Als we de gegevens over de temperaturen op de wadplaat en over de temperatuurgevoeligheid van de schelpdieren combineren, dan zien we dat voor mosselen de zomertemperaturen in de tweede week van augustus 2018 ongunstiger waren dan in augustus 1974. Voor kokkels daarentegen waren de omstandigheden wat betreft temperatuur gunstiger in 2018 dan in 1974. Voor nonnetjes waren de zomertemperaturen in 2018 veel hoger dan hun optimum, alleen voor de nonnetjes die ondiep waren

ingegraven waren er sommige momenten dat de bodemtemperaturen minder ongunstig waren dan gemiddelde temperatuur in 1974.

Sterfte tijdens een hittegolf kan het gevolg zijn van het bereiken van te hoge temperaturen (de Kantzow et al. 2016, Beaugrand & Kirby 2018). Hiervan lijkt op basis van deze eerste

Gevoelstemperatuur schelpdieren





Bericht uit de Waddenzee
4 september 2018

*Ook onder Spiekeroog massale
sterfte kokkels*

© Roeland Bom (NIOZ)

berekeningen voor de kokkels geen sprake geweest te zijn. In de week dat de metingen zijn uitgevoerd kwamen de temperaturen nauwelijks boven de optimum temperatuur voor deze soort uit. Maar toch werd er die massale sterfte waargenomen, van Den Helder tot Spiekeroog. Wat kan er dan aan de hand geweest zijn?

Verhongering, parasieten en grenswaarden

Omdat schelpdieren koudbloedige dieren zijn, wordt hun stofwisseling door een hoge omgevingstemperatuur flink opgejaagd, waardoor ze dus ook extra voedsel nodig hebben. Als er dan niet voldoende voedsel is om hun onderhoud te voorzien, zullen ze vermageren (de Kantzow et al. 2016, Beaugrand & Kirby 2018). Mogelijk dat een dergelijke verhongering de reden is geweest voor de verhoogde sterfte.

Op het wad lagen de stervende kokkels met hun schelpen open aan het oppervlak. Dergelijk gedrag kan ook wijzen op een besmetting met parasieten. Deze parasiet zorgt ervoor dat de kokkel zich niet meer kan ingraven, en daardoor een makkelijke prooi wordt voor wadvogels die als de volgende gastheer voor de parasiet dienen (Thieltges 2006).

Naast de continue dreiging om geparasiteerd en opgegeten te worden, hebben schelpdieren op wadplaten tijdens hun leven ook heel wat in hun directe leefomgeving te verduren. Tijdens aanhoudende oostenwind liggen ze soms dagen droog, tijdens stormen worden ze losgeslagen of opgewoeld en de wadbodem is (op de bovenste millimeters na)



Bericht uit de Waddenzee
21 augustus 2018

*Succesvolle voortplanting Japanse
oester onder Sylt*

ook nog eens zuurstofloos en giftig. Schelpdieren kunnen in het algemeen goed omgaan met deze extremen in hun leefomgeving, maar alles heeft zijn grenzen. Mogelijk dat, als gevolg van de hoge temperaturen, een verdere afname van zuurstofgehalten en een oplopende concentratie van het giftige waterstofsulfide (H_2S) ze zwaar onder druk heeft gezet (Abele et al. 1998).

En de ene kokkel is de andere niet. De kokkels van 2018 waren voor het merendeel geboren in 2011, waardoor we (gezien hun levensverwachting) met een bejaarde en daardoor extra kwetsbare populatie hadden te maken. Zo zijn bijvoorbeeld oudere en grotere kokkels gevoeliger voor besmetting met parasieten dan jonge dieren (Magalhaes et al. 2018). Al met al zijn er meerdere oorzaken aan te wijzen waardoor bodemdieren kunnen lijden onder een hittegolf, en is een sterfte als direct gevolg van de hoge temperaturen niet altijd de meest waarschijnlijke.

Overigens zijn er hier ook schelpdieren die hebben geprofiteerd van opwarming. Introductie van de Japanse oester door oesterkwekers in het begin van de jaren zeventig werd veilig geacht. Men dacht toen dat het water hier te koud zou zijn voor succesvolle voortplanting in de zomer (Troost 2010). Als gevolg van een combinatie van zachte winters, warme zomers en voortgaande evolutie, waaiarde deze soort echter over de meeste kustgebieden van de Noordzee uit (Troost 2010). De warme zomer van 2018 heeft deze soort waarschijnlijk opnieuw een boost gegeven, want in augustus werd bij het eiland Sylt gezien dat veel schelpen bedekt waren met net gevestigde jonge Japanse oesters (C. Buschbaum, AWI, ongepubliceerd).

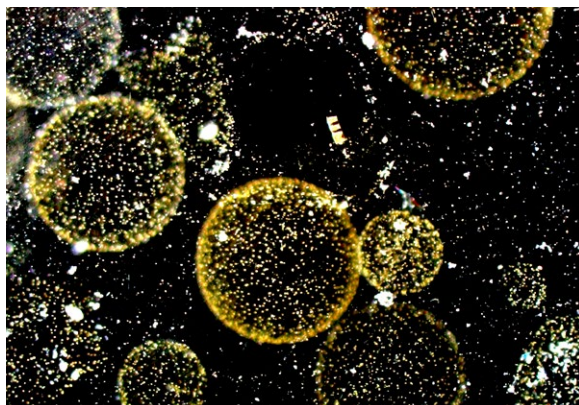
Waar strenge winters in het verleden sturend waren, is het dus mogelijk dat (nu en in de toekomst) de extreem warme zomers als belangrijkste sturende klimatologische factoren de soortensamenstelling van bodemdieren in kustgebieden in de gematigde klimaatzones gaan bepalen. Als dit tot andere winnaars en verliezers dan in het verleden leidt, dan zal de verschuiving in soortensamenstelling gepaard gaan met verschuivingen in voedselaanbod voor vissen en vogels, en in productie voor menselijke consumptie.

