

Hoogtij in de Delta

Inaugurele rede
uitgesproken door prof.dr.ir. Pier Vellinga
bij de aanvaarding van de leerstoel Klimaatverandering, water en veiligheid.

(volledige tekst en figuren zijn te vinden op www.kennisvoorklimaat.nl)

Wageningen UR

16 oktober 2008



Geachte rector, dames en heren,

1. Hoogtij, een woord en een beeld.

Een van de eerste welvarende delta's in Europa is de Po-delta, met Venetië als brandpunt van handel en cultuur. De ligging in en aan het water heeft Venetië grote welvaart en bescherming gebracht. Net als in onze delta bracht de zee regelmatig een overstroming, maar de zee bracht ook de schepen met goederen van over de hele wereld. En de lagune met haar ondieptes bood bescherming tegen schepen van vreemde mogendheden.



Fig. 1: Venetië, stad en lagune. Bron: Vaticaanse Museum

Venetië, daar aan de Adriatische Zee, kwam eerder tot ontwikkeling dan Nederland aan de Noordzee. Onze ontwikkeling, zoals de bouw van Amsterdam, is mede geïnspireerd door Venetië. In de zestiende en de zeventiende eeuw werd veel samengewerkt, niet alleen op het gebied van geld en handel, maar ook op het gebied van het omgaan met hoogwater. Die samenwerking gaat nog steeds door. Voor die samenwerking ga ik regelmatig naar Venetië, om daar de Magistrato alle Acque te adviseren over de lagune, de stad en de unieke stormvloedkering die daar nu wordt gebouwd.

Bij dit werk leer ik hoe Venetië door de eeuwen heen omgaat met de zee. Zij hebben daar een prachtig, jaarlijks, ritueel. Ieder jaar, al sinds 1100, op hemelvaartsdag, wordt de relatie tussen de bewoners van Venetië en de zee bevestigd met een huwelijk.

De stad verbindt zich dan opnieuw met de zee. Als symbool werpt de Doge van de stad een trouwring in de lagune, zie het schilderij van Francesco Guardi, fig. 2. Voorafgaand aan deze ceremonie wordt de Doge afgehaald bij zijn paleis, zie het schilderij van Canaletto, fig. 3.



Fig. 2: Francesco Guardi (18de eeuw): La partenza del Bucintoro



Fig 3: Canaletto (18de eeuw): La Festa Della Sensa

Het woord Hoogtij in de titel van mijn verhaal betekent niet alleen hoog water, zoals in het Engels High Tide, maar ook huwelijksfeest, zoals in het Duitse woord Hochzeit. In Venetië komen deze woorden samen in een jaarlijks ritueel.

Met deze rede vandaag wil ik de relatie van ons land met het water en de zee nader beschouwen. Ik zal hierbij pleiten voor het beter verbinden van land en zee en het beter verbinden van zout en zoet.

Net als voor Venetië geldt voor Nederland dat onze ligging aan en in het water de belangrijkste basis is van welvaart. We beseffen dat te weinig. We wonen met de rug naar het water, van het water afgescheiden door steeds hogere dijken. Regenwater voeren we zo snel mogelijk af door riolen en kanalen en strakke rivieren. Zout en zoet water scheiden we zo sterk van elkaar dat de kwaliteit van water en natuur er sterk onder leidt.

Voor nu het klimaat verandert, krijgen we niet alleen de kans, maar zijn we ook gedwongen onze verbinding met het water en de zee opnieuw vorm te geven. Hoogtij heeft niet alleen de betekenis van hoogwater en Hochzeit, maar wij zeggen hier in Nederland: hoog tijd, dat er iets gebeurt!

2. Hoogtij in de Delta, een verhaal in vier delen

Deze oratie heeft vier delen. Ik wil beginnen met een beschouwing over de groei van kennis en inzichten in het broeikaseffect en de maatschappelijke reactie daarop, zoals wij hebben kunnen waarnemen in de afgelopen 20 jaar. Wat zijn hierin de drijvende krachten? Wetenschappelijke kennis is blijkbaar niet voldoende voor actie. We zitten in een fase waarbij de spanning zich opbouwt.

De klimaateffecten beginnen steeds duidelijker zichtbaar te worden en tegelijkertijd winnen de economische krachten achter nieuwe energiebronnen aan kracht.

Hoogtij in de Delta, een verhaal in vier delen

- 1 Invloed van mensen op het klimaat, de spanning bouwt zich op;**
- 2 Recente ontdekkingen op klimaatgebied;**
- 3 Urgentie op energiegebied en kansen voor hoogwaterbescherming in Nederland;**
- 4 Plannen voor invulling van de nieuwe leerstoel.**

Fig. 4: De opbouw van het verhaal in vier delen

Vervolgens zal ik ingaan op de wetenschappelijke ontdekkingen op klimaatgebied van de laatste vijf jaar. Deze ontdekkingen wijzen maar in één richting: de wijze waarop wij fossiele brandstoffen gebruiken, bossen kappen en veengebieden ontwateren, heeft een groter effect op het wereldklimaat dan tot nu toe wordt weergegeven met de modellen die het Intergovernmental Panel on Climate Change van de Verenigde Naties (hier na te noemen IPCC) presenteert. De conclusie is dat we zeer waarschijnlijk geen 100 jaar, maar slechts 30 jaar of minder de tijd hebben om te voorkomen dat de aarde de komende eeuwen zes tot tien graden warmer wordt en de zeespiegel zes, en op termijn nog meer meters, gaat stijgen.

Het derde deel van mijn verhaal gaat over de betekenis van deze toegenomen urgentie voor Nederland.

Ik zal kort ingaan op de keuzes die we moeten maken in de energievoorziening.

Mijn hoofdverhaal gaat over de keuzes waar wij als Nederland voor staan in het omgaan met de zee en de rivieren. De Deltacommissie heeft daarover onlangs een belangrijk advies gegeven. Samen met anderen heb ik hierbij geadviseerd over scenario's voor zeespiegelstijging. Ik zal daarvan de achtergronden aangeven.

Het belangrijkste dat ik vanmiddag wil vertellen gaat over onze verbinding met de zee. Het gaat over land en water en over zout en zoet. Mijn conclusie is: weg met de harde grenzen tussen water en land, en weg met de harde grenzen tussen zout en zoet water. Ik wil laten zien hoe brede overstroombare maar doorbraakvrije dijken de basis kunnen vormen voor deze verbindingen.

Tot slot zal ik kort ingaan op de nieuwe leerstoel hier in Wageningen en mijn plannen voor onderzoek en onderwijs, in nationaal en internationaal verband.

3. Van kennis naar actie, de spanning bouwt zich op

3.1 Waar staan we nu

De wereldwijde klimaatverandering, voorspeld op de eerste grote wetenschappelijke klimaatconferentie in Toronto in 1988 (WMO, 1988) en kort daarna beschreven in het rapport van het IPCC in 1991 (IPCC, 1991), begint duidelijk zichtbaar te worden. De gemiddelde wereldtemperatuur is 1 graad hoger dan 100 jaar geleden (zie Fig.5). In Nederland was het de afgelopen 10 jaar gemiddeld zelfs 2 graden warmer dan aan het begin van de vorige eeuw (KNMI, 2008).

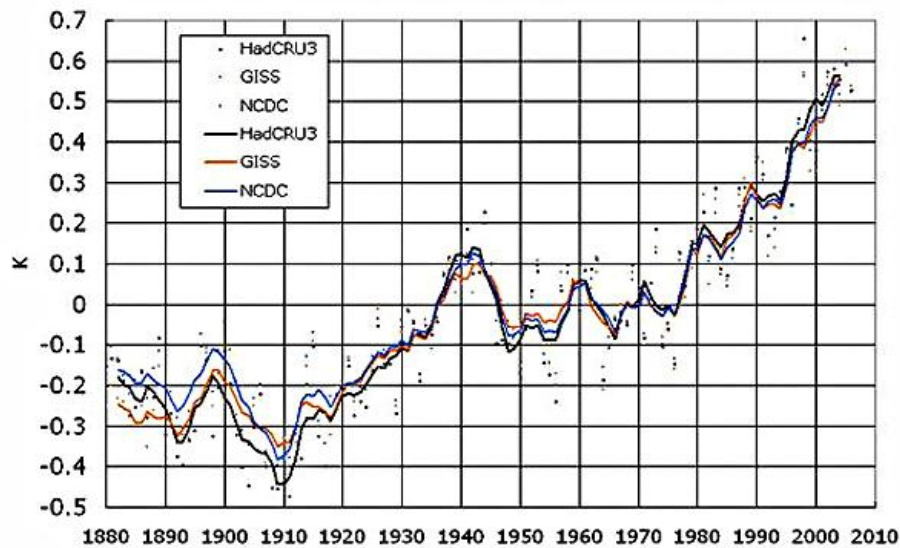


Fig. 5: De opwarming van de aarde als geheel met waarnemingen per jaar en de trend erin aangegeven¹.

Bron: KNMI (www.knmi.nl/faq_klimaat/waarnemingen/Klimaatverandering_sinds_1998)

De belangrijkste oorzaak van deze snelle wereldwijde stijging van temperatuur is het gebruik van fossiele brandstoffen, het kappen van bossen en het droogleggen van veengebieden. Deze activiteiten grijpen sterk in op de geologische kringlopen van Koolstof: kooldioxide (CO₂) en methaangas (CH₄). De mens, met al zijn mijnbouw en ontwatering, is een geologische kracht op zich geworden. Het effect van de menselijke activiteiten op de stralingsbalans van de aarde is groter dan het natuurlijke Milancovitch effect dat verantwoordelijk is voor de cyclus van ijstijden en warme tijden. Bij voortgaande toename van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer zal ook de temperatuur verder stijgen. De projecties zoals aangegeven in het IPCC rapport van 2007 zijn aangegeven in figuur 6.

¹ Originele bijschrift: Wereldgemiddelde temperatuur volgens het Hadley Centre en de Climate Research Unit in Groot Brittannië (HADCRU3), het Goddard Institute for Space Research, dat deel uitmaakt van de NASA (GISS) en het National Climatic Data Center in North Carolina, USA (NCDC). Punten geven jaarwaarden, de lijnen het 5 jaar lopende gemiddelde. De afwijkingen zijn aangegeven ten opzichte van de periode 1951-1980

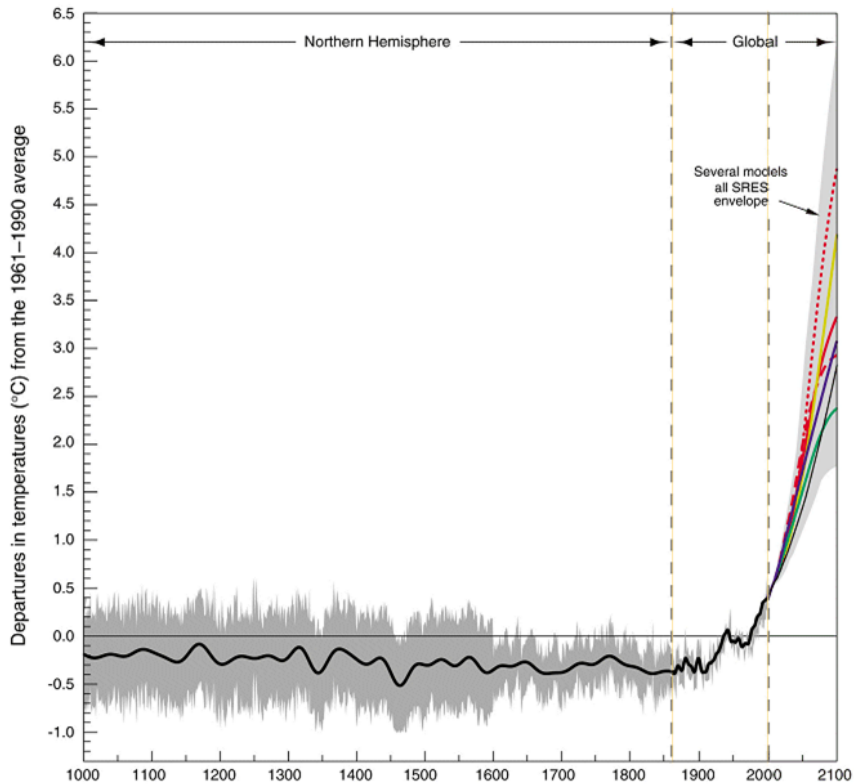


Fig. 6: Variaties in de gemiddelde wereldtemperatuur van 1000 tot 2000 met projecties tot 2100; samenstelling van resultaten gepresenteerd in IPCC (2007).

De verwachting is dat de wereldgemiddelde temperatuur met 1.5 tot 6 ° Celsius zou kunnen stijgen. Nu is de vraag: kunnen we hier nog wat aan doen? Volgens de analyses van IPCC wel. Hier in fig. 7 ziet u de hoofdconclusie van de werkgroep van het IPCC, waarin men zich heeft gebogen over beperking van emissies:

<i>The good news:</i> it is technically and economically feasible to avoid most of projected climate change	
<i>The bad news:</i> there is only limited time to stop the growth of global emissions and it requires major efforts	

Fig. 7: Korte samenvatting van het rapport van werkgroep III: emissie beperking, (IPCC, 2007), onder woorden gebracht door de voorzitter dr. Bert Metz bij de presentatie ervan in 2007.

Volgens dit IPCC rapport kunnen we de schade voor een groot deel beperken wanneer de concentratie uitgedrukt in ppm (parts per million) van CO₂ in de atmosfeer niet verder stijgt dan 450 ppm. De andere broeikasgassen moeten dan beperkt blijven tot 100 ppm, in CO₂ equivalent. De totale concentratie van broeikasgassen blijft dan beperkt tot een maximum van 550 ppm.

Dat betekent een drastische reductie. Het Internationaal Energie Agentschap (IEA, Parijs) laat zien hoe dat zou kunnen, zie figuur 8. Deze figuur geeft een samenstelling van het energiepakket waarmee dat zou kunnen. Andere pakketten zijn evenzeer mogelijk.

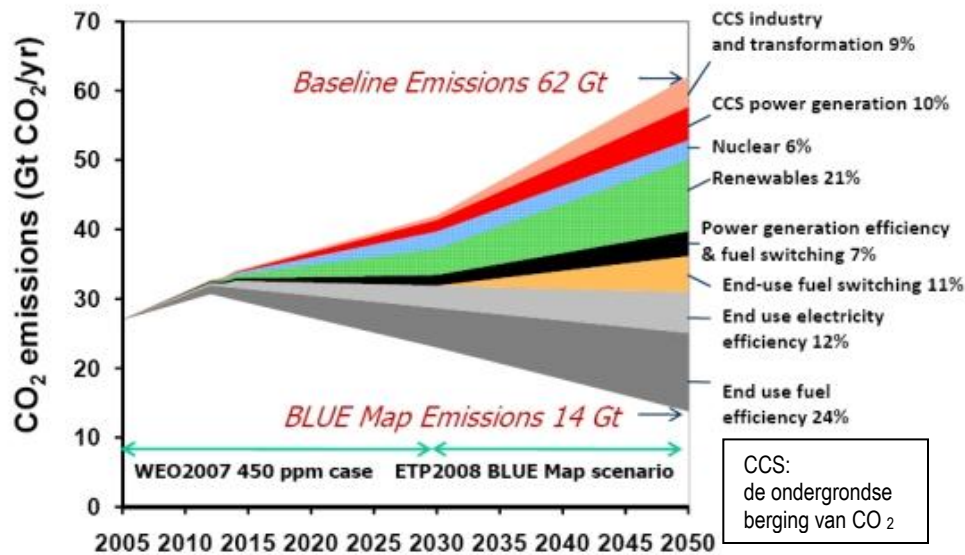


Fig. 8: Samenstelling van energiebronnen en maatregelen van 2005 tot 2050, waarmee de concentratie van CO-2 beperkt kan blijven tot 450 ppm. Bron: International Energy Agency, World Energy Outlook 2008 (www.worldenergyoutlook.org)

2.2 Wetenschappelijke kennis leidt nog niet tot actie

Waarom stijgt de emissie nog steeds, terwijl we al 20 jaar weten dat de risico's enorm zijn? De theorie bestaat al meer dan 100 jaar (Ahrenius). Pas toen Keeling de resultaten publiceerde van systematische metingen van de concentratie van CO-2 in de atmosfeer (Keeling) en daarin de groei van de concentratie zichtbaar werd, begon de onderzoeksgemeenschap geïnteresseerd te raken. Dit is duidelijk terug te vinden in de Proceedings van de eerste Wereld Klimaat Conferentie van 1979 (WMO, 1979). Men zou kunnen zeggen dat de publicatie van de metingen het vraagstuk van klimaatverandering in de jaren '70 van de vorige eeuw op de wetenschappelijke agenda plaatste.

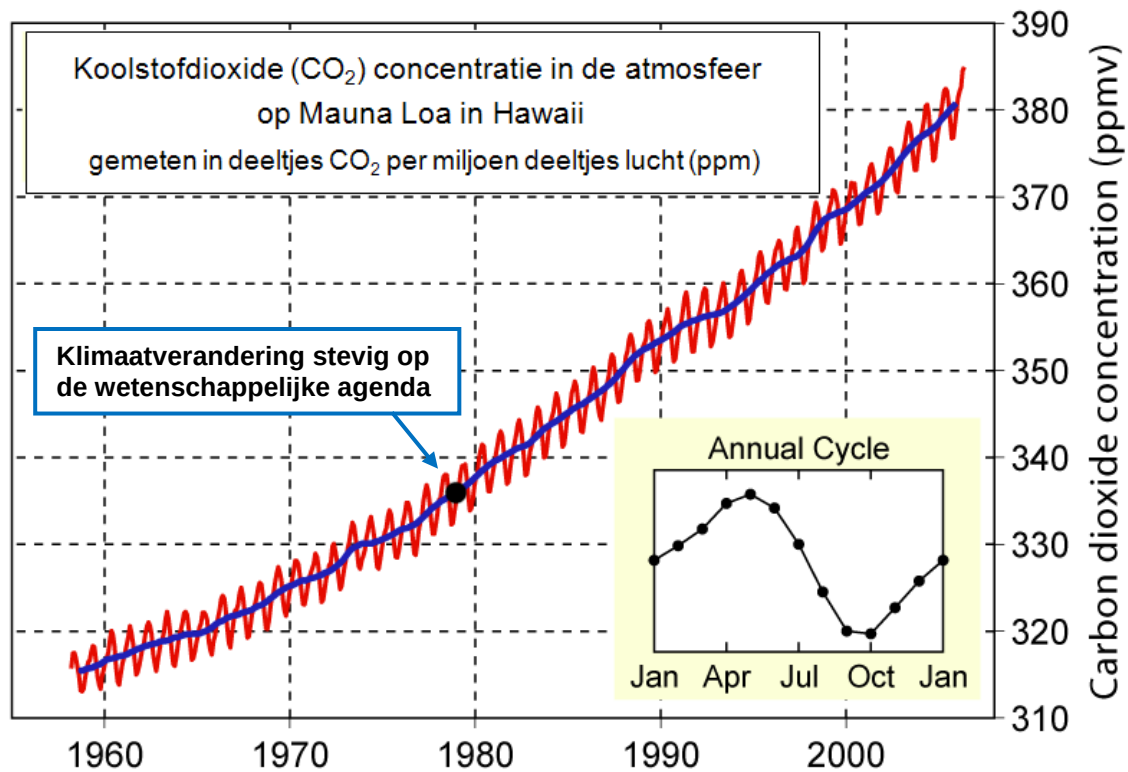


Fig. 9: Metingen van de CO-2 concentratie zoals uitgevoerd door Keeling en anderen vanaf 1951 tot nu². Bron: Global Warming Art, Robert A. Rohde (http://www.globalwarmingart.com/wiki/Carbon_Dioxide_Gallery)

Toen in de jaren '80 van de vorige eeuw de temperatuur begon te stijgen en ook het inzicht in de implicaties van klimaatverandering begon te groeien, werd het vraagstuk aanvankelijk door een kleine groep wetenschappers, die bijeen kwam in Villach en in 1985 (WMO, 1986) en vervolgens in Bellagio in 1987, op de maatschappelijke agenda geplaatst. In 1988 volgde de grote internationale klimaatconferentie in Toronto en in 1989 werd de eerste grote conferentie van milieuministers gehouden te Noordwijk in 1989 (Noordwijk, 1989). Op deze laatste conferentie werd de inhoudelijke basis gelegd voor het latere klimaatverdrag van de Verenigde Naties (UNFCC, 1992).

