

**NEERSLAGMETING EN -VOORSPELLING;
TOEPASSING VAN MODERNE TECHNIEKEN ZOALS RADAR- EN
SATELLIETWAARNEMINGEN**

samwat



COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

RAPPORTEN EN NOTA'S No. 21

**NEERSLAGMETING EN -VOORSPELLING;
TOEPASSING VAN MODERNE TECHNIEKEN ZOALS RADAR- EN
SATELLIETWAARNEMINGEN**

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Neerslagmeting

Neerslagmeting en -voorspelling; toepassing van moderne technieken zoals radar- en satellietwaarnemingen/[auteurs: S. van den Assem . . . et al.; samenst. J.C. Hooghart]. – 's-Gravenhage: Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO/SAMWAT. – III. – (Rapporten en Nota's/Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO; no. 21)

Verslag van: de 7e CHO-studiebijeenkomst georganiseerd in samenwerking met SAMWAT bij het KNMI te De Bilt, op 16 november 1988. Met lit. opg., reg.

ISBN 90-6743-140-0

SISO 555 UDC 551.577

Trefw.: neerslagmeting

**COPYRIGHT © Nederlandse organisatie voor
toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek
TNO, 1989**

**NEERSLAGMETING EN -VOORSPELLING;
TOEPASSING VAN MODERNE TECHNIEKEN ZOALS RADAR- EN
SATELLIETWAARNEMINGEN**

samwat



de 7e CHO-studiebijeenkomst georganiseerd in samenwerking
met SAMWAT bij het KNMI te De Bilt, op 16 november 1988

INHOUD

	pag.
VOORWOORD	1
LIJST VAN AUTEURS	3
1 DE STUDIEDAG IN PERSPECTIEF	5
J.N.M. Stricker	
1 Inleiding	5
2 Waarom een studiedag	6
3 Kaderstelling van de dag	8
Referenties	10
2 NEERSLAGWAARNEMING MET RADAR	11
W. Klaassen	
Samenvatting	11
1 Inleiding	12
2 De werking van radar	12
3 Berekening van de neerslagintensiteit	14
4 De structuur van neerslag	15
5 Interpretatie van de radarreflectie	16
6 Conclusie	20
Referenties	20
3 GEBRUIK VAN DE KNMI NEERSLAGRADARS	21
H.R.A. Wessels	
Samenvatting	21
1 Inleiding	22
2 Radarwaarnemingen bij het KNMI	22
3 Beperkingen van de radarwaarneming	25
3.1 Het bereik van een weerradar	25
3.2 Het optreden van grondecho's	27
3.3 Neerslagmeting	27
4 Gebruik voor waarschuwingen	28
5 Gebruik voor neerslagmeting	31
6 Vooruitblik op nieuwe ontwikkelingen	31
Literatuur	33
4 NEERSLAGONDERZOEK MET DE DELFT ATMOSPHERIC RESEARCH	35
RADAR; MEETTECHNIEK EN RESULTATEN	
H.W.J. Russchenberg	
Samenvatting	35
1 Inleiding	35
2 Radarmetingen	36
3 Convertering van radarreflectie naar regen- intensiteit	38
4 Enige resultaten	39
5 Conclusies	41
Literatuur	41

5	BRUIKBAARHEID VAN GECOMBINEERDE REGENMETER-, RADAR- EN SATELLIETWAARNEMINGEN	43
	S. van den Assem	
1	Inleiding	43
2	Meetmethoden en nauwkeurigheid	44
3	Combinatie van regenmeter- en radargegevens	48
4	Conclusies	56
	Referenties	56
6	HET SCHATTEN VAN NEERSLAG UIT SATELLIETBEELDEN	61
	H.A.R. de Bruin	
1	Inleiding	61
2	Overzicht weersatellieten	62
3	Overzicht methoden	65
	Literatuur	66
7	NUMERIEKE NEERSLAGVERWACHTINGEN	69
	L.M. Hafkenscheid	
	Samenvatting	69
1	Numerieke atmosfermodellen	70
2	Fysische processen	70
3	Neerslagberekeningen	71
4	Fouten in de berekeningen	71
5	Gebruik van numerieke neerslagverwachtingen	72
6	Operationele toestand nu en toekomstige ontwikkelingen	73
8	GEBRUIKERSWENSEN TEN AANZIEN VAN NEERSLAG- VOORSPELLING	75
	J. Riemens	
9	GEBRUIK VAN WEERRADARGEDEVENS TEN BEHOEVE VAN DE BEMALING VAN EEN VERSTEDELIJKT GEBIED	79
	L.J. Pieterse	
	Samenvatting	79
1	Inleiding	80
2	Situatieschets	81
3	Mogelijkheden	84
4	Probleembeschrijving	85
5	Opzet van het project	87
6	Discussie	91
10	STELLINGEN EN DISCUSSIE	93
11	INGEZONDEN BIJDRAGEN VAN DE DEELNEMERS	103
12	BIJLAGEN	127
	- Deelnemerslijst	129
	- Programma studiebijeenkomst	133

VOORWOORD

De 7^e CHO-studiebijeenkomst, die in samenwerking met SAMWAT werd georganiseerd, is gehouden op 16 november 1988 bij het KNMI te De Bilt. De bijeenkomst had als thema: "Neerslagmeting en -voorspelling; toepassing van moderne technieken zoals radar- en satellietwaarnemingen".