Primaire productie zet de kaders

Wat mag je eigenlijk van een kustgebied verwachten, als het gaat om de totale productie van schelpdieren of vissen?

Er lijkt een verband te bestaan tussen primaire productie (een maat voor plantengroei, uitgedrukt in gram koolstof per m² per jaar) en hoeveel dieren in een kustgebied kunnen voorkomen (b.v. biomassa van bodemdieren per m²; Herman et al. 1999, Kemp et al. 2005). Ook de oogst (b.v. visvangst per km²; Chassot et al. 2010) is daarmee gecorreleerd. Als die primaire productie inderdaad een belangrijke randvoorwaarde is, dan is het belangrijk om goed te begrijpen welke factoren daarop van invloed zijn.

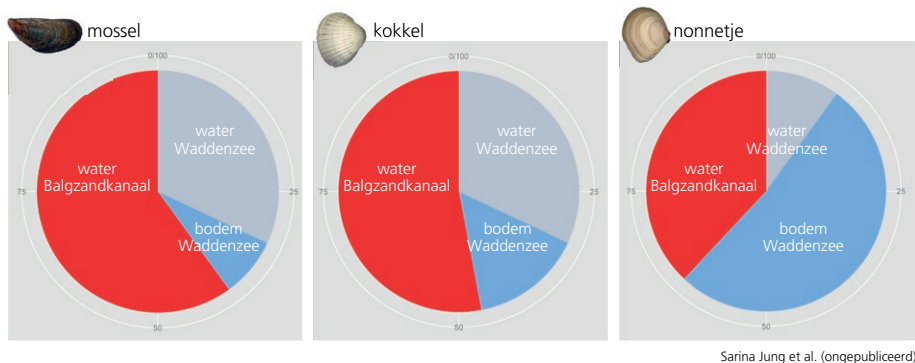
De planten van de Waddenzee zijn vooral microscopisch kleine algen die in het water zweven, en eencellige algen die op de wadplaten groeien (Kromkamp et al. 2006). In het



Zwevende algen in het Marsdiep

© Jolanda van Iperen (NIOZ)

Voedselbronnen schelpdieren (Balgzand, juni 2014)



noordoosten van dit gebied vinden we nog uitgestrekte zeegrasvelden die daar ook een belangrijk aandeel aan de totale plantengroei leveren (Folmer et al. 2016). Andere planten van kustgebieden zijn macroalgen, zoals zeesla dat de lagune van Venetië overwoekert, kwelders, rietlanden en mangrovebossen in tropische kustgebieden (Robinson et al. 2016). De totale primaire productie van een kustgebied (in gram C per jaar) is dan simpelweg een optelsom van de groei van alle planten die daar zijn (Philippart & Cadée 2000, Robinson et al. 2016).

De in de literatuur beschreven verbanden van plantproductie met die van vissen en schelpdieren, zijn gebaseerd op de groei van de zwevende algen. De vraag is hoe belangrijk de andere potentiële bronnen van energie en koolstof, zoals bodemalgen, voor schelpdieren zijn. Voedselonderzoek aan schelpdieren in de Waddenzee heeft laten zien dat, bij vergelijking van de bijdrages van zwevende algen en de bodemalgen aan het dieet, de bodemalgen in de zomer de belangrijkste voedselbron zijn (Christianen et al. 2017).

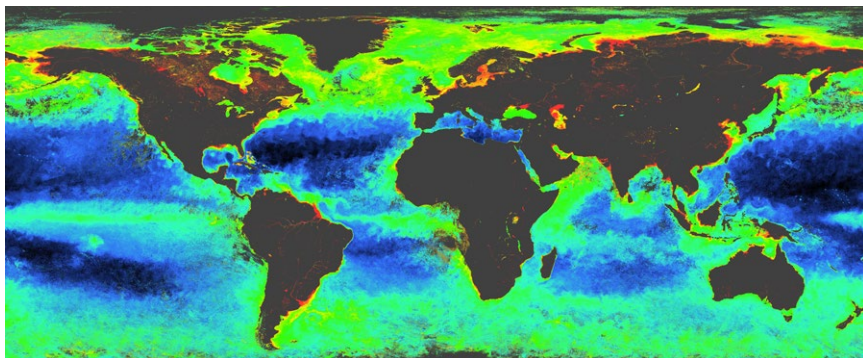
Nader lokaal onderzoek leerde ons dat mossels, kokkels en nonnetjes op wadplaten waar regelmatig zoetwater overheen stroomt, niet van twee maar zelfs van drie walletjes kunnen eten, want ook algen die met het rivierwater in zee komen vormen onderdeel van hun dieet (Jung et al. NIOZ; ongepubliceerd). Tussen maart en september kan deze bijdrage oplopen tot meer dan de helft van de voedselopname door deze schelpdieren, en daarmee vormen zoetwateralgen een belangrijke voedselbron tijdens het groeiseizoen van deze dieren (Jung et al. NIOZ; ongepubliceerd).

