



Ronald van Haren, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Geert Jan van Oldenborgh, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Geert Lenderink, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Wilco Hazeleger, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Neerslagverandering in Europa tot nu toe groter dan verwacht

In de vorige eeuw onderging de seizoensgemiddelde neerslag boven grote delen van Europa een duidelijke verandering. De gemiddelde neerslag in de winter nam toe in grote delen van Noordwest-Europa, terwijl deze in Zuid-Europa juist afnam. Tijdens de zomer was vooral sprake van een toename van de neerslag aan de Europese westkust. Uit dit onderzoek naar neerslagtrends in klimaatsimulaties blijkt dat modellen de trends voor grote delen van Europa structureel onderschatten; de waargenomen trends zijn vaak groter. Regionale klimaatmodellen, gebaseerd op waargenomen atmosferische circulatie en de temperatuur van het zeewateroppervlak (SST) blijken echter veel beter in staat de waargenomen trends te reproduceren.

Met een eenvoudig statistisch model onderzochten we de invloed van de grootschalige atmosferische circulatie en SST op de neerslagtrends in Europa. Hieruit blijkt dat verandering in grootschalige atmosferische circulatie een belangrijke factor is geweest voor de trends in winterneerslag. De verandering in de temperatuur van het zeewateroppervlak is waarschijnlijk een belangrijke factor geweest voor de toename aan neerslag langs de Europese westkust. Op dit moment is de oorzaak van deze veranderingen nog onduidelijk, waardoor het onzeker is of deze veranderingen ook in de toekomst door gaan zetten. Dit maakt het niet eenvoudig om de historische trends te extrapoleren naar de toekomst. Verder onderzoek naar de fysische mechanismen achter de veranderingen is dan ook nodig om met meer vertrouwen toekomstige scenario's voor neerslagveranderingen te kunnen maken.

Onder klimaat verstaan we de statistiek van het weer over een langere periode, zoals het gemiddelde, de variabiliteit en de kans op extremen. Het klimaat wordt beïnvloed door de stijgende concentratie broeikasgassen in de atmosfeer, zoals is aangetoond in tal van studies. Deze toename zorgt niet alleen voor een toename van de temperatuur, maar heeft ook invloed op andere klimaatvariabelen zoals neerslag.

Klimaatsimulaties van het huidige en toekomstige klimaat worden gedaan met behulp van klimaatmodellen. Dit zijn op

fysica gebaseerde computerprogramma's die het klimaat simuleren. Hierin worden onder andere de grootschalige stromingen in de atmosfeer (en oceaan) expliciet gemodelleerd. Het is nog niet mogelijk om alle kleinschalige processen, zoals wolken of regenbuien, expliciet te modelleren. Voor dit soort processen wordt daarom gebruik gemaakt van parameterisaties: empirische technieken gebaseerd op waarnemingen en fysisch inzicht om een bepaald proces te beschrijven. Klimaatmodellen bevatten dus inherente onzekerheden. Daarnaast zijn toekomstige projecties afhankelijk van onzekere sociaal-economische ontwikkelingen en veranderingen in landgebruik. Ook vertoont het klimaat natuurlijke variaties op allerlei tijdschalen.

Om met bovenstaande onzekerheden om te gaan en om deze te bestuderen, wordt vaak gebruik gemaakt van resultaten van simulaties met meerdere klimaatmodellen: een ensemble. De spreiding tussen de modeluitkomsten is een combinatie van modelonzekerheden en natuurlijk voorkomende variaties in het klimaat. De modelonzekerheid is niet gelijk aan de spreiding van een dergelijk ensemble, maar kan zowel groter (als alle modellen een essentieel proces niet goed representeren) of juist kleiner (als er slechte modellen in het ensemble zitten) zijn.

Om vertrouwen te hebben in projecties van het toekomstige klimaat is het van belang om de prestaties van de modellen

in het verleden te bekijken. In dit artikel onderzoeken we of veranderingen in de seizoensgemiddelde neerslag in Europa en Nederland - zoals gesimuleerd door klimaatmodellen - overeenkomen met de waargenomen veranderingen.

