



Douwe Dillingh, Deltares

Fedor Baart, Deltares / TU Delft, afdeling Waterbouwkunde

John de Ronde, Deltares

Is er al een versnelde zeespiegelstijging?

Dat de gemiddelde zeespiegel wereldwijd stijgt, is inmiddels algemeen bekend. Veel is echter nog onduidelijk; de berichten zijn soms tegenstrijdig. Gepubliceerde scenario's voor de toekomstige zeespiegel geven echter alle voor de komende honderd jaar een versnelde stijging aan. Sommige auteurs zien daar in de metingen al een aanwijzing voor, anderen juist voor vertraagde. Satellietmetingen laten overigens weer wat anders zien dan traditionele metingen van getijmeetstations langs kusten. De vraag die dan opkomt, is in hoeverre Nederland nu rekening moet houden met versnelde zeespiegelstijging. Dit is een actuele vraag, met name voor Rijkswaterstaat als beheerder van de Nederlandse kust.

De zandige Nederlandse kust wordt op z'n plaats en op 'niveau' gehouden door middel van zandsuppleties. Het huidige kustbeleid is erop gericht de kust en de vooroever net zo hard mee te laten stijgen als de zeespiegel. Voor het programmeren van de suppleties is het dus nodig inzicht te hebben in de zeespiegelstijging van nu en voor de komende jaren langs de Nederlandse kust.

Kustbeleid

Duinen, strand en onderwateroevers vormen een natuurlijke waterkering die voortdurend in beweging is door natuurkrachten. Als sprake is van een dynamisch evenwicht, is er niets aan de hand. Dan verdwijnt gemiddeld netto evenveel zand uit het systeem als er binnenkomt. Als dit dynamisch evenwicht verstoord wordt, ontstaan problemen. Die verstoring kan veroorzaakt worden door menselijke ingrepen in het kuststelsel, zoals de aanleg van civieltechnische kunstwerken (bijvoorbeeld havenwerken en afsluitdampen), door baggerwerkzaamheden, maar ook door invloeden van buiten het systeem, zoals veranderingen in het windklimaat en zeespiegelstijging.

Zeespiegelstijging is voor Nederland een belangrijke oorzaak van structurele kusterosie. Het bestaande kustprofiel past niet meer bij verhoogde gemiddelde hydraulische omstandigheden (waterstanden en golven). Hierdoor ontstaat een herverdeling van het zand in het

dwarsprofiel totdat profiel en hydraulische omstandigheden weer in evenwicht zijn. De vooroever wordt daarbij ongeveer zoveel opgehoogd als de zeespiegel stijgt. Het daarvoor benodigde zand wordt aan de duinkust onttrokken, met als resultaat een eroderende kust. De werkelijkheid is natuurlijk veel gecompliceerder, maar als eenvoudig model van de oorzaak van kusterosie als gevolg van zeespiegelstijging valt dit goed te begrijpen.

Met het oog op behoud van veiligheid tegen overstromen en bescherming van de vele functies en waarden van de kust is blijvende kustachteruitgang niet meer acceptabel. Daarom is in 1990 (1e Kustnota) besloten om de kustlijn te handhaven op de plaats waar hij lag in dat jaar. Dit wordt de basiskustlijn genoemd. Men spreekt in dit verband over het 'dynamisch handhaven' van de kustlijn. Voor een aantal kustgebieden is geen basiskustlijn gedefinieerd, zoals de strandvlakten op de uiteinden van sommige waddeneilanden. Hier is de veiligheid niet in het geding en laat men de natuur zoveel mogelijk haar gang gaan. De basiskustlijn geeft ongeveer de positie weer van de gemiddelde laagwaterlijn in 1990.

In de Nota Ruimte van 2006 is het begrip kustfundament ingevoerd. Om duurzame veiligheid tegen overstroming vanuit zee te waarborgen, wordt het nodig geacht dit kustfundament in stand te houden en daarin voldoende ruimte beschikbaar te hebben voor versterking van de zeewering. Het

kustfundament wordt volgens deze nota zeewaarts begrensd door de doorgaande NAP-20 m.-lijn.

Aan de landzijde omvat het kustfundament alle duingebieden en alle daarop gelegen harde zeeweringen. De landwaartse grens valt bij smalle duinen en dijken samen met de grens van de waterkering, uitgebreid met de ruimtereservering voor 200 jaar klimaatverandering en omvat waar de duinen breder zijn dan de waterkering, het gehele duingebied.

