

Zeespiegel

Zeespiegelveranderingen(regionaal) in de eenentwintigste eeuw

14 april 2011

C. Katsman (KNMI), A. Slagen (IMAU/UU), R. van de Wal (IMAU/UU), B. Vermeersen, R. Riva (TU Delft)

Hoewel je het niet zou vermoeden op een windstille dag is de zee helemaal niet vlak als een spiegel: het zeeniveau is een heuvellandschap met hoogteverschillen van honderden meters. Ook de toekomstige veranderingen als gevolg van de opwarming van het klimaat zullen niet overal even groot zijn. In een gezamenlijke studie presenteren onderzoekers van de Universiteit Utrecht, KNMI en TU Delft daarom een klimaatscenario voor de regionale zeespiegelverandering in de eenentwintigste eeuw. Zoals verwacht laten de uitkomsten grote regionale verschillen zien. Een goede schatting voor de toekomstige bijdrage van de ijskappen op Groenland en Antarctica blijkt cruciaal voor een betrouwbaar resultaat.

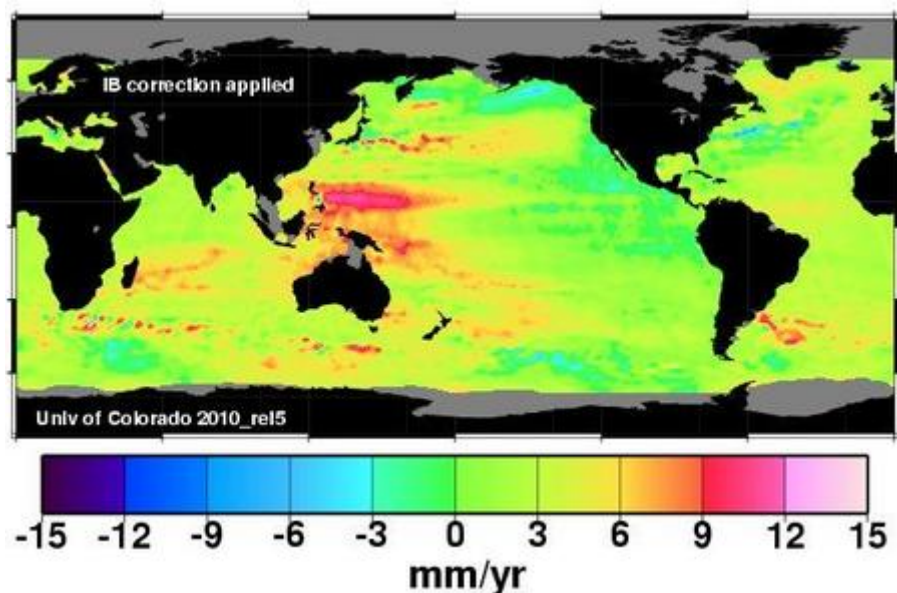
Figuur 1: Indische Oceaan (bron: C. A. Katsman / KNIOZ)



Satellietmetingen

Satellieten brengen sinds 1992 de lokale variaties in het zeeniveau in detail in kaart (figuur 2). Over die periode is het wereldgemiddelde zeeniveau gestegen met ongeveer 3 millimeter per jaar. Maar er zijn gebieden waar de stijging over die periode veel groter was (bijvoorbeeld bij Indonesië) en ook gebieden waar de zeespiegel is gedaald in die tijd (bij Alaska en langs de Amerikaanse westkust). Ook voor de toekomst verwachten we geen uniforme stijging van het zeeniveau in reactie op de opwarming van de aarde.

Figuur 2: Trend in zeeniveau gemeten door satellieten (in millimeters per jaar) gemiddeld over 1993-2010. De wereldgemiddelde stijging over deze periode bedraagt 3 millimeter per jaar [bron: University of Colorado, VS]



