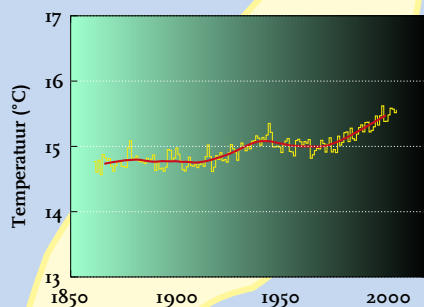


Klimaat en klimaatveranderingen

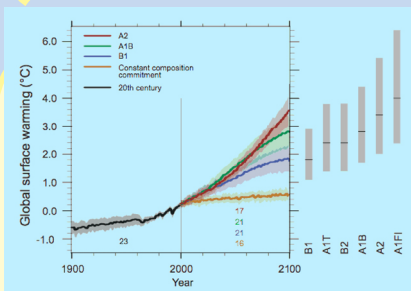
Klimaatverwarming

Het wordt warmer!

Het mondiale klimaat is al meer dan 100 jaar aan het opwarmen. Sinds het midden van de 20e eeuw is die opwarming aan het versnellen en dat kan grotendeels aan de invloed van de mens (broeikasgassen) toegeschreven worden. De verwachting is, dat de opwarming door het verhoogde broeikaseffect doorzet en dat het aardoppervlak aan het eind van de 21e eeuw 1,1 tot 6,4 graden warmer zal zijn dan aan het eind van de 20e eeuw.



Gemiddelde jaartemperatuur op aarde tussen 1860 en 2005. De dikke rode lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde. Bron: CRU/UKMO.

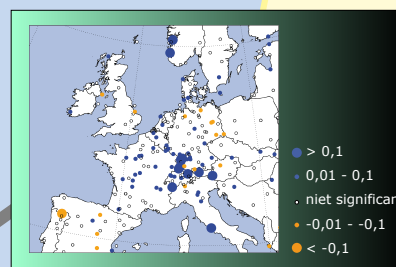


Mogelijke mondiale temperatuurstijging gedurende deze eeuw. Met een groot aantal klimaatmodellen is de mondiale opwarming berekend, voor diverse scenario's m.b.t. het verloop van de broeikasgassen in de atmosfeer. In de z.g. SRES scenario's van IPCC, met labels als "A2" of "A1B etc", stijgen de broeikasgas concentraties in verschillend tempo. De doorgetrokken gekleurde lijnen geven steeds aan hoe de klimaatmodellen gemiddeld op zo'n scenario reageren, terwijl de gearceerde gebieden daaromheen de variaties tussen diverse modellen aangeven. In het rechterpaneel staan de uitkomsten in 2100 naast elkaar. Bron: IPCC.

Neerslag en droogte veranderen

In een warmer klimaat nemen zowel de verdamping als de neerslag toe. In de gematigde streken op het Noordelijk Halfrond is de neerslag in de 20e eeuw gemiddeld met 5 á 10% toegenomen. In Europa is de hevigheid van extreme neerslag de afgelopen 50 jaar toegenomen.

Klimaatmodellen voorzien voor de komende eeuw een toename van jaarneerslag op de gematigde breedten en een afname in de subtropen. Voor Zuid Europa berekenen vrijwel alle klimaatmodellen een afname van zomerneerslag en een grotere kans op droogte.



Trends in aantal dagen per jaar met minimaal 20 mm neerslag, gemeten op Europese weerstations tussen 1946 en 2004. Bron: eca.knmi.nl.

De zeespiegel stijgt

De zeespiegel is in de 20e eeuw wereldwijd met gemiddeld 17 cm gestegen. Satellietwaarnemingen vanaf 1993 suggereren dat het tempo van zeespiegelstijging toeneemt. De huidige zeespiegelstijging komt vooral door de uitzetting van het zeewater dat ook langzaam opwarmt. In de toekomst zullen de bijdragen van smeltend landijs (gletsjers, en de ijskappen op Groenland en Antarctica) aan de zeespiegelstijging belangrijker worden. Volgens onderzoekers zou de zeespiegel aan het eind van de 21e eeuw door de voortzettend opwarming gemiddeld over de hele wereld met 18 – 59 cm gestegen kunnen zijn.