Beleidsscenario's voor zeespiegelstijging

In de 3e kustnota 'Traditie, Trends en Toekomst' van december 2000 wordt een sterke relatie gelegd tussen kustveiligheid en ruimtegebruik. Vooral versnelde zeespiegelstijging vergt in de toekomst bredere en sterkere waterkeringen. Vanaf het land wordt de kust echter door steeds meer functies gebruikt, die de ruimte voor verbreding van de waterkeringen beperken. Er zal dus ruimte gereserveerd moeten worden.

Gezien de grote onzekerheden over de omvang van toekomstige zeespiegelstijging, wordt voor het beleid en beheer uitgegaan van scenario's:

- een minimaal scenario van 20 cm per eeuw: toepassen bij beslissingen met korte ontwerpduur (levensduur waarop de constructie wordt ontworpen; hier ongeveer vijf jaar), geringe investering of hoge mate van flexibiliteit (zandsuppleties);

- een middenscenario van 60 cm per eeuw: toepassen bij beslissingen met langere ontwerpduur (50 tot 100 jaar), grote investering en weinig flexibiliteit (dijken en stormvloedkeringen);
- een maximaal scenario van 85 cm per eeuw + 10% toename wind: toepassen bij reservering van ruimte.

Er wordt dus niet altijd uitgegaan van het ongunstigste scenario, mits er voldoende mogelijkheid blijft voor maatregelen als het tegenvalt. Dus hoe moeilijker het wordt tegenvallers op te vangen, des te hoger het toe te passen scenario.

Deze beleidsscenario's voor zeespiegelstijging moeten wel onderscheiden worden van klimaatscenario's zoals die door het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) van de Verenigde Naties en door het KNMI gemaakt worden (zie verderop in dit artikel). De klimaatscenario's van het IPCC (mondiaal) en het KNMI (voor Nederland) zijn gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek en worden elke vijf of zes jaar geactualiseerd op basis van de nieuwste inzichten. De beleidsscenario's vertalen deze inzichten naar de problemen van het betrokken beleidsterrein. Ze hoeven dan ook niet per definitie elke keer mee te wijzigen met de wetenschappelijke scenario's; een langere houdbaarheid is over het algemeen zelfs gewenst.

De Deltacommissie 2008 (Commissie Veerman) gaat in haar advies uit van een absolute zeespiegelstijging voor Nederland van 0,55 tot 1,20 meter in 2100 ten opzichte van 1990. Dit wordt door haar gezien als een plausibel bovengrensscenario. Omdat in het huidige kustbeleid uitgegaan wordt van de KNMI'06-scenario's is het bovengrensscenario van de Deltacommissie 2008 hier verder buiten beschouwing gelaten.

Meegroeien met de zeespiegel

Het huidige kustbeleid is dus gericht op het handhaven van de basiskustlijn en het laten meegroeien van het kustfundament met

de zeespiegel. In de praktijk gebeurt dat door het suppleren (aanvullen) van zand, afkomstig van de Noordzeebodem zeewaarts van de NAP-20 m.-lijn. Deze suppleties worden zoveel mogelijk uitgevoerd als onderwatersuppleties in het kustfundament, waarna natuurlijke processen zorgen voor verder transport langs de kust en naar de kust toe. Omdat de Waddenzee en de Westerschelde in morfologische zin één systeem, het kuststelsel, vormen met het kustfundament, groeien ze ook mee met de zeespiegel. Als het nodig is voor het handhaven van de basiskustlijn, wordt op het strand gesuppleerd. De totale benodigde hoeveelheid te suppleren zand is in beginsel gelijk is aan het oppervlak van het kuststelsel vermenigvuldigd met de zeespiegelstijging. De geschatte waarde voor de zeespiegelstijging is dus zeer bepalend voor het schatten van het benodigde suppletievolume.

Ook de waterkeringen groeien als het ware mee met de zeespiegel. In de Waterwet van januari 2009 is geregeld dat elke zes jaar de veiligheid van de primaire waterkeringen moet worden beoordeeld. Voor elke toetsperiode worden de hydraulische randvoorwaarden waaraan deze waterkeringen moeten voldoen, geactualiseerd op veranderende belastingen, zoals door zeespiegelstijging. Bij het ontwerpen van eventueel benodigde versterkingen wordt rekening gehouden met toekomstige zeespiegelstijging volgens de beleidsscenario's voor zeespiegelstijging. De gemiddelde hoogwaterstanden langs de Nederlandse kust stijgen gemiddeld iets sneller dan de gemiddelde zeespiegel. Dat is belangrijk voor waterkeringen. Hiervoor wordt een toeslag van vijf centimeter per eeuw op de toekomstige zeespiegelstijging in rekening gebracht.