Wereldwijde blik vanuit de ruimte

Om het verband tussen de groei van bodemdieren en hun voedsel in kaart te brengen, moeten we dus primaire productie van de belangrijkste planten meten én weten uit welke planten het dieet van de verschillende soorten bodemdieren bestaat. Geen eenvoudige opgave, want de huidige technieken voor dit soort metingen zijn omslachtig en de variatie in de ruimte en tijd van kustgebieden is groot. Voor een goede analyse is het nodig om op een eenduidige wijze de primaire productie met een hoge frequentie op een groot aantal locaties te meten. Voor de oceaan is het al goed mogelijk om de primaire productie, die daar nagenoeg geheel door zwevende algen wordt verzorgd, met behulp van satellieten over grote gebieden met een hoge frequentie in de tijd te volgen.

Met name de beelden van de Sentinel satellieten, die vanaf 2015 zijn gelanceerd, lijken zeer geschikt om de kwaliteit van zeewater nauwkeurig in beeld te brengen (www.copernicus.eu/main/sentinels). Zo is er deze zomer een wereldwijd beeld over de hoeveelheid zwevende algen aan het wateroppervlak voor elke vierkante kilometer van de zeeën en oceanen van de wereld gepubliceerd (www.earthstartsbeating.com).

Voor kustgebieden is het een stuk lastiger om hiervoor goede getallen te leveren. Naast de productie van zwevende algen moet ook die van de andere primaire producten, zoals bodemalgen, worden gevolgd. Bovendien is het water in zandige kustgebieden en estuaria vaak vrij troebel, als gevolg van sedimentdeeltjes die het licht in het water verstrooien, wat een beeld met veel ruis oplevert.



Satellietbeeld van zwevende algen in zeewater

© www.earthstartsbeating.com



Metingen primaire productie
van wadplaten in de Dollard



Veldwerk 18/09/2018

© Roelant Snoek (WaterProof BV)

Satellietbeeld (Sentinel 2)

18/09/2018

© scihub.copernicus.eu

Samen met Rijkswaterstaat onderzoeken we of het desondanks toch mogelijk is om op basis van Sentinel satellietbeelden schattingen te maken van de jaarproductie van de zwevende algen en bodemalgen van het troebele Eems-estuarium. Als het hier goed lukt, dan is dit in de rest van de Waddenzee relatief eenvoudig. Utrechtse collega's van de afdeling Fysische Geografie hebben bovendien een methode ontwikkeld die het mogelijk maakt om uit satellietbeelden de sedimenteigenschappen van wadplaten en de dichtheden van bodemdieren te distilleren. De eerste resultaten zijn veelbelovend (deVries et al. 2018).

Op basis van bestaande en nieuwe technieken willen we satellietbeelden gebruiken voor het volgen van langjarige ontwikkelingen in planten en bodemdieren in kustgebieden op een wereldwijde schaal.

Extreem warm én extreem droog

De afgelopen zomer was niet alleen ongekend warm, maar ook uitzonderlijk droog. Het is eigenlijk nog *steeds* te droog, en het is al november!

Die droogte had tot gevolg dat ook de rivierafvoer naar zee verminderde. Zoiets kan weer consequenties hebben voor de productiviteit van kustsystemen, want de toevoer van voedselrijk rivierwater naar zee vermindert, waardoor de groei van algen niet verder gestimuleerd wordt. Na de droogte in de zomer zullen de rivieren weer gewoon naar zee stromen. Als dat niet te lang duurt, zullen de dagen nog lang genoeg zijn om tot een bloei van de algen in het najaar te leiden, met een late voedselpiek voor de schelpdieren als gevolg. Als het groeiseizoen van de algen dan echter al voorbij is, zoals dit jaar, dan zullen die voedingsstoffen niet meer benut kunnen worden en met het rivierwater in open zee ‘verdwijnen’.

Schelpdieren zijn de eerste weken van hun leven zeer mobiel, als larven kunnen ze door zeestromen over afstanden van meer dan duizenden kilometers reizen (Bradbury & Snelgrove 2001). Als dit larventransport langs een kust plaatsvindt, dan kan de uitstroom van een rivier fungeren als wegblokkade, omdat de larven dan met het rivierwater naar open zee worden gespoeld en de weg terug naar de kust waarschijnlijk niet meer vinden (Folmer et al. 2014).



Bericht van Texel
22 juli 2018

*Droogte maakt voormalige
geulen van de Waddenzee
zichtbaar*

© Pieter de Vries



*Uitstroom van slibrijk water
vanuit de Waddenzee naar de
Noordzee door tij en rivieren*

© Helmholtz-Zentrum Geesthacht /
Data from ESA (MERIS)

Als droogte in de toekomst vaker een probleem zal worden, zoals het dit jaar het geval was, dan zal dit ook gevolgen hebben voor de productie van kustgebieden, zowel voor de algengroei als voor de groei en verspreiding van schelpdieren. De gevolgen hangen onder meer af van de timing van de rivierafvoer t.o.v. het groeiseizoen van de algen en het voortplantingsseizoen van de schelpdieren.

