

Morfologische ontwikkelingen van de Nederlandse Waddenzee

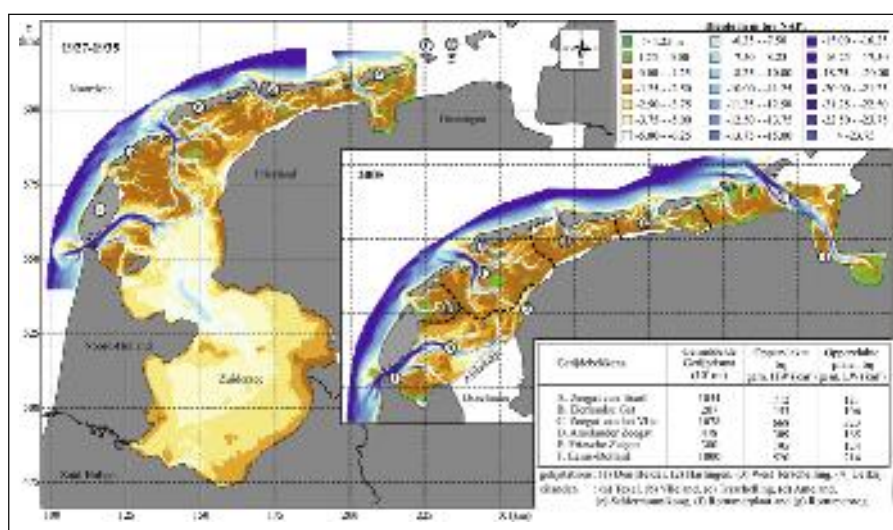
Het waddengebied vormt een omvangrijk geheel van eilanden, geulen, intergetijdewadplaten en kwelders, van Nederland tot Denemarken. De Waddenzee bevat het grootste aaneengesloten oppervlak intergetijddeplaten van zand en slib in de wereld. Het is één van de laatste grote wildernissen van deze planeet en is zo bijzonder dat het in 2009 door UNESCO tot Werelderfgoedgebied werd verklaard.

Klimaatverandering en vooral de bijbehorende versnelling van zeespiegelstijging kunnen een bedreiging vormen voor het gebied. Ten eerste kan een hogere zeespiegel problemen voor de veiligheid veroorzaken. Het Deltaprogramma heeft hier een grote verantwoordelijkheid: 'De bescherming van de polders van de Waddeneilanden en de kust van Noord-Nederland moet gewaarborgd blijven' (Deltacommissie, 2008). Verder kan de natuurlijkheid van het Waddengebied worden aangetast. "Door de zeespiegelstijging zal het huidige karakter van de Waddenzee veranderen. Dit komt doordat bij toenemende zeespiegelstijging de zandimport in de Waddenzee, die nodig is om te kunnen meegroeien, zodanig groot wordt dat dit fysisch onverenigbaar is met de aanwezigheid van grote oppervlakten getijdengebied", aldus de Deltacommissie (2008).

Het doel van het Deltaprogramma Waddengebied is het duurzame beheer, dat wil zeggen de veiligheid tegen overstromingen in het Waddengebied waarborgen, met zo veel mogelijk behoud van de natuurwaarde (Deltaprogramma Waddengebied, 2010). Dit zal alleen mogelijk zijn als we voldoende inzicht hebben in de morfologische ontwikkeling van het waddensysteem. Daarom kijken we eerst naar het verleden. Met dat inzicht kunnen we vooruit op de morfologische ontwikkelingen van het gebied in de toekomst, in het licht van de klimaatverandering. De kennisleemtes voor een betrouwbare voorspelling voor de toekomstige ontwikkelingen die daarbij aan het licht komen, gebruiken we om de onderzoeksvragen voor het Deltaprogramma Waddengebied te inventariseren.