Resultaten

In de vorige eeuw nam de gemiddelde winterneerslag toe in grote delen van Noordwest-Europa, terwijl deze in de zuidelijke helft van Europa, met name in de tweede helft van de vorige eeuw, juist afnam. Tijdens de zomer was vooral sprake van een toename aan neerslag langs de Europese westkust. De waargenomen trends voor de periode 1961-2000 zijn weergegeven in afbeelding 1a voor het zomerhalfjaar (april-september) en afbeelding 1d voor het winterhalfjaar (oktober-maart). Hoewel deze waarnemingen zeker ook onzekerheden bevatten, zijn de veranderingen die we in dit artikel bespreken vaak veel groter dan deze onzekerheden. Tevens geeft de consistentie tussen neerslagtrends berekend over de laatste 50 jaar en over de gehele vorige eeuw vertrouwen in de waargenomen trend.

De afbeeldingen 1b en 1e laten de gemiddelde neerslagtrend in een ensemble van regionale klimaatmodellen zien. Deze resultaten zijn verkregen door de regionale modellen te forceren met de grootschalige atmosferische stromingspatronen en zeewatertemperaturen vanuit mondiale klimaatmodellsimulaties (zie afbeelding 2). Het valt op dat de neerslagverandering in

regionale klimaatmodellen in grote delen van Europa kleiner is dan de waargenomen verandering. De waargenomen trend blijkt in veel gebieden zelfs groter te zijn dan de trend in elk van de modellen. Kijken we naar de uitvoer van de mondiale klimaatmodellen over de gehele vorige eeuw dan vinden we vergelijkbare resultaten.

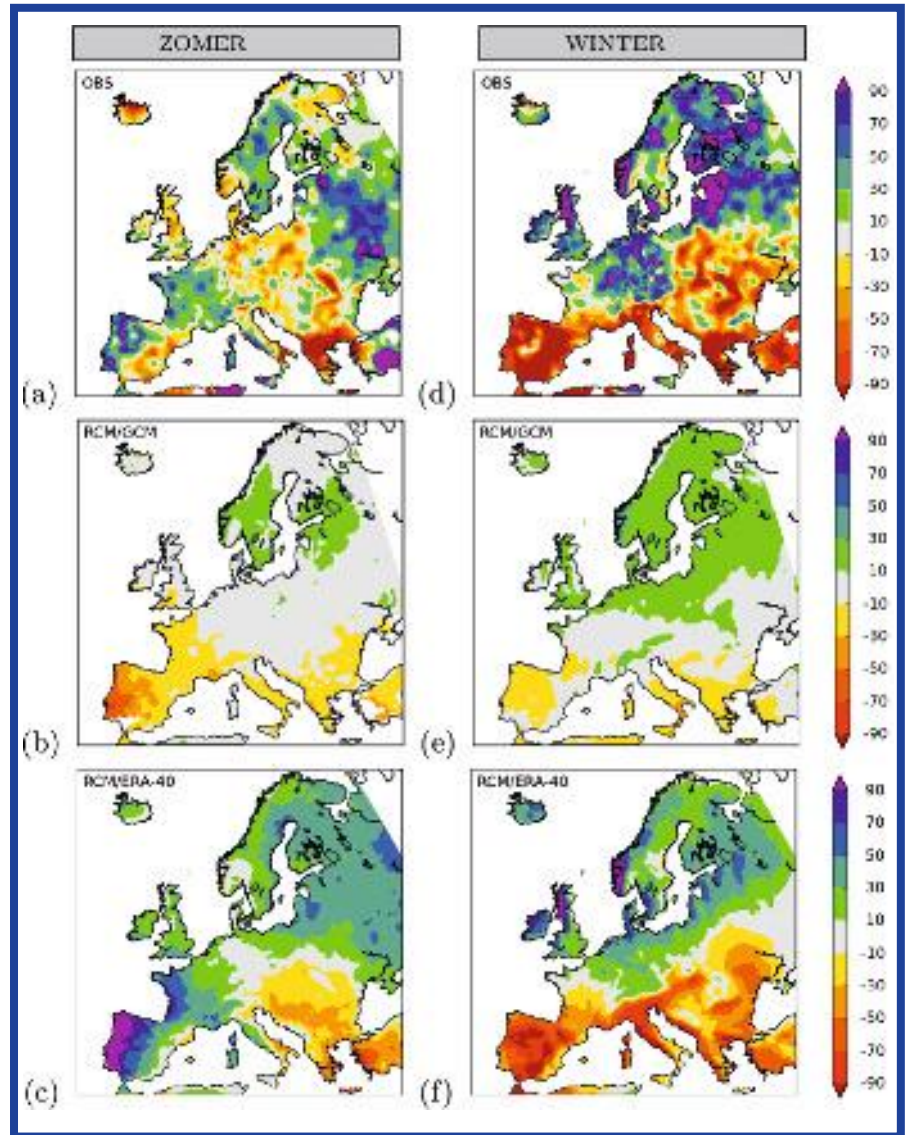
Regionale klimaatmodellen aangedreven door waargenomen grootschalige circulatie en oppervlakte-zeewatertemperaturen blijken echter veel beter in staat het waargenomen grootschalige trendpatroon te reproduceren (zie afbeeldingen 1c en 1f). Hoewel op kleine schaal nog steeds grote verschillen te vinden zijn, is op veel plaatsen het verschil tussen waarnemingen en modellen duidelijk afgenomen. Ook blijkt de waargenomen trend nu vaker binnen de spreiding van het ensemble te vallen, hoewel de spreiding door de voorgeschreven circulatie en SST kleiner is. We concluderen dat het verschil tussen de waargenomen en gemodelleerde trends voor een groot gedeelte komt door een onjuiste voorstelling van de temperatuur van het zeewateroppervlak en grootschalige circulatie in de modellen.