Klimaat en klimaatveranderingen

Waardoor het klimaat verandert

Klimaatveranderingen worden steeds meer in verband gebracht met activiteiten van de mens. In het algemeen is het echter niet eenvoudig om een waargenomen klimaatvariatie aan één bepaalde oorzaak toe te schrijven. Er zijn ook natuurlijke oorzaken, zoals:

- verhoogde vulkanische activiteit
- verschuivingen van continenten en zeestromen
- inslagen op aarde van kometen of meteorieten
- variaties in de aardbaan
- veranderende zonneactiviteit
- grillig gedrag van de atmosfeer

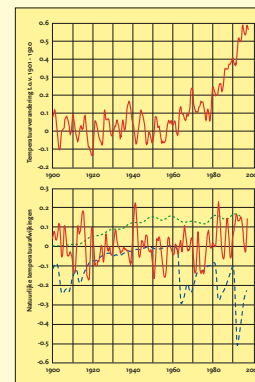
Opnamen zonsverduistering van 11 augustus 1999. De onderste foto toont grote activiteit aan de rand van het zonne-oppervlak.



Foto's WPI, H. Puntel en H. Hendriks

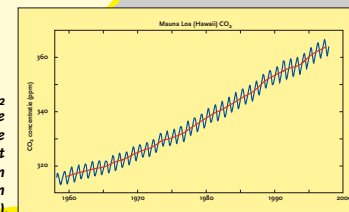
Menselijke handelen als oorzaak

Tegenwoordig is menselijk handelen van toenemend belang. De laatste eeuw is de hoeveelheid CO₂ dankzij de mens met een derde toegenomen. Waarschijnlijk is daardoor de gemiddelde temperatuur op aarde ruim een halve graad gestegen, de laatste decennia versneld.

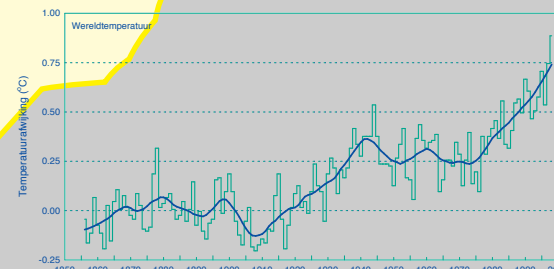


Temperatuurveranderingen in de twintigste eeuw. Het onderste deel van de grafiek geeft een schatting van drie natuurlijke temperatuursignalen ten gevolge van variaties in de zonnestraling (gestippeld), vulkaanuitbarstingen (gestreept) en El Niño (getrokken lijn). Het bovenste paneel toont wat overblijft als de som van de drie natuurlijke processen wordt afgetrokken van de waarnemingen. De waargenomen temperatuuroptname in de eerste helft van de 20^e eeuw kan worden toegeschreven aan natuurlijke oorzaken, maar de snelle opwarming in de tweede helft van de eeuw kan daar niet mee worden verklaard. De toename in de tweede helft van de 20^e is consistent met de verwachte menselijke invloed (Bron: Van Ulden en Van Dorland, KNMI).

Toename CO₂ concentratie in de tweede helft van de 20^e eeuw bepaald uit metingen van observatorium Mauna Loa (Hawaii).



Afwijking wereldgemiddelde temperatuur 1856-1999 ten opzichte van 1856-1899. De blauwe lijn is het gladgestreken gemiddelde door telkens over 15 jaar te middelen (bron: P.D. Jones, CRU Norwich UK).



Klimaat en klimaatveranderingen

Ozon en broeikas

Ozon komt onder meer voor in de onderste 10 kilometer van de dampkring, maar vooral ook op grotere hoogte. De hoeveelheid ozon onder in de atmosfeer is toegenomen. Dit draagt bij aan de opwarming van de aarde.

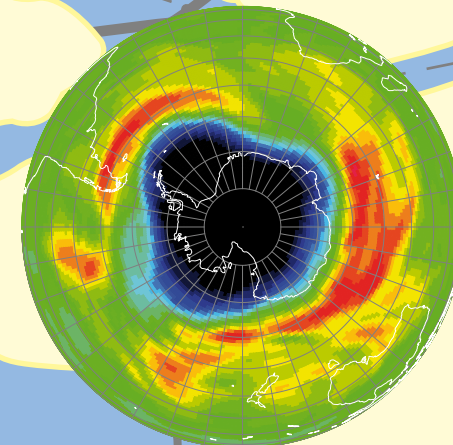
De concentratie van ozon hoog in de atmosfeer, tussen 10 en 40 kilometer hoogte is juist afgenomen. We noemen dat de ozonlaag. Voor het broeikaseffect is de ozonlaag waarschijnlijk minder van belang maar wel is het een filter van schadelijke ultraviolette zonnestraling (UV). Hoe dunner de ozonlaag, hoe meer UV het aardoppervlak kan bereiken en hoe hoger de zonkracht.