Ontwikkelingen in het verleden

Geologisch gezien is de Waddenzee een relatief jong systeem. Het is ongeveer 7.000 jaar geleden ontstaan, waarbij zeespiegelstijging een belangrijke rol heeft gespeeld¹⁾. Zonder zeespiegelstijging was de Waddenzee er nooit geweest. Een ander belangrijke voorwaarde voor het ontstaan van de huidige Waddenzee is de aanwezigheid van de Noordzeekustzone. Daardoor



Afb. 1: De Nederlandse Waddenzee, bodemhoogtes in 1927-1935 en 2005 (met dank aan Edwin Elias).

onderscheidt de Waddenzee zich van veel andere lagunaire kustsystemen in de wereld met volledig ontwikkelde vloeddelta's. Het plaatgeulensysteem sluit naadloos aan op de kust van het vasteland. In het eerste en grote deel van zijn bestaan kon de Waddenzee zich natuurlijk, zonder noemenswaardig menselijke invloeden, ontwikkelen. Daarbij kon het hele systeem van waddeneilanden en de getijdenbekkens daarachter landwaarts migreren bij een stijgende zeespiegel met behoud van de morfologische kenmerken.

Vanaf de Middeleeuwen zijn de menselijke ingrepen op de ontwikkelingen van de Waddenzee steeds belangrijker geworden^{2,3)}. De belangrijkste ingrepen zijn de landaanwinning en het aanleggen van waterkeringen langs de kust van het vasteland. Die vormen een vaste grens voor de Waddenzee, waardoor het verder landwaarts migreren van het hele waddensysteem niet meer mogelijk is. Om de linie van de waterkeringen kort te houden, zijn landwaarts gelegen bekkens afgesloten. De meest recente voorbeelden hiervan zijn de afsluitingen van de Zuiderzee in 1932 en de Lauwerszee in 1969. Deze afsluitingen hadden en hebben nog steeds belangrijke invloeden op de

ontwikkelingen van het Waddensysteem. De afgesloten bekkens fungeerden als verankeringen voor de zeegaten tussen de eilanden. Nu deze verankeringen weg zijn, krijgt het systeem van eilanden en zeegaten meer de neiging om te bewegen, in de richting van het netto sedimenttransport langs de kust. Dit is één van de redenen waarom de eilandkoppen vaak een harde verdediging nodig hebben. De afsluitingen hebben ook sedimenthonger in de resterende bekkens veroorzaakt. Dit leidt tot netto sedimenttransport naar de Waddenzee, met als gevolg erosie langs de Noordzeekust en sedimentatie binnen de Waddenzee.

Vanaf 1927 tot 1935, rondom het aanleggen van de Afsluitdijk, zijn gegevens van bodemhoogtes in het Waddengebied beschikbaar (zie afbeelding 1). Door deze gegevens te analyseren, kunnen de recent morfologische ontwikkelingen in de Nederlandse Waddenzee goed in kaart worden gebracht. Een uitgebreide beschrijving van een dergelijke analyse is gegeven door Elias e.a.⁴⁾. Uit de analyse blijkt dat in totaal ongeveer 600 miljoen kubieke meter sedimentatie optrad in het westelijke deel van de Waddenzee (tot het wadrijt achter Schiermonnikoog) tussen de periode

1927-1935 en 2005. Dit is gemiddeld meer dan twee keer zoveel als de hoeveelheid die nodig is voor de compensatie van de zeespiegelstijging van ongeveer 20 cm per eeuw. De sedimentatie vond vooral plaats in gebieden waar de afsluitingen dominante invloed hebben gehad, in de afgesloten geulen en langs de kust van het vasteland (zie afbeelding 2). Dit geeft aan dat de snelle sedimentatie vooral een reactie is op de afsluitingen en minder het gevolg is van de zeespiegelstijging.

Een groot deel van het sediment dat voor sedimentatie in de Nederlandse Waddenzee zorgde, is geleverd door erosie buiten de zeegaten, langs de Noordzeekust van de Waddeneilanden en Noord-Holland en vooral op de buitendelta's (zie afbeelding 2). De meeste buitendelta's zijn daardoor gekrompen en nog steeds aan het krimpen (zie afbeelding 3 voor een voorbeeld). De erosie van de kusten veroorzaakte het terugtrekken van de kustlijn, maar dat is sinds 1990 tegengehouden door zandsuppletie langs de kust, onder andere voor het onderhouden van het kustfundament (sinds 2000). Tegenwoordig is kustsuppletie één van de menselijke ingrepen met invloed op

de morfologische ontwikkeling van het Nederlandse Waddengebied.