De relatieve invloed van deze twee factoren kunnen we beschrijven met een statistisch model waarmee we het lineair van circulatie afhankelijke deel van de neerslagtrend scheiden van de totale trend. Hieruit blijkt dat een groot gedeelte van de trend in de winter lineair afhankelijk is van circulatie. Een toename van meer westelijke winden tijdens de vorige eeuw in een groot gedeelte van Europa zorgde voor een toename aan neerslag in Noord-Europa en een afname in Zuid-Europa. Deze toename aan westelijke winden is niet gerelateerd aan het drukverschil tussen IJsland en de Azoren (Noord-Atlantische Oscillatie of NAO) maar juist met het drukverschil tussen de Middellandse Zee en Scandinavië. Dit continentale drukverschil heeft een significante positieve trend over de afgelopen eeuw, in tegenstelling tot de NAO welke alleen over de laatste 40 jaar van de vorige eeuw een niet-significante positieve trend heeft. Tevens verklaart het continentale drukverschil meer van de neerslagvariantie in Europa.

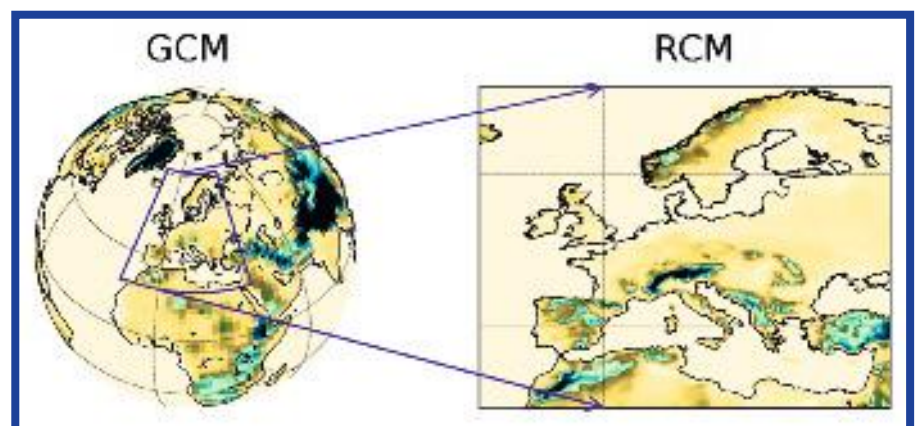
De neerslagtrend in de zomer is niet lineair afhankelijk van circulatie. Trends in de temperatuur van het zeewateroppervlak worden onderschat in mondiale klimaatmodellen en spelen waarschijnlijk een rol in de onderschatting van neerslagtrends langs een groot gedeelte van de Europese kust.

