

VERDRINKT HET NEDERLANDSE WAD?

HAND-AAN-DE-KRAAN EN MEEGROEIVERMOGEN

Ceciel Fruijtier, Martin Wilpshaar en Jaap Breunese
TNO, Geologische Dienst Nederland, Adviesgroep Economische Zaken

December 2021

In de samenleving leeft het verontrustende beeld dat het waddengebied in Nederland verdrinkt door zout- en gaswinning [1]. Immers: er is sprake van zeespiegelstijging en door mijnbouwactiviteiten daalt de bodem. Met de recente discussie 'wel of geen gaswinning onder de Waddenzee boven het Friese Ternaard' zijn deze zorgen weer actueel [2]. Naast zeespiegelstijging en bodemdaling is echter nog een derde factor van belang: de hoeveelheid zand en slib die in de Waddenzee wordt afgezet.

Zolang zand en slib de ruimte opvullen die door dalende bodem en stijgende waterspiegel ontstaat, verdrinkt het wad niet. Dit heet het meegroeivermogen. De geschatte grootte daarvan wordt in het Hand-aan-de-Kraan-principe [3] als vaste waarde per deelgebied meegenomen. Deze schattingen zijn echter gebaseerd op het geologische verleden, terwijl als gevolg van menselijke ingrepen de actuele en toekomstige situatie van de Waddenzee significant anders is. TNO is daarom van mening dat de momenteel gebruikte waarden voor het meegroeivermogen in het Hand-aan-de-Kraan-principe aangepast zouden moeten kunnen worden.

De Waddenzee, een dynamisch systeem

Het waddengebied is van nature een dynamisch systeem. Het verandert continu: zowel getijgeulen als wadplaten verplaatsen zich door het komen en gaan van eb en vloed. Tijdens de kentering van het tij (doodtij), en ook daar waar twee tegengestelde waterstromen elkaar ontmoeten (wantij), staat het water heel even stil. Met name rond dat moment wordt sediment afgezet; niet alleen zand maar ook slib. Zolang sedimentafzetting de ruimte opvult die door dalende bodem en stijgende waterspiegel ontstaat behoudt het wad zijn bijzondere morfologische karakteristieken. Volledige opvulling van deze ruimte heet het meegroeivermogen.

Het meegroeivermogen vormt een belangrijk gegeven in het zogeheten *Hand-aan-de-Kraan-principe* [3, 16] dat gebruikt wordt om te beoordelen of mijnbouwactiviteiten in de Waddenzee kunnen worden toegestaan. Als het wad dreigt te verdrinken doordat de zeespiegelstijging plus bodemdaling als gevolg

van mijnbouwactiviteiten samen groter zijn dan het meegroeivermogen- [4], kan worden besloten de gas- of zoutwinning te verminderen of te stoppen ('hand aan de kraan').

Invloed van de mens

Hoe zit het met sedimentafzetting in de Waddenzee? Voor de afsluiting van de Zuiderzee was Westhoek in Friesland een geliefde zwemplek. Nu is het schone zand van de zeebodem ter plaatse verdwenen onder een metersdikke laag slib; je kunt er (wad)lopen in plaats van zwemmen. Het strandpaviljoen is dan ook al decennia geleden opgedoekt [5]. Hoe komt dat? De afsluitingen van de Zuiderzee (1932) en Lauwerszee (1969) hebben grote invloed gehad op waterstroming en sedimentatie.

Die sterke menselijke beïnvloeding ging feitelijk al in de Romeinse tijd van start, toen men begon met de aanleg van dijken en terpen. Vanaf de Middeleeuwen werd het woon-werkgebied langs de kust uitgebreid door *kwelders* te veranderen in polders. Zo'n veertig jaar geleden kwam er nog een ingrijpende verstoring bij: ten behoud van de huidige Waddeneilanden begon men de afkalvende Noordzeekust op zijn plaats te houden met behulp van grootschalige strandsuppleties [6]. Jaar na jaar worden daarvoor miljoenen kubieke meters zand aangevoerd.