Ontwikkelingen in de toekomst

De ontwikkelingen van de Waddenzee zullen ook in de toekomst nog door de ingrepen in het verleden worden beïnvloed. In tegenstelling tot een volledig natuurlijk systeem kan de Waddenzee zich alleen nog ontwikkelen binnen de vaste grenzen. Voor de grootschalige sedimenthuishouding zijn de effecten van de afsluitingen van de Zuiderzee en de Lauwerszee nog niet uitgedempt. Het bekken Marsdiep bevat relatief nog steeds te weinig wadplaten ten opzichte van een natuurlijk evenwichtssysteem. Het wantij tussen Marsdiep en Vlie verschuift naar het oosten sinds de aanleg van de Afsluitdijk. Daarom moeten Marsdiep en Vlie samen als één systeem worden beschouwd. De hoeveelheid sediment die nog nodig is om het morfologische evenwicht in het Marsdiep-Vliesysteem te herstellen, hangt af van de uiteindelijke positie van het wantij⁵⁾, maar het is in de orde van één miljard kubieke meter⁴⁾. Hierboven komt nog het effect van de zeespiegelstijging die volgens verwachtingen zal versnellen in de toekomst. 'Het

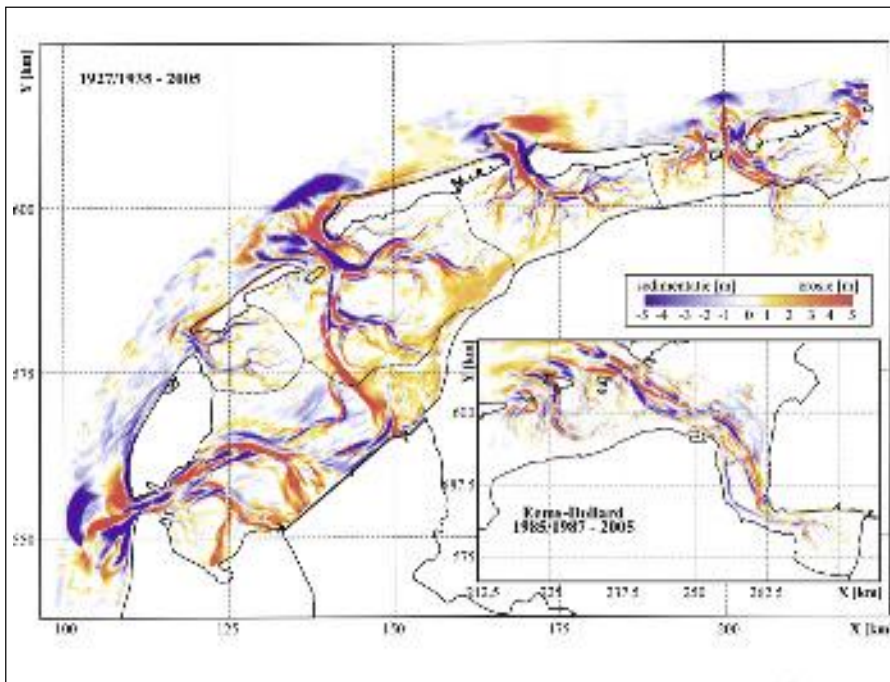
voortbestaan van de Waddenzee zoals wij die nu kennen, is in het licht van de klimaatverandering niet vanzelfsprekend', aldus Deltacommissie (2008).