De droogte hebben we niet in de hand, maar de verdeling van het zoete water over de verschillende riviertakken wel. Deze verdeling gebeurt nu vooral op basis van de belangen in het binnenland, zoals scheepvaart en drinkwatervoorziening. Met onze toenemende afhankelijkheid van kustgebieden zou overwogen kunnen worden om de effecten van rivierafvoer op natuur en productie in kustwateren ook in die afweging mee te gaan nemen.

De leerstoel

Zoals in deze introerede geschetst, zal een afname in de frequentie van strenge winters en een gelijktijdige toename in de frequentie van hittegolven zeer waarschijnlijk gepaard gaan met veranderingen in productie van kustsystemen in gematigde streken. Maar er zijn nog geweldig veel onzekerheden die we nu zullen moeten gaan onderzoeken en er is niet veel tijd meer te verliezen:

- Volgens het nieuwste klimaatrapport van de Verenigde Naties is het nog mogelijk om de temperatuurstijging op aarde te beperken tot anderhalve graad Celsius, maar dat vraagt dan om snelle en drastische maatregelen, waaronder aanpassingen in voedselvoorziening (www.ipcc.ch);
- Tegelijkertijd wordt de mensheid, door de groei van de wereldbevolking, in toenemende mate afhankelijk van de voedselproductie van kustgebieden (European Union 2017);
- Het belang van onverstoorde kustsystemen voor onze gezondheid en welzijn wordt steeds meer onderkend (Flemming et al. 2014, Pecl et al. 2017).

De hoge productiviteit van kustgebieden in onze omgeving is vooral het gevolg van de grote hoeveelheden voedingsstoffen die via de rivieren van land naar zee vervoerd worden. Andere rijke kustgebieden gedijen op voedingsstoffen die worden aangevoerd vanuit de oceaan, bijvoorbeeld als gevolg van opwelling, zoals dat in het noordwestelijke deel van Afrika (de Banc d'Arguin in Mauritanië; Wolff et al. 1993) gebeurt. Al die kustgebieden worden geconfronteerd met grote veranderingen, als gevolg van een grotere voedselvraag en de snelle opwarming van de aarde.

De voornaamste onderzoeksvragen van de leerstoel 'productiviteit van mariene kustsystemen' zijn dan ook:

- Hoe en waarom de kustgebieden verschillen in areaal-specifieke productiviteit (gram koolstof per vierkante meter per jaar), en
- Hoe gevoelig zijn de lokale levensgemeenschappen en hun productiviteit voor wereldwijde ontwikkelingen, zoals onder meer veroorzaakt door opwarming?

Om deze vragen te beantwoorden, zie ik drie sterk vervlochten paden voor me.

1. Vergelijking van kustgebieden in ruimte en tijd

Het belang van de invloed van verschillende bronnen van voedingsstoffen voor productie kan ontrafeld worden door kustgebieden te vergelijken die meer en minder onder invloed van rivieren en de zee staan. De invloed van menselijke activiteiten op productiviteit valt in te schatten door kustgebieden te vergelijken die meer of minder ongerept zijn. De invloed van temperatuur op productiviteit valt te onderzoeken door kustgebieden langs een temperatuurgradiënt te vergelijken, en door de verschillen binnen een gebied tussen koude en warme jaren te duiden. Hierbij moet uiteraard ook rekening gehouden worden met andere aspecten dan temperatuur waardoor kustgebieden in de ruimte en tijd kunnen verschillen.



Segmentering van wadplaten op basis van satellietbeeld

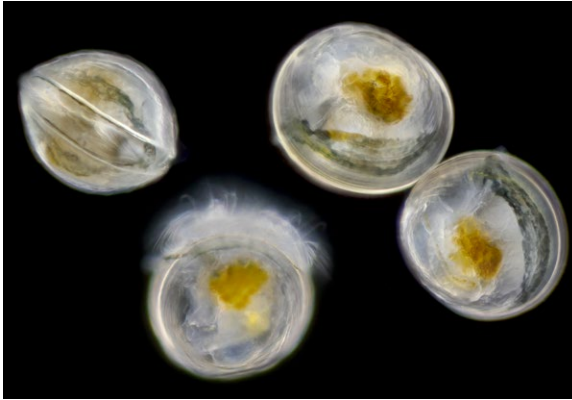
© Job de Vries & Elisabeth Addink (UU Fysische Geografie)

Een dergelijk aanpak vraagt om eenduidige informatie met een hoge resolutie in tijd en ruimte over de verschillende kustgebieden. Daar komt nog bij dat lang niet alle kustgebieden goed bereikbaar zijn, en sommige alleen in bepaalde tijden van het jaar. Gelukkig lijken de nieuwste satellietbeelden hiervoor uitkomst te bieden.

Een combinatie van data-analyses van satellietbeelden door de afdeling Fysische Geografie van de Universiteit van Utrecht en het uitvoeren van veldmetingen door de afdeling Kustsystemen van het Koninklijk NIOZ biedt nog ongekende mogelijkheden om wereldwijd de belangrijkste levensgemeenschappen in kustgebieden in kaart te brengen en vervolgens de ontwikkelingen in planten en bodemdieren in ruimte en tijd te volgen.