² Originele bijschrift: This figure shows the history of atmospheric carbon dioxide concentrations as directly measured at Mauna Loa, Hawaii. This curve is known as the Keeling curve.

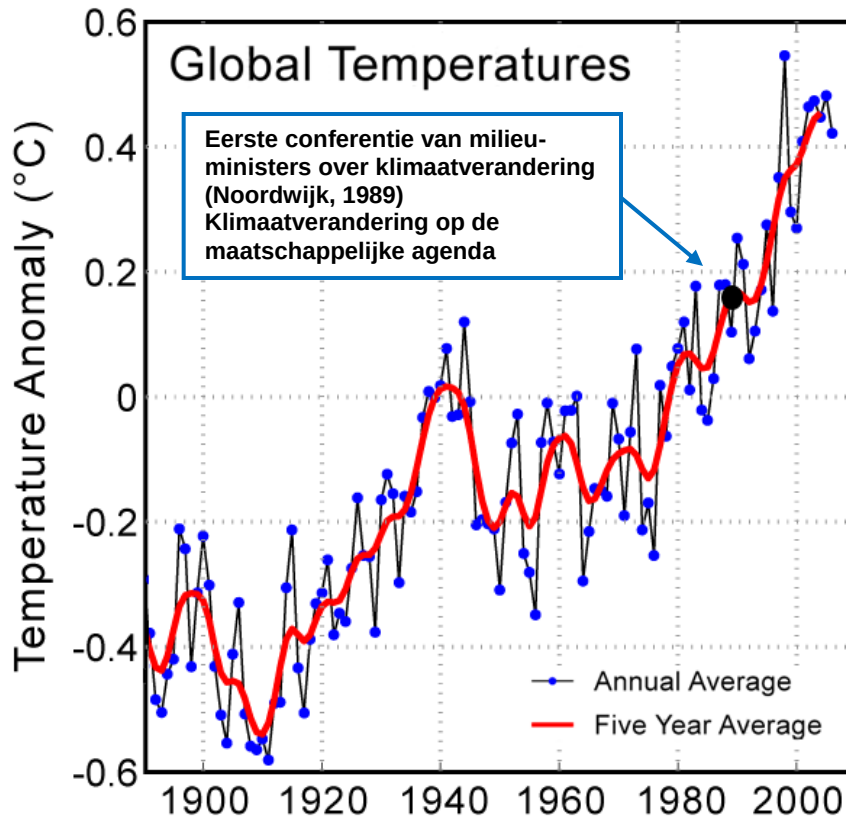


Fig. 10: Het temperatuurverloop vanaf 1900 tot heden³. Bron: Global Warming Art, Robert A. Rohde (www.globalwarmingart.com/wiki/Temperature_Gallery)

2.3 Het Intergovernmental Panel on Climate Change

In 1990 zag men in dat klimaatverandering grote internationale implicaties zal hebben, met zeer grote kans op onenigheid en verwarring over de wetenschappelijke aspecten ervan. Daarom werd het IPCC opgericht met wetenschappers in de leidende rol. Zij overlegden in een zogenoemde “intergouvernementele setting”, waarbij de regeringen gecommitteerd werden aan de wetenschappelijke conclusies.

In het eerste IPCC rapport werden hiertoe drie categorieën van conclusies onderscheiden: categorie 1: de feiten, hierover zijn geen verschillende interpretaties mogelijk; categorie 2: vermoedens, met een redelijke grond van zekerheid; categorie 3: beargumenteerde speculaties waarbij ook andere interpretaties mogelijk zijn. De gedachte achter deze internationale opzet was: wanneer regeringen deelgenoot worden gemaakt van het proces, en deelnemen aan de opstelling van de samenvatting van de uitkomsten van het onderzoek, zullen zij ook gecommitteerd zijn aan de uitkomsten. Bij veel van de deelnemende landen heeft dat zo inderdaad gewerkt, maar beslist niet bij allemaal.

³ Originele bijschrift: This image shows the instrumental record of global average temperatures as compiled by the Climatic Research Unit of the University of East Anglia and the Hadley Centre of the UK Meteorological Office. Data set HadCRUT3 was used which follows the methodology outlined by Brohan et al. (2006). Following the common practice of the IPCC, the zero on this figure is the mean temperature from 1961-1990.

Zo wordt bijvoorbeeld de helft van de wereldwijde emissie van broeikasgassen veroorzaakt door landen die veelal impliciet maar ook expliciet de stand van de klimaatwetenschap zoals beschreven door IPCC ter discussie stellen. Dit leidt tot de vraag: waarom werden de conclusies van het IPCC toch ter discussie gesteld?

2.4 Coalities van belangen leiden tot stagnatie van internationaal beleid.

De belangrijkste reden heeft volgens mij een machtspolitieke achtergrond: het aanvaarden van de bevindingen van IPCC en de consequenties daarvan in termen van internationale verantwoordelijkheid is direct van invloed op de politieke machtsverhoudingen in de wereld. Aanvaarden van deze verantwoordelijkheid is vooral bedreigend voor de Verenigde Staten, vanwege het relatief intensieve gebruik van goedkope olie in hun economie. Ook de olieproducerende landen voelen zich bedreigd door de uitkomsten van wetenschappelijk onderzoek vanwege hun grote afhankelijkheid van de productie van fossiele brandstoffen. Tot slot waren de uitkomsten van IPCC bedreigend voor landen die aan het begin staan van hun industrialisatieproces, zoals China en India. We kunnen nu vaststellen dat deze drie groepen landen: de Verenigde Staten, de olieproducerende landen, en China en India in de jaren '90 van de vorige eeuw een succesvolle coalitie hebben gevormd tegen de voortgang van de onderhandelingen over emissiebeperking. Deze coalitie bestaat nog steeds en blokkeert tot op de dag van vandaag harde internationale afspraken over emissiebeperking.

Europa, en in zekere zin ook Japan, heeft altijd sterk gepleit voor effectieve maatregelen ter beperking van menselijke invloed op het klimaat. Europa is daarbij ook in een positie die dat gemakkelijker maakt dan de Verenigde Staten, vanwege de hogere energie efficiëntie van de economie. De uitstoot van CO₂ per hoofd van de bevolking in Europa is 30 tot 40 % lager dan dat van de Amerikaanse bevolking. Dit geldt in nog sterkere mate voor Japan.

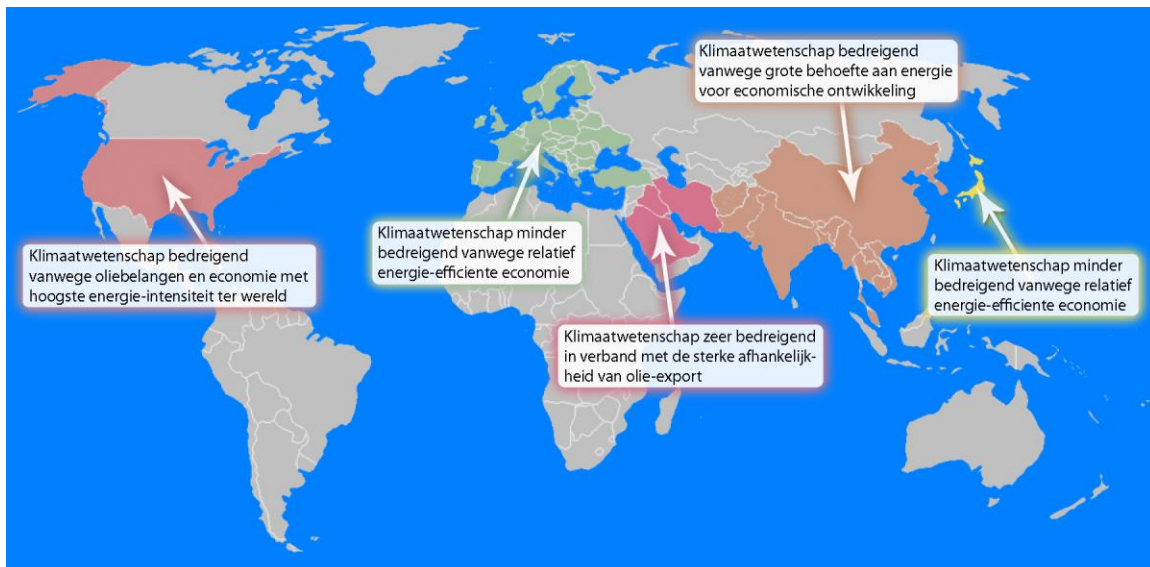


Fig. 11: Klimaatwetenschap wordt door een groep van landen als bedreigend ervaren voor hun relatieve positie in de wereld.

De coalitie van de VS, de olieproducerende landen en de grote ontwikkelingslanden is erin geslaagd een effectief internationaal regime voor de beperking van de emissie van broeikasgassen te blokkeren. Het Kyoto protocol levert wel enig resultaat op voor de landen die eraan meedoen, maar zonder de VS is het blijvende effect gering.

Het belangrijkste argument van deze coalitie is: het aanvaarden van de klimaatkennis betekent ook het aanvaarden van internationale verantwoordelijkheid voor de schade en de daarmee samenhangende internationale plicht tot vermindering van het aanbrengen van schade aan andere landen, dus emissie beperking. De energie belangengroepen in de VS hebben de indruk gewekt dat emissievermindering gepaard zal gaan met een verlies aan banen. De onzekerheid in de wetenschappelijke kennis over het broeikas effect wordt hierbij als argument gebruikt om niet tot actie over te gaan.

2.5 Nieuwe aanjagers van internationaal klimaatbeleid.

Sinds het laatste IPCC rapport van 2007 lijkt deze coalitie, en de argumenten die zij hanteert, af te brokkelen. Er zijn twee belangrijke ontwikkelingen die verregaande internationale maatregelen gericht op emissie beperking weer op de agenda zetten: ten eerste: de effecten van klimaatverandering worden steeds duidelijker zichtbaar voor een groot publiek; ten tweede: de toenemende reële en geopolitieke schaarste van olie en gas met hogere prijzen voor fossiele energie en, mede als gevolg hiervan ten derde: de ontwikkeling in snel tempo van een breed aanbod van nieuwe energietechnologie met grote marktkansen.

- 1. Toenemende zichtbaarheid van schade door klimaatverandering;**
- 2. Reële en geopolitieke schaarste van olie en gas met hoge prijzen als gevolg;**
- 3. Mede als gevolg van 2: een snelle ontwikkeling van de markt voor nieuwe energie bronnen.**

Fig. 12: Drijvende krachten van emissiebeperking naast wetenschappelijk onderzoek

Toenemende zichtbaarheid van schade door klimaatverandering

Een voorbeeld van de toename van effecten van klimaatveranderingen zijn de statistieken van de grote internationale herverzekeraars. Dit heb ik beschreven in mijn vorige oratie aan de Vrije universiteit van 2 april 1992, getiteld: De aarde is niet verzekerd. De schade als gevolg van natuurrampen die worden veroorzaakt door extreme weersomstandigheden groeit al 20 jaar sneller dan de schade veroorzaakt door aardbevingen. Op basis van een ruwe vergelijking zou geconcludeerd kunnen worden dat 10 tot 30 % van de schade inmiddels te maken heeft met de door klimaatverandering veroorzaakte verandering van de lokale weerstatistiek. Een van mijn promovendi, Laurens Bouwer, is bezig met onderzoek naar het klimaatsignaal in de rampenstatistiek (Bouwer, 2007).

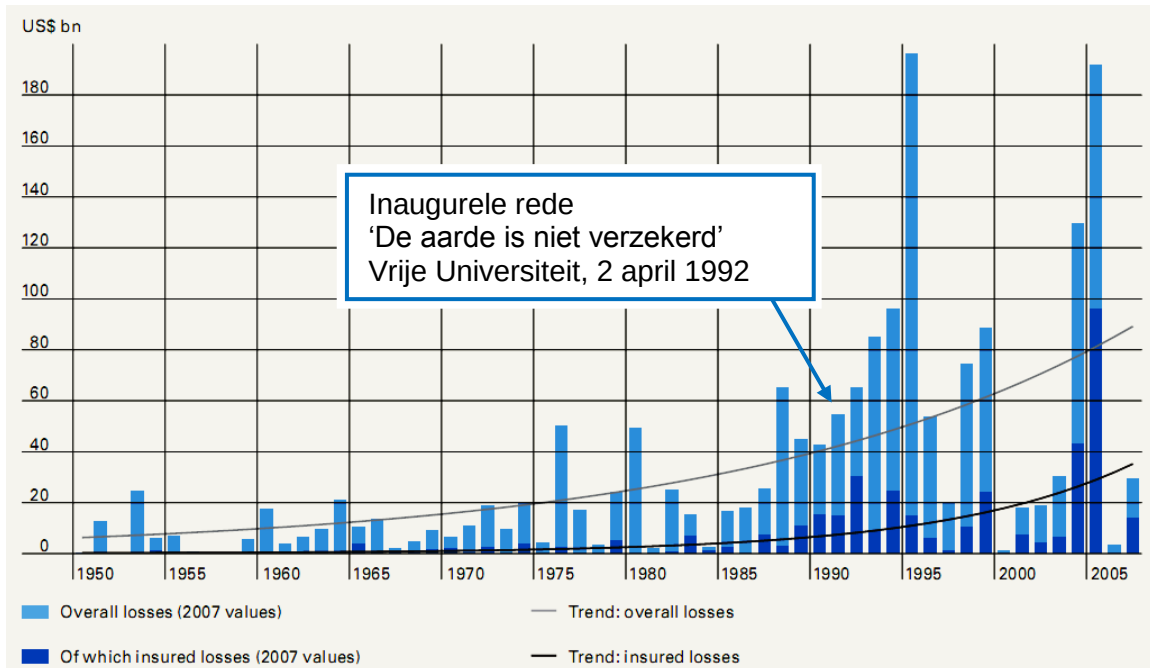


Fig. 13: Schade tot en met 2007 ⁴. Bron: Munich Re (2008)

Hierboven ziet u de meest recente schade statistiek. Er is nog steeds discussie over het aandeel van klimaatverandering in deze statistiek, maar dat is een kwestie van tijd. Immers de aarde is bijna 1 graad warmer geworden. Daarbij hoort een verandering in de statistiek van verdamping en patronen van luchtstromen. Deze veranderingen werken door in de statistiek van locale weeromstandigheden en extrema daarin op alle plaatsen in de wereld. De historische weerstatistieken waarop de inrichting van een land is gebaseerd zijn daarom niet meer volledig van toepassing. De mondiale opwarming leidt als het ware tot een kloof tussen de nieuwe weerstatistiek en de op historische statistiek gebaseerde inrichting van een land zoals riolering, waterkeringen, bouwvoorschriften, en bestaande praktijken in de landbouw en natuurbeheer. Die mismatch openbaart zich in de vorm van wat wij een natuurramp noemen. Vanwege de statistische beschrijving van eigenschappen van het weer is het moeilijk, zo niet onmogelijk, om oorzaken van een afzonderlijke ramp te herleiden tot het broeikaseffect.

Men zou het anders moeten stellen: indien in het vanuit de historie beschreven klimaat een zware regenbui gemiddeld eenmaal per vijf jaar voorkomt, en in het 2 graden warmere klimaat twee maal per vijf jaar, dan is het redelijk om het vaker voorkomen van zo'n gebeurtenis wel in verband te brengen met het broeikaseffect. Daarmee kan ook de schade, doordat het vaker voorkomt, in verband worden gebracht met het broeikaseffect. In praktische zin zou, in het voorbeeld van de intensieve regenval, de helft van de schade veroorzaakt zijn door het broeikaseffect. Het principe dat de vervuiler betaalt kan op deze manier ook in de praktijk worden doorgevoerd.

In zijn publicatie van 2007 heeft Stern laten zien dat de schade van klimaatverandering zeer sterk kan oplopen wanneer de emissie van broeikasgassen niet snel wordt

⁴ Originele bijschrift: Great natural catastrophes: Overall losses and insured losses – Absolute values and long-term trends. The chart presents the overall losses and insured losses – adjusted to present values.

teruggebracht. Hij spreekt van een schade aan het eind van deze eeuw van potentieel 6 % van het wereld BNP met voor sommige landen uitschieters tot 20 %. Sinds het rapport van Stern worden meerdere studies uitgevoerd waarin een schatting wordt gemaakt van de jaarlijkse kosten van klimaatverandering, inclusief maatregelen tot aanpassing. De getallen die hierbij worden gevonden variëren van 10 tot 50 miljard euro per jaar, afhankelijk van de aannamen en het tijdvak dat wordt beschouwd.

“In geval van een temperatuurstijging van 5 tot 6 °C – wat een reële mogelijkheid is in de komende 100 jaar – leiden de bestaande modellen, waarin abrupte klimaatverandering is meegenomen, tot een schatting van schade gelijk aan 5 tot 10 % van het bruto mondiale product, waarbij voor arme landen de schade kan oplopen tot meer dan 10%”

Fig. 14: Conclusies van Stern ten aanzien van schade door klimaatverandering. Bron: Stern (2007), vertaling P.Vellinga

Samengevat: de effecten van klimaatverandering worden duidelijker zichtbaar voor een groot publiek. Dat geldt in de eigen tuin, dat geldt voor het ijs op de Noordpool en het geldt voor de schadestatistieken van de verzekeraars. Berekeningen voor de toekomst geven aan dat dit nog maar een bescheiden begin is. Deze constatering maakt de bereidheid tot actie groter, maar er moet ook iets te verdienen zijn.