Hoe de ontwikkeling van de Waddenzee zich zal voortzetten, hangt af van de zeespiegelstijging, waarvoor verschillende scenario's zijn ontwikkeld. Bij een constante snelheid van de zeespiegelstijging hoort een dynamisch evenwicht van de morfologie, waarbij de gemiddelde sedimentatiesnelheid in een bekken gelijk aan de snelheid van de zeespiegelstijging. Hoe hoger die is, des te groter de gemiddelde diepte bij het dynamische evenwicht wordt, in de zin van grotere geulen en minder wadplaten. Dit geldt tot een bepaalde kritische waarde van de snelheid van de stijging van de zeespiegel. Daarboven zal geen wadplaat overblijven en geen dynamisch evenwicht meer bestaan, aldus Van Goor e.a.⁶⁾, die schattingen hebben gemaakt van de kritische snelheid van de zeespiegelstijging voor verschillende bekkens. Er zijn echter nog discussies over deze schattingen, waardoor onzekerheid blijft bestaan. Opgemerkt wordt dat bij versnelling van de zeespiegelstijging het dynamische evenwicht van de morfologie niet meteen wordt bereikt, maar met grote tijdvertraging. Zowel de zeespiegelstijging als de morfologische aanpassing zijn langzame processen. Zelfs als de kritische snelheid van de zeespiegelstijging overschreden wordt, zal de verdrinking - dat wil zeggen de verdwijning van alle droogvallende wadplaten - nog lang duren. Dus als de kritische grens wordt overschreden, zal het waddengebied tijdens een sluipend proces van karakter veranderen. Dit betekent een grote uitdaging om een eventueel knippunt tijdig te kunnen signaleren met monitoring⁷⁾. Het Deltaprogramma gaat uit van de KNMI-scenario's voor zeespiegelstijging: 85 cm is de uiterste waarde in 2100. Dit scenario komt in de buurt van de kritische waarden geschat door Van Goor e.a.⁶⁾. Dit geeft aan dat nader onderzoek hiernaar gewenst is.

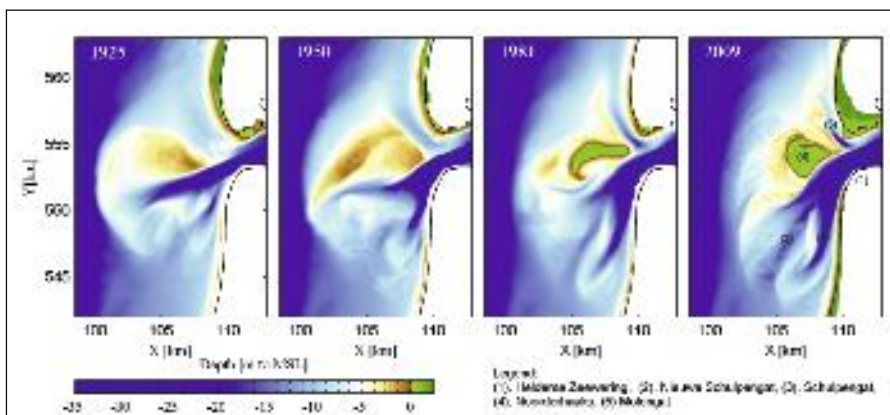
Sedimentimport

De gecombineerde effecten van de ingrepen in het verleden en van de (versnellende) zeespiegelstijging zijn als volgt te beschouwen: zonder versnelling van de zeespiegelstijging heeft de morfologie van de Waddenzee de neiging het dynamische evenwicht horende bij de huidige snelheid van de stijging te herstellen. Bij versnelling van de zeespiegelstijging zal dit blijven gelden, alleen zal het dynamische evenwicht ook veranderen in de tijd. Hoe hoger de uiteindelijke snelheid van de zeespiegelstijging, des te groter de noodzakelijke sedimentimport zal worden. Gezien de grote hoeveelheid sediment die het systeem bij de huidige snelheid van de zeespiegelstijging al nodig heeft om het dynamisch evenwicht te herstellen, is het zeer de vraag of voldoende sediment beschikbaar is. Tot nu toe wordt het sediment voor de sedimentatie in de Waddenzee vooral geleverd door erosie buiten de zeegaten, met name op de buitendelta's. In de toekomst kan de levering van voldoende sediment een probleem

Afb. 2: Sedimentatie en erosie in het Nederlandse Waddengebied (met dank aan Edwin Elias).



