



Hidde Leijnse, Wageningen Universiteit, leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer

Remko Uijlenhoet, Wageningen Universiteit, leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer

Han Stricker, Wageningen Universiteit, leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer

Regenmeting met commerciële mobiele telefonienetwerken

Het is mogelijk om regen te meten met de bestaande infrastructuur die wordt gebruikt voor de communicatie tussen mobiele telefoons. De microgolfstraalverbindingen waaruit deze netwerken bestaan, zijn namelijk gevoelig voor regen. Zij kunnen als bron van neerslagmetingen daarom een zeer waardevolle aanvulling zijn op de operationele weerradar en regenmeternetwerken voor toepassingen in het waterbeheer. Deze toegevoegde waarde ligt in het feit dat regenintensiteiten geschat uit microgolfstraalverbindingen over het algemeen nauwkeuriger zijn dan schattingen op basis van radarbeelden en de dichtheid van het netwerk vele malen hoger ligt dan de dichtheid van regenmeternetwerken.

Een microgolfstraalverbinding bestaat uit een zender die een radiosignaal naar een ontvanger stuurt. Als het regent, wordt dit signaal gedeeltelijk uitgedoofd door de regendruppels in het pad tussen zender en ontvanger. Omdat zowel de mate van uitdoving van het signaal als de intensiteit van de neerslag positief gecorreleerd zijn met de grootte en de concentratie van regendruppels in de lucht, kan meting van deze uitdoving dus worden gebruikt om de regenintensiteit te schatten. In dit artikel wordt de methode om regen te schatten uit microgolfstraalverbindingen beschreven én toegepast op metingen van commerciële microgolfstraalverbindingen^{1,2)}. De antenemasten van dergelijke verbindingen zijn inmiddels bekende objecten in het landschap.

Meetprincipe

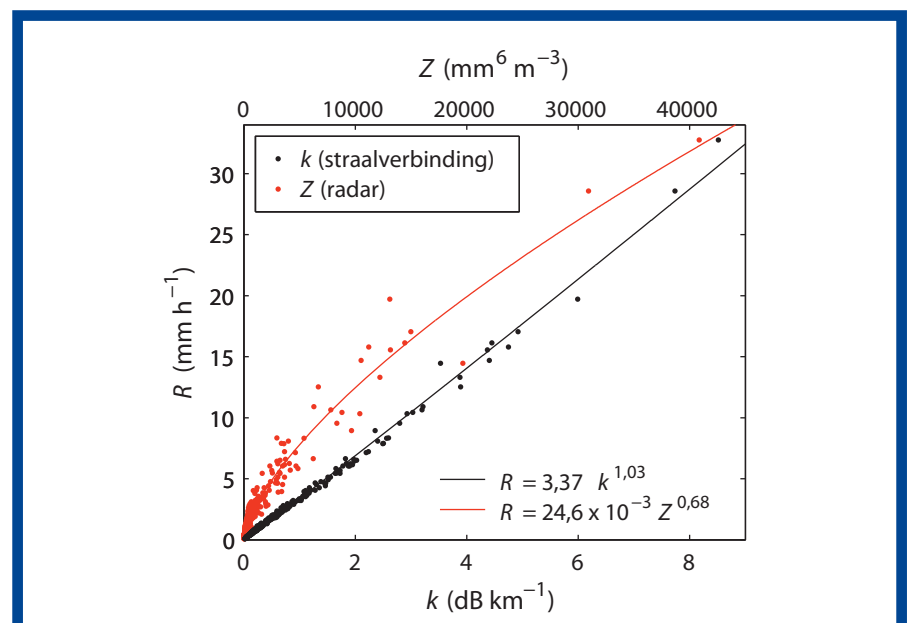
Om de relatie tussen de uitdoving en de regenintensiteit te bepalen, zijn datasets van gemeten druppelgrootteverdelingen (metingen van groottes en bijbehorende concentraties van regendruppels in de lucht) gebruikt. Deze zijn gemeten in De Bilt gedurende ruim een jaar (1968-1969)³⁾. Voor elke gemeten druppelgrootteverdeling is een regenintensiteit (R) en een specifieke uitdoving (k) berekend met bekende theoretische relaties tussen de druppelgrootte enerzijds en de valsnelheid van druppels⁴⁾ en de (frequentie afhankelijke) elektromagnetische uitdoving⁵⁾ anderzijds. Algemeen aangenomen wordt dat het verband tussen k en R een machtsrelatie is ($R = ak^{b_1}$)⁶⁾. In afbeelding 1 staat R uitgezet tegen k bij een signaalfrequentie van 38,5 GHz, samen