Nu al rekening houden met versnelde zeespiegelstijging?

Uit het voorgaande volgt dat al rekening gehouden wordt met versnelde zeespiegelstijging bij beslissingen met langere

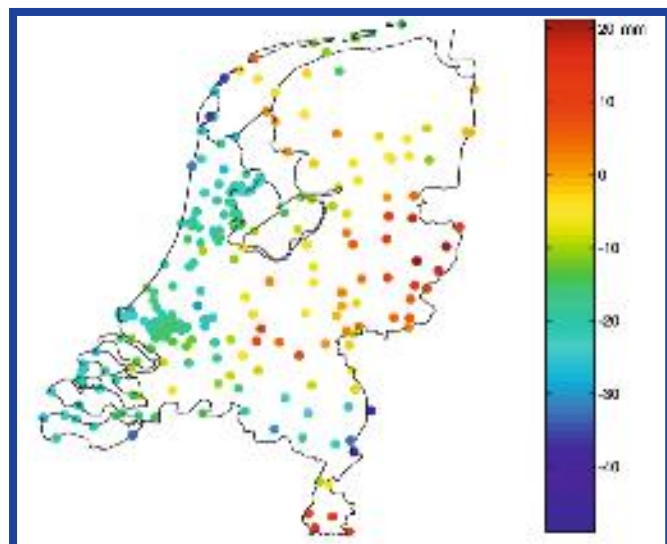
ontwerplevensduur, grote investeringen en weinig flexibiliteit en bij het reserveren van ruimte voor toekomstige versterking van de waterkeringen. De vraag is of er voor het benodigde suppletievolume voor de nabije toekomst ook al rekening moet worden gehouden met versnelde zeespiegelstijging of dat hiervoor volstaan kan worden met het huidige scenario van 20 cm per eeuw. De afgelopen jaren is gemiddeld ongeveer twaalf miljoen kubieke meter zand per jaar gesuppleerd, terwijl voor de gemiddelde zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust 18 cm per eeuw werd aangehouden. Inmiddels wordt uitgegaan van een gemiddelde zeespiegelstijging van 20 cm per eeuw, waarvoor naar de huidige inzichten een suppletievolume van circa 14 miljoen kubieke meter per jaar nodig is om met de zeespiegel mee te groeien.

De NAP-publicatie 2005

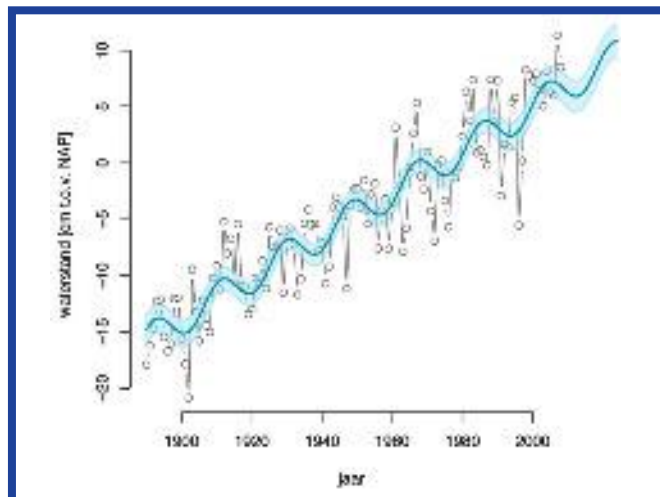
In Nederland worden waterstanden gemeten ten opzichte van het NAP (Normaal Amsterdams Peil). Voor de landelijke verspreiding van het NAP-vlak bestaat een netwerk van ondergrondse merken, waartoe ook de nulpalen van de waterstandmeetstations behoren. Ze zijn alle gefundeerd op het pleistoceen. De instandhouding van het NAP is thans ondergebracht bij de Data-ICT-Dienst van de Rijkswaterstaat.

Na de vijfde nauwkeurigheidswaterpassing (1996-1999) is vast komen te staan dat ongewenste verschillen bestaan tussen de formele hoogtes van ondergrondse merken en nulpalen en de werkelijke hoogtes volgens uit de recente metingen. Om die reden is besloten een nieuwe NAP-publicatie uit te brengen die de werkelijke hoogteverschillen weer correct weergeeft. Op 1 januari 2005 is deze publicatie ingevoerd en zijn de hoogtes van de NAP-bouten en -peilmerken aangepast. Afbeelding 1 toont de hoogteverschillen van alle ondergrondse merken en nulpalen voor en na deze NAP-publicatie. Het gebied rond de aardgaswinning in Groningen is hierin weggelaten. In deze figuur zijn bekende structuren

Afb. 1: De verschillen tussen de hoogten van het primaire net voor en na de NAP-publicatie van 1 januari 2005. De figuur geeft een redelijke indicatie voor de relatieve bewegingen die hebben plaatsgevonden (afkomstig van RWS-DID).