Reële en geopolitieke schaarste van olie en gas met hoge prijzen als gevolg

Ook in de kosten voor energie is een sterke ontwikkeling gaande. Door de hoge prijzen voor olie en gas worden allerlei energie besparingstechnieken financieel interessant. Een voorbeeld daarvan is de kostprijs van een warmtepomp, een ander voorbeeld is de kostprijs van windenergie, die nu kan concurreren met de kostprijs van fossiele energie. Dat laatste geldt ook voor biomassa-energie, zeker wanneer het gaat om reststromen. Ook de ontwikkeling in zonne energie gaat snel. In het zuiden van Europa komt nu geconcentreerde zonne-energie (CSP) op de markt, met prijzen die scherp concurreren met traditionele energiebronnen, zie fig. 15.

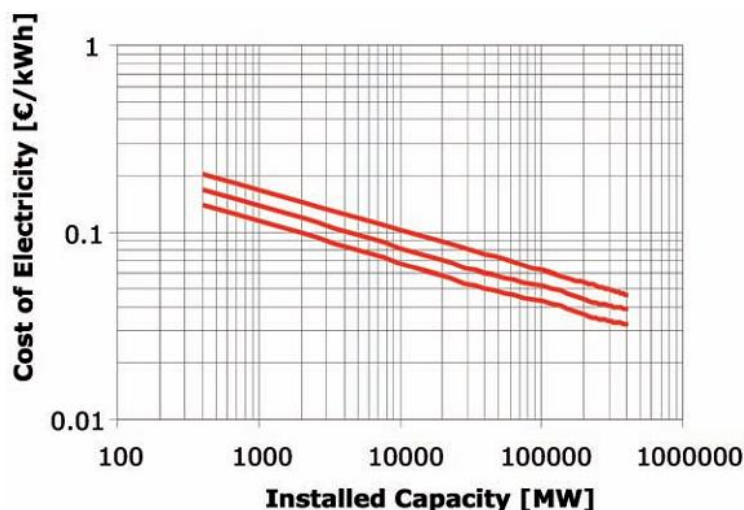


Fig. 15: De kostencurve voor concentrated solar power; de bovenste lijn geldt voor 2000, die daaronder voor 2400 en de onderste lijn voor 2800 kwh/m2/jaar. Bron: Desertec (2007).

Nu zijn de kosten van CSP elektriciteit ongeveer 10 eurocent per kilowatt uur, maar wanneer er meer gebouwd wordt zal dat snel dalen naar 4 à 6 eurocent per kilowatt uur en daarmee concurreert het met alle andere vormen van fossiele energie, terwijl het veel schoner is. Een gebied in de Sahara met een oppervlak half zo groot als Nederland kan heel Europa van elektriciteit voorzien op het huidige gebruiksniveau. Natuurlijk is er meer voor nodig, zoals een “smart grid” en buffer capaciteit om het in praktijk te brengen, maar het geeft de potentie aan.

Een snelle ontwikkeling van de markt voor nieuwe energie bronnen

Tot slot: binnenkort zullen er heel veel elektrische auto's op de markt komen, met revolutionaire gevolgen voor het hele vervoersysteem. Wanneer het vervoer aansluiting krijgt op duurzame elektriciteit van bijvoorbeeld windmolens, kan de persoonlijke mobiliteit en klein vrachtvervoer in een tijdbestek van 10 tot 20 jaar volledig klimaatneutraal zijn.

Het begint duidelijk te worden dat er een grote markt aan het ontstaan is voor producten die energie efficiënt zijn en voor energie bronnen met weinig tot geen uitstoot van broeikasgassen. De kans op bedrijvigheid en nieuwe banen is ondertussen een drijvende kracht geworden van klimaatbeleid.

Wat leren we hiervan? De voor mij enigszins teleurstellende conclusie is dat kennis op zichzelf niet genoeg blijkt te zijn, om tot actie over te gaan. Twee andere krachten zijn van doorslaggevend belang: zichtbare schade in de landen die economisch en politiek belangrijk zijn, en economische kansen, nieuwe bedrijven en nieuwe banen in landen die voorop lopen.

De huidige situatie kan je het beste beschouwen als een fase waarin zich grote spanning opbouwt: de effecten van klimaatverandering beginnen duidelijk zichtbaar te worden. De economische schade loopt op. Tegelijkertijd blijken nieuwe energiebronnen succesvol te zijn op de markt en dit brengt de traditionele energiebedrijven in een verdedigende houding.

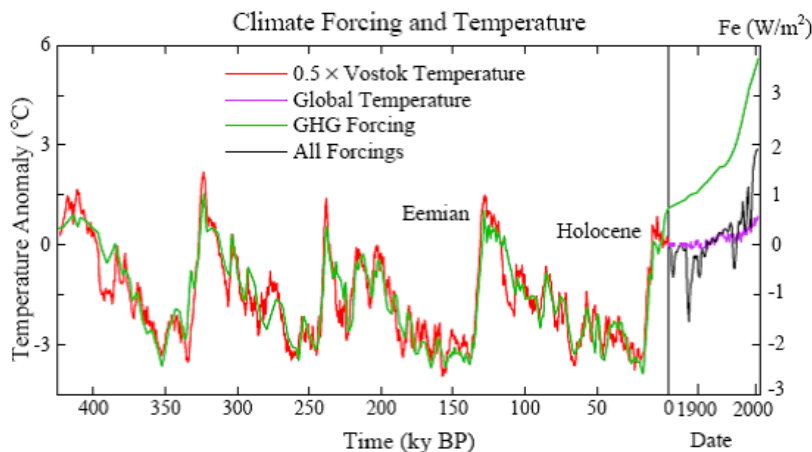
Het is van groot belang voor het wereldklimaat dat deze spanning leidt tot snelle reductie van broeikasgassen, want de recente wetenschappelijke ontdekkingen geven aan dat de situatie nog ernstiger is dan tot voor kort werd aangenomen.

3. Recent onderzoek leidt tot grotere urgentie

3.1 Versterking van de opwarming als gevolg van positieve terugkoppeling

Het IPCC heeft een brede band van temperatuurprojecties laten zien: van 1.5 tot 6°C aan het einde van deze eeuw. De bandbreedte is weliswaar groot, maar vermoedelijk aan de bovenkant niet groot genoeg, omdat de (biologische) reacties van de aarde nog niet zijn meegenomen in de projecties.

Recente analyses van het klimaatsysteem in het verleden, zoals uitgevoerd door James Hansen van NASA (Hansen et al, 2008) geven aan dat de temperatuurstijging, door fysische en biologische terugkoppelingen, die niet zijn meegenomen in de berekeningen van Ahrenius, en ook niet in de modellen van het IPCC, ongeveer twee maal zo groot is als de waarde waarmee tot nu toe mee is gerekend. In zijn publicatie trekt Hansen, op basis van onderzoek naar vroegere klimaatveranderingen en wat we nu waarnemen, de conclusie dat de huidige concentratie van CO₂ in de atmosfeer al te hoog is om een klimaat te handhaven waaraan mensen en dieren zich kunnen aanpassen. Hij pleit ervoor om binnen een periode van enkele tientallen jaren terug te gaan naar de concentratie in de atmosfeer van 350 ppm, dat is wat we 20 jaar geleden hadden. Dit betekent een reductie van ca. 80 % binnen enkele tientallen jaren. Hij geeft aan dat dit nog steeds mogelijk is indien we radicaal inzetten op andere energiebronnen en op CO₂ berging ondergronds. Indien we hier niet in slagen, dan stevenen we volgens hem onvermijdelijk af op een catastrofale klimaatverandering. Hij geeft aan dat er nu al genoeg broeikasgassen in de lucht zitten om theoretisch de gemiddelde wereldtemperatuur met 6°C te laten stijgen (zie fig.16). Hij legt uit dat de werkelijke stijging tot nu toe veel minder groot is, omdat luchtverontreiniging dempend werkt en omdat het vele tientallen jaren duurt voordat de terugkoppelingen volledig effect hebben.



Figuur 16: ...⁵
Bron: Hansen et al (2008).

Er zijn ook negatieve terugkoppelingen: processen die het broeikaseffect afremmen. Meer CO₂ in de lucht leidt tot versterkte groei van planten en lokaal tot meer regenval, met opname van koolstof als gevolg. De meest terugkoppelingen zijn echter positief, dat wil zeggen dat zij het effect positief versterken. Dat blijkt ook uit de klimaatvariatiën uit het verleden, waarbij een kleine verandering in de energie die de zon afgeeft tot grote temperatuur veranderingen heeft geleid. Veel groter dan verwacht mag worden op basis

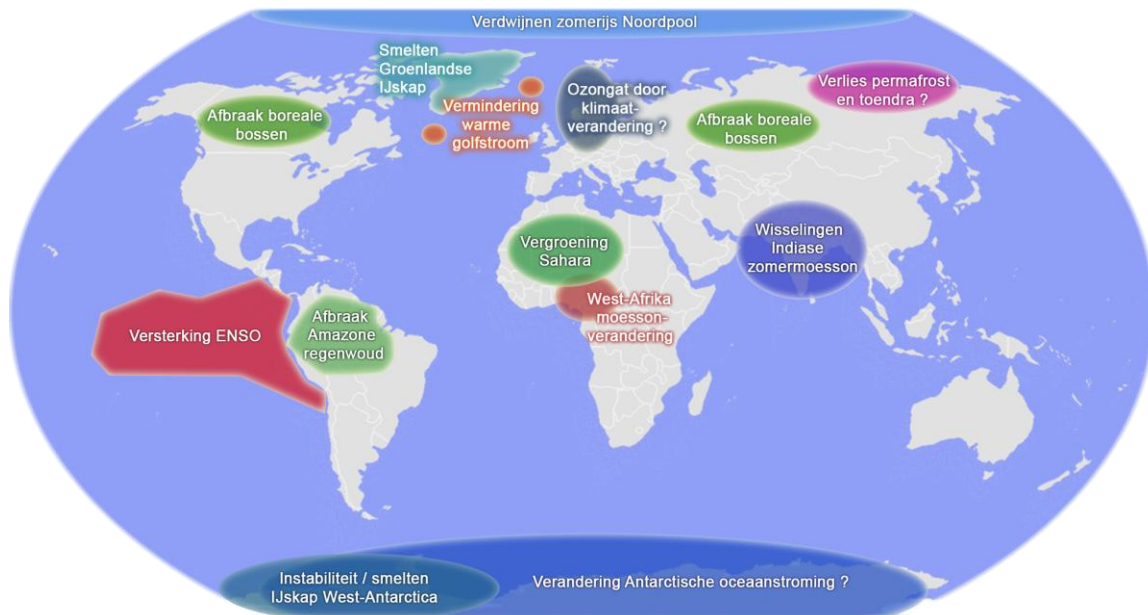
⁵ Originele bijschrift: Global temperature (left scale) and GHG forcing (right scale) due to CO₂, CH₄ and N₂O from the Vostok ice core. Ratio of temperature and forcing scales is 1.5°C per W/m². The time scale is expanded for the industrial era. Modern forcings include human-made aerosols, volcanic aerosols and solar irradiance. GHG forcing zero point is the mean for 10-8 ky BP. Net climate forcing and modern temperature zero points are at 1850.

van alleen de veranderingen van de hoeveelheid zonne-energie die de buitenkant van de aardse atmosfeer bereikt.

Meerdere wetenschappers hebben zich de afgelopen jaren verdiept in die terugkoppelingen en de betekenis daarvan. Zo publiceerde Marten Scheffer van Wageningen UR, hierover met collega onderzoekers Brovkin en Cox in *Geophysical Research Letters* (Scheffer et al, 2006). Net als Hansen concludeert Scheffer dat de aarde sterker opwarmt dan de curves van het IPCC aangeven. De terugkoppelingen in het systeem leiden er volgens hem toe dat de aarde zonder forse emissiereducties aan het einde van deze eeuw niet 1,5 tot 6 graden warmer is maar 2 tot 10 graden.

In dit verband wil ik ook het werk noemen van de Duitse onderzoeker Joachim Schellnhuber. Hij publiceerde afgelopen maand een wetenschappelijk artikel, met als titel: “Global Warming: stop worrying, start panicking?” (Schellnhuber, 2008). Hij komt tot soortgelijke conclusies als die van Hansen en Scheffer.

Waar moeten we nu op letten? Hoe herkennen we de verschijnselen en processen die deze onderzoekers aankondigen? Hiervan is begin dit jaar een overzicht gepubliceerd (Lenton et al., 2008). Lenton heeft een inventarisatie gemaakt van kantelpunten die bij voortgaande emissiegroei de komende eeuw in een of andere vorm zichtbaar kunnen worden, zie figuur 17. Hierbij noemt Lenton et al ondermeer de volgende verschijnselen (Lenton et al, 2008) zie figuur 18.



Figuur 17: ...⁶
Bewerking van Lenton et al. (2008)

⁶ Originele bijschrift: Map of potential policy-relevant tipping elements in the climate system and overlain on global population density. Subsystems indicated could exhibit threshold-type behavior in response to anthropogenic climate forcing, where a small perturbation at a critical point qualitatively alters the future fate of the system. They could be triggered this century and would undergo a qualitative change within this millennium. We exclude from the map systems in which any threshold appears inaccessible this century (e.g., East Antarctic Ice Sheet) or the qualitative change would appear beyond this millennium (e.g., marine methane hydrates). Question marks indicate systems whose status as tipping elements is particularly uncertain.

- 1) Verdwijnen van **Noordpool zomerijs**, bij een mondiale opwarming van 0,5 tot 2 graden Celsius;
- 2) Smelten van de **Groenlandse ijskap**, bij een mondiale opwarming van 1 tot 2 graden Celsius;
- 3) Smelten van de **Westkantartische ijskap**, bij een mondiale opwarming van 3 tot 5 graden Celsius;
- 4) Vermindering van de **warne Golfstroom**, bij een mondiale opwarming van 3 tot 5 graden Celsius;
- 5) Versterking van **ENSO** (El Nino Southern Oscillation) met toename weersextrema, bij een mondiale opwarming van 3 tot 6 graden Celsius;
- 6) Uitval **zomermoesson** in India met abrupte regenval vermindering, onder invloed van luchtvervuiling in combinatie met opwarming;
- 7) Versterking **West-Afrikaanse moesson**, met extra regenval in en vergroening van de Sahara, bij een opwarming van 3 tot 5 graden Celsius;
- 8) Vermindering regenval **Amazonergebied**, met verlies van regenwoud als gevolg van ontbossing en opwarming van 3 tot 4 graden Celsius;
- 9) Afbraak **boreale bossen** door pest en bosbrand, bij mondiale opwarming van 3 tot 5 graden Celsius;
- 10) Verandering **Antarctische oceaanstrooming**, met gevolgen voor de koolstof balans;
- 11) Verlies van **permafrost en toendra**, met als mogelijk gevolg extra methaan en kooldioxide in de atmosfeer;
- 12) Vrijkomen van **methaanhidraten/gas** vanaf de bodem van de zeeën, met versterking van broeikaseffect als gevolg;
- 13) **Verzuring van de oceaan** en/of **verlies van zuurstof**, met verlies van leven/biodiversiteit in de oceanen;
- 14) Versterking gat in de **ozonlaag** als gevolg van klimaatverandering;

Fig. 18: Kantelingen binnen systeem aarde die kunnen optreden bij verdergaande opwarming. Bron: Lenton et al (2008).

Naar aanleiding van deze bevindingen neemt het gevoel van urgentie toe. In reactie hierop is inmiddels de groep van 350 (ppm) gevormd die een eigen website heeft opgezet: www.350.org. Ook neemt het aantal pleidooien toe voor het veel drastischer aanpakken van de emissies van broeikasgassen, zie het CleverClimate initiatief: www.cleverclimate.org.



Fig. 19: Pleidooi voor 350 ppm doelstellingen zichtbaar gemaakt op www.climatecrisiscoalition.org (zie ook www.cleverclimate.org).

3.2 Wat betekent dit voor de stijging van de zeespiegel?

Een van de meest in het oog lopende verrassingen is het smelten van het Noordpool zomerijs en het smelten van de gletsjers van Groenland en van de Westkantartische ijskap, veel eerder dan voorzien. Hier ziet u de verandering van smeltgebied van de Groenlandse ijskap en de verandering in de jaarlijkse hoeveelheid smeltwater. Daaronder ziet u de meeste recente gegevens van het smelten van de West-Antarctische ijskap. Vanaf ongeveer het jaar 2000 zijn Groenland en Antarctica netto producenten van water en dus van zeespiegelstijging geworden.

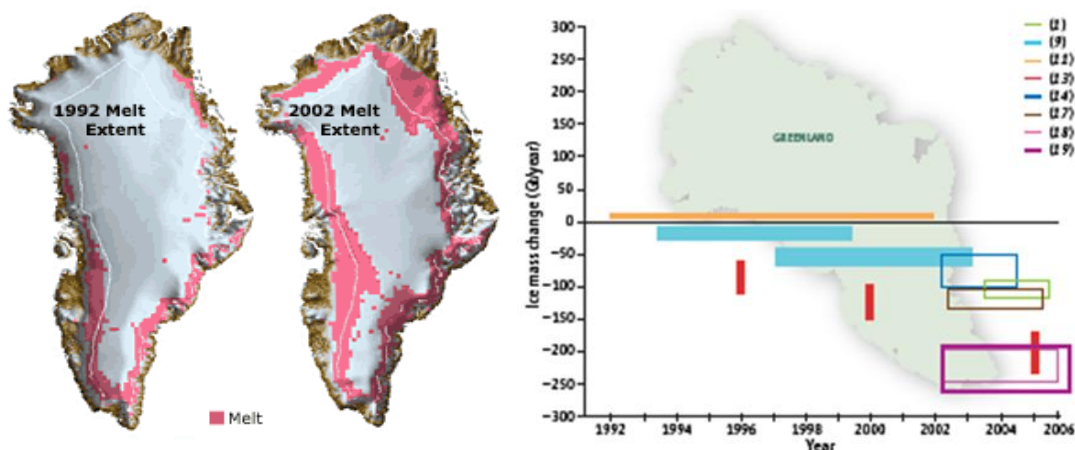


Fig. 20: Smelten van de ijskap van Groenland. Bron: Steffen et al. (2004) / Cazenave (2006).