Discussie

Voor het maken van klimaatscenario's wordt vaak een combinatie gebruikt van mondiale en regionale klimaatmodellen. De relatief lage resolutie van mondiale klimaatmodellen - deze modellen hebben een oplossend vermogen in de orde van 100 tot 300 kilometers - bemoeilijkt het onderzoek naar lokale veranderingen en weerfenomenen die op kleinere schaal plaatsvinden. Regionale modellen hebben een kleiner modelgebied waardoor de berekeningen gedaan worden



Afb. 1: Waargenomen en gemodelleerde neerslagtrends in Europa (% per eeuw) (1961-2000): (a) waargenomen trend zomerhalfjaar; (b) gemiddelde trend van een ensemble van door mondiale modellen aangedreven regionale klimaatmodellen zomer halfjaar; (c) gemiddelde trend van een ensemble van door waargenomen grootschalige atmosferische circulatie en SST aangedreven regionale klimaatmodellen zomer halfjaar; (d-f) hetzelfde maar dan voor het winterhalfjaar.



Afb. 2: Versimpelde schematische weergave van het mondiaal klimaatmodel (GCM) en het regionaal klimaatmodel (RCM).

en kunnen hierdoor een typische resolutie van enkele tientallen kilometers bieden (zie afbeelding 2). Aan de rand van het regionale modelgebied wordt de atmosferische toestand (wind, temperatuur en vochtigheid) en SST voorgeschreven²⁾, de zogenaamde randvoorwaarden. Afhankelijk van de aard

van het onderzoek worden deze randvoorwaarden gehaald uit uitkomsten van mondiale klimaatmodellen of uit observaties.

Het klimaat in Europa en Nederland hangt niet alleen samen met de wereldwijde opwarming maar ook met regionale en

lokale processen. Niet al deze processen kunnen puur binnen het domein van een regionaal klimaatmodel worden opgelost en zijn afhankelijk van de aan het model voorgeschreven randvoorwaarden. Een trend in de voorgeschreven grootschalige circulatie of SST kan bijvoorbeeld een groot effect hebben op de neerslagverandering in een gebied.

In de vorige sectie hebben we gezien dat juist deze twee randvoorwaarden een rol spelen bij de onderschatting van waargenomen neerslagtrends in klimaatmodellen in Europa. Ook voor Nederland is dit het geval. In de winter is een groot deel van de neerslagtrend lineair afhankelijk van de circulatie. In de zomer spelen trends in zeevatertemperatuur langs de Europese westkust een rol in de onderschatting van neerslagtrends in Nederland. Of deze trends ook in de toekomst doorzetten, is op dit moment niet bekend. Ze zijn dan ook niet zomaar te extrapoleren naar de toekomst.

Met afbeelding 3 kijken we beter naar de waargenomen^{3),4)} en gemodelleerde verandering in neerslag in Nederland. Het zomerhalfjaar zag tussen 1961 en 2000 een lichte afname in neerslag (afbeeldingen 3a en 3b), terwijl over langere periodes een lichte toename te zien is (afbeelding 3c): een combinatie van een natter wordende kuststrook en een niet natter wordend binnenland³⁾. Geen van de mondiale klimaatmodellen simuleert een toename van de neerslag in de zomer die zo groot is als die in de waarnemingen over de periode 1911-2010 (zie afbeelding 3c). Over de kortere periode 1960-2000 is de natuurlijke variabiliteit groter, waardoor de uitvoer van regionale modellen meer toename (en afname) laat zien en de waarnemingen juist een kleine afname. De overeenstemming in afbeelding 3a is dus voor een deel toeval. Als de regionale klimaatmodellen met waargenomen atmosferische circulatie en SST wordt aangedreven, verschuift de verdeling naar hogere waarden, meer in overeenstemming met de langetermijntrend en met meer zuidelijk gelegen kuststroken in afbeelding 1.