met de optimale (som der kwadraten van de fouten is minimaal) machtsrelatie. Het is duidelijk uit deze grafiek dat een eenduidige machtsrelatie de variatie in regenintensiteit redelijk goed verklaart (de zwarte punten liggen dicht bij de zwarte lijn) en dat deze machtsrelatie bovendien bijna lineair is (de exponent ligt dicht bij 1).

Ter vergelijking is in afbeelding 1 R ook uitgezet tegen de radarreflectiviteit Z (de grootte die wordt gemeten door

operationele weerradars, zoals die van het KNMI), met ook een optimale machtsrelatie tussen R en Z . Een vergelijking van deze twee grafieken toont direct twee van de voordelen van microgolfstraalverbindingen ten opzichte van de weerradar: de relatie tussen de uitdoving en de regenintensiteit is veel eenduidiger én de exponent ligt veel dicht bij 1 (met andere woorden: de relatie is bijna lineair), waardoor de puntrelatie probleemloos kan worden toegepast op meetpadgemiddelden en er van schaal-

Afb. 1: Machtsrelaties afgeleid uit gemeten druppelgrootteverdelingen. De analyses voor een 38,5 GHz microgolfstraalverbinding is weergegeven in zwart (onderste x-as), die voor een operationele 5,6 GHz weerradar in rood (bovenste x-as).





Mast met antennes van mobiele telefoniebedrijven. De ronde antennes zijn die van microgolfstraalverbindingen.

problemen dus veel minder sprake zal zijn. Daarnaast heeft meting met een microgolfstraalverbinding het voordeel van nabij het oppervlak plaats te vinden in tegenstelling de meting met de weerradar, waarvan de uitgezonden bundel met de afstand tot de radar steeds verder stijgt in de atmosfeer en daarmee extra foutenbronnen ontstaan.

Resultaten

In het najaar van 2003 zijn gegevens opgeslagen uit het standaard kwaliteitscontrolesysteem van een commercieel mobiele telecommunicatiebedrijf. Het betreft de registratie van het eenmaal per kwartier door de antenne ontvangen vermogen, afgerond tot de dichtstbijzijnde volle decibel. De straalverbinding die hiervoor is gebruikt, staat tussen Ede en Wageningen, heeft een signaalfrequentie van 38,5 GHz en is 6,7 kilometer lang. Verder zijn gegevens beschikbaar de regenmeter van het meteorostation van Wageningen Universiteit die ongeveer een kilometer van één van de antennes was verwijderd (zie afbeelding 3) en van het operationele weerradarsysteem van het KNMI.

In afbeelding 2 staan twee voorbeelden van buien, zoals gemeten door de microgolfstraalverbinding, de regenmeter en het radarsysteem.

Het netwerk van microgolfstraalverbindingen dat wordt gebruikt door mobiele telefoniebedrijven, is vaak zeer uitgebreid. Hieronder enkele gegevens:

- In Nederland zijn er ongeveer 12.000 microgolfstraalverbindingen;
- Met een gemiddelde lengte van tussen de drie en vier kilometer heeft Nederland gemiddeld één kilometer straalverbinding per km²;
- Het netwerk is niet overal even dicht: in stedelijke gebieden is de dichtheid vaak veel groter dan in landelijke gebieden. Deze netwerken bieden dus extra verfijning van neerslaginformatie in gerioleerd (stedelijk) gebied;
- In veel ontwikkelingslanden bestaat geen infrastructuur voor het meten van neerslag, terwijl er wel commerciële netwerken van microgolfstraalverbindingen zijn. Het lokale waterbeheer en de transportsector kunnen veel profijt hebben bij benutting van deze methode van neerslagmeting;
- Ook meteorologische modellen ten behoeve van weersvoorspelling en klimaatstudies kunnen profiteren van het beschikbaar komen van neerslaggegevens in deze gebieden.