2. Bestudering aanpassingsvermogen mariene schelpdieren

De reactie van mariene organismen zoals algen en schelpdieren op klimaatverandering zal onder meer afhangen van hun aanpassingsvermogen. Dit vraagt om een vergelijking van het gedrag, de groei en de ontwikkeling van deze organismen en hun overleving bij huidige en toekomstige omstandigheden, in eerste instantie gericht op veranderingen in voedselaanbod en temperatuur. Hierbij kijken we naar de verschillen in toleranties en aanpassingsvermogen tussen levensfasen, individuen en herkomst van een soort.



Bericht van Texel
7 september 2018

*Platte oesters geboren in
klimaatkamer*

© Wim van Egmond

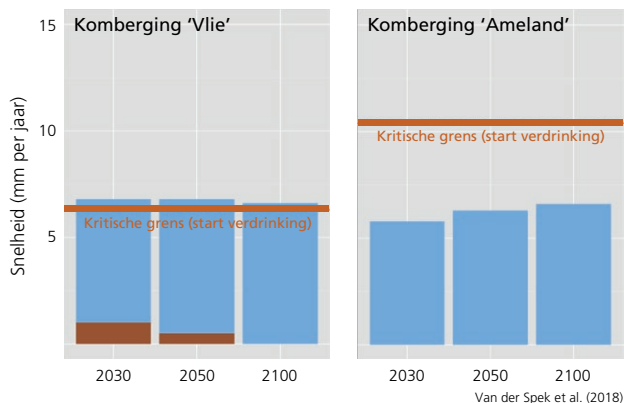
Zo is bijvoorbeeld voorspeld dat verdere opwarming van kustwateren in gematigde streken zou kunnen leiden tot twee geboortepieken van schelpdierlarven per jaar in plaats van één (Philippart et al. 2014, Beaugrand & Kirby 2018). Deze voorspellingen lijken bevestigd te worden door het feit dat dit jaar de kokkel een tweede broedval kende, net gevestigde schelpdieren werden zowel in de zomer als in het najaar op het wad aangetroffen. Een dergelijke verandering in geboortegolven heeft zowel consequenties voor de graasdruk van de schelpdieren op de algen als op het voedselaanbod van schelpdieren voor vogels en vissen.

Voor een goede vergelijking van gedrag, de groei en de ontwikkeling geldt dat de aanpak eenduidig moet zijn om gelijkaardige resultaten op te leveren. De komende jaren zal daarom verder worden ingezet op het experimenteel testen van deze aspecten onder gecontroleerde omstandigheden. Hiervoor zullen we schelpdieren uit verschillende gebieden verzamelen en vervolgens gebruiken als startmateriaal voor eigen kweek, zodat we ook het aanpassingsvermogen van de jongste stadia in kaart kunnen brengen.

3. Doorrekenen van scenario's

De kennis vergaard door vergelijking van kustgebieden en van aanpassingsvermogen van algen en schelpdieren kan vervolgens worden ingezet om mogelijke gevolgen van ontwikkelingen (zoals klimaatverandering) en ingrepen (zoals opzetten van groot-schalige maricultuur van schelpdieren) in te schatten. Wat betreft de gevolgen van klimaatverandering kan bijvoorbeeld worden uitgegaan van diverse scenario's voor

Ontwikkeling wadplaten Waddenzee (bij weinig voortvarend klimaatbeleid, RCP4.5)



veranderingen in temperatuur en neerslag, zoals die gemaakt zijn door het KNMI en het IPCC. Door koppeling van soort-specifieke kennis aan bestaande omgevingsmodellen kunnen we doorrekenen wat deze ontwikkelingen zouden betekenen voor productie van kustsystemen.

De klimaatscenario's voor kustgebieden gaan ook over zeespiegelstijging. Er is de afgelopen jaren veel te doen geweest over de vraag hoe de Nederlandse Waddenzee zal reageren op de combinatie van klimaatverandering en delfstoffenwinning. De Wadden-academie en het Programma naar een Rijke Waddenzee hebben daarom gezamenlijk een aantal experts van verschillende organisaties gevraagd om een zo accuraat mogelijk overzicht te geven van de wetenschappelijke kennis ten aanzien van de verwachte zeespiegelstijging, de bodemdaling en de sedimentatie van zand en slib in de Waddenzee.

Hierbij bleek dat bij een weinig voortvarend mondiaal broeikasgasbeleid het waddengebied onder Vlieland een gerede kans loopt om vanaf 2030 te gaan verdrinken, maar dat de wadplaten in andere gebieden de zeespiegelstijging dan nog kunnen bijhouden (van der Spek 2018). Bij een mogelijk versneld afsmelten van landijs bestaat de kans dat vanaf 2050 delen van de Nederlandse Waddenzee sneller gaan verdrinken, zelfs bij een ambitieus klimaatbeleid (Haasnoot et al. 2018).

Voor de inschatting van de snelheid waarmee de wadplaten het sediment al dan niet kunnen vasthouden is de invloed van planten en dieren niet meegenomen (Wang et

al. 2018). Bodemalgen, mosselen en oesters (de zogenaamde ‘biobouwers’) dekken het wadoppervlak af en beschermen daardoor wadplaten tegen erosie, terwijl wadpieren en kokkels (de zogenaamde ‘biobrekers’) de toplaag van het sediment continue omwoelen en daardoor het sediment juist gevoeliger maken voor erosie. Klimaat-gestuurde verschuivingen in de biodiversiteit van planten en dieren in een waddengebied kan daardoor gevolgen hebben voor de snelheid waarmee wadplaten al dan niet verdrinken als gevolg van zeespiegelstijging.