De afgelopen decennia werd in de Waddenzee zoveel zand en slib afgezet, dat dat grote problemen oplevert. Er valt vandaag de dag bijna niet meer tegenop te baggeren [7,8]: voor iedere veerboot die oversteeft naar Ameland, varen twee baggerschepen uit om de vaargeul open te houden. Dat is zo duur dat Rijkswaterstaat overwoog een tunnel naar Ameland aan te leggen [9].

Het huidige meegroeivermogen van de Waddenzee

In 2001 werd polder Noaderleech (Friesland) aan de natuur teruggegeven – de dijken werden doorgeprikt. Zo werd het weer een *kwelder* waarin de zee bij hoogtij slib achterlaat. Wat blijkt? Het maaiveld van deze kwelder is in 10 jaar tijd met gemiddeld meer dan een centimeter per jaar gestegen [10]. Er vond dus meer dan voldoende sedimentatie plaats om bodemdaling en zeespiegelrijzing bij te houden. Dat kunnen we ook concluderen uit metingen die de afgelopen 6 tot 19 jaar op meerdere wadplaten ter plekke zijn verricht: de hoogte van de platen nam met 0,5 tot 10 millimeter per jaar toe [11].

Hoe kan dat? Door de dynamiek van eb en vloed, met door de wind gedreven golfwerking daarbovenop, worden binnen de Waddenzee voortdurend grote hoeveelheden sediment verplaatst. In de periode 1999-2006 ging dit om meer dan 50 miljoen m³ per jaar [12]. De vorm en daarmee ook de diepte van de Waddenzeebodem verandert daardoor continu; geulen in de Waddenzee kunnen zich tientallen meters tot honderd meter per jaar verleggen.

Dat de vloedstromen meer sediment de Waddenzee binnenbrengen dan de ebstromen weer afvoeren is een belangrijk gegeven. Tussen 1935 en 2005 ging dat om gemiddeld 8,6 miljoen m³ per jaar [13]. Daardoor is een proces van verlanding gaande. Dat is op zich niet nieuw: zo zijn immers de polders van Groningen en Friesland ontstaan. Wat wel relatief nieuw is, is dat het oppervlak aan kwelders sterk is afgenomen [14]. Doordat het slib zich niet meer op die kwelders kan afzetten, bezinkt het in grote hoeveelheden in de Waddenzee. Het buitendijkse wad ligt inmiddels hoger dan het achter de dijk gelegen vaste land.

Sinds 2010 werden twee keer per jaar met behulp van lasers vanuit een vliegtuig nauwkeurige metingen gedaan, waarvan in april 2021 een rapport [15] verscheen. De wadplaten konden tijdens deze studie goed worden gevolgd tijdens hun natuurlijke oostwaartse migratie. Het totale plaatareaal bleef daarbij constant. Van de bodemdaling die volgens modelberekeningen de afgelopen decennia door gaswinning in delen van de Waddenzee moet zijn opgetreden, bleek aan het oppervlak niets te zien.

Zelfs in het Pinkegat, waar de bodemdaling door gaswinning het grootst is, zien we dat sedimentatie het effect van de bodemdaling volledig teniet doet. Zoals ook wordt gesteld door het Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee [16]: “de bodemdaling door delfstofwinning is tot nu toe evident veel geringer dan de mate van sedimentatie”. In het oostelijk deel van de Waddenzee wordt de ruimte die hetzij door zeespiegelrijzing, hetzij door bodemdaling voor sedimentafzetting beschikbaar komt onmiddellijk opgevuld [12, 17].

Hand-aan-de-Kraan-principe

Het Hand-aan-de-Kraan-principe is bedoeld als instrument om te voorkomen dat de natuurwaarden van het waddengebied worden aangetast [A, 16]. Dat wil onder meer zeggen: men wil niet dat het oppervlak aan wadplaten dat bij eb droog valt kleiner wordt. De Waddenzee kun je onderverdelen in verschillende gebieden, die sediment ontvangen vanuit de verschillende zeegaten tussen de Waddeneilanden. Dat worden *kombergingsgebieden* genoemd. In het Rijksprojectbesluit³ van 2006 wordt uitgegaan van een vaste waarde voor het meegroeivermogen per kombergingsgebied.

