



Adri Buishand, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Theo Brandsma, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Gabriella De Martino, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Hanno Spreeuw, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, thans Nederlands Kanker Instituut

Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar

Recent zijn alle Nederlandse dagelijkse neerslagwaarnemingen uit de periode 1850-1950 gedigitaliseerd. De waarnemingen vanaf 1910 zijn samen met de al beschikbare waarnemingen van de afgelopen 60 jaar gebruikt om trends in de neerslag over de afgelopen honderd jaar te bestuderen. De gemiddelde jaarneerslag laat toenamen zien van 30 tot 35 procent langs de west- en noordkust en tien tot 25 procent langs de oostgrens en het zuidoosten van het land. Het aantal dagen met extreme neerslag laat nog sterkere toenamen zien. De gevonden trends geven aanleiding tot vragen over mogelijke toekomstige veranderingen en over het doorrekenen van watersystemen met lange neerslagreeksen.

De eerste metingen in het KNMI-neerslagnetwerk dateren uit 1850. In de periode 1850-1950 werd het netwerk geleidelijk uitgebreid van een paar stations tot de huidige 326 stations. Op al deze stations werd dagelijks de hoeveelheid neerslag gemeten. In het kader van het programma Klimaat voor Ruimte digitaliseerde het KNMI onlangs alle waarnemingen van voor 1951. De nieuwe dataset verlengt de al eerder gedigitaliseerde waarnemingen honderd jaar terug in de tijd met circa 12.300 stationsjaren (4,5 miljoen metingen).

Data-invoer en kwaliteitscontrole

De belangrijkste bronnen voor de neerslagdata van voor 1951 vormen de gedrukte KNMI-jaarboeken. Soms was het nodig terug te gaan naar meer oorspronkelijke bronnen, zoals de maandelijkse neerslagkaarten (vanaf 1896). De waarnemer noteerde iedere dag de neerslaghoeveelheid op deze kaarten en stuurde ze na afloop van de maand naar het KNMI. Na digitalisatie werden de waarnemingen op kwaliteit gecontroleerd door vergelijking met beschikbare maandtotalen. In sommige gevallen was het nodig ontbrekende waarnemingen te schatten met behulp van waarnemingen van naburige stations of een neerslagaftapping over meerdere dagen te verdelen over de desbetreffende dagen.

Homogenisatie

Langtermijntrends in de neerslag kunnen beïnvloed zijn door inhomogeniteiten, veroorzaakt door bijvoorbeeld stationsverplaatsingen of veranderingen in de directe omgeving of opstelling van de regenmeter. Om deze kunstmatige trends of sprongen kwijt te raken, moeten we de data homogeniseren. Dit is tijdrovend. We hebben daarom gebruik gemaakt van een recent ontwikkelde automatische homogenisatiemethode die stations in een dataset paarsgewijs vergelijkt¹⁾. Hoewel de methode veel inhomogeniteiten opspoorde en er ook voor corrigeert, blijven vooral kleine inhomogeniteiten onopgemerkt door de grote variabiliteit van neerslag. Dit is inherent aan iedere homogenisatiemethode. Inhomogeniteiten die het gevolg zijn van netwerkbrede aanpassingen, blijven ook onopgemerkt. Een voorbeeld daarvan is de verlaging van de opstellingshoogte van de regenmeters van 1,50 naar 0,40 meter in de periode 1946-1953 om fouten als gevolg van de invloed van de wind te reduceren. Braak²⁾ schatte de windfout bij regenmeters op 1,50 meter hoogte op ongeveer 5,5 procent gemiddeld over Nederland. Uit zijn onderzoek volgt ook dat die fout halveert bij een opstellingshoogte van 0,40 meter. Voor individuele dagen kan de fout sterk verschillen van de langjarige gemiddelde windfout. Binnen het hier beschreven onderzoek was het niet

haalbaar de dagwaarden te corrigeren voor de verlaging van de opstellingshoogte.

