

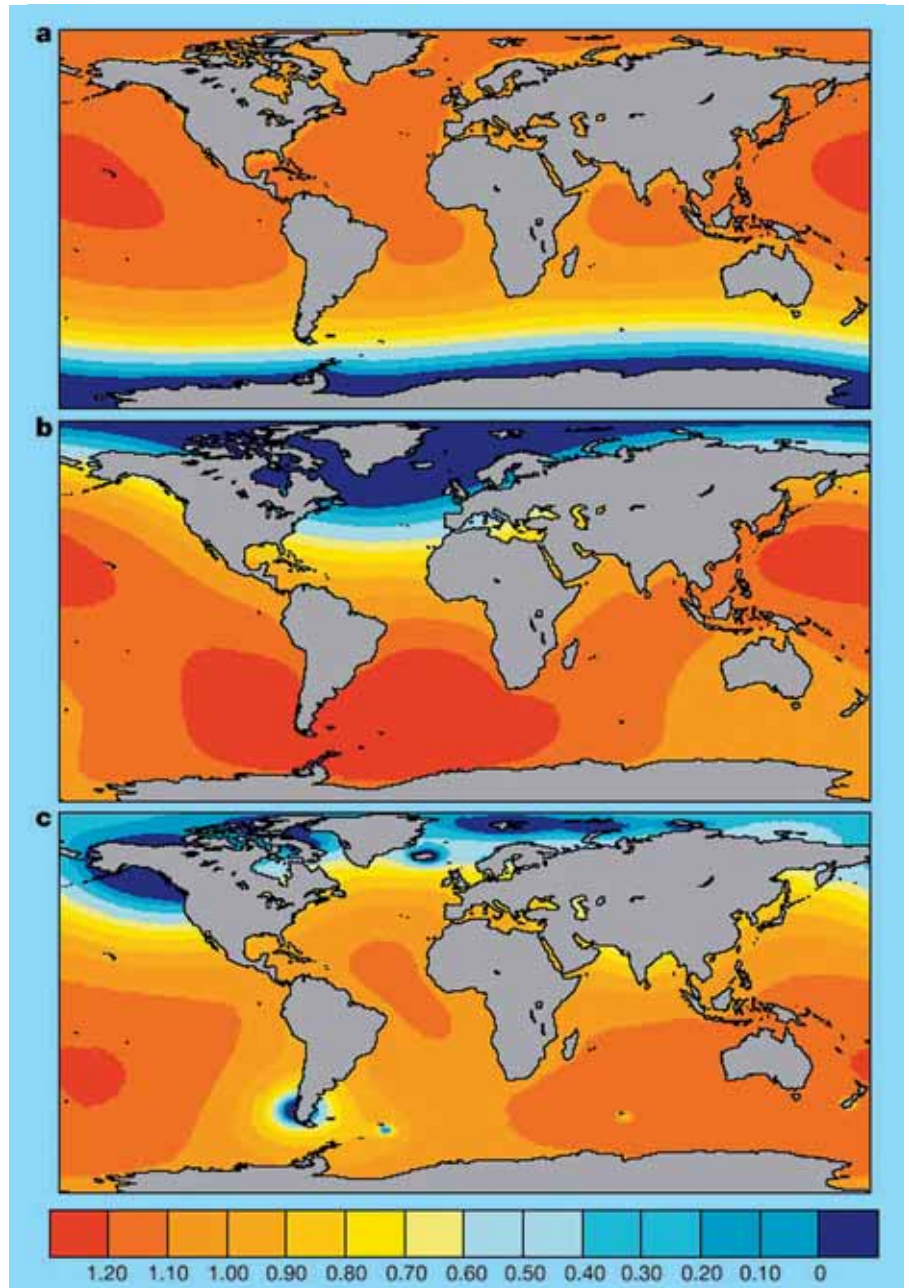
Zeespiegelstijging Nederland 'slechts' twee meter als ijskap van Groenland smelt

Kleine verschillen in het gravitatieveld van de aarde zorgen voor grote zeespiegelvariaties over de wereld. Verschillen in zeespiegelniveau kunnen oplopen tot wel 100 meter. Als al het ijs op Groenland smelt, leidt dat tot een mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging van zeven meter. In Nederland zal die stijging echter maar twee meter bedragen. Hoe dat komt, legde Bert Vermeersen (DEOS, TU Delft) uit tijdens een colloquium op 23 oktober op het KNMI.

Satellietmetingen hebben aangetoond dat de absolute zeespiegel¹⁾ de afgelopen tien jaar mondiaal gemiddeld met 28 mm is gestegen. De regionale variaties zijn echter groot. Zo steeg de zeespiegel de afgelopen tien jaar tussen Australië en Nieuw-Zeeland met 15 mm per jaar, terwijl die ten zuiden van Alaska met 15 mm per jaar daalde. Die grote regionale verschillen in absolute zeespiegelstijging worden, behalve door veranderingen in oceaanstromingen en uitzetting van de oceaan door opwarming, onder andere veroorzaakt door het gravitatie-effect. Daarnaast kan regionaal de relatieve zeespiegelstijging²⁾ sterk beïnvloed worden door post-glaciale opheffing.