In het Nederlandse waddengebied wordt de hoeveelheid sediment die in de kombergingsgebieden kan worden afgezet beperkt door het sediment-transporterend-vermogen van de zeegaten tussen de eilanden [12, 14]. De vraag is, hoe dat zal worden beïnvloed door het verder rijzen van de zeespiegel. In het Duitse Waddengebied heeft men op basis van hoogtemetingen vastgesteld dat het wad-areaal daar in de periode 1998-2016 is gegroeid; zowel de hoogte als de grootte van het oppervlak van de wadplaten nam toe [18]. Deze ontwikkeling is mogelijk het gevolg van de zeespiegelstijging: doordat het watervolume in een getij toeneemt, kan dat water meer sediment transporteren wat leidt tot sedimentatie op de wadplaten [13].

Wat betreft het huidige meegroeivermogen, tonen zowel observaties als wetenschappelijke onderzoeken aan dat de Waddenzee een groter

meegroeivermogen heeft dan waar momenteel in het Hand-aan-de-Kraan-principe van wordt uitgegaan [4,12,13,16,17, 19]. Voor het kombergingsgebied Pinkegat, waar het gasveld ten noorden van Ternaard ligt, is het meegroeivermogen destijds vastgesteld op 6 millimeter per jaar [3]. Dat was op basis van de geschiedenis. Men keek naar de ontwikkeling van de Waddenzee gedurende de afgelopen 400 jaar, en naar een vergelijkbare ontwikkeling in West-Nederland tussen ongeveer 8000 en 5500 jaar geleden [4, 14]. De situatie is vandaag de dag echter anders dan toen.

Het verleden als sleutel voor het heden?

De op basis van de geschiedenis ingeschatte sedimentatiesnelheid (en dus het meegroeivermogen), is niet van toepassing op de actuele situatie. De factoren die het gedrag van het systeem bepalen, zijn door menselijk ingrijpen namelijk significant veranderd.

Door de aanleg van dijken en de afsluiting van Zuiderzee en Lauwerszee, is de grootte van de kombergingsgebieden per zeegat enorm afgenomen. Kort gezegd: per aanvoerkanaal is het gebied waarin sediment kan worden afgezet veel kleiner. Het sediment dat door de vloed vanuit de Noordzee wordt binnengebracht hoeft dus over minder vierkante meter te worden verdeeld. Tegelijkertijd is het hoogteverschil tussen eb en vloed toegenomen [20]. Nadat de Zuiderzee en de Lauwerszee werden afgesloten, zijn de getijgeulen die daarheen liepen dan ook snel ondieper geworden danwel dichtgeslibt.

Een nog belangrijker verandering ten opzichte van de voorafgaande geologische periode: de hoeveelheid beschikbaar sediment langs de Noordzeekust is geen beperkende factor. Zodra een sedimenttekort wordt gemeten, vullen we het aan met zand dat we ver van de kust uit de Noordzee halen [6]. Om onze kustlijn stabiel te houden en ons te beschermen tegen overstromingen voert Rijkswaterstaat jaarlijks kustsuppleties uit.

Dan is er nog het fenomeen, dat hoe langer de tijdsperiode is waarover een gemiddelde sedimentatiesnelheid wordt ingeschat, hoe lager deze uitvalt [21]. Dat klinkt ingewikkeld, maar is het niet. Getijdegeulen en wadplaten zijn continu in beweging. Op iedere locatie vindt dus niet alleen sedimentatie plaats, maar zijn er ook momenten van erosie [B]. Hoe langer de tijdsperiode, hoe meer erosiefasen daarin voorkomen, en dus hoe minder sediment bewaard blijft om te worden meegeteld bij het berekenen van de gemiddelde sedimentatiesnelheid. Deltares beschrijft in een recent rapport [4] zo nog een aantal aspecten, waaruit kan worden geconcludeerd dat de maximale sedimentatiesnelheden in zowel verleden als heden hoger liggen dan de waarden die nu voor het meegroeivermogen worden gehanteerd.