Gemiddelde trends over Nederland

Tabel 1 geeft de veranderingen in vijf neerslagkarakteristieken, zowel absoluut als relatief, voor de perioden 1951-2009 en 1910-2009. Voor de periode 1951-2009 is uitgegaan van 240 volledige of bijna volledige neerslagreeksen. Vanwege de geringere netwerkdichtheid in het begin van de 20e eeuw waren voor de periode 1910-2009 aanzienlijk minder neerslagreeksen beschikbaar. De trends voor deze periode zijn gebaseerd op 102 neerslagreeksen. Het meenemen van de periode van voor 1910 zou dit aantal verder doen afnemen. Ook waren de neerslagmetingen in die tijd nog niet gestandaardiseerd (verschillende regenmeters en opstellingshoogten). De veranderingen in tabel 1 zijn geschat met behulp van lineaire regressie (bij neerslaghoeveelheden) of Poisson-regressie (bij het aantal dagen met meer dan 20 of 30 mm neerslag)³⁾.

De tabel laat zien dat de jaarneerslag gemiddeld met 172 millimeter (25 procent) is toegenomen tussen 1910 en 2009. Die toename is voor bijna alle stations (97 procent) statistisch significant. De hier gevonden verandering is aanzienlijk groter dan de 85 millimeter die Van Boxel en

neerslag (mm)	1951-2009			1910-2009		
	absoluut	rel. (%)	Ns (%)	absoluut	rel. (%)	Ns (%)
jaar	118	16	51	172	25	97
winter (okt-mrt)	88	26	74	108	35	98
zomer (apr-sep)	33	8	2	61	16	46
dagen per jaar						
> 20 mm	1,4	44	27	1,9	67	73
> 30 mm	0,4	53	13	0,5	85	27

Tabel 1. Veranderingen in vijf neerslagkarakteristieken, gemiddeld over Nederland. Ns geeft het percentage van de neerslagreeksen waarvoor de verandering significant is op het 5%-niveau.

Cammeraat⁴⁾ noemen voor de toename van de neerslag in Nederland gedurende de 20e eeuw. Deze auteurs gaan uit van vijf neerslagreeksen over de periode 1904-1998, waarbij vanaf 1980 de data ontleend zijn aan de maandoverzichten van het weer in Nederland. Het merendeel van deze data is echter verkregen met een automatische regenmeter, die minder neerslag meet dan de handregenmeter op de neerslagstations, gemiddeld ongeveer vijf procent⁵⁾. Dit verklaart deels waarom Van Boxel en Cammeraat op een kleinere toename in de jaargemiddelde neerslag uitkomen dan de hier gegeven 172 millimeter. Daarnaast baseren deze auteurs zich op slechts vijf neerslagreeksen en beschouwen zij een iets andere periode (1904-1998 in plaats van 1910-2009).

De relatieve toename van 25 procent in tabel 1 is ook groter dan de 18 procent die in de brochure van de KNMI'06-klimaat-scenario's⁶⁾ wordt genoemd. Deze 18 procent is gebaseerd op 13 neerslagreeksen over de periode 1906-2005. De belangrijkste oorzaak voor het verschil met de 25 procent in tabel 1 is echter dat op de maandwaarden van deze neerslagreeksen een correctie is toegepast voor de verlaging van de opstellingshoogte van de regenmeters naar 0,40 meter. De gemiddelde jaarneerslag neemt dan in de eerste 40 jaren met ongeveer drie procent toe, waardoor de relatieve trend met ongeveer vijf procent afneemt. De recent verschenen Bosatlas van het klimaat vermeldt dat de jaarlijkse hoeveelheid neerslag sinds 1906 met ruim 20 procent is toegenomen. Hierbij ging men uit van dezelfde 13 neerslagreeksen als in de brochure over de klimaatscenario's, maar is niet gecorrigeerd voor de verlaging van de regenmeters en is ook niet aangenomen dat de trend lineair is.

