



Aart Overeem, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Iwan Holleman, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Adri Buishand, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Neerslagklimatologie uit weerradar

Weerradars geven neerslagschattingen over grote gebieden met hoge ruimtelijke en temporele resoluties en zijn daarom een belangrijke aanvulling op netwerken van regenmeters. Door de toegenomen communicatiemogelijkheden, de huidige kwaliteit van de radargegevens en de innovatie vanuit de markt worden radarneerslagbeelden steeds meer gebruikt door waterschappen en beslissingsondersteunende systemen (BOS). Het KNMI heeft in tien jaar tijd een kwalitatief hoogwaardige radardataset van neerslaghoeveelheden opgebouwd, waardoor radar nu ook is te gebruiken voor het afleiden van een neerslagklimatologie.

Een weerradar zendt elektromagnetische golven uit en meet het door neerslag teruggekaatste vermogen, dat wordt omgerekend naar de radarreflectiviteit. Daaruit wordt vervolgens de neerslagintensiteit berekend. De radar meet neerslag dus indirect en niet aan de grond, maar op enige hoogte boven het aardoppervlak. Elke vijf minuten maakt de radar beelden van de neerslagintensiteit van heel Nederland, waarna ze vrijwel onmiddellijk te bekijken zijn op internet. Het KNMI levert operationele, met regenmeters gecorrigeerde neerslagaccumulaties over drie uur (elk uur) en 24 uur (elke dag).

Radar- en regenmetergegevens

Het KNMI heeft in tien jaar tijd een archief

van radargegevens opgebouwd, dat bestaat uit de neerslagintensiteitsbeelden die in de periode 1998-2007 elke vijf minuten zijn geregistreerd. Hieruit zijn neerslag-sommen afgeleid voor periodes van één tot 24 uur over het gehele landoppervlak van Nederland, met een ruimtelijke resolutie van 2,4 bij 2,4 km². Afbeelding 1 (links) toont de locatie van beide radars en hun bereik (200 km). Tevens laten de kaarten de KNMI-netwerken van automatische en handregenmeters zien, die beide zijn gebruikt voor de correctie en verificatie van radarbeelden. De beelden van beide radars zijn gemengd tot een compositie.

De neerslagschatting met radar wordt soms negatief beïnvloed door een aantal fouten

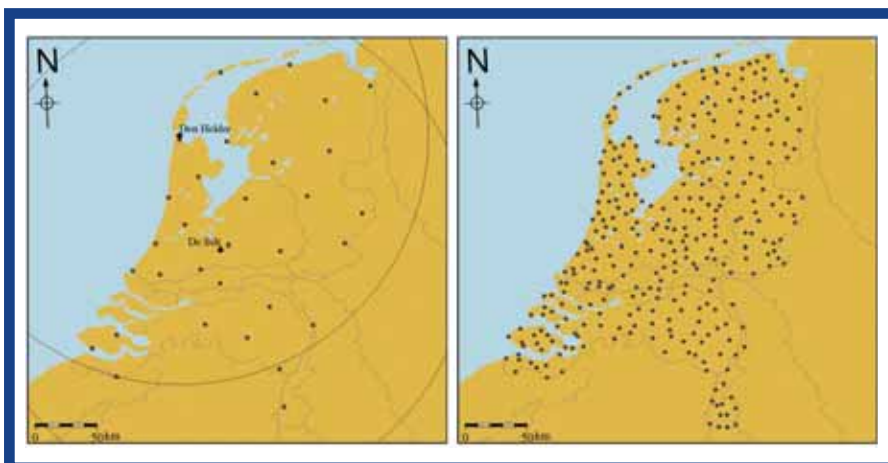
(bronnen). Zo verzwakt het radarsignaal bij hoge neerslagintensiteiten, wat tot een onderschatting leidt van de hoeveelheid neerslag. Verder wordt vooral in de maanden november tot en met maart vaak een te kleine hoeveelheid neerslag gemeten op grotere afstanden van de radar. In deze maanden valt een groot deel van de neerslag namelijk uit lage, stratiforme bewolking. Bij een afstand van 150 kilometer bevindt de radarbundel zich op bijvoorbeeld twee kilometer hoogte boven het aardoppervlak, waardoor (gedeeltelijk) over de neerslag heen wordt 'gekeken'. Een andere oorzaak van fouten is de klimatologische verdeling van de grootte van de druppeltjes, die wordt aangenomen bij de omrekening van radarreflectiviteit naar neerslagintensiteit.