Afb. 3: Ontwikkelingen van de buitendelta van Marsdiep⁴⁾.



worden, doordat de buitendelta's niet voldoende sediment bevatten. Verdere verkleining van de buitendelta's kan leiden tot verlaging van sedimentimport. Inkrimping van de buitendelta's kan negatieve gevolgen hebben voor de veiligheid door verlaagde bescherming voor de kusten tegen de golfaanval. Met zandsuppletie hebben we een instrument in handen om de toekomstige ontwikkeling van de Waddenzee te beïnvloeden. Het is daarom belangrijk de ontwikkelingen van de buitendelta's in samenhang met de aanliggende kust en de achterliggende Waddenzeebekkens goed te begrijpen en te voorspellen, een taak die door de deelprogramma's Kust en Waddengebied van het Deltaprogramma moet worden opgepakt. De kustsuppletie strategie speelt hierbij een belangrijke rol⁸⁾. Suppletie van sediment in het systeem zal in toenemende mate nodig zijn bij een versnellende stijging van de zeespiegel. Niet alleen de hoeveelheid van de suppletie moet voldoende zijn, ook de locatie en manier van suppleren moeten zo zijn dat ze tot de gewenste ontwikkelingen leiden. De huidige kennis van en inzichten in de morfologische dynamiek van de

Waddenzee in relatie tot de Noordzeekust en zandsuppletie zijn onvoldoende om deze complexe vragen eenduidig te beantwoorden⁷⁾.

**Zheng Bing Wang (TU Delft / Deltares)
Hessel Speelman
(Waddenacademie / KNAW)
Rick Hoeksma en Hans Gerritsen
(Deltaprogramma Wadden)**

LITERATUUR

- 1) Beets D. en A. van der Spek (2000). The Holocene evolution of the barrier and back-barrier basins of Belgium and the Netherlands as a function of late Weichselian morphology, relative sea-level rise and sediment supply. *Netherlands Journal of Geosciences* 79, nr. 3-16.
- 2) Van der Spek A. (1995). Reconstruction of tidal inlet and channel dimensions in the Frisian Middelzee, a former tidal basin in the Dutch Wadden Sea. In: Flemming B. en A. Bartholomä (red.): *Tidal signatures in modern and ancient sediments*. Special publications International Association of Sedimentologists 24, pag. 239-258.
- 3) Oost A. (1995). Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet. A study of barrier

islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins. *Geologica Ultraiectina. Mededelingen 126 van de faculteit Aardwetenschappen van de Universiteit van Utrecht*.

- 4) Elias E., A. van der Spek, Z. Wang en J. de Ronde (2012). Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century, Accepted by *Netherlands Journal of Geosciences*.
- 5) Wang Z., J. Vroom, B. van Prooijen, R. Labeur, M. Stive en M. Jansen (2011). Development of tidal watersheds in the Wadden Sea. RCEM 2011: Proceedings of the 7th IAHR Symposium of River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Beijing, China.
- 6) Van Goor M., T. Zitman, Z. Wang en M. Stive (2003). Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets. *Marine Geology*.
- 7) Jeuken M., J. Vroom, J. Stapel, N. Davaasuren en C. Smit (2012). Inventory of data, data needs and remote sensing as monitoring technique. *Delta Program Wadden, cluster 3 - monitoring*.
- 8) Stronkhorst J., J. de Ronde, J. Mulder, B. Huisman, M. van Aalst, Ch. Sprengers, B. van der Valk en M. Löffler (2011). *Onderzoek alternatieve lange termijn suppletie strategieën. Tussenrapportage 2011 ten behoeve van het Deltaprogramma Kust*.

Trilaterale samenwerking

De onzekerheid over de aspecten van de zeespiegelrijzing in de Waddenzee speelt niet alleen in Nederland. Ook Duitsland en Denemarken hebben aangegeven het morfologisch systeem van de Waddenzee beter te willen begrijpen om beter voorbereid te zijn op de toekomst. Op initiatief van het Deltaprogramma Wadden is de samenwerking op dit gebied tussen de landen opgestart met als uitdaging leren van elkaars modellen, theorieën en bevindingen. Gestreefd wordt naar een op elkaar afgestemd onderzoeksprogramma waarbij het onderzoek van de landen elkaar versterkt.