Onderschat meegroeivermogen

De meegroeivermogens zoals vastgelegd in het Rijksprojectbesluit werden gebaseerd op het geologische verleden. Ze geven daarmee aan tegen welke

mate van zeespiegelstijging de Waddenzee in het verleden bestand was [24], en hoeveel sediment er in die tijd minimaal is afgezet. Zodoende werd een ondergrens van het meegroeivermogen bepaald: voor de bergingskom van het Pinkegat 6 millimeter per jaar. Het daadwerkelijke meegroeivermogen ligt dus hoger, maar hoeveel hoger kan niet uit de geologische geschiedenis worden afgeleid.

In 2012 werden de resultaten van een wetenschappelijk onderzoek [13] gepubliceerd, waarin alle dieptemetingen die sinds 1925 in de Waddenzee zijn verricht in kaart zijn gebracht en geanalyseerd. Conclusie: de Waddenzee dynamiek is in staat om voldoende sediment te importeren om bodemdaling en de snelheid van zeespiegelstijging -zoals die in die periode plaatsvond- op te vangen, mits langs de Noorzeekust voldoende sediment beschikbaar is. Dat laatste is als gevolg van de kustsuppleties het geval.

Een gezamenlijke studie van TNO en het Staatstoezicht op de Mijnen in 2015 [23] gaf aan, dat zelfs wanneer het conservatieve meegroeivermogen van 6 millimeter wordt gehanteerd, de kans op verdrinking van het Pinkegat bergingskom zo goed als nihil is. In 2018 werd met behulp van modelberekeningen voor ieder komberggebied het actuele meegroeivermogen berekend [4]. Voor het Pinkegat komt men met deze methode uit op meer dan 30 millimeter per jaar. Een dergelijk meegroeivermogen is groot genoeg om bodemdaling door gaswinning aan te kunnen, zelfs met extreme zeespiegelstijgingsscenario's daarbovenop.

Zowel metingen en observaties van het systeem als wetenschappelijke argumenten geven dus op, dat het meegroeivermogen zoals vastgelegd in het Rijksprojectbesluit onrealistisch laag is. Het is ingeschat op basis van de geologische geschiedenis, voordat de aanleg van dijken en de uitvoering van kustsuppleties de dynamiek van het waddengebied significant veranderden. Bovendien is de gemiddelde sedimentatiesnelheid over een tijdschaal van honderden dan wel duizenden jaren ongeschikt gebleken voor de vereiste voorspellingen over tientallen jaren. Voor een goed werkend Hand-aan-de-Kraan-principe is daarom aanpassing van de geschatte meegroeivermogens gewenst. Dat wordt dan ook door het adviescollege "Hand aan de Kraan Waddenzee" geadviseerd [16].

Drie variabelen met hun onzekerheden

De maximale bodemdaling die je als gevolg van gaswinning gedurende enkele decennia over een gebied ter grootte van een aantal vierkante kilometer kunt verwachten, is goed bekend. Ook het resulterende volume dat met sediment moet worden opgevuld, is zorgvuldig gekwantificeerd. Hoe het zit met de toekomstige zeespiegelstijging weten we niet precies. Men hanteert daarvoor verschillende scenario's. Dat heeft veel invloed gehad op het maatschappelijk debat, waarin het zogenaamde *worst case scenario* een grote rol speelt.

Volgens de laatste voorspellingen van het KNMI zal de zeespiegel deze eeuw nog zo'n 1,20 meter stijgen [24]. Fors meer dan de waargenomen relatieve

zeespiegelstijging van de afgelopen decennia: die bedroeg in de periode 1993-2017 langs de Nederlandse kust gemiddeld 2,4 millimeter per jaar [22] (als dat getal constant zou blijven, zou dat 24 cm per eeuw zijn). Als *worst case scenario* wordt nu 2 meter stijging in 100 jaar genoemd [24].