Vanwege deze mogelijke fouten is het, voor kwantitatieve toepassingen, belangrijk radarneerslagsommen te corrigeren met regenmetergegevens. Het voordeel van regenmeters is namelijk dat deze de neerslaghoeveelheid zelf meten en bovendien aan het aardoppervlak. Regenmetergegevens zijn minder geschikt om de gebiedsneerslag of de ruimtelijke variabiliteit in de neerslaghoeveelheid te schatten. Hier lenen radargegevens zich juist weer beter voor. Het beste van twee werelden wordt dus gecombineerd.

Correctie met regenmeters

Het handregenmeternetwerk is gebruikt om een ruimtelijke correctie uit te voeren op ruwe radardagsommen van 08.00-08.00 UTC, die lijkt op de correctie van de operationeel geleverde dagsommen. Hierbij wordt een correctieveld berekend door voor

Afb. 1: Kaarten van Nederland met links de locaties van de weerradars in De Bilt en Den Helder, hun bereik van 200 km (cirkels) en de locaties van 33 automatische regenmeters (blokjes). Rechts de locaties van 326 handregenmeters.

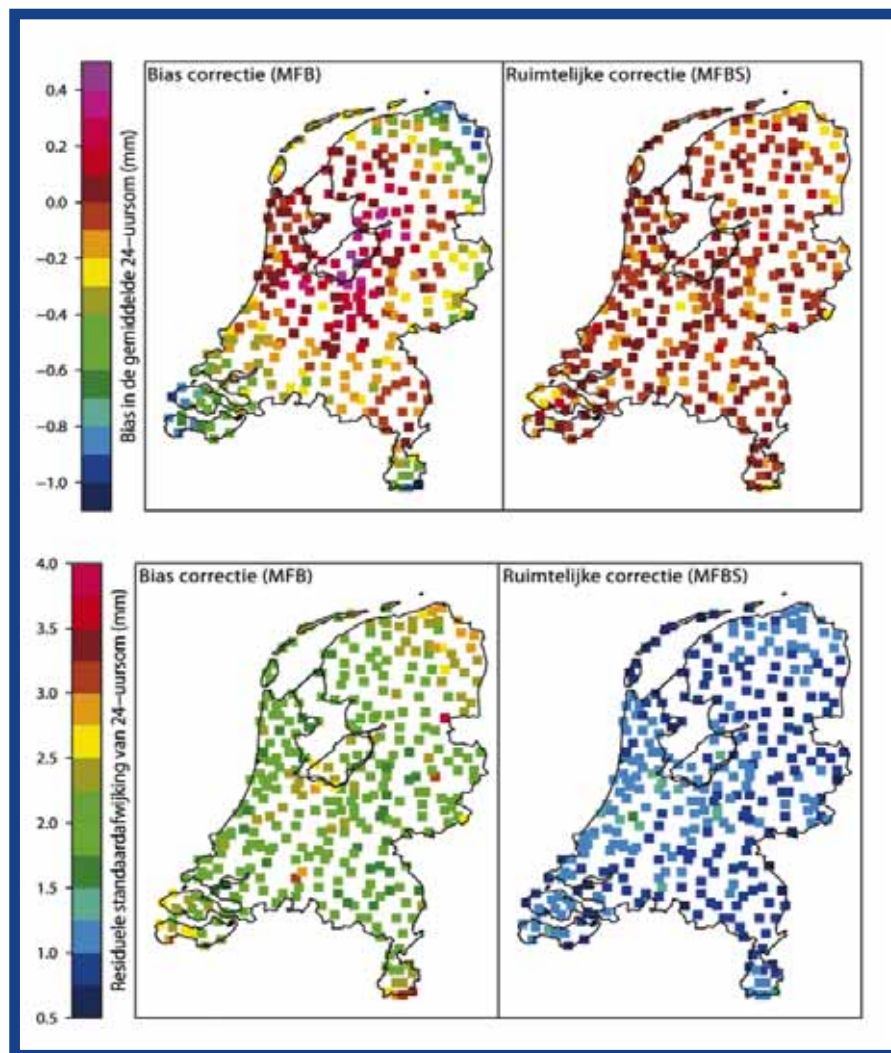


elke pixel van 2,4 bij 2,4 km² een afstandsgewogen interpolatie van neerslaghoeveelheden uit handregometers te delen door een afstandsgewogen interpolatie van radarneerslaghoeveelheden. Analoog aan de correctieprocedure van operationeel geleverde drieuursommen, zijn de automatische regenmeters aangewend om de systematische fout of bias in de ruwe éénuurwaarden te corrigeren. Deze correctie bestaat uit een constante factor voor het gehele beeld en wordt aangeduid als MFB (mean-field bias). Beide correcties zijn vervolgens gecombineerd (MFBS) en wel zodanig dat - als de uursommen worden opgeteld tot dagsommen - ze gelijk zijn aan de ruimtelijk gecorrigeerde dagsommen. De MFBS-correctie is pas toe te passen als de dagwaarden van het handregemeter-netwerk beschikbaar zijn.

Verificatie

Voor de verificatie zijn de verschillen tussen de neerslagsommen van de radar minus de neerslagsommen van de regenmeter (residuen) berekend over de periode 1998-2007. Indien de dagsommen van de radar geverifieerd worden ten opzichte van de dagsommen van de handregemeter, blijkt dat de systematische fout in het gemiddelde -0,88 millimeter is voor de ruwe radardata. Dit is fors, gezien de gemiddelde dagsom van de handregemeter van 2,55 