De afname van de ozonlaag wordt veroorzaakt door chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Internationaal zijn maatregelen genomen om CFK's te beperken. Als de afspraken worden nageleefd is het hoogtepunt van de ozonafbrekers na de eeuwwisseling voorbij en zal de ozonlaag langzaam herstellen. Volledig herstel zal echter nog verschillende decennia duren.

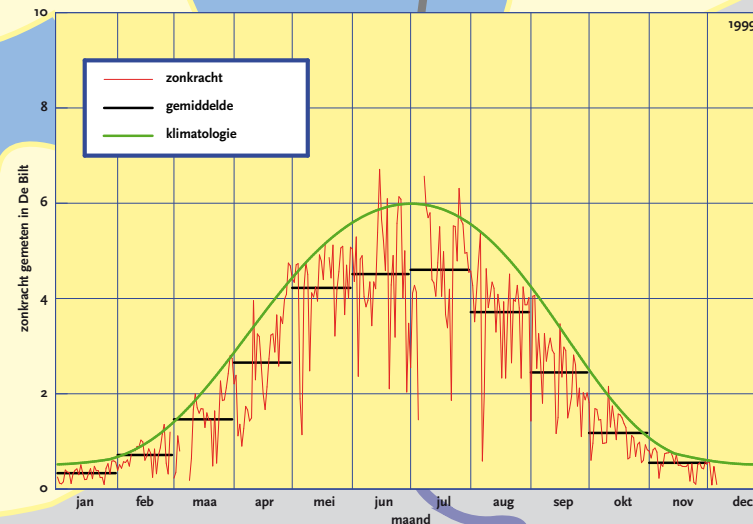
Als de temperatuur in de ozonlaag onder -80 graden komt vormen zich paelmoerwolken. De laatste jaren daalt de temperatuur in de ozonlaag geleidelijk, waarschijnlijk als gevolg van de versterking van het broeikaseffect (Bron: KNMI, Peter Siegmund)



Ozongat boven de Zuidpool op 1 oktober 1999 door de GOME-satelliet



150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500



Klimaat en klimaatveranderingen

KNMI van "Bolwerk Sonnenborgh" tot bolwerk van de Meteorologie



Buyt Ballot begon in 1854 op de sterrenwacht Sonnenborgh in Utrecht met het KNMI. In 1897 verhuisde het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut naar De Bilt. Onlangs zijn de gebouwen gerenoveerd en is er een nieuwe vleugel bijgekomen.

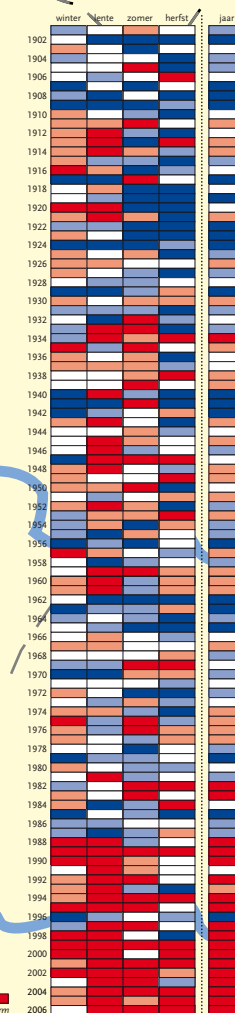
Het nationale data- en kenniscentrum voor weer, klimaat en seismologie

Het KNMI is voor Nederland het kenniscentrum op het gebied van klimaat, klimaatveranderingen en seismologie. Het instituut doet onderzoek om te weten te komen hoe het klimaat door natuurlijke oorzaken of door de mens kan veranderen.

Het KNMI is actief in (inter)nationale samenwerkingsverbanden op het gebied van klimaatonderzoek en waarnemingen. In internationaal verband wordt door het gezaghebbende Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) onder de vlag van het United Environment Program (UNEP) en de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) om de vijf jaar een rapport uitgebracht over de stand van zaken met betrekking tot klimaatveranderingen. Het KNMI draagt hieraan bij en gebruikt de bevindingen bij de vaststelling van onderzoeksprioriteiten.