De discussies over de onzekerheden rond de toekomstige zeespiegelstijging krijgen in de media veel aandacht. Het meegroeivermogen van een kombergingsgebied heeft echter net zo veel invloed op de kans dat wadplaten verdrinken, als de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. Gedurende de afgelopen decennia werd zoveel sediment afgezet, dat er eerder sprake is van verlanding dan van verdrinking - ondanks de zeespiegelstijging.

De waarschijnlijkheid van extreme scenario's is klein, en de waarschijnlijkheid dat meerdere extremen tegelijkertijd optreden is nog kleiner. Als men bij het inschatten van de toekomstige wadplaatontwikkelingen het meest ongunstige zeespiegelstijgingsscenario zou koppelen aan de onderschatte meegroeivermogens, wordt een zeer onwaarschijnlijk toekomstbeeld geschetst [25]. Op dergelijke wijze met toekomstscenario's omgaan -stapeling van extremen- resulteert in slecht beleid [26]. Bij het hanteren van het Hand-aan-de-Kraan-principe, zou gebruik van een (te) conservatieve waarde voor het meegroeivermogen moeten worden vermeden.

Meegroeivermogen aanpassen

In de huidige praktijk worden bij het hanteren van het Hand-aan-de-Kraan-principe de mate en snelheid van zowel bodemdaling als zeespiegelstijging uitgedrukt in een *verwachtingswaarde*. Die verwachtingswaarde is afgeleid van een waarschijnlijkheidsverdeling: op basis van alle beschikbare kennis wordt vastgesteld hoe waarschijnlijk het is dat de zeespiegel met een bepaalde snelheid zal gaan stijgen. Telkens als het Hand-aan-de-Kraan-principe wordt toegepast, kunnen die verwachtingswaarden worden aangepast naar aanleiding van de actuele situatie en de meest recente voorspellingen aangaande de verschillende factoren die van invloed zijn op zeespiegelstijging respectievelijk bodemdaling.

De grootte van het meegroeivermogen van de verschillende kombergingsgebieden is daarentegen als een vaststaand gegeven in het Hand-aan-de-Kraan-principe opgenomen: een minimale grootte van de meegroeivermogens zoals die is afgeleid uit de geologische geschiedenis. De actuele situatie, waarnemingen en recente studies tonen aan, dat het vermogen van de wadplaten om mee te groeien gemiddeld significant hoger ligt. De grootte van het daadwerkelijke meegroeivermogen varieert van plek tot plek en van jaar tot jaar. Niettemin kan ook voor het meegroeivermogen op basis van een waarschijnlijkheidsverdeling per kombergingsgebied een realistische verwachtingswaarde worden vastgesteld [14, 17].

Wij pleiten ervoor de meegroeivermogens in het Hand-aan-de-Kraan-principe niet meer vast te leggen op vaststaande waarden, maar in plaats daarvan -net zoals voor zeespiegelstijging en bodemdaling- de grootte van de

meegroeivermogens te bepalen op basis van een waarschijnlijkheidsverdeling. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van een rijk archief aan langjarige metingen en van de laatste wetenschappelijke inzichten.

Conclusies

Met de huidige snelheid van zeespiegelstijging en bodemdaling door mijnbouwactiviteiten, is van verdrinking van het Waddengebied geen sprake. Het actuele meegroeivermogen van de Waddenzee is volgens waarnemingen en recente onderzoeken zelfs groot genoeg om zowel extreme zeespiegelstijging als bodemdaling door gaswinning te compenseren. De afgelopen decennia werd zoveel sediment afgezet, dat er eerder sprake is van verondieping en verlanding dan van verdrinking.

Het Hand-aan-de-Kraan-principe staat in dit artikel niet als zodanig ter discussie. Wel het vastgelegde meegroeivermogen, zoals dat nu daarin is opgenomen. Koppeling van het meest extreme zeespiegelscenario aan onderschatte sedimentatiewaarden leidt tot een hoogst onwaarschijnlijk toekomstbeeld voor wadplaatontwikkeling. Onjuiste besluiten kunnen hiervan het gevolg zijn. In het voorliggende vraagstuk is het mogelijk tot realistischer inschattingen te komen en passend beleid te formuleren.