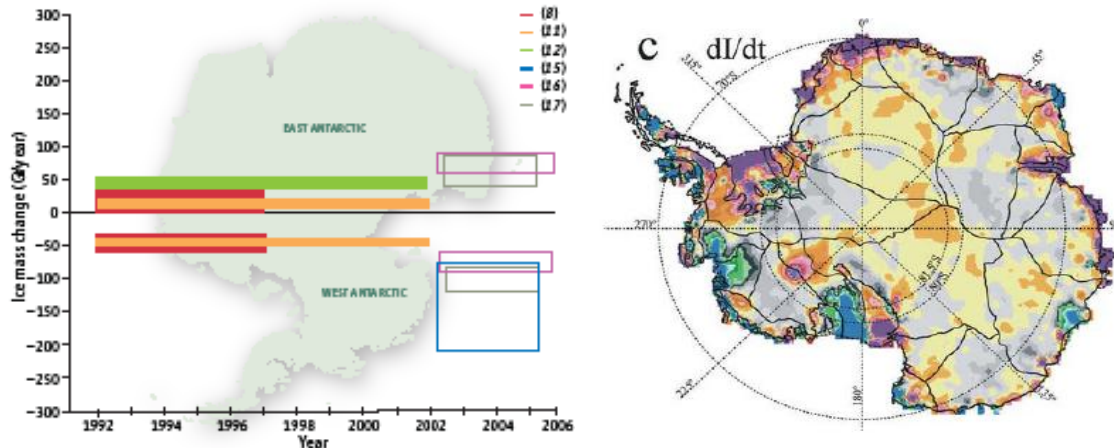


Fig. 21: Afsmelten van de Antarctische IJskap. Bron: Cazenave (2006).

Deze waarnemingen zijn van overweldigende betekenis wanneer we het onderzoek van de paleoklimatologen erbij halen. Zij geven aan dat tijdens het voorgaande interglaciaal, voor de laatste ijstijd, ongeveer 122.000 jaar geleden, de gemiddelde wereldtemperatuur gedurende enige tijd ca. 2 graden warmer is geweest dan in de afgelopen ca. 5000 jaar, (zie figuur 22 hieronder).

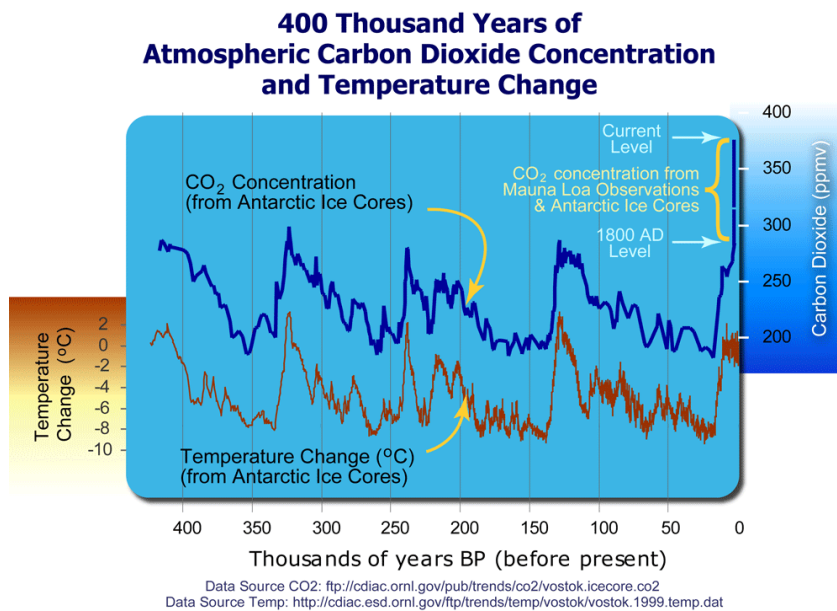


Fig. 22. Bron: Michael Ernst, Woods Hole Research Center
(www.whrc.org/resources/online_publications/warming_earth/scientific_evidence.htm)

Uit reconstructies van de veranderingen van het niveau van de zeespiegel komt naar voren dat het gemiddelde zeeniveau toen ongeveer 10 meter hoger stond dan nu. Maar van nog groter belang is dat de zeespiegel in die periode van (natuurlijke) opwarming steeg met een snelheid van 1 tot 2 meter per 100 jaar, zie figuur 23 hieronder.

Hieruit moeten we concluderen dat ook in de huidige periode van opwarming (waarbij de sneeuw- en ijsbedekking ongeveer gelijk is aan die situatie ruim 124.000 geleden) het zeeniveau met een dergelijke snelheid kan stijgen.

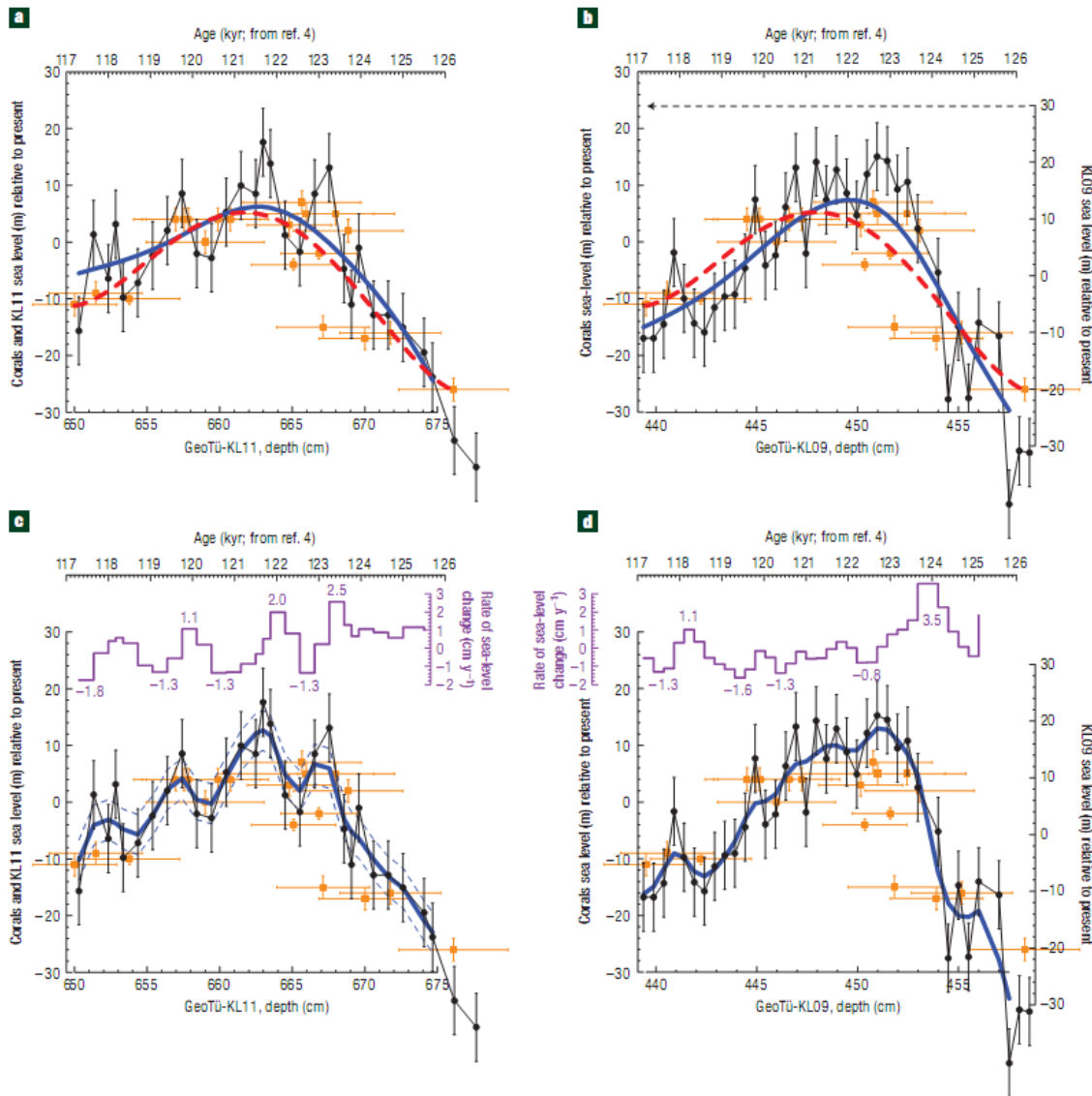


Fig. 23: ...⁷
Bron: Rohling et al, 2007

⁷ Originele bijschrift: MIS-5e high-resolution Red Sea sea-level reconstruction for KL11 and KL09 versus coral data. KL11 and KL09: black lines/filled circles, $1\sigma = 6\text{m}$ error bars; coral data: orange squares, with age/altitude error bars. a, Long-term average trends: 3,000 year gaussian filter through KL11 (thick blue line); long-term trend in coral data (dashed red line). b, As a, for KL09. c, Short-term sea-level trends, from a 750 year gaussian filter through KL11 (thick blue line). Dashed blue lines show statistical 1 standard error for this record. The first time derivative of the thick blue record yields rates of change (purple step plot, with maximum rates of rise (positive) and lowering (negative)). d, As c, for KL09.

Wat betekenen deze inzichten voor Nederland?

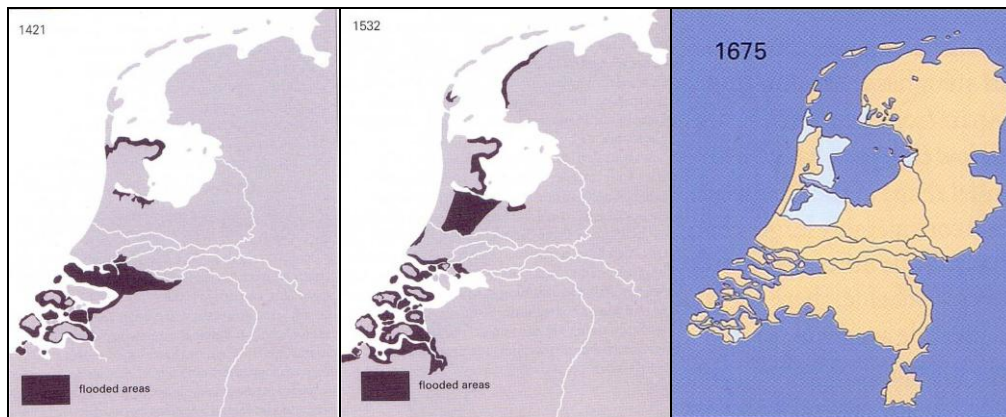
Ons land ligt voor een groot deel beneden de zeespiegel. De hogere plaatsen in het westen van Nederland zijn volgebouwd. Veel VINEX locaties liggen ruim onder de zeespiegel. Kunnen we doorgaan met bouwen in polders die meer dan 5 meter onder de zeespiegel liggen, zoals de Zuidplaspolder? Kunnen we doorgaan met het verhogen van de dijken, of moeten we onze investeringen richten op de hogere gronden in het oosten?

Deze discussie is al twee jaar gaande. Ik heb als voorzitter van de Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen in december 2006 bij het uitbrengen van dit advies laten zien dat, volgens de officiële inspectie van de overheid, 19 % van de bestaande waterkeringen niet voldoet aan de wettelijk vastgelegde veiligheidsnorm, en dat dit van nog eens 35 % niet met zekerheid te zeggen is, zie figuur 24.

Toetsresultaten waterkeringen type:	Totaal a+b+c			
	2001		2006	
voldoet niet	549	15%	680	19%
geen oordeel / onvoldoende gegevens	1.217	34%	1.329	35%
voldoet	1.792	50%	1.590	46%
totaal	3.558		3.599	

Fig. 24: Resultaten toetsing primaire waterkeringen (in km en %). Bron: Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen (Commissie Vellinga), 2006.

In de geschiedenis van dijkversterking in Nederland zien we een cyclisch effect. Vlak na een overstromingsramp wordt er flink geïnvesteerd, maar na ongeveer 50 jaar neemt de kwetsbaarheid weer toe, waarna de volgende ramp ons weer wakker schudt. Hieronder ziet u het overstroomde gebied van verschillende rampjaren.



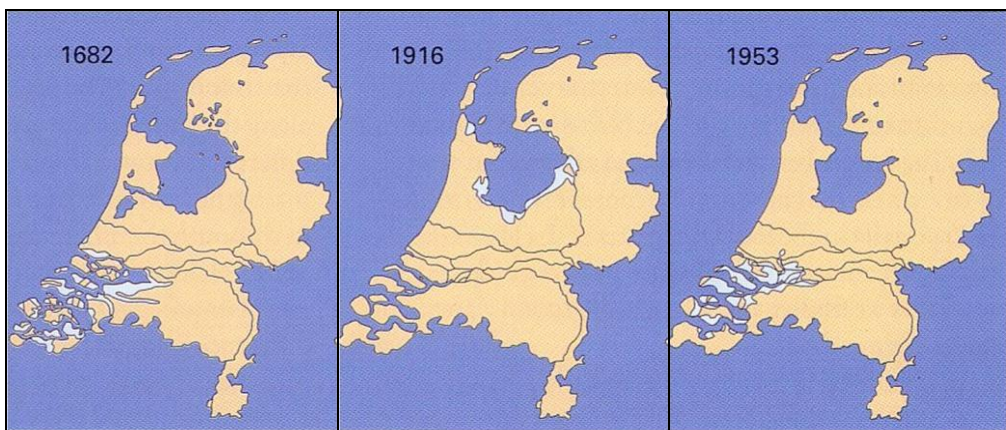


Fig. 25: Het overstromde gebied van verschillende rampjaren. Bron: van de Ven (1993).

Uit de geschiedenis komt naar voren dat we ons ongeveer eens per 100 jaar laten verrassen.

1014 – Een zware stormvloed treft de lage landen van Vlaanderen tot aan Noord- Duitsland. 1170 – Allerheiligen vloed, met doorbraken tussen den Helder en Texel, waarbij de Zuiderzee en de Waddenzee worden gevormd. 1287 – Sint Lucia vloed, waarbij West-Friesland van Friesland wordt gescheiden. 1421 – Sint Elizabeth vloed waarbij grote gebieden van Zeeland en Holland worden overstromd. Hierbij wordt de Biesbosch gevormd. 1530 – Sint Felix vloed, waarbij vooral Zeeland wordt getroffen. 1570 – Tweede Allerheiligen vloed, met zeer hoog water, vooral in Friesland en Zeeland.	1703 – Grote overstroming in geheel noordwest Europa met duizenden doden. 1717 – Kerstmis vloed, met meer dan 10.000 slachtoffers in Noord Nederland, Duitsland en Denemarken. 1825 – Stormvloed waarbij vooral Noord-Nederland en Overijssel worden getroffen. 1916 – Stormvloed in combinatie met hoge rivierafvoer leidend tot overstroming rondom de Zuiderzee. Deze stormvloed is aanleiding geweest tot de afsluiting en gedeeltelijke inpoldering van de Zuiderzee. 1953 – Zware stormvloed treft het zuid-westen van Nederland met 1835 slachtoffers. Het Deltaplan en de Deltawet moeten ervoor zorgen dat zoiets nooit meer gebeurt.
---	--

Fig. 26: Overstromingen en stormvloeden. Bron: van de Ven (1993).

Het feit dat we nu in Nederland van 50% van de primaire waterkeringen weten dat ze niet of niet geheel zeker voldoen aan de veiligheidscriteria van de Deltawet, bevestigt dit patroon. Vijftig jaar na de ramp is de noodzaak om de waterkeringen goed te verzorgen verdwenen uit het collectieve geheugen. De mate van achterstalligheid van de toestand van onze primaire waterkering blijkt ook uit de kloof tussen de beschikbaarheid van financiële middelen en de ramingen van middelen die nodig zijn om in 2015 wel te voldoen aan de wettelijke normen. Het verschil is ongeveer 1 miljard Euro per jaar, zie fig. 27 en 28.

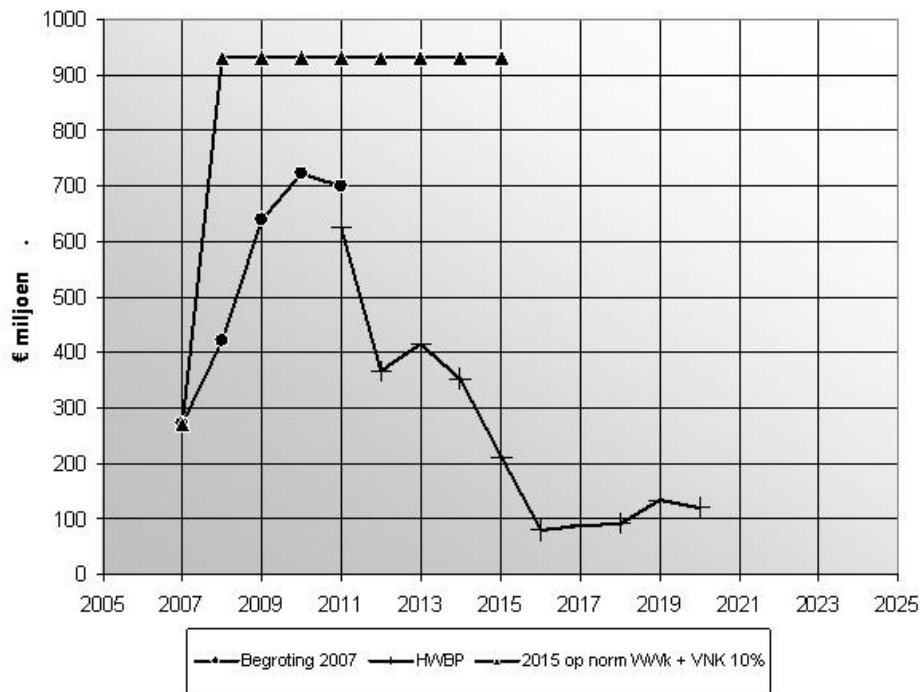


Fig. 27: Jaarlijks budget nodig voor het op normsterkte brengen van de primaire waterkeringen in 2015, conform de Wet op de waterkering. Bron: Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen (Commissie Vellinga), 2006.

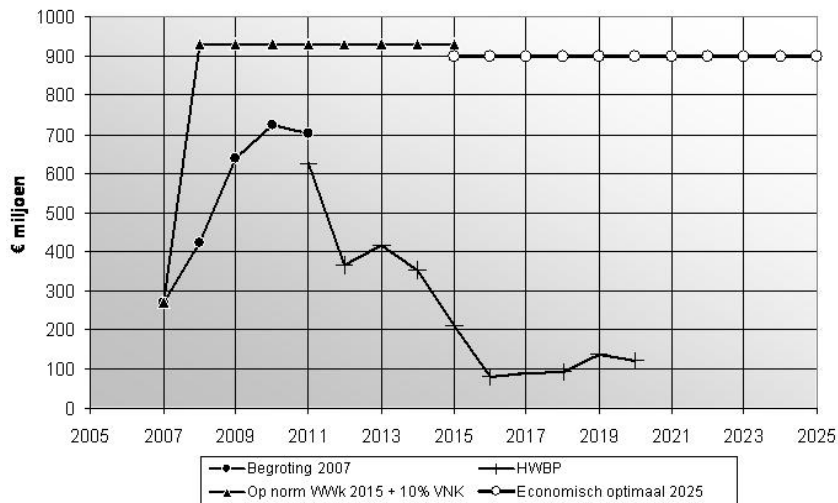


Fig. 28: Jaarlijks budget voor het ook “economisch optimaal” op orde brengen van de primaire waterkeringen. Bron: Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen (Commissie Vellinga), 2006.

3.3 Scenario's ten behoeve van de Deltacommissie

Gezien deze situatie en de verandering van het wereldklimaat werd eind 2007 besloten tot de instelling van de tweede Deltacommissie onder voorzitterschap van oud-minister Veerman.