Het doel van de bijeenkomst was om met een beperkt aantal personen, vanuit de invalshoek van de landbouw, het waterbeheer en de meteorologische diensten, van gedachten te wisselen over de mogelijkheden van deze technieken.

Naast de inleidingen die tijdens deze bijeenkomst zijn gehouden, zijn in deze publikatie de stellingen en een samenvatting van de discussie opgenomen. Bovendien is aan de deelnemers gevraagd in het kort aan te geven wat hun vragen en wensen zijn ten aanzien van dit onderwerp. Deze schriftelijke bijdragen zijn gebundeld onder de kop "Ingezonden bijdragen van de deelnemers".

Aan het eind van het verslag is de lijst met deelnemers en hun adressen en het programma van de studiebijeenkomst opgenomen. Hoewel de deelname aan de studiebijeenkomst beperkt was, worden de resultaten ervan door opname in deze publikatie op brede schaal verspreid.

's-Gravenhage, januari 1989

LIJST VAN AUTEURS

Auteurs van de inleidingen en tevens sprekers tijdens de
studiebijeenkomst:

S. van den Assem	NWO p/a LUW, vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Wageningen
H.A.R. de Bruin	LUW, Vakgroep Meteorologie, Wageningen
L.M. Hafkenscheid	KNMI, De Bilt
W. Klaassen	TUD, Electrotechniek Vakgroep Telecommunicatie Delft
L.J. Pieterse	Gemeentewerken, Rotterdam
J.H. Riemens	Hoogheemraadschap van Rijnland Leiden
H.W.J. Russchenberg	TUD, Electrotechniek Vakgroep Telecommunicatie Delft
J.N.M. Stricker	LUW, Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Wageningen
H.R.A. Wessels	KNMI, De Bilt

J.N.M. Stricker

1 INLEIDING

Kennis van de neerslag is van essentiële betekenis in diverse sectoren van menselijke activiteiten. Zo bepalen de verdeling van de neerslag en de hoeveelheid neerslag over een periode de mate waarin drainage of irrigatie nodig is in een productieve landbouw. In het waterbeheer geeft deze kennis de basisinformatie over bijvoorbeeld extreme hydrologische situaties en vereiste ontwerpnormen in de waterbouw.

Hoe vergaren we deze kennis. Allereerst door de neerslag puntsgewijs te meten met de vertrouwde regenmeter. De meetgegevens kunnen in het algemeen direct ter beschikking gesteld worden van de gebruiker. De meting is niet zonder foutenbronnen, maar wordt als een acceptabele schatting aanvaard van de werkelijk gevallen puntneerslag. De ruimtelijke representativiteit van de metingen blijft hierbij onduidelijk, maar wordt veelal mede-verondersteld in gebiedsstudies.

Verdere kennisvermeerdering over de neerslag wordt verkregen met behulp van statistische methoden en, meer recent, stochastische en deterministische modellen. Deze zaken blijven thans buiten beschouwing. De studiedag zal in het teken staan van de bepaling van de neerslag op andere wijze dan met behulp van regenmeters.

Sinds enige jaren dienen zich interessante mogelijkheden aan om onze

kennis van de actuele neerslag en van de op korte termijn te verwachten neerslag op een gebied te vergroten. Deze ontwikkelingen zullen vandaag aan de orde komen. Met name zal uitgebreid aandacht worden besteed aan het mogelijke gebruik van radargegevens voor regionale bepaling van de neerslag. Het is van belang op te merken, dat de ontwikkelingen geenszins de klassieke puntmeting overbodig zullen maken. Zonder puntmetingen zal het (vooralsnog) onmogelijk zijn om nieuwe bepalingstechnieken operationeel te maken en voldoende betrouwbaar voor de gebruiker. Zelfs zullen aan de puntmetingen hogere eisen gesteld moeten worden met betrekking tot meetresolutie en directe beschikbaarheid van de meting om het volle profijt te kunnen trekken van de nieuwe technieken.

2 WAAROM EEN STUDIEDAG

Reeds twaalf jaar geleden werd een CHO - Technische Bijeenkomst gehouden over de mogelijkheden van bepaling van de neerslag met behulp van weerradar (Verslag CHO, 1976). Het verslag bevatte o.a. twee bijdragen uit het buitenland over resultaten van hydrologische toepassing van weerradar. Er waren nog geen toepassingen in Nederland. Attmanspacher toonde voortreffelijke resultaten van neerslagbepaling met een weerradar in Zuid-Duitsland. Harold rapporteerde over het River Dee - Weather Radar Project in Engeland en waagde zich zelfs aan de uitspraak, dat de nauwkeurigheid van regenvalmetingen met radar als bekend mocht worden beschouwd. Tevens stelde hij dat, een methode was ontwikkeld om de stroom van gegevens op 'real time' basis te kunnen verwerken en bewerken. Ondanks deze positieve ervaringen in het buitenland is er in Nederland geen follow-up gekomen op de Technische Bijeenkomst. Er zijn wellicht een aantal redenen hiervoor te geven. De meettechniek kwam blijkbaar te vroeg voor het toen nog overwegend traditioneel ingestelde waterbeheer. Het belang van meten werd nog niet algemeen geaccepteerd in het waterbeheer en de inwinning van gegevens langs elektronische weg stond eind zeventiger jaren nog in de kinderschoenen.