Afwijking van de seizoens- en jaargemiddelde temperaturen in De Bilt

zeer koud koud normaal warm zeer warm

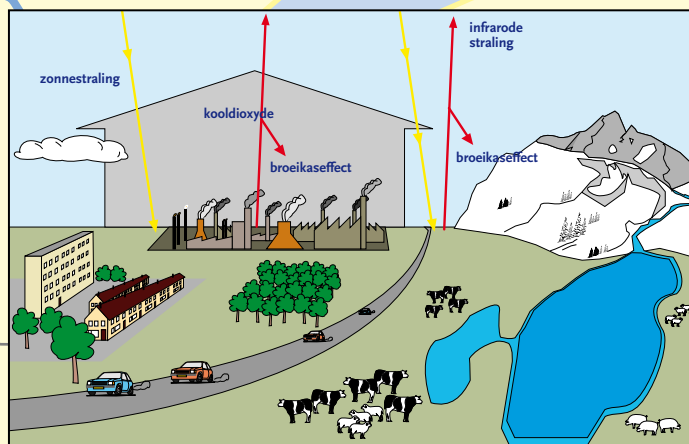


Klimaat en klimaatveranderingen

Klimaat verandert voortdurend

De aarde wordt verwarmd door de zon. Een deel van de zonnestraling wordt teruggekaatst; een ander deel omgezet in warmte. Broeikasgassen, zoals waterdamp en CO_2 , leggen een warme deken om de aarde: ze zorgen dat een deel van de warmtestraling van de grond wordt vastgehouden.

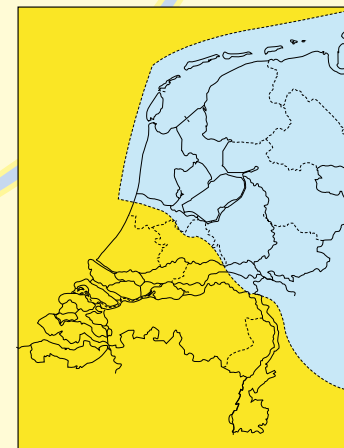
Wind en oceaanstromingen spelen een belangrijke rol bij de verdeling van de warmte over de aarde, tussen de tropen naar de polen.



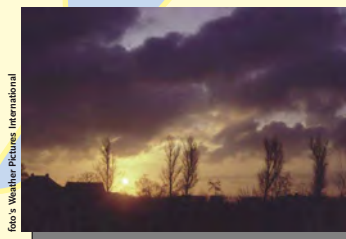
Schematische tekening broeikaseffect

Natuurlijke variaties

Natuurlijke klimaatvariatiën en veranderingen zijn van alle tijden. Omstreeks 140.000 jaar geleden lag Noord-Europa tot de Utrechtse heuvelrug onder ijs. Daarna werd het warmer, maar spoedig volgde een nieuwe Ijstijd die bijna 100.000 jaar duurde. Zo'n 18.000 jaar geleden begon een snelle opwarming naar de warmere periode nu.



Ongeveer 140.000 jaar geleden lag het oosten en noorden van ons land onder ijs.



Foto's Weather Pictures International



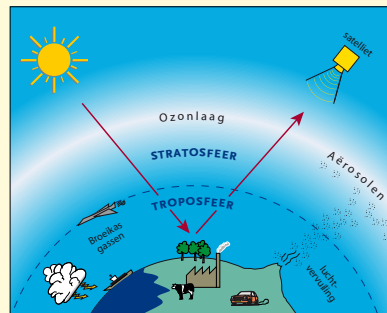
Klimaat en klimaatveranderingen

Satellieten monitoren het klimaat

Satellieten zijn nodig om wereldwijd waarnemingen te kunnen doen van het klimaat opdat veranderingen daarin zichtbaar worden. ENVISAT is een Europese satelliet met aan boord een groot aantal instrumenten, waaronder het Nederlands-Duitse SCIAMACHY.