Een van de eerste zaken waar de commissie mee te maken kreeg was de formulering van de tekst uit het IPCC rapport over zeespiegelstijging. In de rapporten die in 2007 zijn uitgekomen staat, in iets andere woorden: we hebben, met de beste modellen die we hebben van mondiale opwarming en de beste modellen van afsmelting van ijskappen, een projectie gemaakt van toekomstige zeespiegelstijging. We komen hierbij tot een schatting van 20 tot 60 cm stijging in 2100. Maar gelijktijdig zien we dat sinds ongeveer 2002 aan de randen van de ijskappen een smeltproces opgang is gekomen dat we op basis van onze modellen beslist niet eerder hadden verwacht dan over 50 tot 100 jaar.

Ten tijde van het opstellen van het IPCC rapport in 2005/2006 hebben de betreffende onderzoekers besloten de eerder genoemde 20 tot 60 cm voor 2100 te presenteren met de expliciete toevoeging dat hierbij nog geen rekening is gehouden met het dynamische gedrag, dat wil zeggen het versnelde afsmelten van gletsjers aan de randen van de ijskappen van Groenland en Antarctica, zoals inmiddels is waargenomen.

Voor ingenieurs en ook voor investeerders in laaggelegen gebieden is dit een heel lastig gegeven. Het is voor ingenieurs en investeerders onmogelijk te negeren wat je ziet gebeuren, ook al begrijp je het niet, wanneer het gaat om belangrijke beslissingen over de ruimtelijke inrichting en investeringen. De Deltacommissie heeft mij een aanvullend internationaal onderzoek laten doen, omdat er sinds de sluitingsdatum van de opstelling van het IPCC rapport (in 2006) nieuwe wetenschappelijke inzichten zijn gepresenteerd over het gedrag van de ijskappen en de stijging van de zeespiegel. In overleg met het KNMI heb ik de meest vooraanstaande wetenschappers op dit gebied uitgenodigd om mee te doen aan een internationale wetenschappelijke evaluatie (assessment) van de stand van de wetenschap. Als convening lead author of anders gezegd 'bijeenoerper' heb ik de volgende opdracht voorgelegd aan de groep van internationale deskundigen (zie fig.29).

- **Onderzoek scenario's, voor zeespiegelstijging, stormen en piek-rivierafvoeren voor de periode tot 2100 en voor de zeespiegel tot 2200.**
- **Geef speciale aandacht aan extremen, richt je daarbij zo mogelijk op het 95% waarschijnlijkheidsinterval;**
- **Gebruik ook de waarnemingen en publicaties van de afgelopen 2 jaar, sinds de "sluitingstijd" van het laatste IPCC rapport.**

Fig. 29: Opdracht van de Deltacommissie, zoals voorgelegd aan de groep van internationaal toonaangevende wetenschappers (Vellinga et al., 2008)

3.4 Scenario's voor de stijging van de zeespiegel

Het is nog steeds erg moeilijk om kansen toe te kennen aan exacte waarden voor zeespiegel niveaus. Dat zou ook eigenlijk te veel zekerheid suggereren over onze kennis en methode. Uiteindelijk hebben we gekozen voor het presenteren van een gebied waarbinnen volgens onze berekeningen naar alle waarschijnlijkheid de werkelijkheid zich zal afspelen. Ons eindrapport heeft als titel gekregen: "Exploring high end scenario's of climate change relevant for coastal protection of the Netherlands" (Vellinga et al., 2008). Het rapport vormt een van de bijlagen bij het rapport van de Deltacommissie (Deltacommissie, 2008).

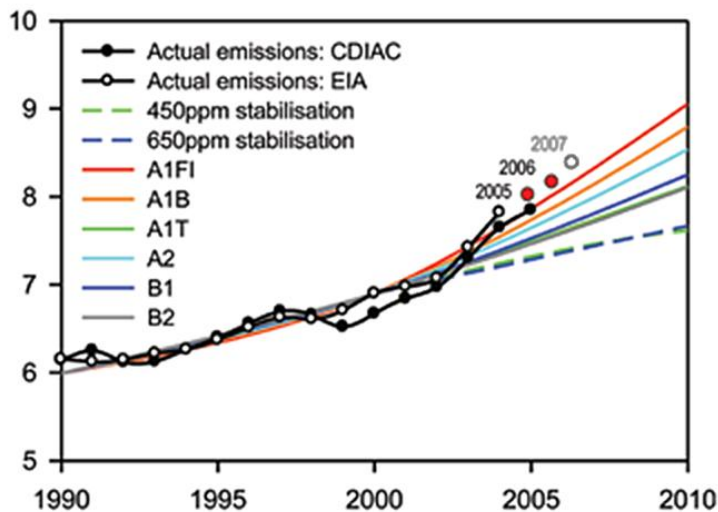


Fig. 30: De waarden voor de emissie in 2005, 2006 en 2007 allemaal boven de eerder opgestelde toekomstscenario's van IPCC. Bron: Vellinga et al., bijlage bij Rapport Deltacommissie (2008), aangepast van Raupach et al. (2007)

Gezien de hoger dan verwachte emissie van broeikasgassen zijn we in ons werk voor de Deltacommissie uitgegaan van de bovenkant van de IPCC projecties van temperatuurstijging. We hebben rekening gehouden met de mogelijkheid van 6° Celsius stijging aan het einde van deze eeuw. Als internationale groep van deskundigen zijn we gekomen tot projecties voor zeespiegelstijging, zoals hieronder aangegeven voor het jaar 2100 wereldwijd in figuur 31a, en voor Nederland in figuur 31b. Voor het jaar 2200 is de projectie aangegeven in figuur 32. Hierbij is gebruik gemaakt van fysisch mathematische modellen. Daarnaast zijn aanvullende schattingen gemaakt op basis van de gegevens over zeespiegelveranderingen in eerdere warme periodes.

Deze laatste resultaten, van de paleoklimatologen aangevuld met berekeningen van glaciologen, zijn aangegeven in figuur 33. Deze resultaten geven een iets grotere stijging van de zeespiegel dan de fysisch mathematische berekeningen. Deze resultaten zijn gebaseerd op metingen en reconstructies van het verleden. Hierbij is de precieze datering een bron van onzekerheid, waardoor het erg moeilijk is uitspraken te doen op een tijdschaal van tientallen jaren. Daarom hebben we in ons eindrapport geadviseerd de resultaten van de fysisch mathematische berekeningen (50 tot 120 cm stijging in 2100) als belangrijkste uitkomst te hanteren.

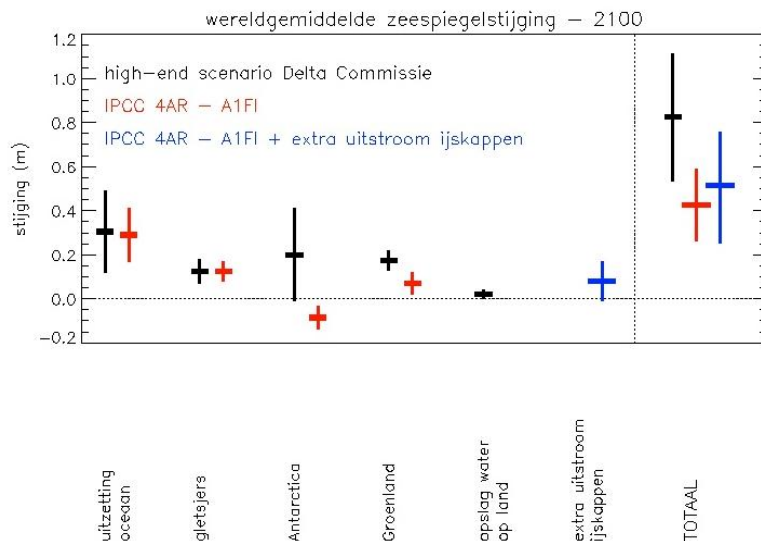


Fig. 31a: zeespiegel scenario's in 2100 voor de wereld, excl. bodemdaling. Bron: Vellinga et al, bijlage bij Rapport Deltacommissie (2008).

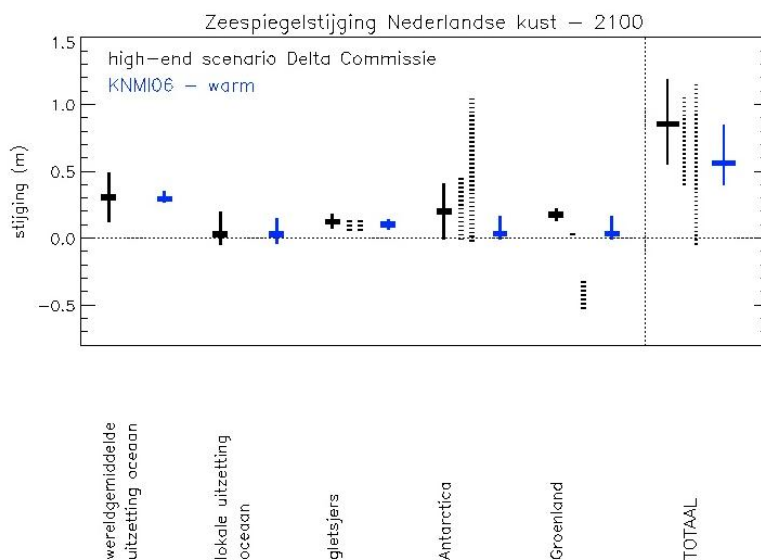


Fig. 31b: zeespiegel scenario's in 2100 voor Nederland, excl. Bodemdaling. Bron: Vellinga et al, bijlage bij Rapport Deltacommissie (2008).

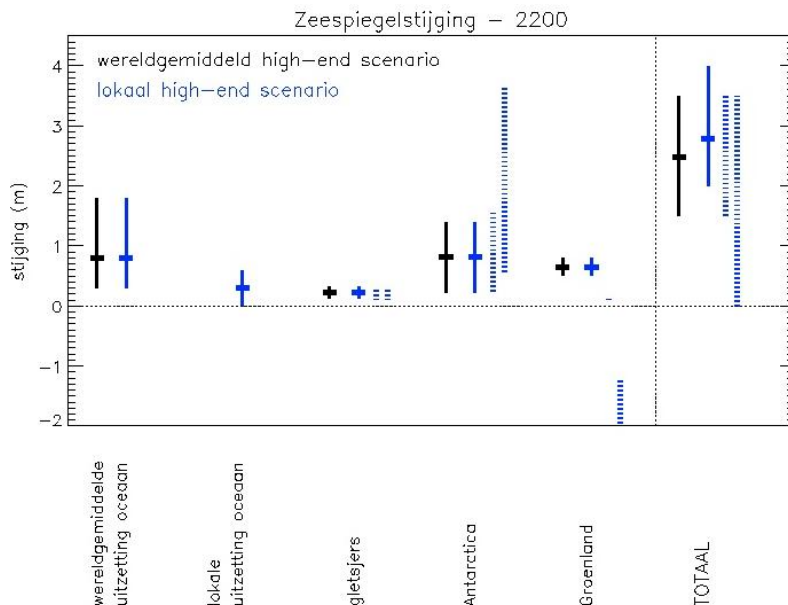


Fig. 32: idem voor 2200.....

Bron: Vellinga et al, bijlage bij Rapport Deltacommissie (2008).

Methode /aannames	Geschatte zeespiegelstijging in 2050 (m)	Geschatte zeespiegelstijging in 2100 (m)	Geschatte zeespiegelstijging in 2200 (m)
~ 1.7 meter zeespiegelstijging per 100 jaar op basis van de paleo data van Rode Zee gebied	~ 0,5	~ 1,4	~ 3,1
~ 2,4 meter zeespiegelstijging per 100 jaar op basis van de laatste interglaciaal	~ 0,7	~ 1,9	~ 4,3

Fig. 33: Schattingen voor bovengrensscenario's voor de wereldgemiddelde zeespiegelstijging op basis van paleoklimatologische reconstructies (Vellinga et al, 2008, bijlage bij Rapport Deltacommissie)

De zeespiegel scenario's kunnen worden vergeleken met projecties die zijn uitgevoerd door groepen van onderzoekers in andere landen.

Een belangrijke Adviescommissie van de Duitse overheid heeft ook geworsteld met de timing van het afsmelten van de gletsjers van Groenland en Antarctica. Uiteindelijk heeft die Duitse groep besloten wel een uitspraak te doen over de komende 300 jaar, zonder exacte uitspraken te doen over de komende 100 jaar. De Duitse onderzoekers komen voor het jaar 2300 op een schatting van stijging van de zeespiegel van 2,5 tot 5 meter.

In California is dit jaar de zogenoemde Delta Vision opgesteld over het omgaan met de laag gelegen gebieden in de regio van Sacramento. Deze groep komt met de aanbeveling rekening te houden met een stijging van de zeespiegel van maximaal 1.40 meter in het jaar 2100.

Tot slot is recent door Pfeffer een schatting gemaakt van de maximale hoeveelheid ijs aan de randen van de ijskappen van Groenland en Antarctica die in een periode van 100 jaar

technisch gezien zou kunnen smelten en in zee verdwijnen (Pfeffer, 2008). Hij komt op basis van berekeningen zoals ook zijn uitgevoerd door ons ten behoeve van het rapport voor de Deltacommissie, maar onafhankelijk daarvan, tot maxima voor het jaar 2100 in de orde van 80 cm tot 2 meter (zie de tabel in fig. 34).

	SLR equivalent (cm)		
	Low 1	Low 2	High 1
<i>Greenland</i>			
Dynamics	9,3	9,3	46,7
SMB	7,1	7,1	7,1
Greenland total	16,5	16,5	53,8
<i>Antarctica</i>			
PIG/Thwaites dynamics	10,8		39,4
Lambert/Amery dynamics	1,6		15,8
Antarctic Peninsula dynamics	1,2		5,9
SMB	1,0		1,0
Antarctica total	14,6	12,8	61,9
<i>Glaciers/ice caps</i>			
Dynamics	9,4		47,1
SMB	8,0		80
GIC total	17,4	24,0	55,1
Thermal expansion	30,0	30,0	30,0
Total SLR to 2100	78,5	83,3	200,8
Pfeffer heeft berekend hoeveel van het beschikbare ijs van Groenland en Antarctica binnen een periode van nu tot 2100 zou kunnen smelten en hoeveel de wereldgemiddelde zeespiegel maximaal zou kunnen stijgen. Hij geeft in zijn publicatie aan: -meest waarschijnlijk is 0,80 m. in 2100 -met kleine kans op 2,0 m in 2100			

Fig. 34: ...⁸ Bron: Pfeffer (2008). Waarden omgezet van mm in cm.

⁸ Originele bijschrift: SLR projections based on kinematic scenarios. Thermal expansion numbers are from G. A. Meehl et al.

Al deze resultaten zijn weergegeven in Figuur 35, tezamen met in 2006 door het KNMI gemaakte projecties, zie figuur 35.

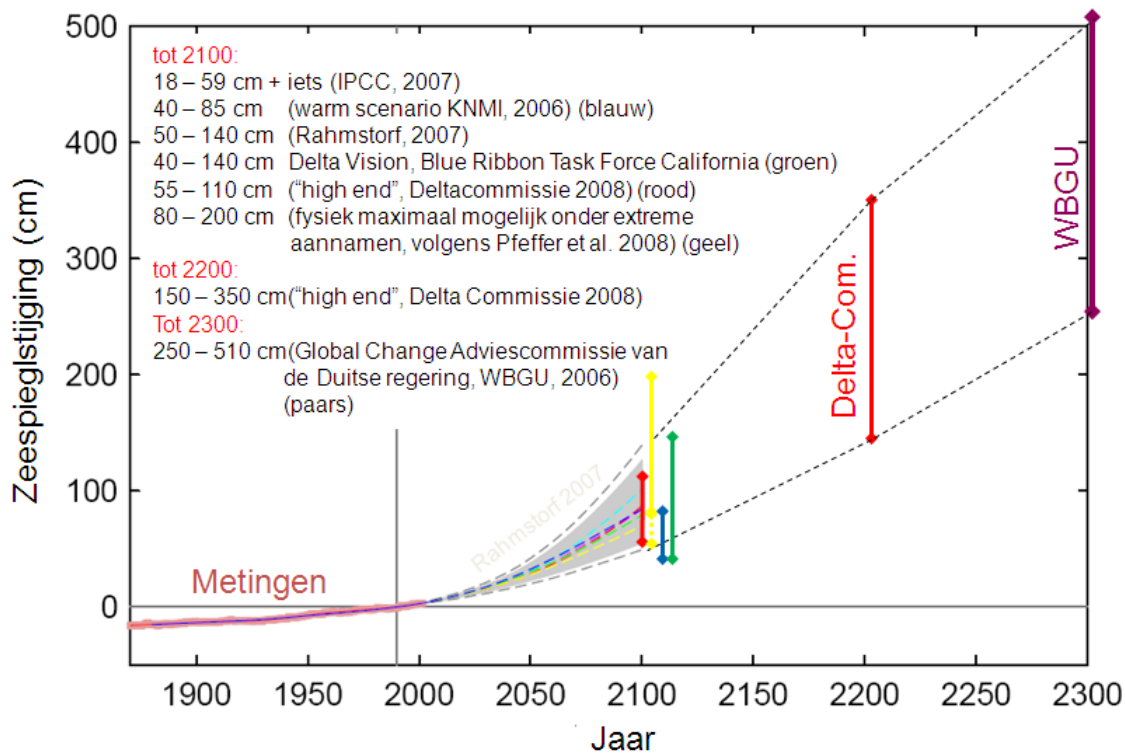


Fig. 35: Recente schattingen van wereldwijd gemiddelde zeespiegelstijging, samengesteld door Vellinga.

3.5 Invloed van klimaatverandering op stormvloeden

De stijging van de zeespiegel is vooral van belang voor de lange termijn aspecten van de inrichting van ons land. De dagelijkse risico's worden primair bepaald door de kans op een stormvloed, waarbij de wind het water vele meters kan opstuwen tegen onze kust. De opstuwing tijdens de stormvloed van 1953 is als illustratie aangegeven in figuur 36. Het normale vloed tij reikte toen tot ongeveer 1 meter boven NAP. De storm zette daar nog eens 2,8 meter bovenop, tot een totale hoogte bij Hoek van Holland van 3.80 meter boven NAP. Het is daarom van groot belang inzicht te verkrijgen in het effect van klimaatverandering op de sterkte en de richting van Noordzee stromen.