Verwacht mag worden dat ook zeespiegelstijging in kustgebieden grote gevolgen kan hebben voor de geomorfologie en productiviteit van mariene kustsystemen. Wat betreft de productiviteit geldt dit waarschijnlijk voor de bijdragen van de verschillende planten en dieren aan die productie en hun rol in het voedselweb, en tevens voor de ruimte voor oogst en maricultuur in kustgebieden wereldwijd.

Ter afsluiting

Aan het eind van mijn rede gekomen, wil ik graag eerst enkele woorden van dank uitspreken. Dank aan degenen die mij in de loop der jaren de mogelijkheid hebben geboden om onderzoek in kustgebieden te kunnen doen. Wim Wolff en Wim van Vierssen hebben mij destijds aangesteld als onderzoeker in opleiding, en dankzij Wim van Raaphorst kon ik bij het NIOZ aan de slag, waar ik mij bij mijn collega’s van de afdeling Kustsystemen



*Jaarlijkse bemonstering
bodemdieren op 6000 stations
in de Waddenzee*

© Kees van de Veen



*Internationale zomerschool Werelderfgoed Waddenzee van 19 tot 31 Augustus 2018
(Sylt, Wilhelmshaven, Spiekeroog, Harlingen, Texel)*

onder leiding van Henk van der Veer en met Henk Brinkhuis als directeur nog steeds zeer thuis voel.

Het College van Bestuur, het Faculteitsbestuur en het Departementsbestuur, met name Steven de Jong, dank ik voor het geschonken vertrouwen om met mij in Utrecht in zee te gaan. Mijn nieuwe collega's van het departement Fysische Geografie voor hun welkom en hun ideeën om de samenwerking met mij en met het NIOZ verder uit te bouwen.

Mijn collega's van de Waddenacademie dank ik voor het delen van hun kijk op de staat en ontwikkelingen vanuit verschillende disciplines van kustgebieden in het algemeen en die van het waddengebied in het bijzonder. Iedere vergadering bevat tenminste ook één wijze les.

Kennis over kustgebieden laat zich niet eenvoudig vangen. Daarom wil ik iedereen bedanken die ideeën en ervaringen deelt, vanuit de theorie en de praktijk. Ik wil ook dankzeggen aan diegenen die dagelijks zorgdragen voor het goed verlopen van de

experimenten en allen die bij weer en wind op pad gaan om de data soms letterlijk uit de modder te trekken.

Mijn dank gaat ook uit naar familie, vrienden en kennissen. Heel jammer dat mijn moeder er vandaag niet bij kan zijn, heel fijn dat mijn zus Margot en broer Marc nu in de zaal zitten. Lieve Mardik, Kyra en Tom, dank voor de warmte en het plezier dat ik dagelijks in jullie gezelschap ervaar, en dank dat jullie mij al jaren met raad en daad in mijn onderzoek terzijde hebben gestaan.

Tot slot

Tot slot, om mogelijke ontwikkelingen zoals geduid in klimaatscenario's het hoofd te bieden is veel kennis en kunde nodig. Veel universiteiten kunnen voorzien in theoretische kennis, maar het verwerven van kennis van het veld en van praktische vaardigheden om goed onderzoek te doen staat door gebrek aan tijd en middelen vaak onder druk. Het is van het grootste belang om hier ruimte voor te bieden, bijvoorbeeld in de vorm van Master-projecten en gerichte cursussen met veldcomponenten. Ik hoop daartoe met mijn leerstoel de brug te kunnen slaan tussen de UU en het NIOZ.

Want vergeet niet, het zijn de studenten zoals degenen die dit semester aan de Master Marine Sciences van de Universiteit van Utrecht zijn begonnen, die straks, in 2030, aan de lat staan om te beslissen over mogelijke oplossingen of om de benodigde onderzoeksgegevens aan te leveren om de juiste beslissingen te kunnen laten nemen.

De wereld verandert voortdurend, op een planeet die uit water én land bestaat zullen er overal en altijd kustgebieden zijn. Maar h^oe de kustgebieden er uit zullen zien en hoe ze in de toekomst zullen functioneren, dat zijn de vragen die we samen gaan oppakken.

Dames en heren, ik dank u voor uw aanwezigheid en aandacht.

Ik heb gezegd.