millimeter. Voor de gecorrigeerde radargegevens wordt de systematische fout echter gereduceerd tot -0,03 millimeter. Verder neemt de standaardafwijking van de residuen af van 2,71 millimeter voor de ruwe tot 1,03 millimeter voor de gecorrigeerde radargegevens (MFBS). Voor een belangrijk deel wordt deze laatste standaardafwijking veroorzaakt door verschillen in het meetvolume: de regenmetergegevens zijn puntmetingen, terwijl de radar een volume meet met een horizontaal oppervlak van 2,4 bij 2,4 km². Indien nu voor 1998-2007 de dagsommen van de handregometers worden vergeleken met die van de automatische regenmeters binnen een straal van 2,4 kilometer, blijkt de standaardafwijking van de residuen 1,06 millimeter te bedragen, ongeveer even groot als de voor radar gevonden 1,03 millimeter. Een belangrijk deel van de standaardafwijking van de verschillen tussen radar- en regenmeteraccumulaties wordt dus veroorzaakt door variaties in de neerslaghoeveelheden op de subpixelschaal. Voor de operationeel geleverde dagsommen is de standaardafwijking van de residuen iets hoger, namelijk 1,25 millimeter in plaats van 1,03 millimeter.

Vervolgens wordt de ruimtelijke kwaliteit van de gecorrigeerde neerslagsommen onderzocht. Over de gehele periode 1998-2007 berekent men de systematische fout in het gemiddelde en de standaardafwijking van de residuen voor elke regenmeterlocatie afzonderlijk (zie afbeelding 2). Indien alleen een biascorrectie (MFB) wordt toegepast op éénuursommen, treden grote ruimtelijke verschillen op, vooral in de systematische fout in het gemiddelde. Aan de randen van Nederland is er een systematische onderschatting, doordat in de



Afb. 2: Systematische fout in het gemiddelde (boven) en residuele standaardafwijking (onder) voor de radar dagsommen (08.00-08.00 UTC) t.o.v. het handregemeter-netwerk.

wintermaanden de lage neerslag zich vaak gedeeltelijk onder de radarbundel bevindt. Wel neemt de systematische fout in het gemiddelde behoorlijk af ten opzichte van de systematische fout in de ruwe radargegevens. Toepassing van de ruimtelijke correctie op dagsommen levert radarbeelden op met een homogene ruimtelijke kwaliteit. Bovendien zijn de systematische fout in het gemiddelde en de standaardafwijking van de residuen duidelijk lager.