Tabel 1 laat tevens een sterke toename in de gemiddelde winterneerslag zien. Ook voor België⁷⁾, het westen van Duitsland⁸⁾ en andere delen van Europa⁹⁾ zijn significante toenames in de gemiddelde winterneerslag gevonden. De relatieve veranderingen in het aantal dagen met meer dan 20 of 30 millimeter neerslag zijn nog groter dan die voor de winterneerslag. Dit zijn echter zeer gevoelige indicatoren voor klimaatverandering. Toch is het aantal stations met een statistisch significante trend in deze neerslagkarakteristieken

aanzienlijk kleiner dan bij de winterneerslag. Het relatief geringe aantal stations met een significante trend bij het aantal dagen met meer dan 30 millimeter neerslag komt door de grotere uitzonderlijkheid van dit soort gebeurtenissen (komt gemiddeld ongeveer één maal per jaar voor).

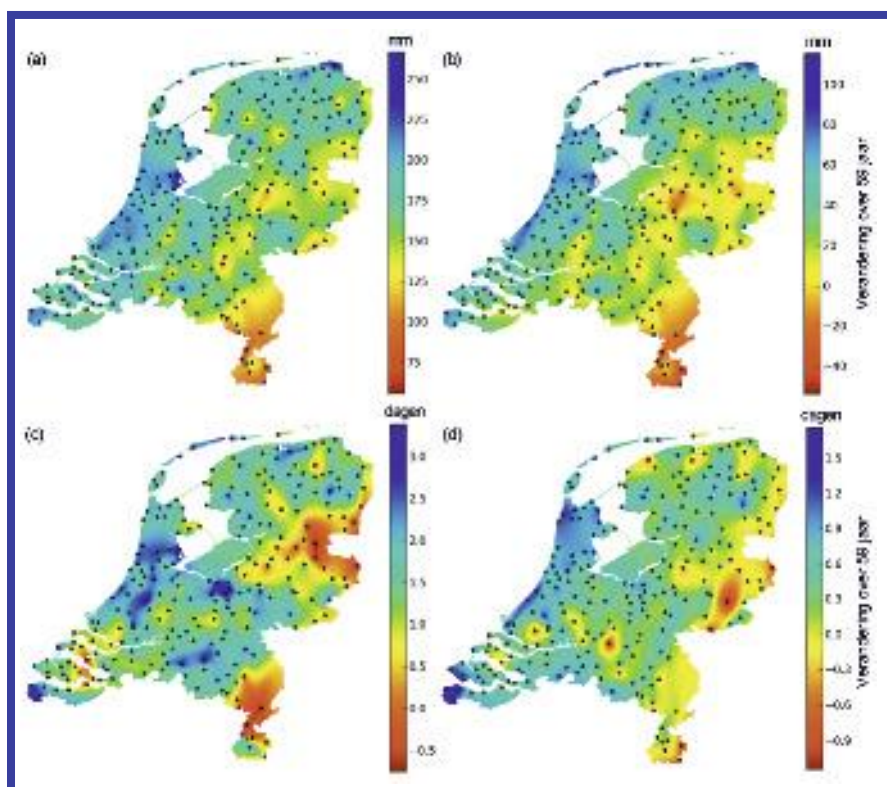
Uit tabel 1 volgt dat de toename in de winterneerslag en in het aantal dagen met meer dan 30 millimeter neerslag in de afgelopen eeuw voor een belangrijk deel plaatsvond in de periode 1951-2009. Voor het aantal dagen met meer dan 30 millimeter neerslag is pas vanaf het begin van de jaren '80 sprake van een duidelijke toename. Deze bedraagt ongeveer 78 procent van de totale toename over de periode 1910-2009. Voor alle neerslagkarakteristieken in tabel 1 geldt dat het percentage van de stations met een significante trend voor de periode 1910-2009

groter is dan voor de periode 1951-2009. De kans dat een trend significant is, neemt sterk toe met de lengte van de reeks.