Op dit moment zijn in het Hand-aan-de-Kraan-principe te lage meegroeivermogens vastgelegd. Het wad zal alleen verdrinken in het scenario, waarbij de zeespiegel sneller stijgt dan het actuele meegroeivermogen aan kan. Gaswinning of niet: in dat meest extreme scenario verdrinkt het wad sowieso. De bijdrage die bodemdaling door gaswinning in dat geval daaraan zou leveren is zeer gering, en zeker geen factor van doorslaggevende betekenis. Voor een goed werkend Hand-aan-de-Kraan-principe is aanpassing van de meegroeivermogens gewenst.

Met dank aan reviews van TNO-GDN collega's Sytze van Heteren, Michiel van der Meulen en John Zegwaard.

Voetnoten:

[A] NB: *verlanding* van het waddensysteem wordt door het Hand-aan-de-kraan-principe niet geadresseerd.

[B] Vóór 1600 was het Pinkegat kleiner dan tegenwoordig. Uit historische bronnen blijkt dat het Pinkegat, waarschijnlijk vanaf 1600, maar in ieder geval vanaf 1800 een cyclische ontwikkeling kent. Voortdurend ontwikkelt het zeegat vanuit een enkelvoudige hoofdgeul naar een meervoudige hoofdgeul en weer terug. Dergelijke cycli duren 20 tot maximaal 54 (maar waarschijnlijk maximaal 41) jaar. Daarbij neemt de jaarlijkse aangroei van de oostpunt van Ameland soms toe tot 100 m/jaar gedurende meerdere decennia. Bij het ontstaan van een nieuwe westelijk gelegen hoofdgeul kan deze aangegroeide punt in enkele jaren weer worden afgeslagen. p.86 In: Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh 1998. *Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee*. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. 372 pp

Begrippen (als gedefinieerd in het Rijksprojectbesluit 2006³):

Kombergingsgebied: het stroomgebied behorende bij één zeegat, begrensd door de dijk of kwelder of supragetijde zandplaat aan de vastelandzijde en eilandzijde en door de wantijen van de aangrenzende kombergingsgebieden, Als gevolg van de getijdenwisselingen van de Noordzee stromen de kombergingsgebieden tijdens vloed vol tot hoogwater, waarna dit getijdewater er weer uitloopt tijdens eb tot laagwater.

Kwelder: door opslibbing gevormd land dat bij normale vloed niet meer onder water komt; wordt al naar gelang de hoogteligging gekenmerkt door specifieke levensgemeenschappen.

Meegroeivermogen (van een kombergingsgebied): het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied, uitgedrukt in mm/jaar over het hele gebied, om de relatieve zeespiegelstijging (rZSS) op lange termijn bij te houden terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sediment balans in stand blijven.

Relatieve zeespiegelstijging (rZSS): de som van de stijgsnelheid van de zeespiegel en de daalsnelheid van de ondergrond, waarbij geen rekening is gehouden met erosie en sedimentatie.

Referenties:

[1] 'Risico's gaswinning onder Waddenzee vanuit Ternaard onvoldoende onderzocht' Volkskrant 6 december 2021; 'Wie beschermt de Waddenzee eigenlijk?' Volkskrant 28 november 2021; 'Waddenzee dreigt te verdrinken: maakt boren naar gas dit erger?' NU.nl 15 september 2021; 'Internationaal congres roept kabinet op Waddenzee ongemoeid te laten' NOS 10 september 2021; 19200021_RapportToekomstvandewaddenzee (waddenvereniging.nl).

[2] <https://petities.nl/petitions/stop-gaswinning-bij-de-waddenzee?locale=nl>
<https://geenvergunningvoornam.petities.nl/>
<https://www.waddenvereniging.nl/pers/10477-geen-vertrouwen-in-opzet-tot-omgevingsproces-ternaard.html>

[3] Rijksprojectbesluit Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Juni 2006

[4] Zheng Bing Wang en Ad van der Spek, Deltares 17 maart 2021: 'Meegroeivermogen en kritische zeespiegelstijgingssnelheid voor verdrinking in de Nederlandse Waddenzee'. O.a. een nadere uitleg van het begrip 'meegroeivermogen' en een beoordeling van de 6 millimeter norm.