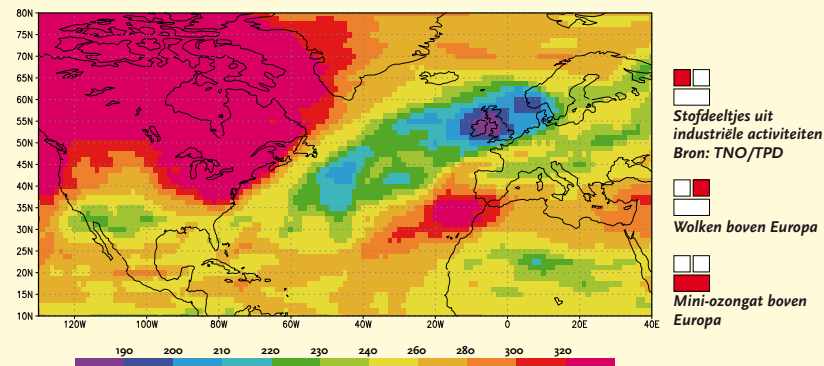
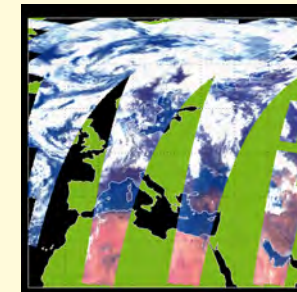
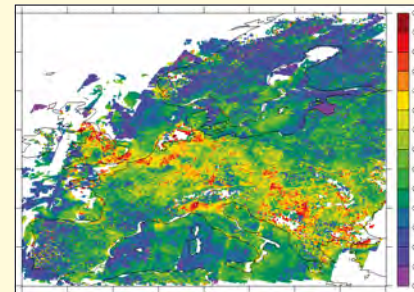
De chemische samenstelling van de atmosfeer kan door de satelliet-instrumenten worden waargenomen door het zonlicht te observeren, dat door de aarde en de atmosfeer wordt weerkaatst. Zo is onder meer te zien of het herstel van de ozonlaag gaat zoals verwacht en of het nodig is extra maatregelen te nemen.



De satellietinstrumenten GOME (vanaf 1995), SCIAMACHY (vanaf 2001) en OMI (vanaf 2003) leveren ons belangrijke klimaatgegevens, zoals de wereldwijde verdeling van:

- broeikasgassen als kooldioxide, waterdamp, ozon en methaan
- aerosolen (stofdeeltjes)
- wolken.

Elke plaats op aarde wordt om de paar dagen waargenomen.



Klimaat en klimaatveranderingen

El Niño en NAO achter variaties

El Niño

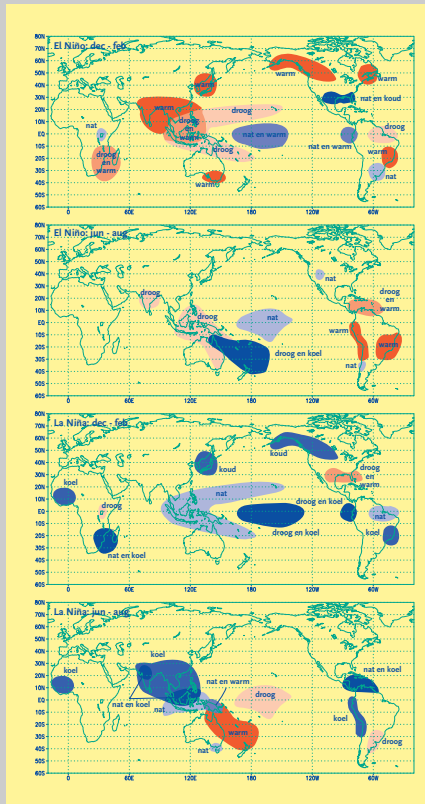
Rond Kerst wordt het water voor de kust van Peru warmer en arm aan voedsel. Eeuwen geleden merkten vissers dat al aan de slechte vangst.

El Niño noemden ze dat verschijnsel, het Kerstkind. Tegenwoordig spreken ook onderzoekers over El Niño.

Ze doelen daarmee op warm water langs de kust van Peru en langs de evenaar over een groot deel van de Stille Oceaan.

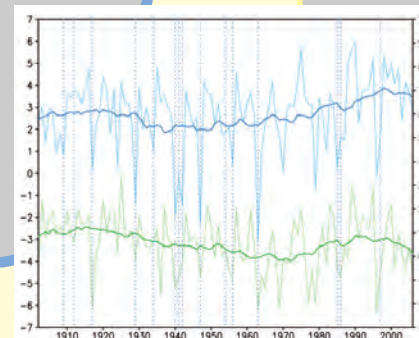
El Niño doet zich gemiddeld om de drie tot zeven jaar voor. Dan valt de passaat weg, die het warme water in de oostelijke Stille Oceaan richting Indonesië blaast. De gevolgen voor temperatuur en neerslag zijn tot in de wijde omtrek merkbaar.