Afb. 2: De knopencyclus in de tijdreeks vanaf 1890 van het gemiddelde van de tijdreeksen van de jaargemiddelde waterstanden van de zes hoofdstations. Op de verticale as staat het gemiddelde zeeniveau langs de kust (in cm). De lichtblauwe lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressielijn (donkerblauwe lijn). De amplitude van de sinusoid (zwarte lijn) bedraagt 2,5 cm.



veroorzaakt door geologische processen (compactie, isostasie en tektoniek) te herkennen. Te zien is dat Nederland in grote lijn afloopt in de richting van de Noordzee, volgens een kanteling om een noordoost-zuidwest gerichte as. Daar bovenop zijn kleinschaliger bewegingen aanwezig waarin bepaalde geologische structuren zijn te herkennen, zoals de Roerdalslenk, de Peelhorst en het Zuiderzeebassin.

Correctie gemiddelde waterstanden na NAP-publicatie 2005

Met de discontinuïteiten in de waterhoogtegegevens door de NAP-publicatie moet wel rekening worden gehouden bij trendanalyses van jaargemiddelde waterstanden. Tabel 1 geeft de hoogtwijzigingen weer van de zes stations die hier verder worden geanalyseerd. Van deze stations zijn lange tijdreeksen beschikbaar. Ze liggen bovendien goed verspreid langs de Nederlandse kust. Om te voorkomen dat de wijzigingen van 2005 tot onjuiste conclusies over de zeespiegelstijging leiden, zijn de data vanaf 1 januari 2005 gecorrigeerd alsof er geen NAP-publicatie 2005 was ingevoerd. De aldus bepaalde zeespiegelstijging is relatief ten opzichte van een vast punt op de nulpaal van het peilmeetstation en dus ook ten opzichte van de bovenkant van het pleistoceen langs de kust, en niet ten opzichte van het NAP. Dat betekent dat behalve de zeespiegelstijging ook de daling van de kust en het kustfundament in de meetwaarden is meegenomen. Dat is van belang, omdat zeespiegelstijging en bodemdaling een vergelijkbaar effect hebben op de kusterosie.

Correctie gemiddelde waterstanden voor de 18,6-jarige cyclus

Astronomische getijcomponenten met periodes veel kleiner dan een jaar worden in de jaargemiddelde waterstanden uitgemiddeld. Dat geldt echter niet voor getijcomponenten met een periode langer dan een jaar. Spectraalanalyse op de data van de zes hoofdstations en de gemiddelde tijdreeks van die stations heeft laten zien dat een component met een periode van 18,6 jaar, de zogenaamde knopencyclus, in de meeste tijdreeksen duidelijk aanwezig is. Deze cyclus zorgt voor een periodieke stijgings- en dalingsbijdrage in de tijdreeksen van de jaargemiddelde zeestanden. Afbeelding 2 laat dat zien voor de gemiddelde tijdreeks voor de zes hoofdstations. Hierbij is de som van een lineaire trendlijn en een sinusfunctie met een periode van 18,6 jaar gefit aan de data door middel van een kleinste kwadraten-aanpassing. Om te voorkomen dat de analyseresultaten worden beïnvloed door deze cyclus, zijn de gebruikte tijdreeksen ook hiervoor gecorrigeerd.

Is al een versnelde zeespiegelstijging te zien?

Om een eventuele versnelling aan te kunnen tonen, zijn eerst lineaire trends berekend op de gecorrigeerde tijdreeksen van de zes hoofdstations en hun gemiddelde tijdreeks. Vervolgens is aan deze lineaire regressielijnen een kwadratische term toegevoegd, die dus

| naam | hoogte oud NAP (m.) | hoogte nieuw NAP (m.) | verschil (m.) |
|------------------|---------------------|-----------------------|---------------|
| Delfzijl | 4,2853 | 4,2771 | -0,0082 |
| Harlingen | 6,9925 | 6,9860 | -0,0065 |
| Den Helder | 6,2707 | 6,2539 | -0,0168 |
| IJmuiden | 4,4713 | 4,4495 | -0,0218 |
| Hoek van Holland | 4,8548 | 4,8271 | -0,0277 |
| Vlissingen | 4,6998 | 4,6701 | -0,0297 |