Eén en ander heeft er toe geleid dat thans nog geen duidelijke resultaten van onderzoek van eigen bodem over aanvullende wijzen van neerslagbepaling zijn te melden. Echter er zijn diverse ontwikkelingen gaande, die tot bezinning nopen op het onderzoek over korte en langere termijn aangaande verbetering van de neerslagmeting op uiteenlopende tijd- en ruimteschalen. Vandaar een eerste aanzet daartoe door middel van deze studiedag, die overigens breder georiënteerd is dan alleen de toepassing van radar, zoals in 1976 op de Technische Bijeenkomst. De bijdragen aan de studiedag geven dit duidelijk aan.

Daar internationale onderzoeksactiviteiten met betrekking tot neerslagbepaling geen deel uitmaken van het studiedag-programma, is het nuttig om kort in te gaan op enige Europese activiteiten aangaande toepassing van weerradar en waaraan ook vanuit Nederland wordt deelgenomen.

Gebruik van weerradar voor meteorologische en hydrologische toepassing wordt sterk gestimuleerd door de E.E.G. Er lopen twee programma's welke gecoördineerd en mede-gefinancierd worden vanuit de E.E.G. Het 'COST73'-programma houdt zich vooral bezig met verdichting en onderlinge afstemming van een Europees weerradar-netwerk. Het tweede programma "The application of weather radar for the alleviation of the effects of climatic hazards" is sterk gericht op onderzoek naar verbetering van de neerslagbepaling en korte termijn neerslagverwachting met behulp van radar. Het programma is in de toepassings sfeer sterk hydrologisch georiënteerd.

Naast de gemeenschappelijke activiteiten zijn er diverse nationale programma's. Engeland, van oudsher een pionier in onderzoek naar de toepassing van radar, heeft diverse onderzoeksprojecten lopen in opdracht van stedelijke waterbeheerders (Manchester, Birmingham, Londen) en Water Authorities. Het onderzoek wordt gecoördineerd door een stuurgroep van de Nat. Environmental Research Council. Duitsland is actief op het gebied van toepassing van weerradar in stedelijke gebieden (o.a. Bremen, München en het Roergebied). In Frankrijk is onder-

zoek gaande ten behoeve van het landelijke gebied (extreme afvoersituaties) en het stedelijk gebied (o.a. Parijs). Tevens vindt het onderzoek plaats met diverse typen van radars. Recentelijk is in Italië een intensief onderzoek gestart naar neerslagbepaling met een gepolariseerde radar in het kader van verbetering van het waterbeheer en de landbouw in een deel van de Po-vlakte. Deze korte, onvolledige, opsomming geeft aan dat op grote schaal inspanningen gaande zijn om neerslagbepaling en neerslagvoorspelling te verbeteren met behulp van remote sensing technieken. In 1989 staan twee internationale symposia gepland in Europa om verslag te doen van de vorderingen over dit onderwerp.

3 KADERSTELLING VAN DE DAG

Er is een duidelijk streven, zowel in het waterbeheer als binnen de landbouw, om het systeem of proces, waarbinnen activiteiten en beslissingen plaatsvinden, steeds beter te willen beschrijven. Dit streven geldt niet alleen de systeem- of proceseigenschappen, maar in toenemende mate ook de actuele toestand waarin het systeem of proces zich bevindt.

Kennis omtrent de eigenschappen leidt tot modelbouw, kennis omtrent de actuele toestand dwingt onvermijdelijk tot het verzamelen van benodigde gegevens op 'real-time' basis. Het laatste is mogelijk geworden door electronica en automatisering.

In het waterbeheer en de landbouwwaterhuishouding wordt de laatste jaren veel aandacht besteed aan het opzetten van meetnetten voor registratie van peilen en afvoeren. Tevens staat een breed scala van modellen een ieder ten dienste. Men mag dan ook concluderen dat in het waterbeheer en binnen de landbouwwaterhuishouding de aandacht voor het systeem en de output ervan (afvoeren, grond- en oppervlaktewaterpeilen) ruim aanwezig is. Maar hoe zit het met de input, de neerslag en hoe is de situatie in grote lijnen. Neerslag wordt in Nederland routinematig gemeten door het KNMI met een relatief dicht meetnet van

één regenmeter per ca. 100 km². De meetfrequentie is éénmaal per dag. Op vijftien hoofdstations wordt frequenter gemeten. De gegevens zijn off-line. Verder meten diverse instanties (waterschappen, instituten) de puntneerslag op veelal uiteenlopende wijzen en met uiteenlopende meetintervallen (Rapport CHO, 1981).