Effecten die vaak optreden bij een El Niño of een La Niña (Bron: NCER-CPC, Washington)



Noord Atlantische Oscillatie (NAO)

Gemiddeld is ons klimaat aan het opwarmen. Oorzaak van deze opwarming is het versterkte broeikaseffect door de toename van broeikasgassen in de atmosfeer. Het klimaat verandert echter ook uit zichzelf. In de 60-er jaren van de vorige eeuw hadden we bijvoorbeeld een periode met strenge winters, terwijl de 90-er jaren een reeks zachte winters kenden. Deze werden veroorzaakt door variaties in de sterkte van de westenwinden, die 's winters warme oceaanoluchten onze kant op sturen. Een maat voor deze zeewind is het drukverschil tussen IJsland en de Azoren, de NAO index genoemd. Onderzoek suggereert dat het versterkte broeikaseffect ook de NAO index kan beïnvloeden, maar duidelijkheid hierover is er niet.



Verloop van de gemiddelde wintertemperatuur in De Bilt (blauw) en de NAO index (groen). De dikke lijnen geven de langzame verandering weer. Lage (hoge) waarden van de NAO index komen over het algemeen overeen met koude (zachte) winters. De stippellijnen geven de jaren weer waarin er een elfstedentocht werd gereden. Na de hoge NAO waarden in de 90-er jaren, is de index weer naar normale waarden teruggekeerd. De snelle opwarming in de 90-er jaren hangt dus deels samen met het versterkte broeikaseffect, deels met de hoge NAO waarden.



Voor klimaatonderzoek worden allerlei gegevens gebruikt, bijvoorbeeld ook wijngegevens. Zo weten we op basis van de data van wijnoogsten hoe de zomers eeuwen geleden waren.

Klimaat en klimaatveranderingen

Klimaatscenario's voor Nederland

In mei 2006 presenteerde het KNMI klimaatscenario's voor de komende 50 jaar voor Nederland. Dit zijn geen voorspellingen, maar consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. Ze zijn bedoeld om verkennende studies uit te voeren naar effecten van klimaatverandering en maken het mogelijk hierop te anticiperen.

Een aantal kenmerken van klimaatverandering komt in al die scenario's voor:

- De opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor.
- De winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe.
- De hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder.
- De berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid
- De zeespiegel blijft stijgen

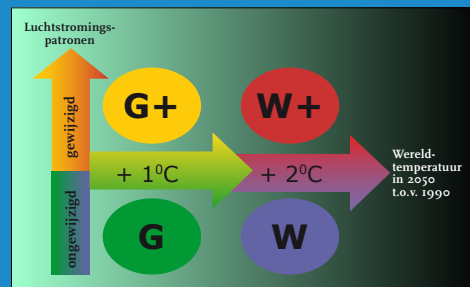
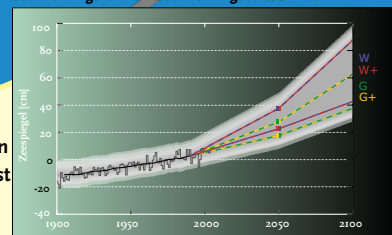
Zeespiegelstijging

Gedurende de 20e eeuw was de stijging in de Noordzee gemiddeld 2 mm per jaar.

Deze waterstand wordt niet alleen bepaald door zeespiegelstijging in de Atlantische Oceaan, maar ook door veranderingen in de opstuwing van het water in de Noordzee.

De absolute zeespiegelstijging in 2050 aan de Nederlandse kust varieert in de scenario's tussen 15 cm en 35 cm. De zeespiegel zal in de toekomst verder stijgen en zal bv in 2300 tussen de 1 en 2,5 m bedragen.

Gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust tussen 1900 en 2004 ten opzichte van nap (= absolute zeespiegelstijging), en de klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. Bron waarnemingen: rws-rikz.



Schematisch overzicht van de vier KNMI'o6 klimaatscenario's

G	Gemagtig	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
G+	Gemagtig +	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
W	Warm	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
W+	Warm +	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind

	G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen	nee	ja	nee	ja
Winter ³				
gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	0%	+1%	0%	+2%
10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
Winter ³				
hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
Zomer ³				
gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
Zeespiegel				
absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

¹ gegevens over de veranderingen in 2100 zijn te vinden op www.knmi.nl/klimaatscenario's

² het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005

³ onder 'winter' wordt hier verstaan december, januari en februari; 'zomer' staat gelijk aan juni, juli en augustus