Tabel 1 geeft de verificatieresultaten voor de éénuursommen. De biascorrectie

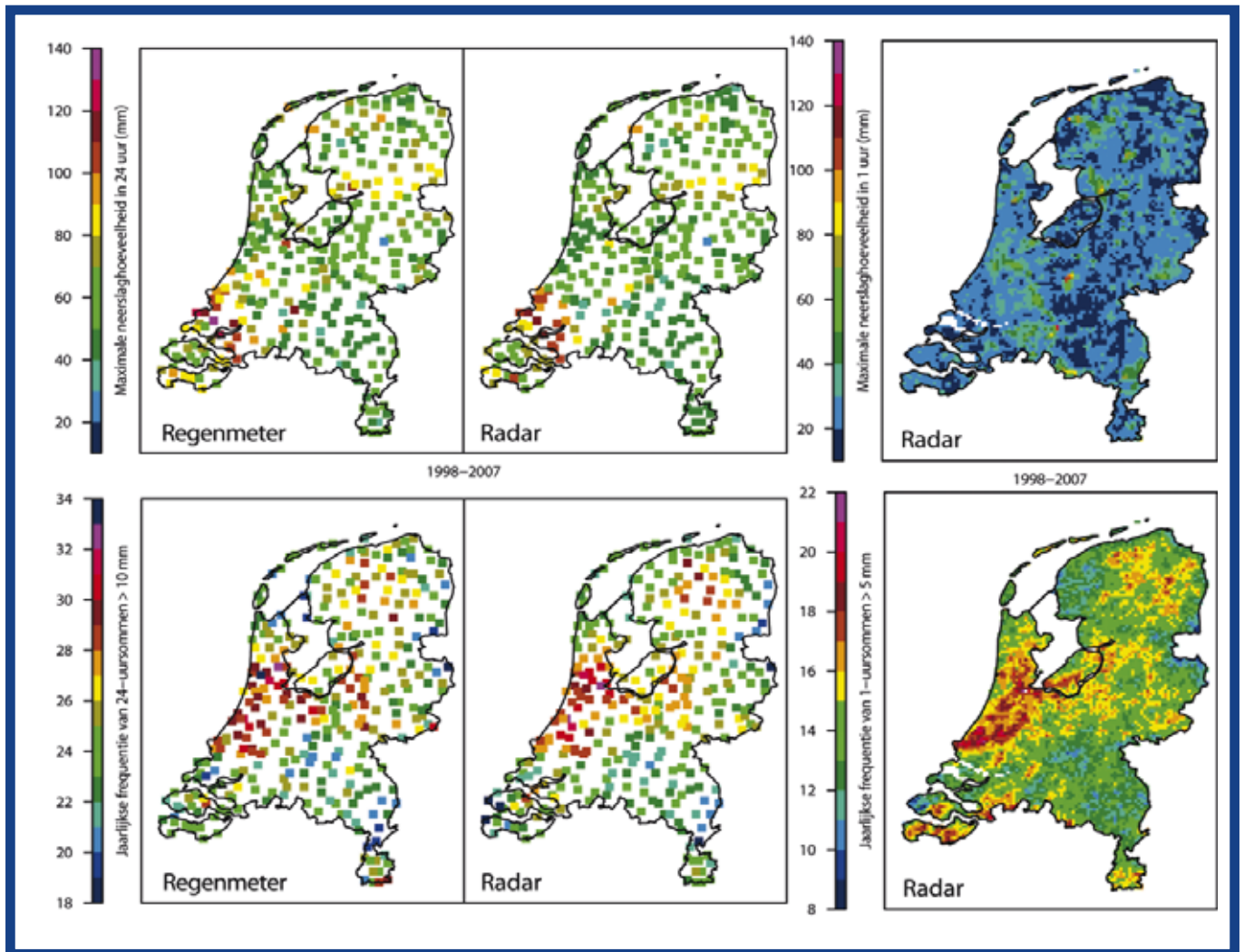
(MFB) verwijdert de systematische fout in het gemiddelde. Opvallend is dat de ruimtelijke correctie wat toevoegt op deze korte tijdschaal en in combinatie met de biascorrectie een lagere systematische fout in de extreme éénuursommen geeft en de standaardafwijking van de residuen verder verlaagt.

Neerslagklimatologie

De radardataset is door de goede kwaliteit te gebruiken om een neerslagklimatologie te vervaardigen. Hiervan wordt nu een aantal voorbeelden gegeven. Zo blijkt dat

Tabel 1: Verificatie van de éénuursommen uit radar ten opzichte van het automatische regenmeter-netwerk over de periode 1998-2007.

	systematische fout in het gemiddelde (mm)			standaardafwijking van de residuen (mm)		
	ongecorrigeerd	MFB	MFBS	ongecorrigeerd	MFB	MFBS
alle uren, gemiddelde neerslaghoeveelheid	-0,03	0,00	0,01	0,35	0,29	0,27
radar en/of regenmeter neerslaghoeveelheid > 5 mm in één uur	-3,81	-0,82	-0,51	4,60	3,96	3,80