Verwijzend naar eerder genoemd streven kan men zich afvragen of de neerslag, als input van het hydrologische systeem, beter bepaald zou moeten worden. Neerslag varieert vaak aanzienlijk naar tijd en plaats en elk proces of systeem reageert weer verschillend op dit gegeven, of mooier gezegd, heeft haar eigen karakteristieke tijd van reageren.

Een aantal vragen kunnen dan worden gesteld:

- is de thans beschikbare informatie over de neerslag in het algemeen van een tijdsinterval gelijk of groter dan de karakteristieke tijd van vele systemen in het waterbeheer of de waterhuishouding.
- is het beschouwde proces of systeem gevoelig voor ruimtelijke variatie van de neerslag.
- is in het dagelijks waterbeheer reeds voordeel te boeken met kennis van de actuele neerslag, gekoppeld aan een model van het systeem, ten opzichte van een beheer louter gebaseerd op het meten van peilen en afvoeren.
- en, tenslotte, is het dagelijks beheer nog verder te verbeteren indien neerslagvoorspelling op korte termijn deel zou uitmaken van de beschikbare informatie.

Indien deze vragen het overdenken en bediscussiëren waard zijn dan meen ik, dat we een goed kader hebben voor deze studiedag. Want om welk zaken gaat het vandaag?

Allereerst gaat het om het geven van een breed overzicht van recente neerslagbepalings- en voorspellingsmethoden en de huidige mogelijkheden en onmogelijkheden ervan voor operationeel gebruik in het waterbeheer. Het is vooral op te vatten als informatie naar de gebruiker.

Ten tweede gaat het om het verkrijgen van een duidelijk inzicht in de gefundeerde wensen vanuit het waterbeheer en de landbouw naar meer

neerslaginformatie. Het is vooral op te vatten als informatie naar de leverancier van gegevens en naar de onderzoekers.

En ten slotte gaat het erom om aan de hand van een aantal discussiestellingen wensen en ontwikkelingen nader te bespreken en daarmee de lijnen van in gang zijnd en toekomstig onderzoek met betrekking tot neerslagmeting en -voorspelling duidelijk gemarkeerd te krijgen.

REFERENTIES

DIVERSEN, 1976. Precipitation and measurements of precipitation.
Verslagen en Mededelingen no. 23, CHO-TNO.

HOOGHART, J.C., 1981. Overzicht van de wensen van Hydrologen en Waterbeheerders ten aanzien van het operationele regenwaarnemingsnet van het KNMI. CHO-TNO, Rapporten en Nota's. No. 7, 13 p.

W. Klaassen

SAMENVATTING

Uit radarmetingen kan een overzicht worden verkregen van de ruimtelijke verdeling van neerslag. Deze verdeling is van belang voor de inschatting van de hoeveelheid neerslag, die in een gebied valt, of op korte termijn voor dat gebied kan worden verwacht. Met een eenvoudige formule kan de intensiteit van de gereflekteerde radarstraling worden omgezet naar een neerslagintensiteit. Deze formule heeft maar een beperkte geldigheid. Nagegaan is welke factoren invloed uitoefenen op het verband tussen reflectie en neerslagintensiteit. Daartoe wordt de werking van het radarapparaat en de structuur van neerslag beschreven.

Het blijkt, dat de radar bijzonder gevoelig is voor de grootte van de regendruppels. IJking van de radarwaarneming aan regenmeters kan enige verbetering van de interpretatie tot gevolg hebben. Waarnemingen onder twee polarisaties van de radiostraling bieden goede perspectieven voor een verdere verbetering.

Op grote afstand van de radar vindt de waarneming plaats op grote hoogte waar de neerslag aanwezig is in de vaste of smeltende fase. Smeltende sneeuw heeft een zeer hoge reflectie, waarvoor gedeeltelijk kan worden gecorrigeerd. Voor waarnemingen onder de smeltzône en voldoende dicht aan het aardoppervlak, is een netwerk van kleinere radars nodig. In een vlak land is het relatief eenvoudig om radarmetingen toe te passen.

1 INLEIDING

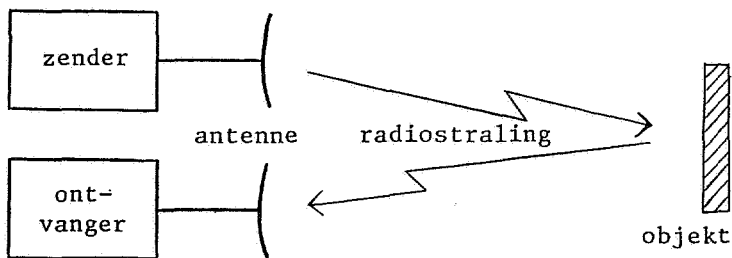
Inschatting van de hoeveelheid neerslag in een gebied is van belang voor het beheer van het waterpeil. Vooral in buiïge neerslag zijn de resultaten van regenmeters maar beperkt toepasbaar, doordat de hoeveelheid neerslag plaatselijk sterk kan variëren. Radarmetingen geven een duidelijk beeld van deze ruimtelijke variaties. Een tweede voordeel van radar is dat de buien al op enige afstand kunnen worden gesignaleerd, zodat de korte termijn voorspelling van de regenval kan worden verbeterd. Een impuls voor meer toepassingen van radarmetingen is ontstaan door recente verbeteringen aan de KNMI weerradar (Wessels, 1988).