In beide grafieken is te zien dat de straalverbinding systematisch meer regen meet dan het radarsysteem. Dit kan verschillende oorzaken hebben: de antennes van de straalverbinding worden nat en zorgen daardoor voor meer uitdoving^{21,7)}, het nulniveau van het signaal voorafgaand aan de bui wordt overschat of toegenomen wind tijdens de bui veroorzaakt dat de antennes niet meer precies op elkaar staan gericht, waardoor een verlies aan ontvangen vermogen optreedt. Een andere mogelijke bron van fouten is dat een belangrijk deel van een korte (maar mogelijk hevige) bui kan worden gemist doordat slechts één keer per kwartier een meting wordt verricht⁸⁾. Daarnaast is het natuurlijk ook mogelijk dat er fouten in de door de radar gemeten regenintensiteit zitten (zie ook afbeelding 1).

Om de zeer grote discrepantie tussen de regenmeter enerzijds en het radarsysteem en straalverbinding anderzijds in de bui van 26 oktober te kunnen verklaren, is het radarbeeld van 13:20 UTC weergegeven in afbeelding 3, met de locaties van de straalverbinding en de regenmeter. Duidelijk te zien is dat deze bui een zeer lokaal karakter heeft met zeer hoge gradiënten in regenintensiteit. Hierdoor meet de regenmeter vele malen meer regen dan de radar en de straalverbinding. Dit geeft meteen een belangrijk nadeel van de regenmeter ten opzichte van een microgolfstraalverbinding aan: door het ruimtelijk integrerende karakter van een straalverbinding zijn deze regenmetingen

vaak veel representatiever voor gebiedsgemiddelde neerslag dan metingen van regenmeters.

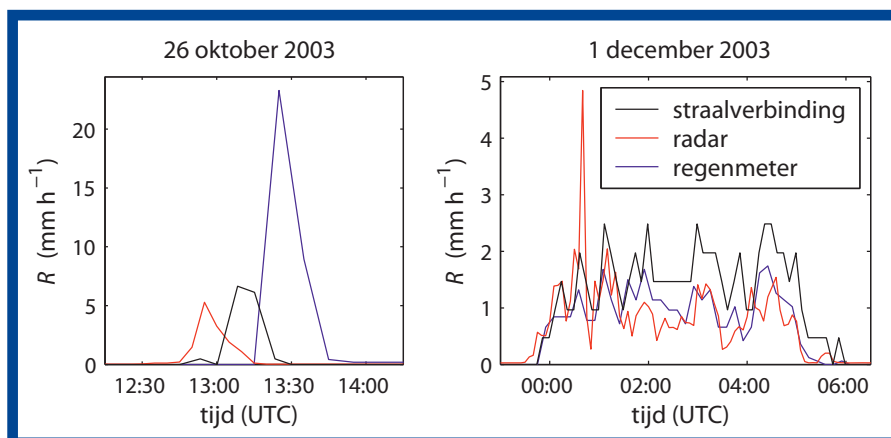
Conclusie, discussie en lopend onderzoek