Tabel 1: Hoogtwijzigingen m.i.v. 1 januari 2005 van de nulpalen bij de zes geanalyseerde kuststations.

een bepaalde kromming van de trendlijn toestaat, en is gekeken of dit een significante verbetering opleverde van de verklaarde variantie van de tijdreeksen. Dat bleek alleen voor Den Helder het geval. De gemiddelde zeespiegel voor de Nederlandse kust stijgt al ruim 100 jaar min of meer lineair. Dat is met het oog zichtbaar en wordt bevestigd door de uitgevoerde analyses. Er is geen sprake van een significant versnelde zeespiegelstijging. Afbeelding 3 laat ter illustratie de lineaire regressielijn zien voor de gemiddelde tijdreeks van de zes hoofdstations.

De gemiddelde lineaire stijgsnelheid langs de Nederlandse kust, berekend over de periode 1890-2008, bedraagt 19 cm per eeuw, met een bijbehorend betrouwbaarheidsinterval van 17 tot 20 cm per eeuw, ten opzichte van de bovenkant van het pleistoceen. Alle waarden zijn hierbij afgerond op hele centimeters.

Analyseperiode

Een belangrijke vraag is hoe lang de tijdreeks moet zijn om een goed beeld te krijgen van de huidige zeespiegelstijging, uitgaande van een lineaire trendlijn. Tabel 2 laat de lineaire trends zien voor de stations en voor de gemiddelde tijdreeks voor enkele analyseperiodes. De tabel toont duidelijk de gevoeligheid van de berekende trend voor de reeks waarover hij wordt berekend. De analyseperiode 1993-2008 is toegevoegd, omdat vanaf 1993 satellietdata beschikbaar zijn (zie verderop). Kennelijk is het nodig een relatief lange analyseperiode te gebruiken

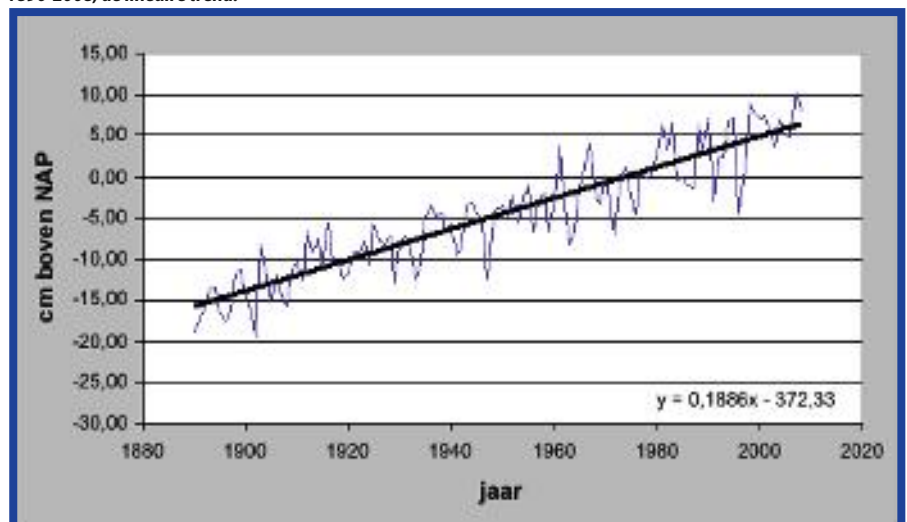
voor een robuuste schatting volgens een lineaire trend. Voor de Nederlandse kust lijkt hiervoor een analyseperiode van minstens 50 à 60 jaar nodig te zijn.

Mondiale zeespiegelstijging volgens peilmeetstations en satellieten

De vraag kan gesteld worden hoe de resultaten voor de Nederlandse kust zich verhouden tot die van buitenlandse stations en de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging. In het vierde beoordelingsrapport van het IPCC (uit 2007) wordt de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging over de 20e eeuw geschat op 17 cm per eeuw. De moeilijkheid bij het afleiden van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging uit metingen van peilmeetstations over lange periodes is de ongelijke geografische verdeling van de stations en de verticale beweging van het land waarop ze staan. Correcties voor verticale bodembeweging beruisten primair op modellen van de *glacial isostatic adjustment* (GIA). In de nabije toekomst zullen de meetreeksen met behulp van GPS lang genoeg zijn om betere schattingen te kunnen geven van de werkelijke bodemdalingcomponenten in de meetreeksen van de peilmeetstations.