De radarmetingen worden direkt omgezet naar regenintensiteit, maar hierbij kunnen grote fouten ontstaan. Daarom is het voor de toepassing van radarwaarnemingen van belang om inzicht te hebben in de factoren, die de radarmeting beïnvloeden. Daartoe worden in de volgende hoofdstukken de werking van radar en de structuur van neerslag beschreven. Aan de hand van metingen, die met een speciale onderzoeksradar zijn verricht, wordt duidelijk gemaakt welke fouten een gewone weerradar in dergelijke situaties maakt. Deze voorbeelden geven een indicatie onder welke omstandigheden de nauwkeurigheid van de interpretatie van de radarmeting afneemt. Tevens zullen enige ideeën worden gegeven hoe deze nauwkeurigheid kan worden verbeterd.

2 DE WERKING VAN RADAR

Het woord radar is een samentrekking van "radio detection and ranging". Het apparaat is gebaseerd op het uitzenden van radio straling en het meten van de teruggekaatste straling. Radar werd ontwikkeld om vliegtuigen op te sporen; de radio straling heeft het voordeel dat de waarneming ook in en achter bewolking kan plaatsvinden. Regenval en andere neerslag reflekteert ook enige radio straling. Deze voor de opsporing van vliegtuigen ongewenste eigenschap werd al spoedig gebruikt in de weerradar, waarmee de ruimtelijke omvang en de intensiteit van neerslag wordt bepaald.

Een radarapparaat bestaat uit een zender van microgolfstraling, antenna om de uitgezonden energie te bundelen en de gereflekteerde energie op te vangen, en een ontvanger om deze energie te meten (zie Figuur 1).



Figuur 1 Blokschema van een radar.

Bij de meest voorkomende radartypes wordt de energie gedurende korte pulsen uitgezonden en wordt de teruggekaatste energie gemeten in de tijd tussen de pulsen. Hierdoor is slechts één antenne nodig voor zenden en ontvangen.

De microgolfstraling verplaatst zich met de snelheid van het licht. De afstand van het terugkaatsende object wordt berekend uit de tijd tussen zenden en ontvangen van de microgolfpuls. Het maximale bereik van de radar, waarin de afstand ondubbelzinnig wordt gemeten, wordt bepaald uit de tijdsduur tussen twee pulsen. Verder bepaalt de tijdsduur van de puls de nauwkeurigheid, waarmee de afstand kan worden gemeten. Het maximale bereik en het ruimtelijk oplossend vermogen kan bij een pulsradar worden verhoogd door een kortere fraktie van de tijd te zenden. Er is dan wel een hoog piekvermogen nodig om voldoende signaal terug te krijgen.

Bij de meeste radars wordt straling met een golflengte van enkele centimeters gebruikt. De golflengte (of frekwentie) van de microgolfstraling beïnvloedt de voortplanting van de straling: Langere golflengten onderwinden minder hinder van regendruppels, waardoor er achter een bui nauwkeuriger kan worden waargenomen, maar er is een grotere antenne nodig om deze golven voldoende in één richting te bundelen. Bij de gebruikte straling, die een zeer lange golflengte heeft in vergelijking tot zichtbaar licht, ontstaat naast de hoofdbundel een interferentiepatroon,

waarin een klein gedeelte van de straling terechtkomt. Wanneer de straling uit deze "zijlobben" zeer sterk gereflekteerd wordt, kan deze worden verward met een zwakke reflectie uit de hoofdbundel.

De plaats van de reflectie wordt bepaald uit de tijdsduur tussen zenden en ontvangen en de stand van de antenne. Verder wordt de intensiteit van de reflectie gemeten. Met sommige radarsystemen kunnen ook waarnemingen worden verricht over de snelheid of vorm van de reflekerende voorwerpen. De snelheid wordt bepaald uit de Doppler frekwentie verschuiving tussen het uitgezonden en gereflekteerde signaal. Informatie over de vorm ontstaat door de polarisatierichting van de gebruikte straling te variëren.