Referenties

- Abele D, H Grosspietsch, H Poertner (1998) Temporal fluctuations and spatial gradients of environmental P_{O_2} , temperature, H_2O_2 and H_2S in its intertidal habitat trigger enzymatic antioxidant protection in the capitellid worm *Heteromastus filiformis*. Marine Ecology Progress Series 163, 179–191.
- Alvarez M, IB Godino, A Balbo, M Madella (2011) Shell middens as archives of past environments, human dispersal and specialized resource management. Quaternary International 239, 1–7.
- Ansell AD, PRO Barnett, A Bodoy, H Mass (1981) Upper temperature tolerances of some European molluscs. III. *Cardium glaucum*, *C. tuberculatum* and *C. edule*. Marine Biology 65, 177–183.
- Balke T, TJ Bouma, EM Horstman, EL Webb, PLA Erfemeijer, PMJ Herman (2011) Windows of opportunity: thresholds to mangrove seedling establishment on tidal flats. Marine Ecology Progress Series 440, 1–9.
- Beaugrand G, RR Kirby (2018) How do marine pelagic species respond to climate change? Theories and observations. Annual Review of Marine Science 10:169–197.
- Belkin IM (2009) Rapid warming of large marine ecosystems. Progress in Oceanography 81, 207–213.
- Beukema JJ (1979) Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on a tidal flat area in the Dutch Wadden Sea: effects of a severe winter. Netherlands Journal of Sea Research 13, 203–223.
- Beukema JJ, K Essink, H Michaelis (1996) The geographic scale of synchronized fluctuation patterns in zoobenthos populations as a key to underlying factors: climatic or man-induced. ICES Journal of Marine Science 53, 964–971.
- Bradbury IR, PVR Snelgrove (2001) Contrasting larval transport in demersal fish and benthic invertebrates: the roles of behaviour and advective processes in determining spatial pattern. Canadian Journal of Fisheries and Aquaculture Science 58, 811–823.
- Camphuysen CJ, BJ Ens, D Heg, JB Hulscher, J van der Meer, CJ Smit (1996) Oystercatcher *Haematopus ostralegus* winter mortality in The Netherlands: the effect of severe weather and food supply. Ardea 84 (A), 469–492.
- Chassot E, S Bonhommeau, NK Dulvy, F Mélin, R Watson, D Gascuel, O Le Pap (2010) Global marine primary production constrains fisheries catches. Ecology Letters 13, 495–505.
- Christianen MJA, JJ Middelburg, SJ Holthuijsen, J Jouta, TJ Compton, T van der Heide, T Piersma, JS Sinninghe Damste, HW van der Veer, S Schouten, H. Olf (2017) Benthic primary producers are key to sustain the Wadden Sea food web: stable carbon isotope analysis at landscape scale. Ecology 98, 1498–1512.

- Crawford MA (1992) The role of dietary fatty acids in biology: their place in the evolution of the human brain. *Nutrition Reviews* 50, 3–11.
- Crisp DJ (1964) The effects of the severe winter of 1962–63 on marine life in Britain. *Journal of Animal Ecology* 33, 165–210.
- Erlandson M (2017) Coastlines, marine ecology and maritime dispersals in human history. IN: Bovin N, R. Crassard, M Petrgalia (Eds) *Human Dispersal and Species Movement: From Prehistory to the Present*. Cambridge University Press, pp 147–163.
- European Union (2017) Food from the Oceans – How can more food and biomass be obtained from the oceans in a way that does not deprive future generations of their benefits? *Scientific Opinion* 3/2017.
- Fleming LE, N McDonough, M Austen, L Mee, M Moore, P Hess, MH Depledge, M White, K Philippart, P Bradbrook, A Smalley (2014) Oceans and Human Health: A rising tide of challenges and opportunities for Europe. *Marine Environmental Research* 99, 16–19.
- Folmer EO, JEE van Beusekom, T Dolch, U Graewe, MM van Katwijk, K Kolbe, CJM Philippart (2016) Consensus forecasting of intertidal seagrass habitat in the Wadden Sea. *Journal of Applied Ecology* 53, 1800–1813.
- Folmer EO, J Drent, K Troost, H Büttger, N Dankers, J Jansen, M van Stralen, G Millat, M Herlyn, CJM 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.
- Haasnoot M, L Bouwer, F Diermanse, J Kwadijk, A van der Spek, G Oude Essink, J Delsman, O Weiler, M Mens, J ter Maat, Y Huismans, K Sloff, E Mosselman (2018) Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002.
- Herman PMJ, JJ Middelburg, J van de Koppel, CHR Heip (1999) Ecology of estuarine macrobenthos. *Estuaries* 29, 195–240.
- Honkoop PJC, J Van der Meer (1997) Reproductive output of *Macoma balthica* populations in relation to winter-temperature and intertidal-height mediated changes of body mass. *Marine Ecology Progress Series* 49, 155–162.
- Hugo G (2011) Future demographic change and its interactions with migration and climate change. *Global Environmental Change* 21, Supplement 1, S21–S33.
- Joordens JCA, RS Kuipers, JH Wanink, FAJ Muskiet (2014) A fish is not a fish: Patterns in fatty acid composition of aquatic food may have had implications for hominin evolution. *Journal of Human Evolution* 77, 107–116.
- de Kantzow, M, P Hick, JA Becker, RJ Whittington (2016). Effect of water temperature on mortality of Pacific oysters *Crassostrea gigas* associated with microvariant ostreid herpesvirus 1 (OsHV-1 μ Var). *Aquaculture* 8, 419–428.