Massa trekt massa aan. De grote ijsmassa op Groenland, die gemiddeld 1,6 kilometer en maximaal drie kilometer dik is, trekt het oceaanwater aan. Daardoor staat de absolute zeespiegel daar hoger dan langs de Nederlandse kust. Wanneer (een deel van) het landijs smelt, verdwijnt ook (een deel van) de aantrekkende werking ervan op het zeewater. Als gevolg daarvan verdeelt het smeltwater zich niet gelijkmatig over de aarde. Binnen een afstand van zo'n 2.200 km van de afsmeltende ijskap gaat de zeespiegel dalen. Op een afstand tussen de 2.200 en 6.700 km stijgt de absolute zeespiegel wel, maar minder dan de wereldgemiddelde (eustatische) waarde. Ver van de ijskap is de zeespiegelstijging groter dan de eustatische stijging (zie ook afbeelding 2).

De afstand Nederland-Groenland bedraagt ongeveer 3.500 kilometer. Nederland ligt dus in het gebied waar de zeespiegelstijging onder invloed van het gravitatie-effect van de ijsmassa kleiner is dan de eustatische stijging. Daarom zal bij het smelten van het ijs op Groenland de zeespiegel bij Nederland niet zeven meter stijgen, maar slechts twee meter, zo wijzen berekeningen van het gravitatie-effect uit. Dat klinkt erg geruststellend voor Nederland. Maar we moeten ook kijken naar de andere



Afb. 1: Verhoudingen tussen de lokale en eustatische zeespiegelverandering bij het smelten van de ijskap van Antarctica (a), de ijskap van Groenland (b) en het overige landijs (c) (bron: Mitrovica et al. 2001).

Afb. 2: Illustratie van de zeespiegelverandering bij de vorming van een ijskap (bron: Bert Vermeersen).



grote ijsmassa op het zuidelijk halfrond: Antarctica. Daar speelt hetzelfde verschijnsel. De afstand tot die ijskap is zo groot dat, als die ijsmassa smelt, de absolute zeespiegel in Nederland juist meer dan gemiddeld zal stijgen.

In de computerberekeningen van Mitrovica *et al.* (afbeelding 1) wordt de verhouding tussen de lokale zeespiegelverandering (inclusief het gravitatie-effect) en de mondiaal gemiddelde of eustatische waarde weergegeven. Het bovenste beeld toont de zeespiegelvariëaties die zouden optreden als gevolg van het smelten van het ijs op Antarctica. Direct bij Antarctica is dit een daling van de zeespiegel (diep-blauwe kleur met een waarde kleiner dan nul), in onze contreien een stijging die sterker is dan wanneer geen gravitatie-effecten op zouden treden. Het middelste beeld laat hetzelfde zien, maar dan voor Groenland. Het onderste beeld toont wat er gebeurt als al het andere landijs (voornamelijk bij Alaska, IJsland en Spitsbergen) zou smelten.

Voor de *absolute* zeespiegelstijging kan redelijk makkelijk rekening worden gehouden met deze gravitatie-effecten als gevolg van veranderingen in de ijsmassa's. Maar Bert Vermeersen liet zien dat daarnaast voor de *relatieve* zeespiegelstijging de post-glaciale opheffing van land en zeebodem op veel plekken een grote rol speelt.

In de ijstijden werd zoveel ijs gevormd dat de aarde deformeerde. Onder het ijs zakte

de aardbodem. Maar aan weerszijden steeg de aardkorst, omdat het deel dat onder het ijs wordt weggedrukt, naar de zijanten uitvloeit. Als al dat ijs weer smelt, veert de aarde onder het ijs terug. Aan weerszijden kan de aardkorst weer zakken, met relatieve zeespiegelveranderingen als gevolg.

Tijdens de laatste ijstijd, 20.000 jaar geleden, waren grote gebieden met dikke ijskappen bedekt. Daarvan is nu minder dan de helft over. Als gevolg hiervan stijgt de bodem in Scandinavië nog steeds flink. De relatieve zeespiegel daalt daar, soms wel met één centimeter per jaar. De boothuizen, die in de 17e eeuw zijn gebouwd, liggen nu ver boven het zeeniveau. Maar de zeebodem onder de Noordpool stijgt juist weer door post-glaciale opheffing, met als gevolg een relatieve zeespiegeldaling van 4,5 mm per jaar. Het gesmolten ijs leidt tot meer water in de oceanen en zeeën. Dat is extra massa, waardoor de zeebodem wat daalt. Dat is één van de redenen waarom Nederland in het westen wat sterker daalt dan in het oosten: na de laatste ijstijd is de Noordzee, die eerst droog stond, immers weer volgelopen.

In feite waren het gravitatie-effect en de post-glaciale opheffing al in de 19e eeuw bekend. Het gravitatie-effect is toen tot de afgelopen jaren 70 in de vergetelheid geraakt.