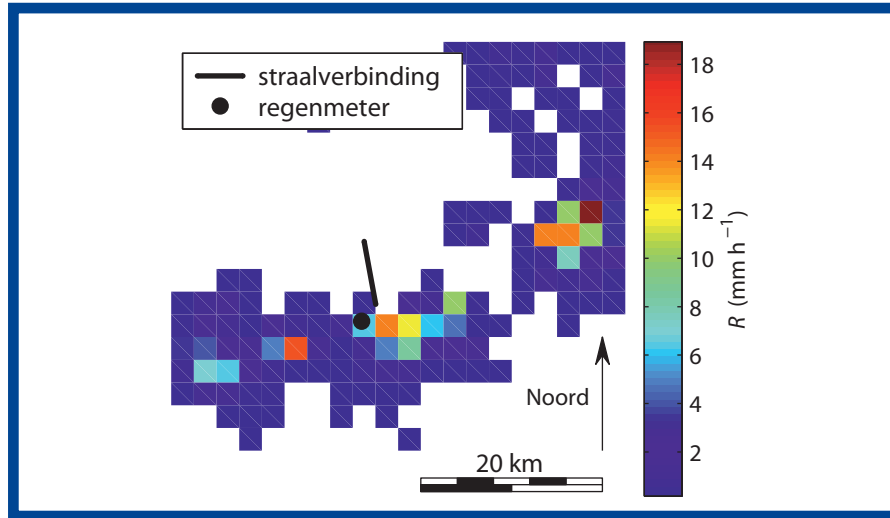
Aangetoond is dat microgolfstraalverbindingen uit commerciële mobiele telefonienetwerken kunnen worden gebruikt om regen te meten. Hierbij moet voor verhoging van de nauwkeurigheid van de neerslagmetingen rekening worden gehouden met het effect van het afronden van het ontvangen vermogen tot de dichtstbijzijnde decibel, van de lange tijd tussen twee opeenvolgende waarnemingen, van natte antennes en van het niet meer op elkaar gericht zijn van antennes onder invloed van wind. In vergelijking met veelgebruikte methoden om neerslag te meten (regenmeters en weerradar) hebben microgolfstraalverbindingen enkele belangrijke voordelen na reductie van eerdergenoemde foutenbronnen.

Bovendien maakt de zeer hoge dichtheid van commerciële straalverbindingen in grote delen van de wereld (bijvoorbeeld 12.000 verbindingen in Nederland tegen circa 35 automatische KNMI-regenmeters) deze methode een zeer veelbelovende bron van accurate neerslaggegevens.

Lopend onderzoek in samenwerking met het KNMI richt zich op het maken van neerslagbeelden uit grote netwerken van deze microgolfstraalverbindingen, waarbij

Afb. 2: Twee regenbuien, gemeten door een microgolfstraalverbinding uit een commercieel netwerk (zwart), het operationele KNMI-weerradarsysteem (rood) en een regenmeter (blauw).





Afb. 3: Radarbeeld van 13:20 UTC op 26 oktober 2003. De locaties van de microgolfsaalverbinding en de regenmeter zijn ook weergegeven.

op een slimme manier gegevens van het radarsysteem, automatische regenmeters en microgolfsaalverbindingen zullen worden gecombineerd. Hierdoor kan optimaal gebruik worden gemaakt van de voordelen van deze verschillende instrumenten. Daarnaast wordt in samenwerking met Franse collega's gewerkt aan het imple-

menteren van deze methode van neerslagmeting in West-Afrika. In dit gebied is geen bestaande infrastructuur voor het meten van neerslag. Implementatie kan dan een grote sprong voorwaarts betekenen voor het verbeteren van het lokale waterbeheer en weersvoorspellingen.

LITERATUUR

- 1) Messer H., A. Zinevich en P. Alpert (2006). Environmental monitoring by wireless communication networks. *Science* 312, pag. 713.
- 2) Leijnse H., R. Uijlenhoet en J. Stricker (2007). Rainfall measurement using radio links from cellular communication networks. *Water Resources Research* 43, nr. W03201.
- 3) Wessels H. (1972). Metingen van regendruppels in De Bilt. KNMI.
- 4) Beard K. (1976). Terminal velocity and shape of cloud and precipitation drops aloft. *J. Atmos. Science* 33, pag. 851-864.
- 5) Van de Hulst H. (1957). Light scattering by small particles. John Wiley.
- 6) Atlas D. en C. Ulbrich (1977). Path- and area-integrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 1-3 cm band. *J. Appl. Meteorol.* 16, pag. 1322-1331.
- 7) Leijnse H., R. Uijlenhoet en J. Stricker (2007). Hydrometeorological application of a microwave link: 2. Precipitation. *Water Resources Research* 43, nr. W04417.
- 8) Leijnse H., R. Uijlenhoet en J. Stricker (2008). Microwave link rainfall estimation: Effects of link length and frequency, temporal sampling, power resolution, and wet antenna attenuation. *Adv. Water Resour.* In druk.