- Kemp WM, WR Boynton, JE Adolf, DF Boesch, WC Boicourt, G Brush, JC Cornwell, TR Fisher, PM Gilbert, JD Hagy, LW Harding, DG Kimmel, WD Miller, RIE Newell, MR Roman, EM Smith, JC Stevenson (2005). Eutrophication of Chesapeake Bay: historical trends and ecological interactions. *Marine Ecology Progress Series* 303, 1–29.
- Kooijman SALM (2010) *Dynamic Energy Budget theory for metabolic organization*. Cambridge University Press.
- Kromkamp JC, JFC de Brouwer, GF Blanchard, RM Forster, V Creach (2006) Functioning of microphytobenthos in estuaries. *Edita*, Amsterdam.
- Lhotka O, J Kyselý, A Farda (2018) Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology* 131, 1043–1054.
- Lotze HK, HS Lenihan, BJ Bourque, RH Bradbury, RG Cooke, MC Kay, SM Kidwell, MX Kirby, CH Peterson, JBC Jackson (2006) Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312, 1806–1809.
- Magalhães L, X de Montaudouin, E Figueira, R Freitas (2018) Trematode infection modulates cockles biochemical response to climate change. *Science of the Total Environment* 637–638, 30–40.
- Nyström M, AV Norström, T Blenckner, M de la Torre-Castro, JS Eklöf, C Folke, H Österblom, RS Steneck, M Thyresson, M Troell (2012) Confronting feedbacks of degraded marine ecosystems. *Ecosystems* 5, 695–710.
- Pech GT, MB Araujo, J Bell, J Blanchard, TC Bonebrake, I Chen, TD Clark, RK Colwell, F Danielsen, B Evengard, S Robinson et al. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355, eaai9214.
- Philippart CJM, HM van Aken, JJ Beukema, OG Bos, GC Cadée, R Dekker (2003) Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography* 48, 2171–2185.
- Philippart CJM, R Anadón, R Danovaro, JW Dippner, KF Drinkwater, SJ Hawkins, T Oguz, G O’Sullivan, PC 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 CJM, JDL van Bleijswijk, JC Kromkamp, AF Zuur, PMJ Herman (2014) Reproductive phenology of coastal marine bivalves in a seasonal environment. *Journal of Plankton Research* 36, 1512–1527.
- Philippart CJM, GC Cadée (2000) Was total primary production in the western Wadden Sea stimulated by nitrogen loading? *Helgoland Marine Research* 54, 55–62.
- Robinson A, A Richey, J Cloern, K Boyer, J Burau, E Canuel, J De George, J Drexler, L Grenier, E Howe, R Kneib, R Naiman, A Mueller-Solger, J Pinckney, D Schoellhamer, C Simenstad (2016). Primary production in the Sacramento – San Joaquin Delta – a

- science strategy to quantify change and identify future potential. Richmond (CA): San Francisco Estuary Institute – Aquatic Science Center, Publication 781.
- van der Spek AJF (2018) The development of 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.
- Stock CA, JG John, RR Rykaczewski, RG Asch, WWL Cheung, JP Dunne, KD Friedland, VWY Lam, JL Sarmiento, and RA Watson (2017) Reconciling fisheries catch and ocean productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Jan 2017, 201610238.
- Strasser M, A Hertlein, K Reise (2001a) Differential recruitment of bivalve species in the northern Wadden Sea after the severe winter of 1995/96 and of subsequent milder winters. *Helgoland Marine Research* 55, 182–189.
- Strasser M, T Reinwald, K Reise (2001b) Differential effects of the severe winter of 1995/96 on the intertidal bivalves *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria* in the Northern Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* 55, 190–197.
- Tierney JE, PB deMenocal, PD Zander (2017) A climatic context for the out-of-Africa migration: *Geology* 45, 1023–1026.
- Thieltges DW (2006) Parasite induced summer mortality in the cockle *Cerastoderma edule* by the trematode *Gymnophallus choleadochus*. *Hydrobiologia* 559, 455–461.
- Troost K (2010) Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research* 64, 145–165.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017) *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- van der Veer HW, JFMF Cardoso, J van der Meer (2006) The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research* 56, 107–124.
- de Vries J, HW van der Veer, EA Addink (2018) Object-based remote sensing van benthische macrofauna in de Waddenzee. Rapport Universiteit van Utrecht en Koninklijk NIOZ.
- Vugts HF, JFT Zimmerman (1984) The heat balance of a tidal flat area. *Netherlands Journal of Sea Research* 19, 1–14.
- Wang ZB, EPL Elais, AFJ van der Spek, QL Lodder (2018) Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. *Netherlands Journal of Geosciences* 97, 183–214.
- Wolff WJ, J van der Land, PH Nienhuis, PAWT de Wilde (1993) The functioning of the ecosystem of the Banc d'Arguin, Mauritania: a review. *Hydrobiologia* 258, 211–222.

Zwarts L, JH Wanink (1993) How the food supply harvestable by waders in the Wadden Sea depends on the variation in energy density, body weight, biomass, burying depth and behaviour of tidal-flat invertebrates. *Netherlands Journal of Sea Research* 31, 441-476.



Katja Philippart is op 1 februari 2018 benoemd tot buitengewoon hoogleraar 'Productiviteit van mariene kustsystemen' bij het Departement Fysische Geografie van de Universiteit Utrecht. Philippart studeerde biologie aan de Wageningen Universiteit en promoveerde daar op de invloed van vermesting op de achteruitgang van zeegras in de Waddenzee. Sinds 1994 verricht zij haar onderzoek aan de ecologie van waddensystemen bij het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee te Texel. Haar onderzoek richt zich met name op langjarige veranderingen in trofische interacties tussen schelpdieren en hun voedsel, onder invloed van grootschalige ontwikkelingen zoals die in de toevoer van voedingsstoffen vanuit rivieren en klimaatverandering. Als lid van het bestuur van de Waddenacademie beheert zij sinds 2013 de portefeuille ecologie en is ze als adviseur betrokken bij langjarige ecologische meetprogramma's in het waddengebied.