De klimaatscenario's van het KNMI van vorig jaar representeren de absolute zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Bodembewegingen, veroorzaakt door post-glaciale

opheffing maar ook door inklinking van de bodem door veranderingen in de grondwaterstand of gaswinning, zijn met opzet niet meegenomen vanwege het sterk regionale karakter ervan.

In de klimaatscenario's is de bijdrage van de ijskappen van Groenland en Antarctica verdisconteerd als een gezamenlijke, wereldgemiddelde bijdrage. Het effect van gravitatie op de lokale zeespiegel in onze regio staat, onder meer door het colloquium van Bert Vermeersen, prominent op de onderzoeksagenda van het KNMI. De bijdragen van de Groenlandse en Antarctica's ijskap worden op dit moment apart bestudeerd. Dit is niet alleen nodig om het gravitatie-effect in rekening te kunnen brengen, maar ook om verschillen in het tempo van het slinken van de beide ijskappen te kunnen representeren.

Florrie de Pater (Klimaat voor Ruimte)
Caroline Katsman (KNMI)

NOTEN

- 1) De absolute zeespiegelstijging (een toename van de hoogte van het zeeniveau) kan worden veroorzaakt door veranderingen in de totale hoeveelheid water in de oceanen (toename van de massa) en in de dichtheid van het aanwezige oceaanwater (toename van het volume).
- 2) De relatieve zeespiegelstijging op een bepaalde plek op aarde is de som van de absolute zeespiegelstijging en de lokale bodembeweging.

Klimaat voor Ruimte

Dit themanummer is tot stand gekomen met steun van het programma Klimaat voor Ruimte, dat onderzoek verricht naar manieren om met klimaatverandering en de gevolgen daarvan om te gaan. Het gaat dan vooral om het gebruik van de (open) ruimte. In het onderzoeksprogramma werkt een maatschappijbreed consortium van overheid, wetenschap en bedrijfsleven samen aan mogelijke oplossingen. 'Klimaat voor Ruimte' wordt voor de helft gefinancierd door de subsidieregeling BSIK (Besluit Subsidie Investerings Kennisinfrastructuur). Het programma loopt tot 2011 en heeft 80 miljoen euro te besteden.

Het onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte begon in 2004. Het bestaat uit vijf deelprogramma's: klimaatscenario's, mitigatie, adaptatie, integratieprojecten en communicatie. In totaal omvat het programma momenteel zo'n 60 projecten.

■ klimaatscenario's

Negen projecten staan op de agenda. In één hiervan, het maatwerkproject, lopen zes pilots met op maat gemaakte klimaatscenario's voor onder andere de waterschappen, die een antwoord moeten geven op de vraag wat zij nodig hebben aan klimaatgegevens (bijvoorbeeld neerslaghoeveelheden).

■ mitigatie

Hoe kunnen we de snelheid en omvang van de klimaatverandering verminderen? Hiervoor is onderzoek nodig naar onder andere de uitstoot van broeikasgassen en het landgebruik.

■ adaptatie

Hoe kunnen de nadelige gevolgen van klimaatverandering beperkt worden en hoe kunnen de effecten opgevangen worden in de ruimtelijke inrichting van Nederland? Op dit onderdeel lopen zo'n 15 projecten, waarvan een tiental gericht op natuur, landbouw en binnenvaart en twee specifiek op water: ACER en verzekeringen (zie respectievelijk de artikelen op pagina 16 en 23).

■ integratie

In dit thema lopen twaalf projecten. Eén ervan kijkt naar nieuwe methoden van kosten-batenanalyses, die beter de lange termijn meenemen. In LANDS (zie het artikel op pagina 14) worden toekomstige conflicten in landgebruik in beeld gebracht.

■ communicatie

Het zichtbaar maken voor de burger wat de gevolgen kunnen zijn van de klimaatverandering, gebeurt onder andere in een klimaatatlas (zie het artikel op pagina 30) en met voorbeelden voor meer waterrobuust bouwen (zie het artikel

op pagina 52). Maar ook erg belangrijk is het betrekken van de gemeenten en provincies bij de lopende programma's. Zij moeten zich nog bewust worden van wat op hen afkomt.

Adaptatiestrategie Ruimte voor Klimaat (ARK)

Op 27 november wordt in hotel Figi in Zeist een gezamenlijke agenda voor een klimaatbestendig Nederland gepresenteerd. Daarbij zullen kroonprins Willem-Alexander, minister Cramer van VROM en staatssecretaris Huizinga van Verkeer en Waterstaat aanwezig zijn. Bij de voorbereidingen voor de adaptatiestrategie zijn de ministeries van VROM, LNV, Verkeer en Waterstaat en Economische Zaken betrokken geweest, evenals het IPO, de VNG en de Unie van Waterschappen.

Tijdens het congres vinden zes workshops plaats over onder andere bouwen in diepe polders, volksgezondheid, natuurbeheer en landbouw. De bijeenkomst is bedoeld voor bestuurders, vertegenwoordigers van overheden, het bedrijfsleven, NGO's en wetenschappers.