[5] <https://www.bnnvara.nl/vroegevogels/videos/569734>

[6] Schoeman, P. K. 2006. Wadden Sea Islands (the Netherlands). Eurovision Case study, Ministry of Transport, Public works and water management, 18 pp.

[7] De Nieuws BV - 06 december 2021 - NPO Radio 1 Gemist | NPO Radio 1, tussen 13.10 en 13.25 uur een item over baggeren en Waddenzee

[8] Elk jaar wordt er meer gebaggerd in de Waddenzee, maar waar ligt de grens? - Friesch Dagblad

- [9] <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/beheer-en-ontwikkeling-rijkswateren/waddenzee/bereikbaarheid-waddeneilanden>; RWS 2020: LTOA - Lange termijn oplossingsrichtingen bereikbaarheid Ameland na 2030
- [10] P. Esselink, D. Bos, P. Daniels, W.E. van Duin & R.M. Veeneklaas, 2015: Van polder naar kwelder: tien jaar kwelderherstel Noorderleech. Puccimar rapport 06, Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. A&W rapport 1901, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden <https://edepot.wur.nl/361042>
- [11] Johan Krol, 2021, Natuurcentrum Ameland 2021: Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog
- [12] Vonhögen-Peeters, L.M., Van Heteren, S., Wiersma, A.P., De Kleine, M.P.E. and Marges, V.C., 2013. Quantifying sediment dynamics in the Dutch Wadden Sea using bathymetric monitoring series. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 1611-1616, ISSN 0749-0208.
- [13] Elias, E.P.L., Wang, Z.B., Van der Spek, A.J.F. and De Ronde, J.G., 2012: Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. Netherlands Journal of Geosciences, 91, 293-310
- [14] Oost, A.P. 1998: De geschiedenis van de Waddenzee en inschatting autonome ontwikkeling geomorfologie, p.99 In: Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. 372 pp
- [15] Deltares, 29 april 2021: Monitoring wadplaatareaal Friesche Zeegat met LiDAR (2010-2020)
- [16] Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee, 8 januari 2021: De toekomst van Hand aan de Kraan - omgaan met onzekerheden
- [17] Zheng Bing Wang, Edwin P.L. Elias, Ad J.F. van der Spek, Quirijn J. 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 / Volume 97 / Issue 3 / September 2018, Published online by Cambridge University Press: 11 October 2018, pp. 183-214
- [18] Benninghoff, M., Winter, C. (2019) Recent morphologic evolution of the German Wadden Sea. Nature, Sci Rep 9, 9293. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45683-1>.
- [19] SodM 2021: De effectiviteit van "Hand aan de kraan" bij het beoordelen van mogelijke gevolgen van mijnbouw rond de Waddenzee
- [20] Oost, A.P. 1998: De geschiedenis van de Waddenzee en inschatting autonome ontwikkeling geomorfologie, p.83 In: Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. 372 pp
- [21] Sadler, Peter M. "Sediment accumulation rates and the completeness of stratigraphic sections." The Journal of Geology (1981): 569-584.

[22] Deltares 2019: Zeespiegelmonitor 2018 - De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Notabene: tussen 8000 en 5500 jaar geleden steeg de zeespiegel sneller dan nu.

[23] Van Thienen-Visser, K., Breunese, J.N. & Muntendam-Bos, A.G, 2015. Subsidence due to gas production in the Wadden Sea: How to ensure no harm will be done to nature. ARMA 15-098

[24] KNMI -Klimaat signaal '21

[25] TNO-AGE 2018: Reactie op inhoudelijke punten bezwaar natuurorganisaties tegen actualisatie beleidsscenario zeespiegelstijging Waddenzee

[26] Zeke Hausfather & Glen P. Peters, Nature 577, 618-620 (2020) Emissions – the ‘business as usual’ story is misleading” Stop using the worst-case scenario for climate warming as the most likely outcome — more-realistic baselines make for better policy