Regionale zeespiegelveranderingen

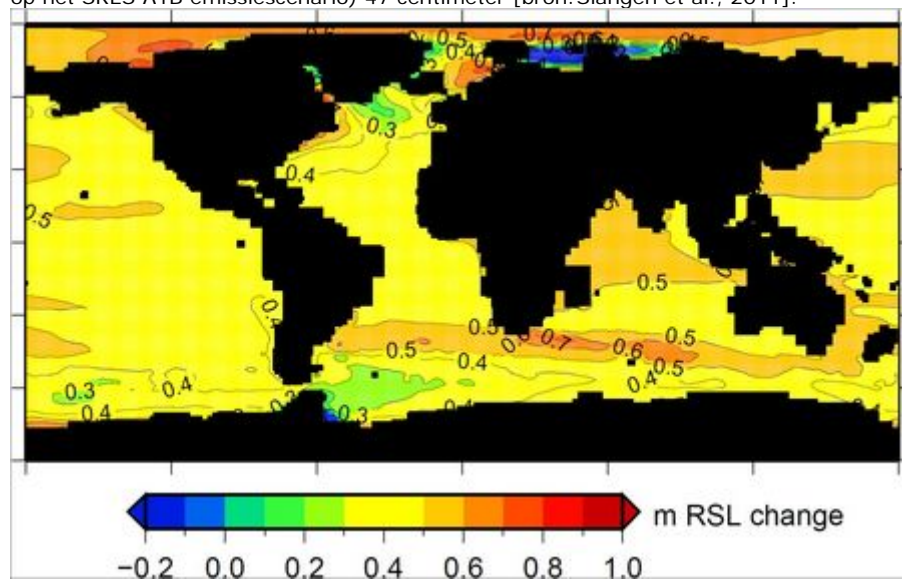
Naast de bekende klimaatscenario's voor de wereldgemiddelde zeespiegelstijging (zoals onder meer gepubliceerd in het 4e Assessment Report van het Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 4AR) is het daarom belangrijk om regionale zeespiegelverwachtingen te maken. Een gezamenlijke studie van de Universiteit Utrecht, KNMI en TU Delft beschrijft een belangrijke eerste stap in die richting. In deze regionale verwachting wordt de wereldgemiddelde bijdrage van het uitzetten van de oceaan door opwarming (thermische expansie) en het smelten van gletsjers over de gehele aarde en de ijskappen op Groenland en Antarctica berekend op een vergelijkbare wijze als in het IPCC 4AR rapport. Daarnaast wordt rekening gehouden met

effecten die van invloed zijn op de lokale zeespiegel: regionale variaties in uitzetting gerelateerd aan veranderingen in oceaanstromingen, verticale landbewegingen als gevolg van het verdwijnen van ijs sinds de laatste ijstijd, en het zogenaamde zelfgravitatie effect.

** In de KNMI'06 klimaatscenario's voor Nederland zijn het zelfgravitatie effect en verticale landbewegingen als gevolg van het verdwijnen van ijs sinds de laatste ijstijd (nog) niet meegenomen.*

Figuur 3 laat de berekende regionale zeespiegelverandering voor het jaar 2100 ten opzichte van het niveau van 1990 zien. Volgens dit klimaatscenario bedraagt de wereldgemiddelde stijging 47 centimeter. Maar in het Arctisch gebied en in de subtropen op het Zuidelijk Halfrond verwachten we een zeespiegelstijging die enkele decimeters hoger is. Bij het Antarctisch Schiereiland en in het noorden van de Atlantische Oceaan stijgt het zeeniveau naar verwachting minder dan gemiddeld, of daalt deze zelfs. Voor de West-Europese kust is de verwachte stijging iets groter dan gemiddeld.