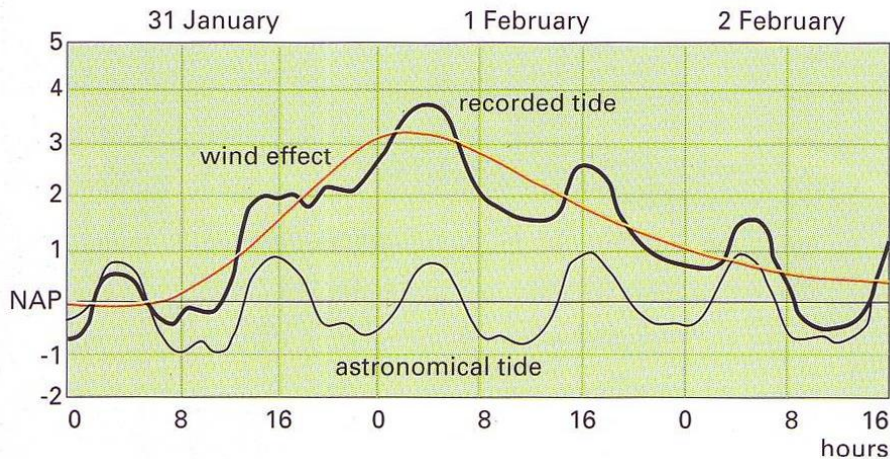


Fig. 36: 1953 stormvloed en de opzet... Bron: van de Ven (1993)

Op verzoek van de Deltacommissie hebben wij ons ook hierover gebogen. Uit onderzoek met verschillende modellen is hierbij naar voren gekomen dat de invloed van klimaatverandering klein is ten opzichte van de natuurlijke variabiliteit, en ten opzichte van de onzekerheid inherent aan de statistische bewerking van relatief korte reeksen van waarnemingen. Dit wordt veroorzaakt door de tendens (onder invloed van klimaatverandering) tot vaker optredende (zuid-)westen winden. Er zijn vooralsnog geen aanwijzingen voor meer of sterkere stormen uit noordelijke richting: storm uit het noorden veroorzaakt de hoogste wateropzet aan de Nederlandse kust.

Het is van groot belang te beseffen dat de statistiek van de extreme waarden voor stormopzet een grote spreiding laat zien voor de zeer extreme gebeurtenissen, zie het werk van KNMI onderzoeker H.W. van den Brink, weergegeven in fig.37. De maatgevende stormvloed die een kans van voorkomen heeft van 1 op 10.000 per jaar zou ook een meter hoger, of lager kunnen zijn, dan we nu aannemen. Dit is te verklaren uit het feit dat we maar 120 jaar goede waarnemingen hebben, terwijl we een uitspraak willen doen over stormen met een kans van voorkomen van een op 100.000. De effecten van klimaatveranderingen verdwijnen in die spreiding.

Dat wil nog niet zeggen dat er geheel geen invloed is. Ik zou dan ook aan het Ministerie van Verkeer en Waterstaat willen voorstellen om nader onderzoek uit te voeren naar de manieren waarop schattingen voor extreme stormopzet kunnen worden gemaakt.

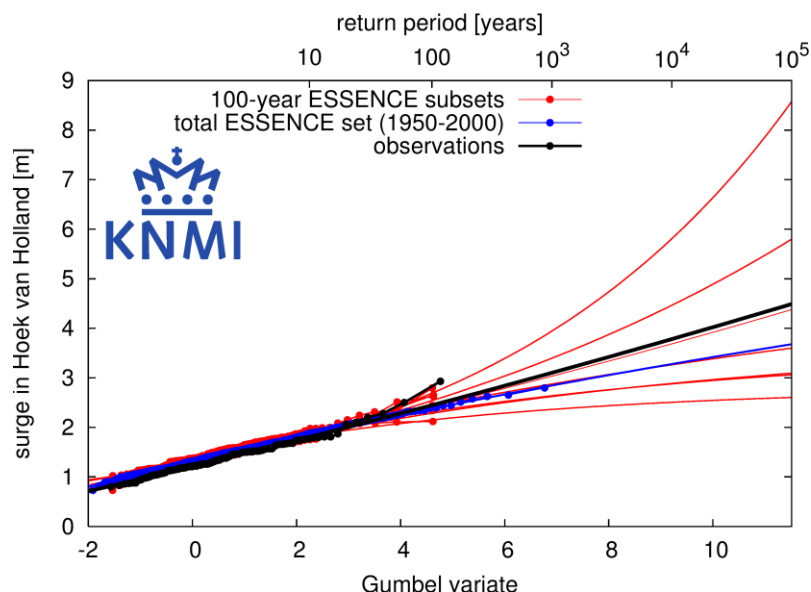


Fig. 37: Geschatte overschrijdingsniveaus voor 7 equivalente 100-jarige reeksen, gegenereerd met een klimaatmodel binnen het ESSENCE project (rood), en de waarnemingen in Hoek van Holland (zwart). De ESSENCE wind- en drukvelden zijn doorgerekend met het waterbewegingsmodel WAQUA. De jaarextremen zijn geanalyseerd met de GEV-verdeling, die geëxtrapoleerd is tot een herhaaltijd van 10^5 jaar. De combinatie van de verschillen tussen de 7 reeksen met de keuze van statistische verdeling leidt tot grote verschillen in de geschatte overschrijdingsniveaus. Bron: H.W. van den Brink (KNMI)

3.6 Scenario's voor hoogwater op de rivier.

Voor de veiligheid van Nederland tegen overstroming zijn drie aspecten van belang: ten eerste de invloed van klimaatverandering op de stijging van de zeespiegel, ten tweede de invloed op de stormen die kunnen optreden op de Noordzee, en ten derde de invloed op de piekafvoer van de rivieren.

Ten aanzien van de piekafvoer van de rivieren is het volgende gevonden. Voor 2050 zou rekening gehouden moeten worden met een verhoging van de rivierafvoer bij Lobith, die met een kans van 1 op 1250 per jaar voorkomt, van 16.500 à 19.000 m³ per seconde. Voor 2100 loopt dit op tot 17.000 à 22.000 m³ per seconde. Hierbij geldt echter dat zo'n hoge afvoer zal leiden tot overstroming in Duitsland, voordat het water Nederland bereikt. In de praktijk kunnen we daarom, zolang Duitsland zijn dijken niet versterkt, volstaan met rivierdijken die bestand zijn tegen ca. 17.500 m³ per seconde, zie fig. 38.

Piekafvoer bij Lobith indien Duitsland de dijken flink heeft verhoogd

	Referentie afvoer	2050	2100	2200
Piekafvoer (m³/s)	16.000	16.500 – 19.000	17.000 – 22.000	n.b.
Verandering piekafvoer %		3 – 19	6 – 38	n.b.

Piekafvoer bij Lobith indien Duitsland met dijken zoals in de huidige situatie

	Referentie afvoer	2050	2100	2200
Piekafvoer (m³/s)	16.000	15.500 – 17.000	16.000 – 17.500	n.b.

Fig. 38: Twee tabellen over de rivier piekafvoer. Bron: Vellinga et al (2008)

3.7 Samenvatting

Uit het voorgaande blijkt dat klimaatverandering grote gevolgen heeft voor ons land en aanzienlijke investeringen vraagt in de waterkeringen. Hierbij moet ik toevoegen dat veiligheid ten aanzien van water is slechts een van de aspecten van klimaatverandering. Daarnaast zijn er aanzienlijke effecten op de gezondheid van mens en natuur. We zien nu de eerste effecten daarvan in de vorm van de snelle verspreiding van de processierups, het overwinteren van knutjes (vliegjes) die blauwtong verspreiden, de toename van teken door de warmere winters. Ook de stedelijke leefomgeving is gevoelig voor klimaatverandering. Gaan we allemaal over op airconditioning of kunnen we opwarming beperken door water en groen in de stad?

We kunnen ons tot op zekere hoogte aanpassen, maar mijn stelling is dat preventie de enige manier is om op termijn het hoofd letterlijk boven water te houden.

Indien we er niet in slagen de uitstoot snel en rigoreus te beperken, zullen we uiteindelijk te maken krijgen met het smelten van de volledige ijskap van Antarctica. Het gaat dan om ongeveer 70 meter stijging van de zeespiegel op een termijn van honderden tot enkele duizenden jaren. Ik wil daarom hierna kort iets zeggen over deze urgentie en wat we in Nederland kunnen doen.

4. Van dreiging naar kansen in Nederland, de keuzen waarvoor we staan.

4.1 Keuzen voor energie

Hoe we wereldwijd de emissie van CO₂ en andere broeikasgassen kunnen beperken is helder aangegeven in het laatste IPCC rapport (IPCC 2007, Metz et al.). Ook het plaatje dat ik eerder heb laten zien van het Internationaal Energie Agentschap geeft aan hoe je de CO₂ concentratie in de atmosfeer zou kunnen beperken tot 450 ppm (zie figuur 8). Wat zijn de keuzes op energiegebied waar we in Nederland voor staan?

Er is in Nederland een tekort aan elektrische energie, we importeren nu ca. 10% uit het buitenland. Buitenlandse energiebedrijven staan klaar om te investeren in Nederland op de Maasvlakte. Ze willen bij voorkeur meer kolencentrales bouwen.

Er worden vergunningen aangevraagd voor poederkool centrales waarvoor geldt dat ze bij voorkeur permanent moeten draaien (dat noemen we in jargon basislast centrales). Ook zijn er recent voorstellen gedaan voor de bouw van extra kerncentrales. Ook kerncentrales moeten permanent draaien.

Invulling van onze vraag naar elektriciteit op deze manier zal betekenen dat er weinig flexibiliteit is voor de inpassing van wind- en zonne-energie.

Het Regieorgaan Energie Transitie van het ministerie van VROM en EZ heeft hierover een rapport opgesteld (Energiescenario Kracht en Warmte, opgesteld op verzoek van het Regieorgaan Energie Transitie door CE Delft, 2008). Het Regieorgaan komt tot de conclusie dat, indien er meer poederkool of nucleaire centrales zouden worden gebouwd in Nederland, er geen ruimte meer zal zijn voor inpassing van het gebruik van vernieuwbare energiebronnen zoals wind en zon. Deze laatste energiebronnen passen wel bij centrales die gebaseerd zijn op aardgas, kolengas of biogas. De beste overgang naar een duurzame, klimaatneutrale elektriciteitsvoorziening loopt volgens het Regieorgaan via aardgas, kolengas en groen (bio)gas, en beslist niet via poederkool en nucleaire centrales, zie figuur 39.

In fig. 39 is te zien dat de helft van de windenergie niet ingepast kan worden wanneer er meer poederkool of meer kerncentrales (basislast centrales) worden gebouwd in Nederland. In fig.40 is aangegeven op welke wijze kolengas, aardgas en biogas zowel diversiteit als flexibiliteit kunnen brengen.

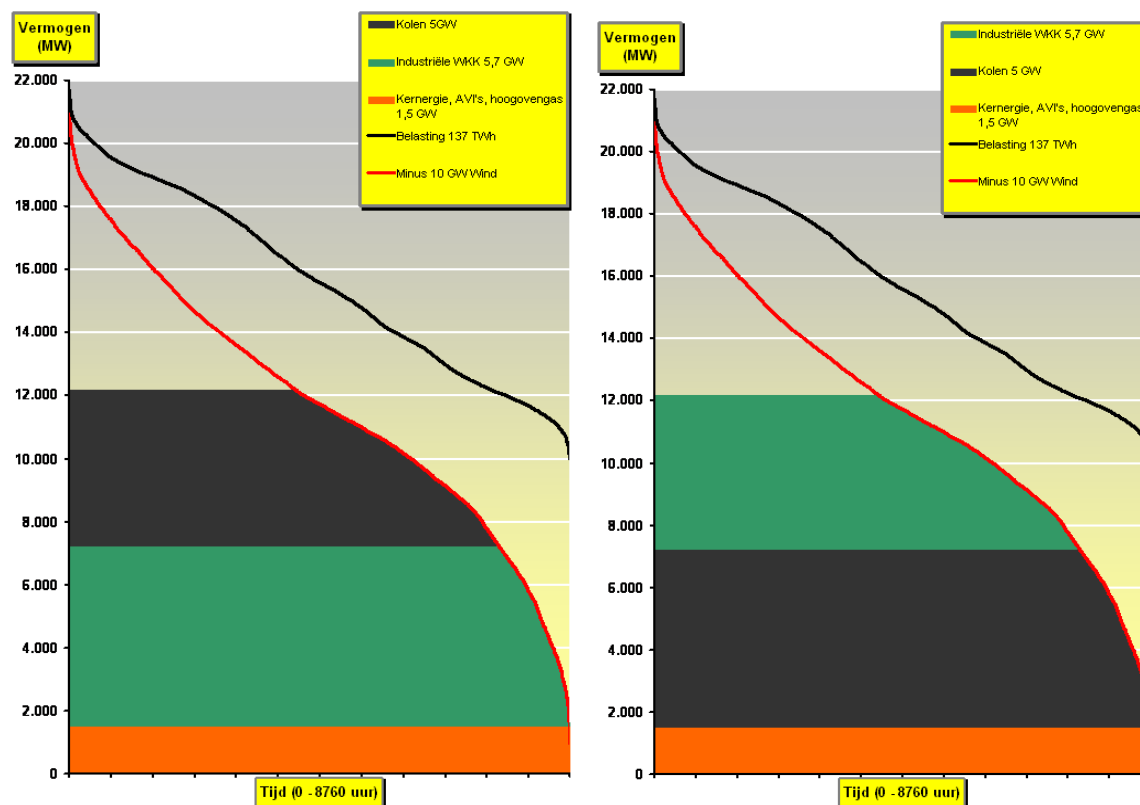


Fig. 39: Inpassing wind energie wordt bemoeilijkt door (te) ruime beschikbaarheid van zogenaamde basislast centrales.

Bron: Regieorgaan EnergieTransitie / H. Droog / CE Delft / TU Delft, 2008.

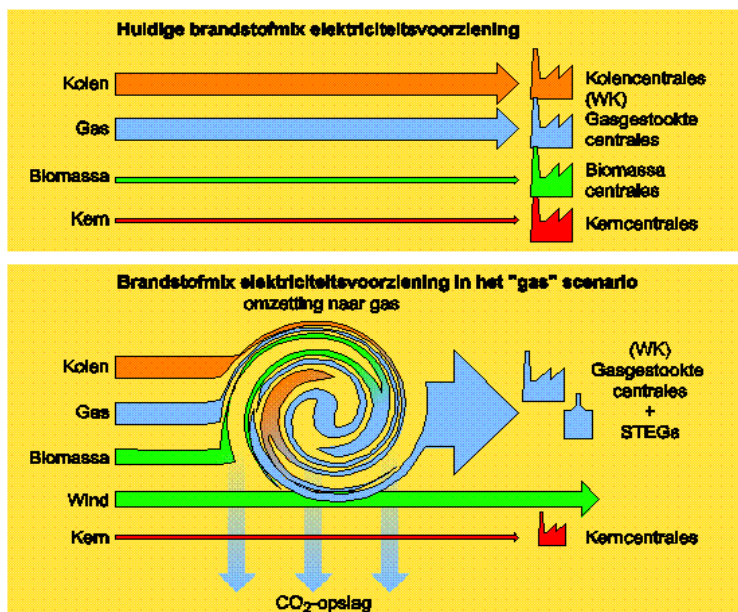


Fig. 40: Twee vormen van diversificatie van energiebronnen: de bovenste is traditioneel, de onderste is gericht op inpassing van duurzame energiebronnen.

Bron: Regieorgaan EnergieTransitie / H.Droog / CE Delft / TU Delft, 2008.

De Nederlandse politiek staat voor belangrijke keuzes. Hoe willen wij ons deel in de emissie vermindering vorm geven? In ieder geval moet er ruimte zijn voor flexibiliteit. Hierbij kan gas de sleutelbrandstof zijn voor flexibele centrales, waarbij wind- en zonneenergie op elk moment kunnen worden ingevoerd in het energienetwerk. Diverse onderzoeken laat zien dat elektriciteit steeds belangrijker wordt voor de overgang naar duurzaam, klimaatneutraal autovervoer. Binnen tien jaar kunnen op grote schaal elektrische auto's zijn ingevoerd (zie De Urgenda, www.urgenda.nl). De batterij- en accutechniek is nu al zover dat je 400 km. kan rijden zonder bij te laden. Een hybride systeem met bijvoorbeeld waterstof als brandstof doet dan de rest. We hebben nog aardgas en we kunnen gas maken uit steenkool en biomassa. In alle gevallen kunnen we de CO-2 die vrijkomt bij de productie van het gas opslaan in oude gasvelden.

Welk doel moet worden gehaald?

Stabilisatie van broeikasgas emissie op een waarde van 350 ppm is gewenst, gezien recente wetenschappelijke analyse van terugkoppelingen. De waarde 350 ppm is zeer moeilijk te halen op korte termijn, we zijn er al overheen. Stabilisatie van CO-2 op de waarde van 450 ppm, zoals IEA voorstelt, met nog 100 ppm ruimte voor andere broeikasgassen, leidt tot een maximum van 550 ppm, te halen in de periode rond 2050. Vervolgens kan dan gewerkt worden aan een daling tot 350 ppm in 2100. Op deze wijze kan naar de huidige inzichten en schattingen de temperatuurstijging beperkt blijven tot 2 à 4° Celsius en kan de zeespiegelstijging beperkt blijven tot ruim 1 meter.

4.2 Bescherming tegen overstroming

Het is niet zeker dat de zeespiegel zoveel zal stijgen als in de scenario's voor de Deltacommissie is aangegeven, maar we moeten er wel rekening mee houden in de vorm van robuuste planning en reservering.

Er zijn vijf redenen waarom we ons beleid met betrekking tot de verdediging tegen overstroming stevig moeten herzien.

- a) Onze veiligheid t.a.v. overstroming is niet op orde; 24 % van de dijken voldoen niet aan de Deltanorm en van 36% weten we dat niet zeker;**
- b) De norm is verouderd, immers we hebben meer mensen en meer kapitaal achter de dijken**
- c) Die mensen en kapitaal liggen steeds dieper door vestiging in lage polders en door voortgaande bodem daling**
- d) Klimaatverandering zet vraagtekens bij het gebruik van historische gegevens voor de bepaling van de kansen op toekomstige extrema.**
- e) Het veiligheidsconcept: naarmate de dijken hoger worden, wordt de ramp bij doorbraak ook groter.**

Fig. 41: Een overzicht van de redenen waarom we toe zijn aan een herziening van ons hoogwater beschermingsbeleid.

Gezien de verwachtingen ten aanzien van de stijging van de zeespiegel zijn er verschillende mogelijkheden om hiermee om te gaan:

1. **“Aanvallend verdedigen”**: de zoute zee volledig buiten de deur houden, door een sterk hoog duin (of dijk, eventueel met eilanden) ver in zee, van Cadzand tot aan Borkum;
2. **Verdedigen binnen de huidige contouren met 2 varianten: open en gesloten kust;**
3. **“Selectief terugtrekken”**, waarbij de investeringen verschuiven naar hogere gronden.

Fig. 42: Drie concepten voor het beschermen van Nederland tegen hoogwater en het omgaan met de zoutindringing.



Fig. 43: Illustratie optie 1: “aanvallend verdedigen”, aanleg van een zware brede dijk of duinenrij.