Vanaf 1993 zijn meetgegevens van de zeespiegel beschikbaar vanuit satellieten. De mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging volgens deze metingen bedraagt volgens een lineaire trendlijn 3,2 mm per jaar (32 cm per eeuw) over de periode 1993-2011, inclusief een GIA-correctie die een verhoging

Afb. 3: Gemiddelde waterstand, gemiddeld over de zes hoofdstations, met gecorrigeerde data in de periode 1890-2008; de lineaire trend.



| station | 1890-2008 | 1950-2008 | 1993-2008 | 1959-2008, laatste 50 jaar | 1969-2008, laatste 40 jaar | 1979-2008, laatste 30 jaar | 1989-2008, laatste 20 jaar | 1999-2008, laatste 10 jaar |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Delfzijl | 19 | 23 | 19 | 23 | 25 | 21 | 21 | -15 |
| Harlingen | 13 | 16 | 43 | 15 | 15 | 12 | 36 | 12 |
| Den Helder | 15 | 18 | 22 | 20 | 27 | 15 | 19 | 3 |
| IJmuiden | 22 | 19 | 24 | 22 | 30 | 19 | 31 | -3 |
| Hoek van Holland | 24 | 28 | 30 | 33 | 31 | 21 | 30 | 4 |
| Vlissingen | 21 | 17 | 38 | 20 | 26 | 26 | 39 | 38 |
| gemiddelde | 19 | 20 | 29 | 22 | 26 | 19 | 29 | 7 |

Tabel 2: Trends gemiddelde zeestanden (gecorrigeerde data) volgens lineaire regressie voor verschillende analyseperiodes (afgerond, cm/eeuw).

van de waarde voor de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging geeft van drie centimeter per eeuw.

Opmerkelijk is de verlaging van de mondiaal gemiddelde zeespiegel in 2010. Deze wordt toegeschreven aan effecten van El Niño/La Niña Southern Oscillation (ENSO), een oscillerend klimatologisch patroon (luchtdruk en watertemperatuur) dwars over de tropische Stille Oceaan met een periode van ruwweg vijf jaar. De satellietmetingen geven een goed beeld van de regionale verschillen in zeespiegelstijging. Afbeelding 4 laat gebieden zien met een stijging die een aantal malen groter is dan de mondiaal gemiddelde stijging en gebieden met zelfs een zeespiegeldaling over de betreffende periode. Dat betekent dat de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust af kan wijken van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging.

Dat de satellieten een grotere stijging laten zien dan de kuststations, wil nog niet zeggen dat sprake is van een versnelling. Satellieten meten een andere grootte met een ander meetinstrument en voor andere locaties. Bovendien is de beschikbare tijdreeks nog relatief kort en laten de tijdreeksen van het jaargemiddelde van de mondiaal gemiddelde zeespiegel de nodige fluctuaties zien.

Als rekening wordt gehouden met de knopencyclus, geven de satellietmetingen voor de Noordzee een absolute zeespiegelstijging van 7 cm per eeuw. Door de korte reeks is de betrouwbaarheid hiervan niet groot.

Koppeling metingen en projecties

In 2006 publiceerde het KNMI zijn klimaatscenario's voor Nederland: de KNMI'06-scenario's. Deze geven voor de zeespiegelstijging projecties met een marge van 15 tot 35 cm voor het jaar 2050 en van 35 tot 85 cm voor het jaar 2100, beide ten opzichte van 1990. Het huidige Deltaprogramma, dat maatregelen en voorzieningen bevat voor waterveiligheid en adequate zoetwatervoorziening in de toekomst, gaat ook uit van deze marge voor het jaar 2100. Het verschil tussen de KNMI'06-projecties en die van het vierde beoordelingsrapport van het IPCC (18-59 cm in 2100) zit voornamelijk in een extra regionale zeespiegelstijging in het noordoosten van de Atlantische Oceaan van 0-15 cm, omdat het water van

de warme Golfstroom hier naar de diepte gaat en de bijdrage van de uitzetting van het zeewater door temperatuurverhoging dus relatief groot is (opwarming over grotere diepte). Bovendien heeft het KNMI wel een (zij het nog zeer onzekere) bijdrage van de waargenomen versnelde ijsuitstroom aan de randen van de Groenlandse en Antarctische ijskap in de cijfers verwerkt.

De centrale waarde van 60 cm en de bovengrens van 85 cm van de KNMI'06-scenario's voor zeespiegelstijging zijn dus getalsmatig in overeenstemming met de waarden van het vigerende middenscenario respectievelijk maximumscenario van het huidige kustbeleid.