Ruimtelijke verdeling van de trends

Afbeelding 1 geeft voor vier van de vijf neerslagkarakteristieken de ruimtelijke verdeling over Nederland weer van de veranderingen in de periode 1951-2009. Opvallend is dat de grootste trends in het kustgebied voorkomen. Zo is de gemiddelde neerslag in het zomerhalfjaar langs de kust met 60 tot 100 millimeter (15 tot 25 procent) toegenomen, terwijl in het zuidoosten van het land iets minder neerslag viel. De vrij sterke trend in het kustgebied wordt toegeschreven aan de stijging van de temperatuur van de Noordzee sinds 1951 (ruim 1°C)¹⁰⁾. Het aantal dagen met meer dan 30 millimeter neerslag is langs de westkust sterk toegenomen gedurende de laatste 60 jaar (ongeveer verdubbeld), maar is weinig

Afb. 1: Veranderingen in vier neerslagkarakteristieken gedurende de periode 1951-2009: (a) jaarneerslag (mm); (b) neerslag in het zomerhalfjaar (mm); (c) aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag; (d) aantal dagen per jaar met meer dan 30 mm neerslag. De 240 neerslagstations zijn aangegeven door zwarte punten.



veranderd langs de oostgrens van het land. Bij het aantal dagen met meer dan 20 millimeter neerslag is er ook een vrij grote toename in delen van Gelderland en het oosten van Noord-Brabant.

De ruimtelijke patronen van de trends in de periode 1910-2009 staan in afbeelding 2. In een groot deel van het kustgebied is de gemiddelde jaarneerslag in deze periode met 200 tot 250 millimeter (30 tot 35 procent) toegenomen. Langs de oostgrens en het zuidoosten van het land is dit minder, maar bedraagt de toename toch nog 70 tot 170 mm (tien tot 25 procent). Opvallend is de sterke toename in het aantal dagen met meer dan 30 millimeter neerslag gedurende de afgelopen eeuw in een groot deel van Zuid-Holland (1,5 dag, ofwel een verdrievoudiging). Voor een aantal stations (Schagen in Noord-Holland, Brouwershaven, Noordgouwe en Kerkwerpe op Schouwen-Duiveland) wijken de trends in de verschillende neerslagkarakteristieken vrij sterk af van de trends voor de omliggende stations. Nadere inspectie van de neerslagreeksen van deze stations leert dat dit veroorzaakt wordt door niet opgespoorde inhomogeniteiten.

Behalve deze lokale inhomogeniteiten is er nog een landelijke systematische toename als gevolg van de verlaging van de opstellingshoogte van de regenmeter vanaf 1946. Eerder werd aangegeven dat correctie op basis van de bevindingen van Braak de trend in de gemiddelde jaarneerslag met ongeveer vijf procent zou verlagen. In het zomerhalfjaar is het effect van de verlaging van de opstellingshoogte kleiner vanwege lagere windsnelheden en hogere neerslagintensiteiten. Bij daghoeveelheden van 20

millimeter of meer is de windfout gering en vaak verwaarloosbaar vanwege de relatief hoge neerslagintensiteiten.

Discussie

De gevonden neerslagtrends roepen allerlei vragen op. De belangrijkste is misschien wel of deze trends zich in de toekomst zullen voortzetten. In welke mate dit het geval zal zijn is echter moeilijk aan te geven, omdat nog veel onduidelijk is over de oorzaken van de gevonden trends en de verandering van het neerslagklimaat in Nederland bij een versterkt broeikas effect. Opmerkelijk is wel dat de waargenomen veranderingen in een aantal gevallen groter zijn dan de toekomstige veranderingen volgens de KNMI'06-scenario's. Het meest duidelijke geval is de 26 procent toename in de neerslag voor het winterhalfjaar in de afgelopen 60 jaar. De KNMI'06-scenario's geven voor de periode 1990-2050 een toename van vier procent (G-scenario) tot negen procent (W+-scenario). De waargenomen trends zijn deels het gevolg van langjarige variaties van de luchtdruk boven Europa¹¹⁾, terwijl de KNMI'06-scenario's het effect van broeikasgassen op het klimaat van Nederland en omgeving weergeven zoals dat door klimaatmodellen gesimuleerd wordt. Daarbij is het lastig met een beperkt aantal klimaatscenario's de onzekerheden in de modelsimulaties goed weer te geven. Bij het W+-scenario gaat een relatieve sterke toename van de neerslag in december, januari en februari samen met een afname in oktober, waardoor de toename in het winterhalfjaar weinig verschilt van die in een scenario met een relatief kleine, vrijwel constante toename van de neerslag in alle maanden.