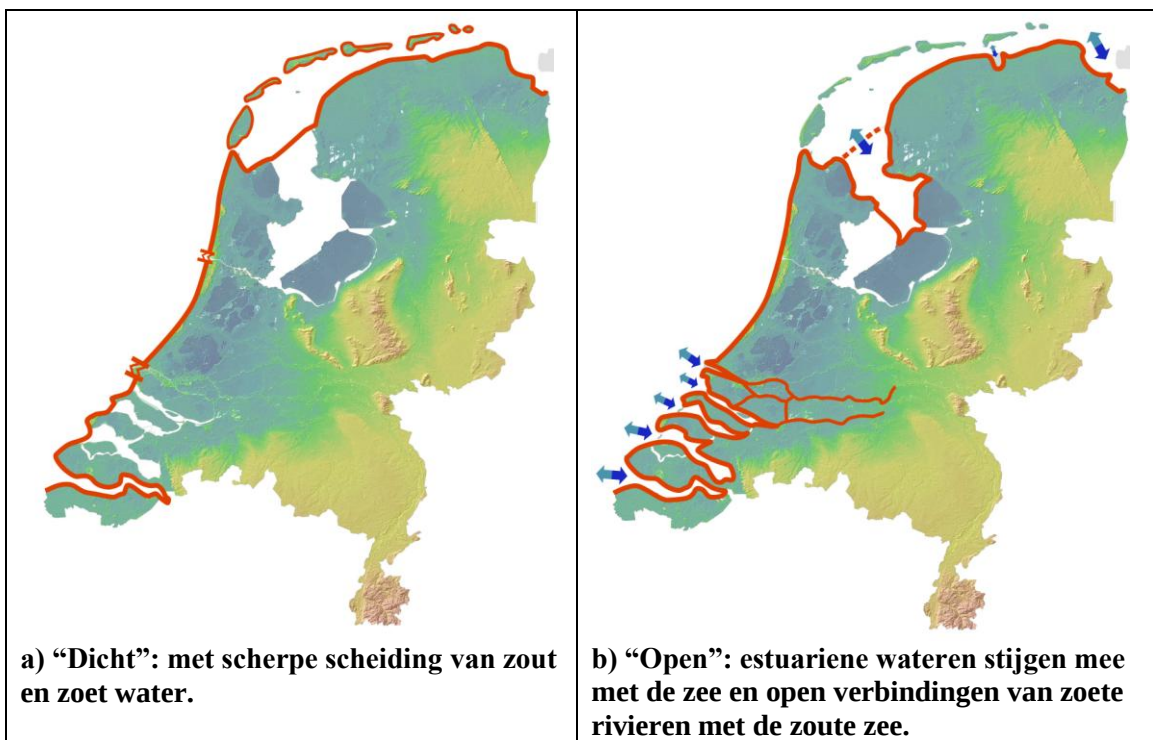


Fig. 44: Illustratie van optie 2, “verdedigen binnen huidige contouren”. Met twee varianten (a) open en (b) dicht. Originele kaart: Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)

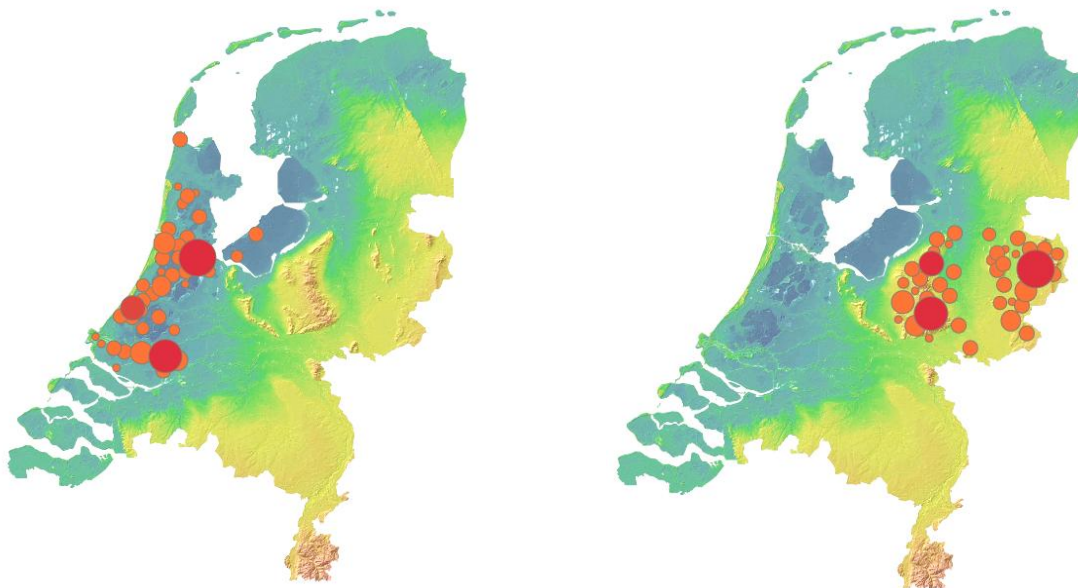


Fig. 45: Illustratie van het “verhuizen naar hogere gronden” en verplaatsen van de investeringen.

De Deltacommissie heeft duidelijk gekozen voor het verdedigen tegen hoog-water binnen de huidige contouren. En de Deltacommissie heeft hierbij niet gekozen voor de gemakkelijke variant, van dicht zetten, maar voor de moeilijker open variant. Deze variant biedt een hogere milieu- en natuurkwaliteit en biedt op lange termijn, als de zeespiegel verder stijgt en de rivier meer afvoert, meer perspectief en flexibiliteit. Met de “dichte” variant kunnen we uiteindelijk in de problemen komen met de afvoer van de rivieren.

Met de keuze voor de open variant kunnen we de bescherming tegen stormvloed en hoge rivierafvoer op vier verschillende manieren vormgeven (zie fig. 46). De vier varianten zijn, ieder met voor- en nadelen, geïllustreerd in de figuren 47 t/m 50.

- 1. Grote Dijkringen; zoals nu met hogere dijken en duinen;**
- 2. Kleine Dijkringen / verdere compartimentering van Nederland**
- 3. Wonen en werken op terpen; Nederland ophogen;**
- 4. Doorbraakvrije dijken, bijvoorbeeld bredere en daardoor veel sterkere dijken op huidige hoogte.**

Fig. 46: Vier concepten van verhoging van de veiligheid tegen overstroming

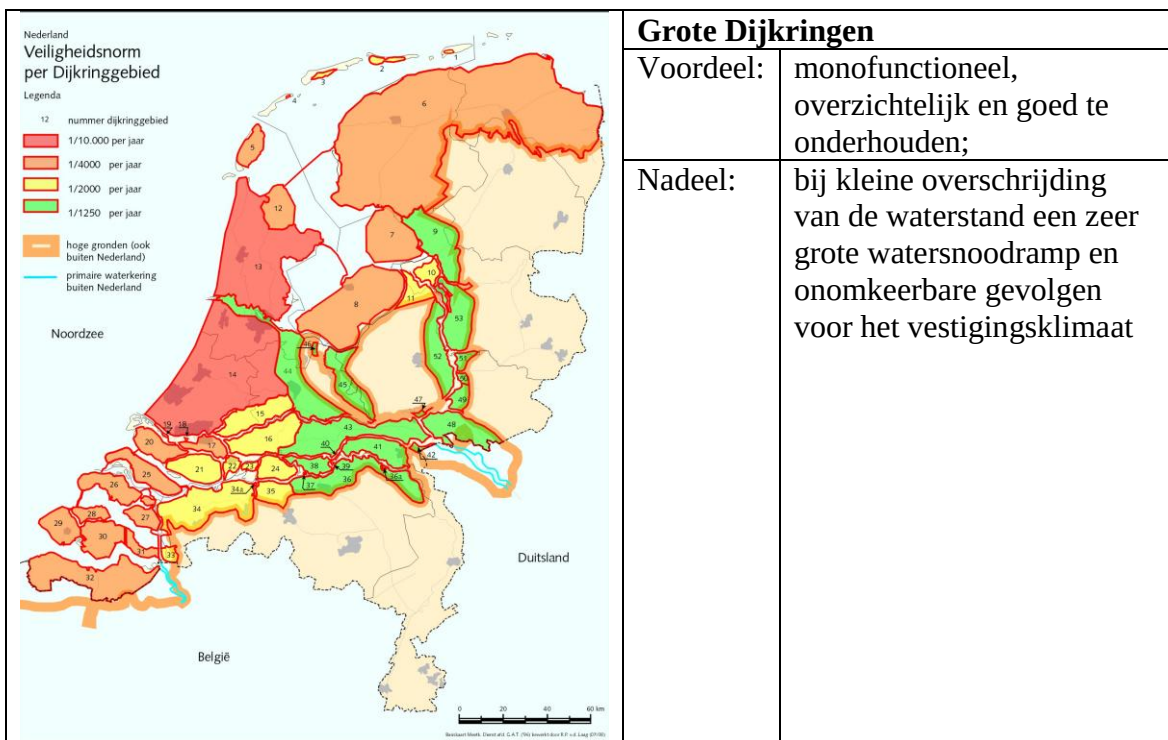


Fig. 47: Grote Dijkringen met voor- en nadelen (bron kaart: DWW Rijkswaterstaat).

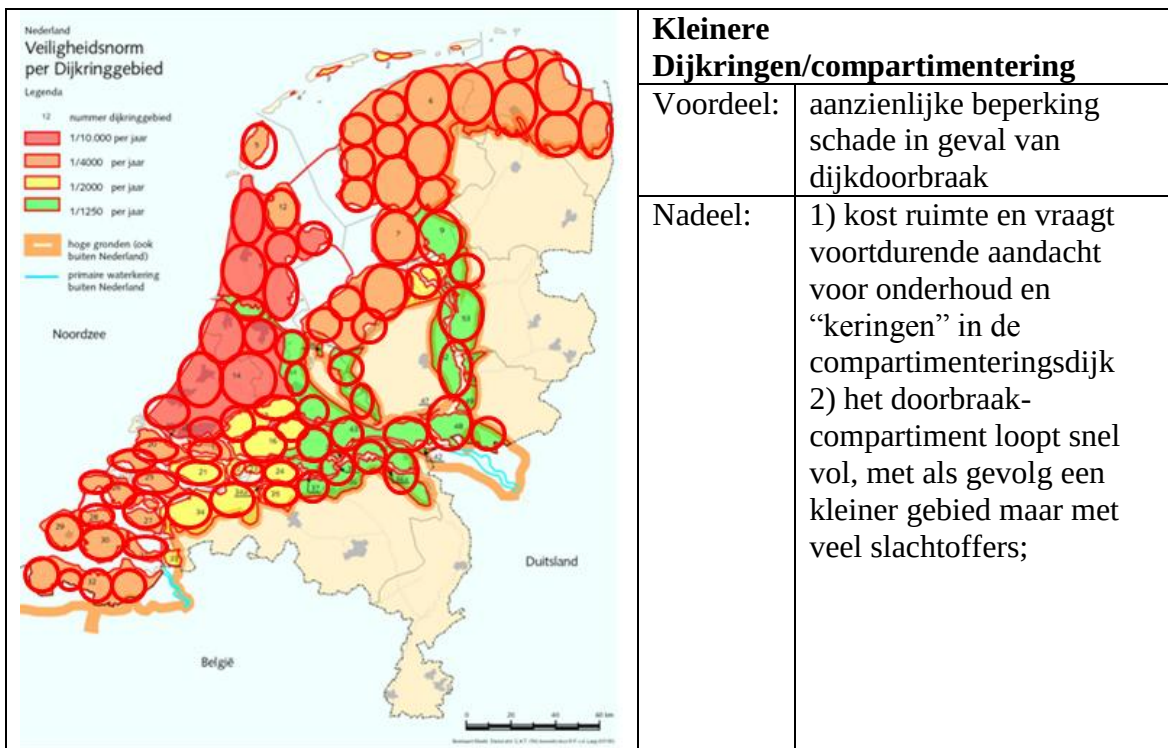


Fig. 48: Kleine Dijkringen met voor- en nadelen

 ■ Hoog Nederland ■ Laagland ■ Stedelijk / opgehoogd	Wonen en werken op terpen / Nederland ophogen	
	Voordeel:	het maaiveld van delen van laag Nederland ophogen is technisch haalbaar en creëert maximale veiligheid ook op termijn;
	Nadeel:	het kost zeer veel grond/zand en het is moeilijk uitvoerbaar, behalve lokaal bij nieuwbouw en vernieuwbouw

Fig. 49: Wonen en werken op terpen, met voor- en nadelen (Deltares, VU)

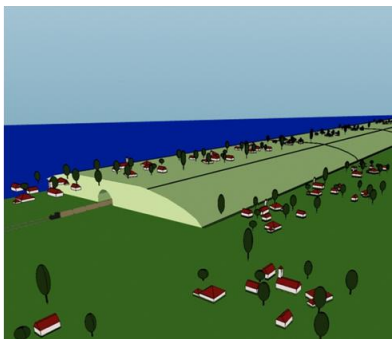
	Doorbraakvrije Dijken	
	Voordeel:	1) brengt het aantal slachtoffers in geval van overstroming sterk terug en de schade bij overstroming is veel kleiner dan bij een dijkdoorbraak: een overstroming geeft een tijdelijk probleem van wateroverlast; 2) uitvoering is technisch goed mogelijk en vraagt minder ruimte en geld dan compartimentering of een selectieve ophoging van het land en biedt meer veiligheid; 3) In geval van uitvoering als brede dijk biedt het nieuwe planologische mogelijkheden en financieringsmogelijkheden;
	Nadeel:	het kost veel tijd en bestuurlijke kracht om dit beleid door te voeren;

Fig. 50: Doorbraakvrije dijken met voor en nadelen

Het voordeel van de variant doorbraakvrije (brede) dijk is de geringe schade bij onverwacht extreem hoge waterstanden. De huidige dijk bezwijkt bij een waterstand hoger dan 5 m. boven NAP. De doorbraakvrije dijk bezwijkt niet, er stroomt alleen tijdelijk water overheen met veel minder schade als gevolg, zie fig. 51.

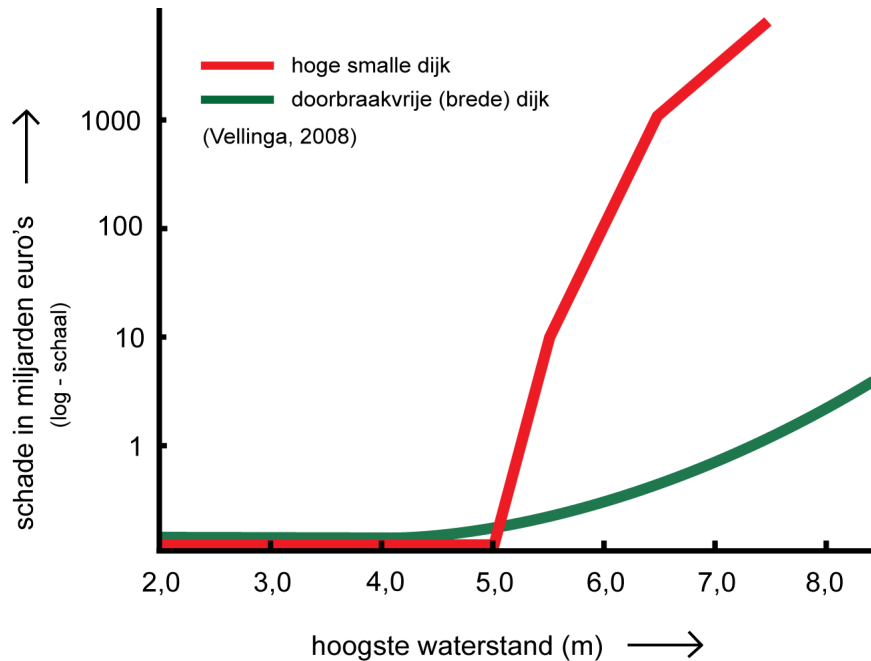


Fig. 51: Tentatieve schadekromme voor smalle en brede dijk

Als illustratie van het concept doorbraakvrije brede dijk wil ik u een aantal voorbeelden laten zien, waaruit blijkt dat er op verschillende plaatsen in ons land al voorzichtig wordt gewerkt met dit concept, zie de Figuren 52 tot en met 56.



Fig. 52: Klimaatbuffer, een kwelder die meegroeit met de zee



Fig. 53: Voorbeeld van brede dijk Almere. Bron: West 8 urban design & landscape architecture B.V. (www.west8.nl)

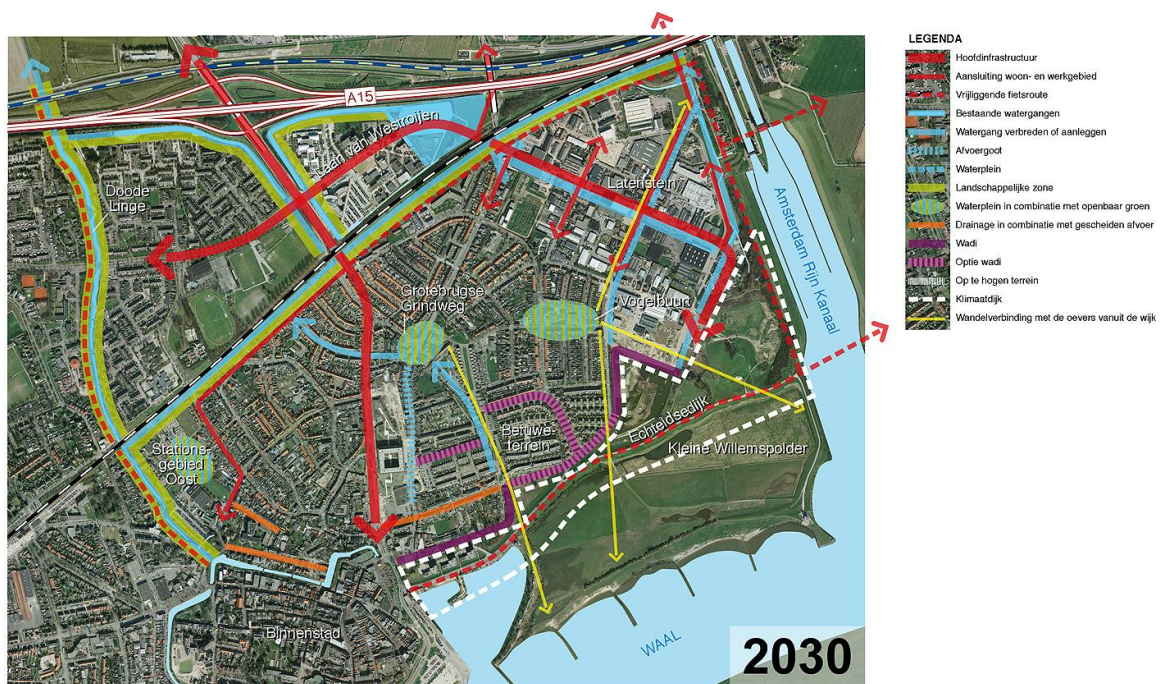


Fig. 54: Voorbeeld van brede dijk in Tiel. Bron: Gemeente Tiel, Tiel Oost droger en mooier, 2008 (www.tiel.nl/Tiel.asp?A1PID=331182PSXX&A1SID=16)



Fig. 55: Ellewoutsdijk: brede dijk uitgevoerd als dubbele kering.