Voor het winterhalfjaar is de neerslagtrend in Nederland voor een groot gedeelte lineair afhankelijk van grootschalige circulatie en spelen lokale, kleinschalige processen een minder belangrijke rol. De toename aan westelijke winden in de winter tijdens de vorige eeuw wordt niet goed gerepresenteerd in mondiale modellen en resulteert in een onderschatting van de neerslagtrend in de winter (zie afbeeldingen 3d en 3f). Wanneer de juiste grootschalige circulatie opgelegd wordt aan de modellen door middel van waargenomen randvoorwaarden, zijn de modellen goed in staat om de waargenomen verandering te reproduceren (zie afbeelding 3e).

Een reproductie van geobserveerde trends in klimaatmodellen en een goed begrip hiervan vormen belangrijke voorwaarden om vertrouwen te krijgen in klimaatprojecties voor de toekomst met diezelfde klimaatmodellen. De hier getoonde resultaten laten zien dat voor neerslagverandering aan deze voorwaarde in beperkte mate is voldaan. Dit wil echter zeker niet zeggen dat toekomstprojecties met klimaatmodellen geen waarde hebben. De processen die aanleiding geven tot de geobserveerde trends kunnen relatief onbelangrijk zijn voor projecties voor het eind van deze eeuw. Hoewel een extrapolatie van geobserveerde trends naar de toekomst daarom niet zomaar gedaan kan worden, moet wel rekening gehouden worden met de mogelijkheid van optreden van zulke veranderingen.

Wel toont dit onderzoek de beperkingen van het directe gebruik van modeluitvoer voor toekomstige klimaatscenario's aan. Onder andere om deze redenen bestaan de KNMI'06 klimaatscenario's^{5),6)} niet uit directe modeluitvoer, zoals in omliggende landen vaak wel gebruikelijk is. Zo worden modellen met een duidelijke circulatieverandering apart beschouwd en worden gevoeligheidsstudies verricht naar de invloed van een opwarmende Noordzee. De KNMI'06-scenario's houden daarom ook rekening met brede onzekerheidsmarges, zoals een relatief nat scenario voor de zomer. Dit alles laat onverlet dat een beter begrip van geobserveerde

trends een belangrijke bijdrage kan leveren aan nieuwe klimaatscenario's. *Nieuwe KNMI-klimaatscenario's staan op het ogenblik gepland voor eind 2013.*

LITERATUUR

- 1) Van Haren R., G. van Oldenborgh, G. Lenderink, M. Collins en W. Hazeleger (2012). SST and circulation trend biases cause an underestimation of European precipitation trends. *Climate Dynamics*.
- 2) Kattenberg A. (2008). Toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI.
- 3) Buishand T., T. Brandsma, G. de Martino en J. Spreuw (2011). Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar. *H₂O* nr. 24, pag. 31-33.
- 4) Sluijter R., H. Leenaers en M. Camarasa (2011). *De Bosatlas van het Klimaat*. Noordhoff Uitgevers.
- 5) Van den Hurk B., A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger en S. Drijfhout (2006). *KNMI climate change scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI.
- 6) Klein Tank A. en G. Lenderink (2009). *Klimaatverandering in Nederland. Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's*. KNMI.

Afb. 3: Distributie van waargenomen (gehomogeniseerde neerslagreeksen³⁾) en gemodelleerde (gemiddelde) neerslagtrends voor Nederland (% per eeuw): (a) ensemble van door mondiale modellen aangedreven regionale klimaatmodellen voor het zomerhalfjaar (1961-2000); (b) ensemble van door waargenomen grootschalige atmosferische circulatie en SST aangedreven regionale klimaatmodellen voor het zomerhalfjaar (1961-2000); (c) ensemble van mondiale klimaatmodellen voor het zomerhalfjaar (1911-2010); (d-f) hetzelfde maar dan voor het winterhalfjaar.