3 BEREKENING VAN DE NEERSLAGINTENSITEIT

Uit de intensiteit van de reflectie Z wordt de intensiteit R van de neerslag berekend op de volgende manier: De reflectie van een bolletje dat klein is vergeleken met de radargolflengte is evenredig met de zesde macht van de diameter van dat bolletje D :

$$Z = c_1 |K|^2 D^6 \quad (1)$$

Hierin is c een evenredigheidsconstante en is $|K|$ afhankelijk van de brekingsindex van het medium. $|K|^2$ is voor ijs een faktor 5 kleiner dan voor water. De neerslagintensiteit van een bolletje is:

$$R = c_2 V(D) D^3 \quad (2)$$

Hierin is $V(D)$ de valsnelheid; voor regen geldt bij benadering $V(D) = c_3 D^{2/3}$. Voor neerslag moeten formules (1) en (2) worden gesommeerd over alle deeltjes in het meetvolume. Wanneer we (1) en (2) op elkaar delen blijkt:

$$Z = c_4 R D^{7/3} \quad (3)$$

Uit formule (3) blijkt dat het verband tussen de intensiteit van de neerslag en reflectie sterk afhangt van de grootte van de regendruppels:

Wanneer de druppels twee maal zo groot zijn wordt de verhouding Z/R vijf maal zo groot. Grote druppels komen vaker voor bij heftige neerslag. Bij gebruikmaking van zo'n statistisch verband kan de reflectie direkt worden omgezet naar een neerslagintensiteit. Het meest gebruikt wordt:

$$Z = 200 R^{1.6} \quad (4)$$

Door formule (4) te integreren in de ruimte en tijd wordt de totale regenval in een gebied verkregen. Helaas leidt formule (4) niet altijd tot een nauwkeurig resultaat. De gebiedsneerslag kan nauwkeuriger worden bepaald door rekening te houden met een aantal factoren die het verband tussen reflectie en neerslagintensiteit beïnvloeden. Om deze factoren te behandelen is het eerst nodig de ruimtelijke verdeling van verschillende soorten neerslag te verduidelijken.

4 DE STRUKTUUR VAN NEERSLAG

Aan het aardoppervlak beweegt de lucht vrijwel horizontaal, maar daarboven kan de lucht gemakkelijker omhoog of omlaag bewegen. Wanneer de lucht omhoog gaat, wordt de omgeving ijler, waardoor de lucht uitzet. Voor het uitzetten is energie nodig, waardoor de lucht afkoelt. Koelere lucht kan minder waterdamp bevatten, zodat bij vochtige opstijgende lucht een deel van de waterdamp zal condenseren tot wolke druppeltjes. Deze druppeltjes zijn zó klein, dat ze blijven zweven; voor neerslag zijn grotere deeltjes nodig. In het Nederlandse klimaat ontstaan deze deeltjes in de ijsfase.

Wanneer de lucht voldoende opstijgt, zal ze afkoelen tot onder het vriespunt. De temperatuur van vochtige lucht daalt met ongeveer 6-7 °C per kilometer opstijging (bij een temperatuur van 20 °C aan het aardoppervlak ligt de vorstgrens dus op ongeveer 3 km hoogte). Bij een temperatuur onder het vriespunt bevriest het water nog niet direkt omdat er ook vrieskernen nodig zijn. Omdat er weinig vrieskernen zijn, ontstaan er maar een beperkt aantal ijskristallen. Deze kunnen groeien ten koste van de druppeltjes door de lagere maximale dampspanning boven ijs. Een verdere vergroting treedt op wanneer de ijskristallen samenklonteren tot

sneeuwvlokken. Behalve sneeuw kan ook korrelsneeuw of hagel ontstaan. Korrelsneeuw ontstaat wanneer voldoende wolke druppeltjes met de sneeuw samenklonteren, dit gebeurt wanneer de lucht voldoende snel stijgt. Wanneer de lucht nog sneller stijgt, kunnen hele regendruppels omhoog waaien en bevriezen tot hagelstenen.

Neerslag wordt onderverdeeld in stratiform en convectief. Stratiform betekent horizontaal uitgestrekt en vertikaal gelaagd; stratiforme neerslag kan gedurende lange tijd aanhouden over een groot gebied bij een gematigde intensiteit. Stratiforme neerslag ontstaat vaak in een laagdrukgebied of een front, waar de lucht over een groot gebied langzaam omhoog wordt getild. Door de trage verticale beweging zal de ijsfase uit sneeuw bestaan. Convectieve neerslag ("buien") zijn beperkt van omvang en kunnen plaatselijk tot een zeer hoge neerslagintensiteit leiden; ze ontstaat doordat de atmosfeer in verticale richting onstabiel is. Deze onstabieliteit kan het gevolg zijn van een sterke opwarming van het aardoppervlak (onweer na een warme dag) of door een zeer koude bovenlucht (maartse buien). Bij convectieve neerslag kunnen binnen de ruimte- en tijds- resolutie van de radar grote verschillen in neerslagintensiteit optreden. Door de sterkere verticale bewegingen komen hagel en korrelsneeuw veelvuldig voor. Overigens komen stratiforme en convectieve neerslag vaak naast elkaar voor: In stratiforme neerslag ontstaan vaak kleinere convectieve gebieden met een verhoogde neerslagintensiteit en na een convectieve onweersbui blijft het vaak nog een tijd zacht doorregenen (stratiform).