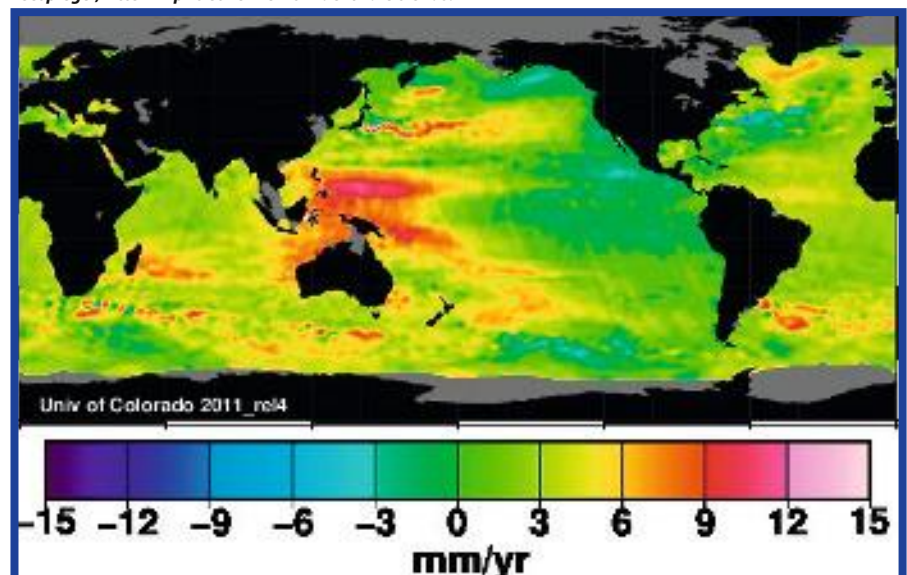
Voor het schatten van de suppletiebehoefte voor de komende jaren zijn de projecties voor één of twee jaartallen niet voldoende, maar dient het hele verloop beschikbaar te zijn. Dergelijke verlopen ontbreken bij de IPCC- en KNMI'06-projecties. In afbeelding 5 zijn twee mogelijke ontwikkelingen van het gemiddelde van de jaargemiddelde waterstanden van de zes hoofdstations getekend, die exact door de KNMI'06-projecties gaan voor 2050 en 2100. Dat is gedaan door vanaf 1990 een exponentiële functie toe te

voegen aan de lineaire regressielijn van 19 cm per eeuw die raakt in het jaar 1990. Het jaar 1990 is gekozen, omdat IPCC en KNMI hun projecties ook hebben berekend ten opzichte van dat jaar. De lijnen zijn bedoeld om een indruk te geven van een mogelijke versnelling in de zeespiegelstijging. Het gedwongen verloop door het hoge scenario voor 2050 zorgt voor een hoge versnelling in de eerste decennia en geeft voor het jaar 2010 een zeespiegelstijging van 49 cm per eeuw. Deze versnelling staat duidelijk op gespannen voet met de waarnemingen. Het verloop volgens het lage scenario sluit daar beter aan op de waarnemingen.

Veiligheid

Voor de veiligheid tegen overstromingen gaan we niet uit van de stijging van de gemiddelde zeespiegel maar van de gemiddelde hoogwaterstand. De stormvloedstanden waartegen ze bestand moeten zijn, de zogenaamde toetspeilen, worden immers niet alleen beïnvloed door de gemiddelde waterstand maar ook door verandering van het getij, bijvoorbeeld als gevolg van de invloed van menselijke ingrepen in het kuststelsel. Bij de suppletiebehoefte kan volstaan worden met een landelijk gemiddelde waarde voor de

Afb. 4: Recente geografische verdeling van de lineaire trend in de gemiddelde zeespiegel, berekend over de periode 1993-2011, gebaseerd op de TOPEX/Poseidon/Jason-satellietaltimetrie. Deze verdeling weerspiegelt dus het effect van de variabiliteit van het klimaat op de regionale verdeling van de zeespiegelstijging op een tijdschaal die overeenkomt met de meetperiode. Alle factoren die van invloed zijn op de lokale gemiddelde zeespiegel, zitten impliciet verwerkt in de lokale trends.