Een andere vraag is of het wel verstandig is watersystemen door te rekenen met waarnemingsreeksen van 100 jaar of langer. De beginjaren zijn dan niet representatief voor het huidige klimaat. Dit geldt met name voor de winterneerslag en in het kustgebied ook voor de zomerneerslag. Anderzijds leidt het beperken tot bijvoorbeeld de laatste 30 jaar tot een vrij grote onzekerheid vanwege de korte reekslengte. Voor droogtestudies kan een dergelijke beperking ook ongewenst zijn omdat de vijf droogste zomers in de afgelopen eeuw in 1976 of eerder optraden. Met behulp van tijdreeks simulatie, eventueel in combinatie met een regionale analyse van extreme waarden, is het soms mogelijk de onzekerheid als gevolg van de beperkte reekslengte te reduceren. Voor de stroomgebieden van Rijn en Maas heeft het KNMI daar inmiddels ervaring mee opgedaan¹²⁾.

LITERATUUR

- 1) Menne M. en C. Williams Jr. (2009). Homogenization of temperature series via pairwise comparisons. *Journal of Climate* (22) nr. 7, pag. 1700-1717.
- 2) Braak C. (1945). Invloed van den wind op regenwaarnemingen. Mededeelingen en Verhandelingen 48. KNMI.
- 3) Buishand A., G. de Martino, J. Spreew en T. Brandsma (2011). Homogeneity of precipitation series in the Netherlands and their trends in the past century. *International Journal of Climatology*. Ingediend.
- 4) Van Boxel J. en E. Cammeraat (1999). Wordt Nederland steeds natter? Een analyse van de neerslag in deze eeuw. *Meteorologica* (8) nr. 1, pag. 12-15.
- 5) Overeem A., A. Buishand, en I. Holleman (2008). Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology* 348, pag. 124-134.
- 6) KNMI (2006). *Klimaat in de 21e eeuw: vier scenario's voor Nederland*.
- 7) Schmith T. (2001). Global warming signature in observed winter precipitation in Northwestern Europe. *Climate Research* (17) nr. 3, pag. 263-274.
- 8) Schönwiese C. en R. Janoschitz (2005). *Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000*. Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main nr. 4.
- 9) Moberg A. en P. Jones (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901-1999. *International Journal of Climatology* (25), pag. 1149-1171.
- 10) Lenderink G., E. van Meijgaard en F. Selten (2009). Intense coastal precipitation in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. *Climate Dynamics* (32) nr. 1, pag. 19-33.
- 11) Van Haren R., G. van Oldenborgh, G. Lenderink, M. Collins en W. Hazeleger (2011). SST and circulation trend biases cause an underestimation of European precipitation trends. *Climate Dynamics*. Ingediend.
- 12) De Wit M. en A. Buishand (2008). Extreme afvoeren voor Rijn en Maas gebundeld in GRADE. *H₂O* nr. 1, pag. 8-9.

Afb. 2: Veranderingen in vier neerslagkarakteristieken gedurende de periode 1910 - 2009: (a) jaarneerslag (mm); (b) neerslag in het zomerhalfjaar (mm); (c) aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag; (d) aantal dagen per jaar met meer dan 30 mm neerslag. De 102 neerslagstations zijn aangegeven door zwarte punten.