5 INTERPRETATIE VAN DE RADARREFLEKTIE

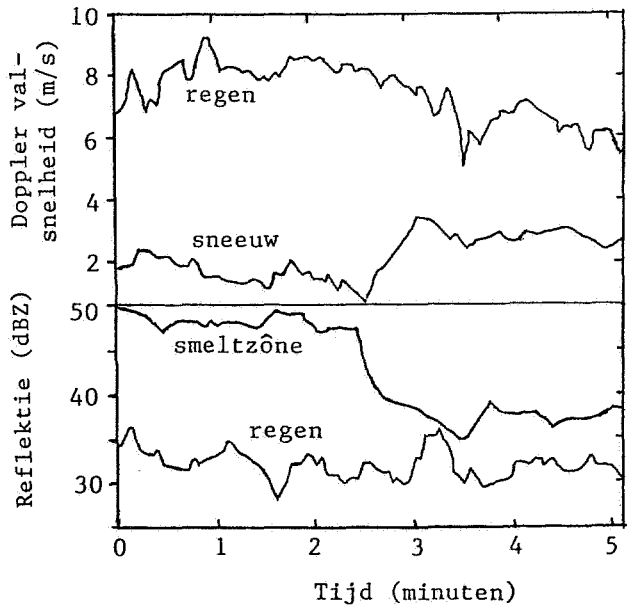
Wanneer de radarreflektie met formule (4) wordt omgezet naar een neerslagintensiteit aan het aardoppervlak, kunnen afwijkingen ontstaan, doordat bijvoorbeeld:

- 1) de druppelgrootte afwijkt van het statistisch gemiddelde;
- 2) de neerslag zich in een andere fase bevindt;
- 3) de neerslagintensiteit varieert in de ruimte en tijd;
- 4) de reflectie niet (alleen) door neerslag wordt veroorzaakt.
- 5) een deel van de radiostraling wordt geabsorbeerd en verstrooid.

De eerste twee factoren zijn volgens mijn inschatting in de Nederlandse situatie het meest van belang. Alle vijf factoren worden nu nader beschreven:

1) Bij ijkingen van radars met behulp van regenmeters zijn afwijkingen van een faktor tien gevonden met het resultaat van formule (4) (Battan, 1973), die in principe werden toegeschreven aan variaties in de druppelgrootte; de andere genoemde punten en een foutieve inschatting van de gevoeligheid van het radarsysteem kunnen echter ook meespelen. Grote afwijkingen werden gevonden in situaties waar de regen ontstaat in stijgende lucht bij bergen. Ook bij convectieve neerslag ontstaan grote afwijkingen. Door ijking kan nagegaan worden of formule (4) gemiddeld voldoet voor de Nederlandse situatie (van den Assem, 1988). Wanneer een regenmeter wordt gebruikt om per bui de Z-R relatie te bepalen, moet er rekening mee worden gehouden, dat de druppelgrootte plaatselijk sterk kan variëren, zodat deze Z-R relatie op enige afstand van de regenmeter minder betrouwbaar wordt. Een mooiere methode is het gelijktijdig meten van de druppelgrootte. Dit kan in principe door de radarwaarnemingen te verrichten bij twee verschillende polarisaties (Russchenberg, 1988).

2) Met toenemende afstand tot de radar vindt de meting plaats op toenemende hoogte. Hiervoor zijn twee redenen: de bundel wordt iets omhoog gericht om te voorkomen dat teveel reflectie via de zijlobben afkomstig is van het aardoppervlak, en de kromming van het aardoppervlak heeft een verdere toename van de meethoogte tot gevolg. Vanaf een bepaalde afstand die afhangt van de luchttemperatuur, zal de meting plaatsvinden op een zodanige hoogte, dat de neerslag zich in de vaste of smeltende fase bevindt. In stratiforme neerslag valt de smeltende fase op door zijn hoge radarreflectie, die ontstaat doordat het sterk reflekterende smeltwater zich over de gehele sneeuwvlok verspreidt. In de smeltzone, die een paar honderd meter hoog is, is de reflectie een faktor tien hoger dan in de onderliggende regenzone. Het gebruik van formule 4 in de smeltzone zou leiden tot een faktor 5 overschatting van de neerslagintensiteit. Er wordt momenteel aan gewerkt om de radarwaarneming te corrigeren voor de hoge reflectie van smeltende sneeuw. Deze correctie gebeurt door een verband aan te nemen tussen de reflectie in de smeltende sneeuw en de resulterende regen. Figuur 2 laat zien dat de reflectie in de smeltende