Afb. 3: Maximale neerslaghoeveelheden in de periode 1998-2007 (bovenste figuren) en jaarlijkse frequenties van overschrijding van neerslagdrempels (onderste figuren) op basis van handregenmeterdata en de gecorrigeerde radardata (MFBS) voor dagsommen (links en midden) en éénuursommen (rechts).

in de periode 1998-2007 gemiddeld 28 keer per jaar ergens in Nederland een dagsom van 100 millimeter of meer is gevallen in een gebied ter grootte van één radarpixel ($5,7 \text{ km}^2$). Dit is interessant, omdat zo inzicht ontstaat in de kans op een extreme gebeurtenis ergens in Nederland in plaats van op een vaste locatie.

Afbeelding 3 geeft voorbeelden van de ruimtelijke verdeling van extreme neerslaggebeurtenissen. De bovenste kaarten tonen de maximale dag- of uursom over de periode 1998-2007. De dagsommen van de gecorrigeerde radargegevens op de locaties van de handregensmeters komen goed overeen met die uit de handregensmeters. De kaart rechts laat het voordeel van radar zien: de maximale neerslaghoeveelheid is nu beschikbaar voor een korte tijdschaal (één uur) en met een hoge ruimtelijke resolutie. In de onderste kaarten is het gemiddelde aantal overschrijdingen per jaar van een neerslagdrempel geplot, voor de dagsommen van tien millimeter en voor de uursommen van vijf millimeter. Opnieuw komen de op radar en handregensmeters gebaseerde gegevens goed overeen. Voor de uursommen varieert de frequentie ruimtelijk van 8 tot 22 keer per jaar. Dit kan nog worden toegeschreven aan toevalligheden. Het is op grond van dit resultaat dus niet bewezen dat er regionale klimatologische verschillen

bestaan. Bij de dagsommen ligt dit anders. Hier zijn de getoonde ruimtelijke verschillen in frequenties voor een klein deel wel klimatologisch van aard.

Conclusies en toekomst

De toegepaste correcties met regenmetergegevens resulteren in een kwalitatief goede radardataset met neerslagaccumulaties voor periodes van één tot en met 24 uur. Voorbeelden van neerslagklimatologie gebaseerd op radargegevens bevestigen de mogelijkheden van radardata voor het analyseren van extreme neerslag (Voor de correctieprocedures, verificaties en neerslagklimatologie zie¹⁾. Voor meer informatie over de kwaliteit van de huidige, operationeel geleverde drieuursommen zie²⁾).

Op dit moment wordt nog onderzoek verricht naar het gebruik van deze radardataset voor de berekening van extreme neerslagstatistiek, onder andere van belang voor ontwerpdoeleinden in het waterbeheer (zie³⁾). Hierbij worden bijvoorbeeld regenduurlijnen en hun onzekerheid geschat, naar analogie van⁴⁾, waarin dit op basis van Nederlandse regenmetergegevens wordt gedaan voor periodes van één tot en met 24 uur. De uitkomsten zijn veelbelovend en laten de potentie zien van radargegevens voor de berekening van dit soort statistieken

voor periodes korter dan een dag voor verschillende gebiedsgrootten. Hierover is nog weinig bekend, doordat het vanwege de geringe stationsdichtheid voor korte duren niet mogelijk is de neerslaghoeveelheid over een gebied betrouwbaar te schatten.

De eerste auteur van dit artikel hoopt op 4 december van dit jaar te promoveren op deze onderzoeken bij professor Remko Uijlenhoet (Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer, Wageningen Universiteit). De klimatologische dataset van éénuursommen, welke het gehele landoppervlak van Nederland bestrijkt, is verkrijgbaar via de KNMI-klimaatdesk. De radargegevens over 2008 zijn inmiddels toegevoegd.

LITERATUUR

- Overeem A., I. Holleman en T. Buishand (2009). Derivation of a 10-year radar-based climatology of rainfall. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. In druk.
- Holleman I. (2007). Bias adjustment and long-term verification of radar-based precipitation estimates. *Meteorological Applications* 14, pag. 195-203.
- Overeem A., T. Buishand en I. Holleman (2009). Extreme rainfall estimation using weather radar. *Water Resources Research*. Ingediend.
- Overeem A., T. Buishand en I. Holleman (2008). Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology* 348, nr. 1, pag. 124-134.