Fig. 56: Perkpolder: klimaatbuffer en viskweekvijvers als onderdeel van de waterkering.

Op veel plaatsen kan dit concept worden gecombineerd met zoute landbouw en aqua cultuur (zie fig. 57 en 58). Het open concept, zoals gekozen door de Deltacommissie, biedt veel nieuwe kansen op dat gebied.

Saline and brackish agriculture



Images courtesy Arjen de Vos

Fig. 57: Zoute landbouw als kans.



Fig. 58: Zoutwater aqua cultuur als kans.

Als afronding van dit pleidooi voor brede dijken wil ik ter illustratie van concept graag een kort filmpje laten zien, het duurt anderhalve minuut.

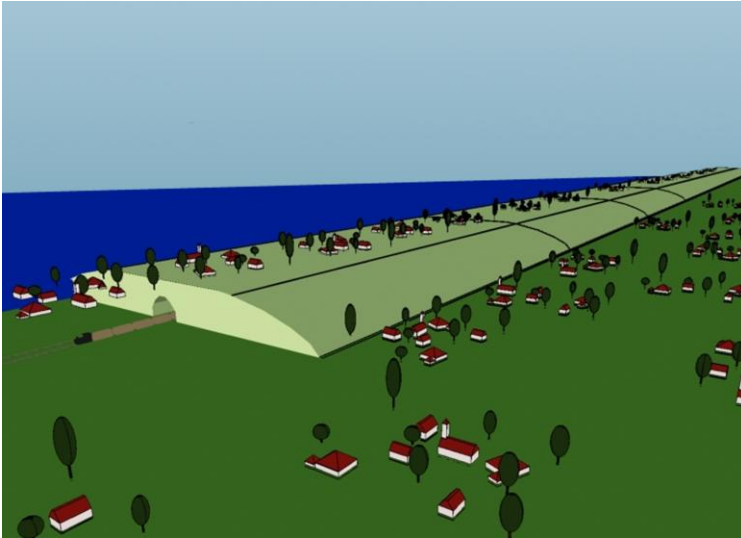


Fig. 59: Filmpje over de brede dijk. Te bekijken via: www.kennisvoorklimaat.nl

5. Plannen voor invulling van de nieuwe leerstoel

Voordat ik afsluit wil ik graag noemen wat de onderwerpen en ideeën zijn waaraan ik graag wil werken de komende jaren en waarop ik graag promovendi zou willen opleiden: allereerst het verder ontwikkelen van het brede dijken. Hierbij zal ik aansluiting zoeken bij de voorstellen voor klimaatdijken en klimaatbuffers waarmee grote verwantschap bestaat.

Daarnaast wil ik graag werken aan een verdere analyse van de verziltingsproblematiek van Nederland en de kansen die dat biedt voor zoute landbouw en zoute aquacultuur. Het zou mooi zijn wanneer we op enige termijn in Nederland een Zoute Floriade kunnen organiseren.

Tot slot wil ik mij richten op de mogelijkheden die het gebruik van water biedt in het klimaatbestendig en klimaatneutraal maken van onze samenleving, zie ook Fig 60. Er zijn veel technieken waarbij water wordt gebruikt als energiebron of als opslagmedium van energie. Water “op hoogte” is immers al witte steenkool. Water als energie-opslag medium in combinatie met warmte pompen maakt van een energie slurpende kas een energie producerende kas. Warmte Koude Opslag is een begrip in de bouw, het maakt het mogelijk energie neutrale woningen en kantoren te bouwen. Osmose energie maakt gebruik van de elektrische spanning die optreedt wanneer je zout en zoet water langs elkaar laat stromen. Er zijn veel belovende ontwikkelingen gaande op al deze gebieden.



Image courtesy Dura Vermeer



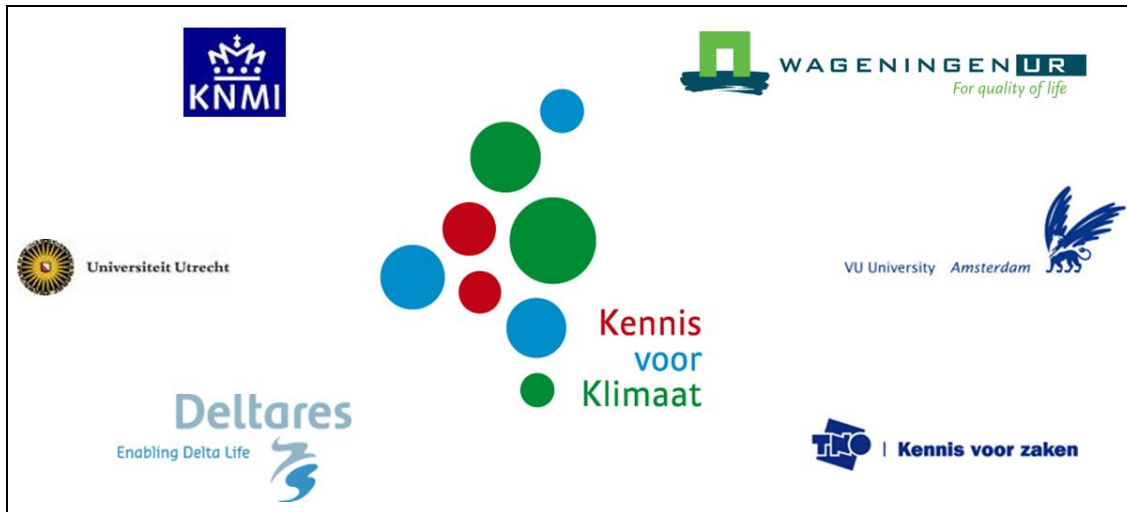
Image courtesy www.drijvende.kas.nl

Fig. 60: Drijvende woningen en kassen, klimaatbestendig en klimaatneutraal.

Waarom is er nu zoveel aandacht voor dit onderwerp?

Er zijn zo veel Delta's in de Wereld en er wonen daar zo veel mensen. De meeste Delta's zijn veel uitgestrekter dan de Nederlandse. De combinatie van water en energie is wereldwijd van belang. Delta gebieden zijn dichtbevolkt, Delta gebieden zijn grootgebruikers op het gebied van energie en ze hebben een overvloed aan een van de belangrijkste middelen van bestaan: water.

Het programma Kennis voor Klimaat biedt mij uitgebreide mogelijkheden om samen met zeer veel collega's vorm te geven aan deze ideeën.



Figuur 61: Kennis voor Klimaat: het nationale programma voor de ontwikkeling van strategieën voor de aanpassing aan klimaatverandering. Een initiatief van: KNMI, TNO, Deltares, Universiteit Utrecht, Vrije Universiteit en Wageningen UR. Met financiering van de overheid en de acht participerende hotspots Rotterdam, Haaglanden, Schiphol, Zuid-Westelijke Delta, Waddengebied, Grote Rivieren, Hoge Zandgronden, Ondiepe Meren en Veenweide Gebieden.

Voor ons land zijn energie en water de belangrijkste kenmerken van onze economie en van onze ruimtelijke ordening. Een verdere ontwikkeling van deze twee aspecten van onze economie geeft ons land een blijvende identiteit en een herkenbare plaats in de wereld. Klimaatverandering dwingt ons ertoe ons stevig te bezinnen op de toekomst en geeft daarmee kansen, mits we ook durven te kiezen.

Geachte rector, dames en heren, voordat ik afsluit, wil ik graag nog iets zeggen over de mensen met wie ik samenwerk.

Ik ben bijzonder verheugd dat ik ben opgenomen in de leerstoelgroep Earth System Science van mijn hooggeachte en dierbare collega's Pavel Kabat en Eddy Moors. Mijn plaats in deze groep maakt het heel gemakkelijk samen te werken met de leerstoelgroep van Rik Leemans en die van Bert Holtslag en vele anderen die diep in het klimaatonderzoek zitten. Hierbij wil ik Hugo Huurdeman bedanken voor de ondersteuning bij het maken van de figuren van de oratie.

Inmiddels hebben we ook een groep gevormd die vorm wil geven aan kennisontwikkeling waarbij adaptatie en mitigatie op ruimtelijke schaal bijeen wordt gebracht. Dit zijn Rob Swart, Aad Sedee, Hasse Goossen, Jantsje van Loon, Jan Verhagen, Fulco Ludwig, Natasha Marinova, en natuurlijk onze secretaresse Marthy Boudewijn in een omgeving van vele anderen in Wageningen. Hierbij wil ik graag noemen Erik van Seventer en Johan Sanders van de groep Biobased Economy en Paul Opdam en Frank Berendse van het Centrum voor Ecologie, Peter de Ruijter van het Centrum Bodem, Tom Veldkamp van het Centrum Landschap en tot slot Wim Cofino

van het Centrum Water en Klimaat. Dit alles onder de leiding van Kees Slingerland en Wallie Hogendoorn, directeuren van de Environmental Sciences Group. In ons werk vormen de nationale onderzoekprogramma's Klimaat voor Ruimte en Kennis voor Klimaat een belangrijke brug naar de onderzoekers van de andere universiteiten en kennisinstellingen. De onderzoekschool WIMEK / SENSE vormt hierbij een belangrijk kader voor samenwerking in de opleiding van promovendi.

Naast de genoemde onderzoekthema's wil ik mij blijven inzetten voor De Urgenda. Dit is een groep mensen die niet alleen onderzoek doen maar ook werken aan de uitvoering van projecten gericht op duurzaamheid. Het gaat om stimulering van koplopers in Nederland onder bedrijven, gemeenten en maatschappelijke groeperingen. Doel van De Urgenda is om technisch en maatschappelijk mogelijkheden te scheppen voor verandering in de richting van een duurzame maatschappij binnen een tot twee generaties.

Hiermee kom ik aan het eind van mijn oratie. Ik wil tot slot de rector, Martin Kropff en de voorzitter van Wageningen UR Aalt Dijkhuizen bedanken voor mijn aanstelling alhier. En als allerlaatste wil ik mijn vrouw Jansje en kinderen Machteld, Tiedo en Daniel bedanken voor hun hulp, hun stimulans en begrip en dat al zovele jaren van hun en mijn leven met klimaatverandering.

Geachte rector, dames en heren, hiermee aanvaard ik mijn benoeming tot hoogleraar klimaatverandering, water en veiligheid. Het is Hoogtijd!...Ik heb gezegd.

Colofon:

Productie: Hugo Huurdeman, Clima Futura Labs (www.climafutura.nl)

Geselecteerde literatuur:

- Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen (commissie Vellinga), Tussensprint naar 2015, Rotterdam 2006.
Retrieved from: http://www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/br%2E1498%2Ebijlage_tcm195-170529.pdf
- Laurens M. Bouwer, Ryan P. Crompton, Eberhard Faust, Peter Höppe, Roger A. Pielke Jr. (2007), Disaster Management: Confronting Disaster Loss, Science 2 November 2007: Vol. 318. no. 5851, p. 753. DOI: 10.1126/science.1149628.
Retrieved from: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/318/5851/753>
- Cazenave A. (2006), How Fast Are the Ice Sheets Melting?, Science 24 November 2006: Vol. 314. no. 5803, pp. 1250 – 1252. DOI: 10.1126/science.1133325.
Retrieved from: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/314/5803/1250>
- Deltacommissie (2008), Samen werken met water, Bevindingen van de Deltacommissie 2008.
<http://www.deltacommissie.com/doc/2008-09-03%20Advies%20Deltacommissie.pdf>
- Desertec (2007), Clean Power from Deserts, The DESERTEC Concept for Energy, Water and Climate Security, White Paper.
Retrieved from: http://www.desertec.org/downloads/articles/trec_white_paper.pdf
- Hansen J., Sato M., Kharecha P., Beerling D., Masson-Delmotte V., Pagani M., Raymo M., Royer D. L., Zachos J. C., (2008), Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim?, submitted paper.
Retrieved from: <http://arxiv.org/abs/0804.1126>
- IPCC (1991) Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change: The IPCC Response Strategies (Washington, DC: Island Press).
- IPCC (2007), Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by Bert Metz ... [et al.], Metz, B.; Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group III, Publisher Cambridge [etc.]: Cambridge University Press. Publication year 2007, ISBN 9780521880114.
Retrieved from: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>
- Lenton T. M., Held H., Kriegler E., Hall J. W., Lucht W., Rahmstorf S., Schellnhuber H. J. (2008), Tipping elements in the Earth's climate system, PNAS, 1786–1793, February 12, 2008, vol. 105, no. 6.
Retrieved from: <http://www.pnas.org/content/105/6/1786.full.pdf+html>
- Munich Re Group (2008), Topics Geo, Natural catastrophes 2008, Analyses, assessments, positions (p.49)
Retrieved from: <http://www.munichre.com/en/publications/default.aspx?id=1060>
- Pfeffer W. T., Harper J. T., O'Neel S. (2008), Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise, Science 321, 1340 (2008) DOI: 10.1126/science.1159099.
Retrieved from: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/321/5894/1340>
- Rohling E. J., Grant K., Hemleben Ch., Siddall M., Hoogakker B. A. A., Bolshaw M., Kucera M. (2007), High rates of sea-level rise during the last interglacial period.
Published online: 16 December 2007; DOI:10.1038/ngeo.2007.28
Retrieved from: <http://www.nature.com/ngeo/journal/v1/n1/full/ngeo.2007.28.html>
- Raupach M. R., Marland G., Ciais P., Le Quéré C., Canadell J. G., Klepper G., Field C. B. (2007), Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol. 104, no. 24, 2007
- Scheffer M., Brovkin V., Cox P. M. (2006), Positive feedback between global warming and atmospheric CO₂ concentration inferred from past climate change, Geophys. Res. Lett., 33, L10702, doi:10.1029/2005GL025044.
Retrieved from: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2005GL025044.shtml>
- Schellnhuber H. J. (2008), Global warming: Stop worrying, start panicking?, PNAS September 23, 2008 vol. 105 no. 38 14239-14240.
Retrieved from: <http://www.pnas.org/content/105/38/14239.extract>
- Steffen et al. (2004), Arctic Impacts of Arctic Warming, Cambridge Press, 2004.
Images retrieved from: <http://cires.colorado.edu/steffen/>
- Stern N. (2007), The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2007.
Retrieved from: http://62.164.176.164/stern_review_climate_change.htm
- UNFCCC (1992), United Nations Framework Convention on Climate Change. Convention text, UNEP/WMO Information Unit of Climate Change (IUCC) on behalf of the Interim Secretariat of the Convention. IUCC, Geneva.

Van de Ven V.P. (1993), Man-made low lands (history of water management and land reclamation in the Netherlands). Uitgeverij Matijs, P.O. Box 670, 3500 Utrecht, The Netherlands, 1993, 293 pp. ISBN 90-5345-030-0

Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds) (2008), Exploring High End Climate Change Scenarios for Flood Protection of the Netherlands: An International Scientific Assessment. 2008.

WMO (1979), Proceedings of the World Climate Conference: a conference of experts on climate and mankind. Geneva, 12-32 February 1979. WMO - No. 537. ISBN 92-63-10537-5.

WMO (1986), Report of the International Conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts, Villach, Austria, 9-15 October 1985, WMO No.661.

WMO (1988), Proceedings of the Toronto Conference on the Environment", World Meteorological Association, WMO-710, Toronto, 1988

Selectie van publicaties van Pier Vellinga over klimaatverandering en de stijging van de zeespiegel:

Bouwer, Laurens M., and Pier Vellinga (2006, in press). On the Flood Risk in The Netherlands. In: Flood Risk Management in Europe: Innovation in Policy and Practice. Series: Advances in Natural and Technological Hazards Research, Eds. Begum S., Stive, Marcel J.F., Hall, James W., Springer Verlag, approx. 600 pp, ISBN: 1-4020-4199-3, available May 2006.

Kabat P., van Vierssen W., Veraart J., Vellinga P., and Aerts J. (2005), Climate proofing the Netherlands, Nature 438, 283-284 (17 November 2005), DOI:10.1038/438283a.

Vellinga, P. and R. Lasage (2005). Venice, an issue of sustainability. In: Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon: State of Knowledge, Ed. C.A. Fletcher & T. Spencer with J. Da Mosto and P. Campostrini, Cambridge University Press (ISBN-13 978-0-521-84046-0 hardback; ISBN-10 0-521-84046-5 paperback), Chapter 68, pp. 649 - 658.

Bouwer, Laurens M., and Pier Vellinga (2002). Changing Climate and increasing costs – Implications for liability and insurance. In: Beniston, M. (ed.), Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. Advances in Global Change Research, 10. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston, pp. 429 – 444.

Vellinga, P., E. Mills, G. Berz, L. Bouwer, S. Huq, L.A. Kozak, J. Palutikof, B. Schanzenbacher, C. Benson, J. Bruce, G. Frerks, P. Huyck, P. Kovacs, X. Olsthoorn, A. Peara, S. Shida, and A. Dlugolecki (2001): Insurance and Other Financial Services. In: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Eds. McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White]. Cambridge University Press, Cambridge UK, 417-450.

Tol, R.S.J., and P. Vellinga (1998). Climate Change, the Enhanced Greenhouse Effect and the Influence of the Sun: A Statistical Analysis. In: Theoretical and Applied Climatology, 61, 1-7, 1998, Springer-Verlag, Austria.

Beukering, P. van, and P. Vellinga (1996). Climate Change: From Science to Global Politics. In: Sloep, P., and A. Blowers, Environmental Policy in an International Context: Environmental Problems as Conflicts of Interest, John Wiley & Sons Inc., New York-Toronto, Book 2, Chapter 7, pp. 187-217.

Dorland, C., W.J. Maunder, A.A. Olsthoorn, R.S.J. Tol, P.E. van der Werff and P. Vellinga (1995). Socio-economic and policy aspects of changes in incidence and intensity of extreme weather events. In: Zwerver, S., R.S.A.R. van Rompaey, M.T.J. Kok and M.M. Berk (eds.), Climate Change Research. Evaluation and Policy Implications. ISBN 0-444-82143-0, Studies in Environmental Science 65A, Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 1377-1380.

Gupta, J., R. van de Wurff, M. Hisschemöller, G. Junne and P. Vellinga (1995). International policies to address the greenhouse effect: encouraging developing country participation in global greenhouse control strategies. In: Zwerver, S., R.S.A.R. van Rompaey, M.T.J. Kok and M.M. Berk (eds.), Climate Change Research. Evaluation and Policy Implications. ISBN 0-444-82143-0, Studies in Environmental Science 65A, Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 1323-1326.

Vellinga, P., and R.J.T. Klein (1993). Climate Change, Sea Level Rise and Integrated Coastal Zone Management: An IPCC approach. Ocean & Coastal Management, special issue: Integrated Coastal Management, Vol. 21, p. 245-268.

Vellinga, P. (1986). Beach and Dune Erosion During Storm Surges. Technical University Delft (thesis), also Delft Hydraulics Communications, 372.