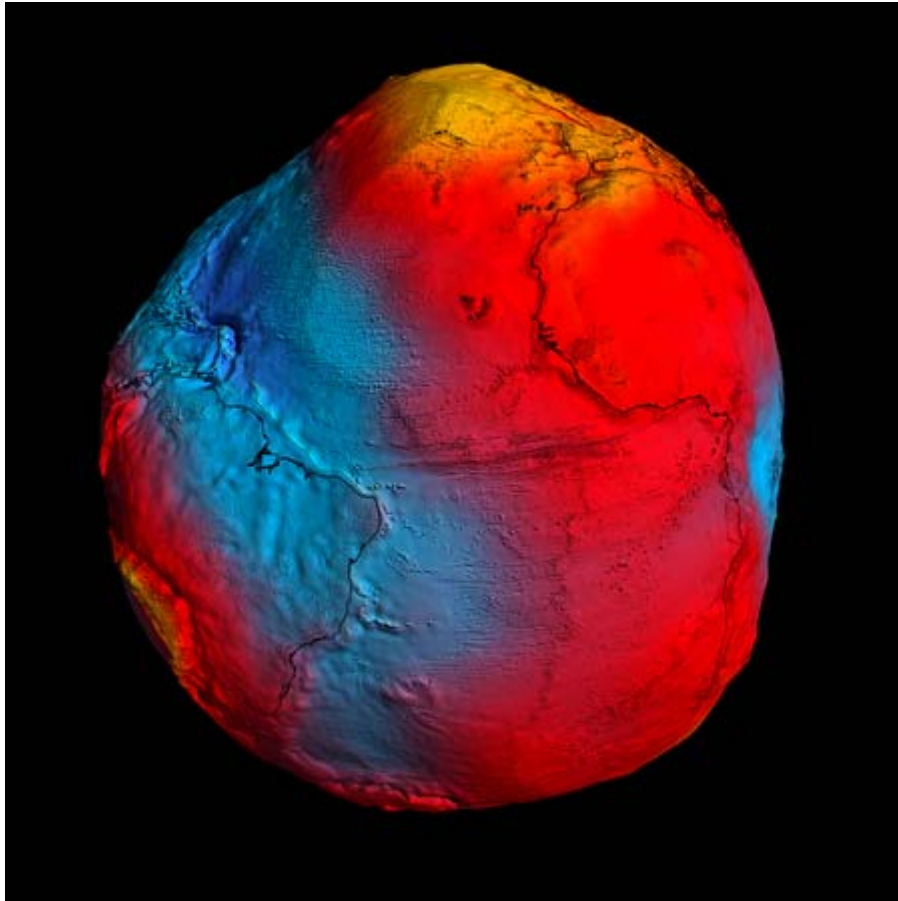
Figuur 3: Kaart van de verwachte verandering in het lokale zeeniveau in het jaar 2100 ten opzichte van het niveau van 1990. Gemiddeld over alle oceanen bedraagt de stijging volgens dit klimaatscenario (gebaseerd op het SRES A1B emissiescenario) 47 centimeter [bron: Slangen et al., 2011].



Oorzaken

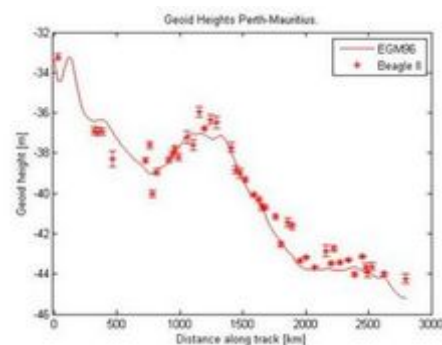
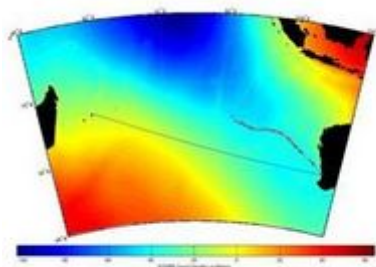
De belangrijkste oorzaken voor lokale verschillen in zeeniveau zijn de aanwezigheid van oceaanstromingen en regionale variaties in het zwaartekrachtsveld van de aarde. Het zwaartekrachtsveld van de aarde bepaalt de ruststand van het zeeoppervlak. Omdat het gewicht van het gesteente in de aardmantel (en in mindere mate in de aardkorst) en de erdoor veroorzaakte topografiebijdragen niet overal gelijk zijn, is deze ruststand (de geoïde genaamd) verre van vlak (figuur 4). Waar het zwaartekrachtsveld sterker dan gemiddeld is, is het zeeniveau hoog (het water wordt naar die plek toe getrokken) en omgekeerd. De heuvels en dalen in de geoïde lopen op tot wel 100 meter.

Figuur 4: Geoïde (ruststand van het zeeoppervlak voor een aarde zonder continenten) gemeten door de Europese GOCE satelliet. De kleuren representeren hoogteverschillen van -100 m (blauw) tot + 100 m (geel) [bron: ESA]



Ook oceaanstromingen zijn geassocieerd met variaties in het zeeniveau. Analoog aan de situatie in de atmosfeer, waar aardrotatie en hoge- en lagedrukgebieden de windrichting en windsterkte bepalen, zijn oceaanstromingen onlosmakelijk verbonden met variaties in zeehoogte. Voor sterke stromingen is het hoogteverschil een paar meter.