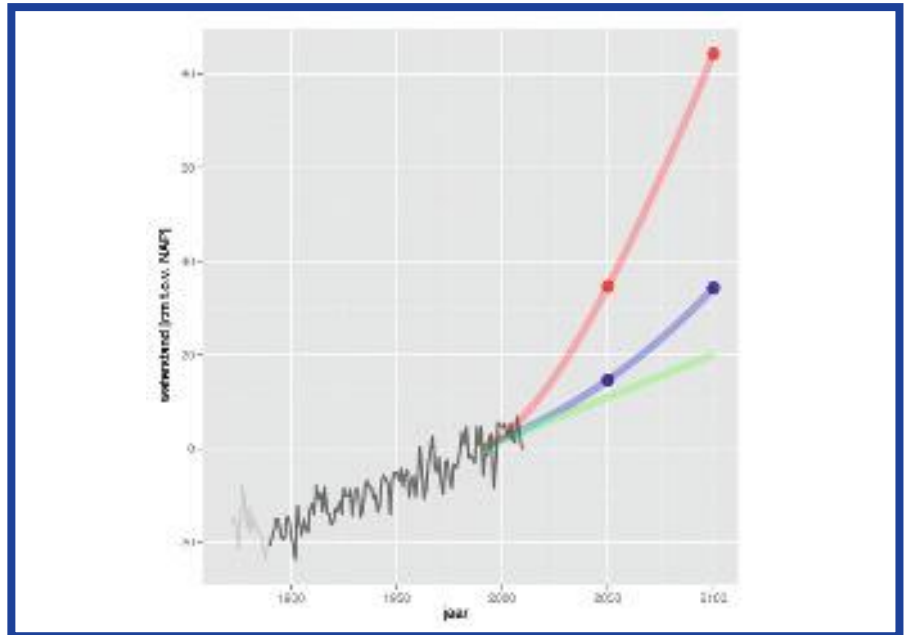


zeespiegelstijging, omdat het suppletie-zand van buiten het kustfundament in een strook langs de kust wordt gebracht en verder in het kuststelsel wordt verspreid door natuurlijke processen. Bij waterkeringen is regionaal of zelfs lokaal maatwerk noodzakelijk.

Conclusies

De vraag of al rekening moet worden gehouden met versnelde zeespiegelstijging is afhankelijk van het betrokken onderwerp. Voor het ontwerpen van dijken, dammen, sluisen, stormvloedkeringen e.d. moet rekening gehouden worden met versnelde zeespiegelstijging vanwege de lange levensduur, grote investering en weinig flexibiliteit.

Voor zandsuppleties wordt thans uitgegaan van een relatieve zeespiegelstijging (ten opzichte van de bovenkant van het pleistoceen) van 20 cm per eeuw. De afgelopen eeuw heeft een stijgsnelheid van 19 cm per eeuw laten zien. De koppeling van deze lineaire trendlijn aan het lage KNMI'06-scenario levert een stijging van ongeveer 23 cm per eeuw voor het heden op. Omdat een significante versnelling niet is aangetoond, is het advies om het huidige uitgangspunt van 20 cm per eeuw vooralsnog te handhaven. Over circa zes jaar (cyclus van de toetsing van de primaire waterkeringen) kan opnieuw worden bekeken of het suppletieprogramma aangepast moet worden aan nieuwe inzichten. Dat is een verantwoorde strategie



Afb. 5: Extrapolatie van de gemiddelde zeestand, gemiddeld over de zes hoofdstations op basis van een lineaire regressie over de periode 1890-2008 en een daarop gesuperponeerde exponentiële functie vanaf 1990 door de KNMI'06-scenario's voor 2050 en 2100.

vanwege de grote flexibiliteit van het suppletieprogramma.

Voor meer informatie verwijzen wij u naar het rapport 'Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. Rekenmodel t.b.v. handhaven kustfundament' van Deltares (Rapport 1201993-002-VEB-0003).

LITERATUUR

- Baart F., M. van Koningsveld en M. Stive (2011). Trends in sea-level trend analysis. *Journal of Coastal Research* nr. 21.
- Baart F., P. van Gelder, J. de Ronde, M. van Koningsveld en B. Wouters (2011). The effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates. *Journal of Coastal Research* nr. 21.

advertentie



Veilig leven in de delta begint bij Deltares

Deltares is het onafhankelijke kennisinstituut voor water, ondergrond en infrastructuur. Wij richten ons op het veiliger maken van het leven in delta's, kustregio's en riviergebieden. Voortdurend verdiepen en vernieuwen we onze kennis. Nationaal en internationaal hebben vele overheden en bedrijven de weg naar ons al gevonden. Samen zoeken wij naar praktische, duurzame en innovatieve oplossingen. Zo maken we het leven in deltagebieden elke dag weer een stuk veiliger. Voor nu en straks.

Deltares biedt:

- actuele kennis en onderzoek over veilig leven in delta's, kust- en riviergebieden;
- praktische, duurzame adviezen voor overheden en bedrijven;
- onderbouwing van strategische besluiten;
- meer dan 800 specialisten op het gebied van water, ondergrond en infrastructuur;
- een netwerk in meer dan 80 landen.

www.deltares.nl

Deltares
Enabling Delta Life