Figuur 5: GPS-metingen van het zeeniveau gedaan aan boord van de clipper "Stad Amsterdam" ("BEAGLE II") over een 2800 km lang traject in de Indische Oceaan van Perth richting Mauritius (rode kruisjes). De kleuren op de kaart en de rode lijn in de grafiek representeren de oceaanoogte zoals gemeten met satellieten. De grilligheid van de GPS-metingen in de grafiek is met name te wijten aan de hoge golven die de clipper te verduren kreeg in de zuidelijke Indische Oceaan [bron: B. Vermeersen en H. van der Marel (TU Delft) / Fugro Leidschendam].

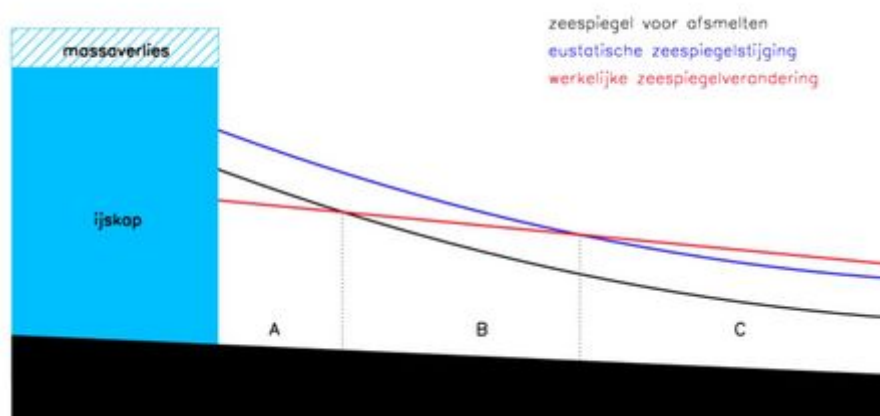


Deze variaties in het zeeniveau dempen niet uit zoals golven in een badkuip, maar zijn altijd aanwezig. Dit wordt gemeten met satellieten, maar is ook te meten met een GPS-ontvanger op een boot, net zoals je met een GPS-ontvanger ook de hoogte tijdens een bergwandeling kunt bepalen. Zo voer de clipper "Stad Amsterdam" in maart 2010 over de Indische Oceaan van Perth, Australië naar Mauritius aan de oostkust van Africa. Over dit traject daalde het zeilschip eerst van -33 meter naar -45 meter, en steeg vervolgens naar +10 meter ten opzichte van het gebruikte referentievlak (figuur 5). Over dit traject in de Indische Oceaan heeft het oceaanooppervlak dus een diep dal.

Zelfgravitatie

Smeltwater afkomstig van landijs zal zich niet evenredig verdelen over de oceanen, als gevolg van het zogenaamde zelfgravitatie effect. Het zeeniveau is relatief hoog in de buurt van een ijskap omdat het water door de zwaartekracht naar de op het land liggende ijsmassa toe getrokken wordt (figuur 6). Wanneer (een deel van) het landijs smelt, verdwijnt ook (een deel van) de aantrekkende werking ervan op het zeewater. Daarom zal de zeespiegel gemiddeld over de oceaan stijgen, maar zal deze ook kantelen. Het netto effect van het smelten van landijs en het bijbehorende zelfgravitatie effect is dat er in een gebied dicht bij de ijskap (gebied A in figuur 6) zeespiegeldaling plaatsvindt. Verder van de ijskap (gebied B) treedt wel zeespiegelstijging op maar deze is minder groot dan de wereldgemiddelde stijging. Ver van de ijskap (gebied C) is de zeespiegelstijging groter dan gemiddeld.

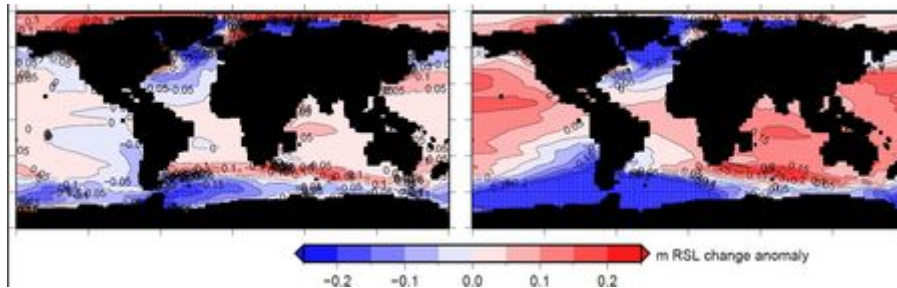
Figuur 6: Illustratie van het effect van zelfgravitatie op de lokale zeespiegel. Zwart: oorspronkelijke zeespiegel, blauw: wereldgemiddelde (eustatische) zeespiegelstijging als gevolg van het smelten van de ijskap, rood: werkelijke zeespiegelverandering door het zelfgravitatie effect. Het zelfgravitatie effect zorgt alleen voor een herverdeling van het smeltwater. Gebied A strekt zich uit tot een afstand van ongeveer 2200 kilometer van de ijskap, gebied B tot een afstand van ongeveer 6700 km. Als de ijskap in de figuur Groenland voorstelt dan ligt Nederland in gebied B. Als de ijskap in de figuur Antarctica voorstelt dan ligt Nederland in gebied C [bron: C. A. Katsman/KNMI en Bert Vermeersen/TU Delft].



Bijdrage ijskappen

De meest onzekere bijdrage in berekeningen van de toekomstige zeespiegelveranderingen is die van de ijskappen van Groenland en Antarctica. Over de afgelopen 10 tot 15 jaar hebben de ijskappen meer en meer massa verloren. De bijdrage gepresenteerd in IPCC 4AR, gebaseerd op metingen tot het jaar 2006, is daarom misschien een onderschatting van de ijsbijdrage die we deze eeuw kunnen verwachten. Ter onderbouwing van het rapport van de nieuwe Deltacommissie (commissie Veerman) heeft een internationaal team van experts recent een "extremum" zeespiegelscenario ontwikkeld. In dit extreme klimaatscenario is vooral de bijdrage van de ijskappen hoger geschat dan in IPCC 4AR (20 tot 60 centimeter in plaats van 10 tot 20 centimeter). Een dergelijk grote landijsbijdrage resulteert niet alleen in een veel hogere schatting voor de verwachte wereldgemiddelde stijging van het zeeniveau, maar beïnvloedt ook het regionale patroon als gevolg van het zelfgravitatie-effect (figuur 7). Wanneer de bijdrage van de ijskappen groot is zal het zeeniveau in de buurt van de ijskappen relatief laag zijn, en extra stijgen in de tropen. Bij de West-Europese kust voorziet dit klimaatscenario met een extreme ijskapbijdrage in een lager dan gemiddelde zeespiegelstijging. De berekende veranderingen in het zeeniveau zijn dus zeer gevoelig voor de aangenomen toekomstige bijdrage van de ijskappen op Groenland en Antarctica. Voor Nederland maakt het veel uit voor de verwachting van het toekomstige zeeniveau of de afsmelting veroorzaakt wordt door het kleiner worden van Groenland of door het kleiner worden van Antarctica. Voor betrouwbare regionale verwachtingen zijn goede schattingen van beide bijdragen daarom cruciaal.

Figuur 7: Kaart van de verwachte afwijking van het lokale zeeniveau ten opzichte van de gemiddelde stijging over 1990-2100, voor een klimaatscenario met een (links) kleine en (rechts) grote bijdrage van de ijskappen van Groenland en Antarctica. De bijbehorende wereldgemiddelde stijging bedraagt respectievelijk (links) 47 centimeter en (rechts) 102 centimeter [bron: Slangen et al., 2011].



Literatuur

- Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios, A.B.A. Slangen, C.A. Katsman, R.S.W. van de Wal, L.L.A. Vermeersen, R.E.M. Riva, *Climate Dynamics*, 2011, doi:10.1007/s00382-011-1057-6
- Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta - the Netherlands as an example, C. A. Katsman, A. Sterl, J. J. Beersma, H. W. van den Brink, J. A. Church, W. Hazeleger, R. E. Kopp, D. Kroon, J. Kwadijk, R. Lammersen, J. Lowe, M. Oppenheimer, H.-P. Plag, J. Ridley, H. von Storch, D. G. Vaughan, P. Vellinga, L. L. A. Vermeersen, R. S. W. van de Wal, R. Weisse, *Climatic Change*, 2011, doi:10.1007/s10584-011-0037-5.

Nieuwsbrief

Via http://www.knmi.nl/maillinglists/kenniscentrum/maillinglist_aanmelden.html kunt u zich kosteloos abonneren op het kenniscentrum. Eens per maand ontvangt u een e-mail met een overzicht van de artikelen die de afgelopen maand op het Kenniscentrum zijn verschenen.

Eerste uitgave: 14-04-11