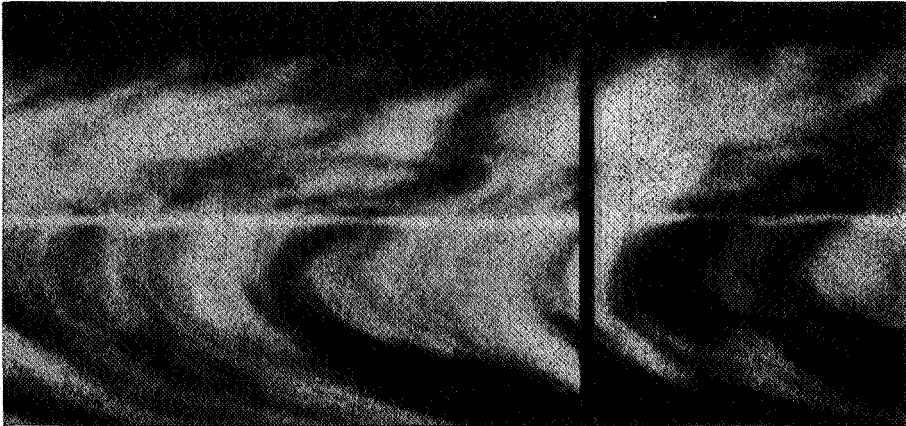


Figuur 2 Tijdprofiel van de reflectie en valsnelheid in de smeltzône. Let op de plotselinge verandering van de maximale reflectie in de smeltzône, terwijl de reflectie in de regen konstant blijft. Gelijkzeitig neemt de valsnelheid in de ijsfase toe, wat duidt op een verhoging van de soortelijke massa van de ijsdeeltjes. De figuren 2 en 3 zijn opgenomen met de Delft Atmospheric Research Radar (DARR).

sneeuw een faktor tien kan variëren zonder dat de reflectie in de regen duidelijk verandert. Dergelijke veranderingen worden in verband gebracht met plaatselijke veranderingen in de soortelijke massa van de ijsdeeltjes, die het gevolg kunnen zijn van overgangen tussen stratiforme en convectieve neerslag. Variaties in de reflectie in de smeltzône verminderen de betrouwbaarheid van de op deze hoogte bepaalde regenval. Metingen op lagere hoogte zijn in principe mogelijk door gebruik te maken van een netwerk van radars met een kleiner bereik.

3) Figuur 3 toont een voorbeeld van variaties in de reflectie van een bui, zoals die met de Delftse onderzoeksradar zijn waargenomen. De figuur laat duidelijk zien, dat de regen met vlagen valt; verder is de

licht verhoogde reflectie in de smeltzône te zien. Omdat formule 4 een niet-lineair verband geeft tussen reflectie en regenval zal de berekende regenintensiteit afhangen van de resolutie van de radar. In principe is dit een speciaal geval van de situatie dat de druppelgrootte verdeling foutief wordt ingeschat. Een beperkte resolutie in de tijd zal tot gevolg hebben dat de interpolatie tussen twee metingen onnauwkeurig wordt.



Figuur 3 Reflectie in een bui. Vertikaal staat de meethoogte (van 0 tot 7 km), horizontaal de tijd (8 minuten, wat met de heersende windsnelheid overeenkomt met een afstand van ongeveer 5 km). De witte gedeelten geven een faktor 10.000 meer reflectie dan de zwarte; de zwarte krullen zijn gebieden waar het minder hard regent; de witte horizontale streep is de smeltzône en de verticale donkere streep een slechte overlapping. De foto geeft een indruk van fouten die kunnen ontstaan bij metingen met een verminderde resolutie en op een grotere hoogte.

4) Wanneer de radarbundel zeer dicht langs het aardoppervlak wordt gericht, zal een deel van de radiostraling via de zijlobben aan het aardoppervlak worden gereflekteerd, deze reflectie wordt "clutter" genoemd. Omdat de reflectie van het aardoppervlak afneemt met de vierde macht van de afstand tot de radar en van de regen met de tweede macht, is de invloed van clutter is het sterkste op korte afstand. Voor metingen nabij de radar wordt daarom de bundel iets meer omhoog gericht. De invloed van clutter neemt snel toe in een bergachtig gebied. Dit maakt Nederland tot

een geschikt land voor radarwaarnemingen. Met een aantal methoden kan de invloed van clutter worden verminderd (Russchenberg, 1988), waardoor ook waarnemingen dichtbij de radar kunnen worden verricht.

5) Verstrooiing en absorptie worden samen demping genoemd en hebben tot gevolg dat met de radar minder reflectie wordt gemeten. Door een radar met een voldoende lange golflengte te kiezen kan de invloed van demping klein blijven.

6 KONKLUSIE

Met radarwaarnemingen wordt een goed beeld verkregen van de ruimtelijke verdeling van neerslag. Bij de bepaling van de intensiteit van de neerslag kunnen een groot aantal fouten worden gemaakt, die het onderzoek rechtvaardigen, dat nu wordt verricht naar de toepasbaarheid van radar voor de bepaling van gebiedsneerslag. Korrekties van radarmetingen met een regenmeter, en een model voor de smeltlaag kunnen de interpretatie verbeteren en daarmee de toepasbaarheid van de radarwaarnemingen vergroten. Ook het radarsysteem kan verder worden geoptimaliseerd: De grootte van regendruppels kan worden geschat uit metingen bij verschillende polarisaties en metingen op geringere hoogte zijn mogelijk met een netwerk van kleine radars.

REFERENTIES

- ASSEM, S. VAN DEN, 1989: Uitwerking van een regendag, dit nummer.
- BATTAN, L.J., 1973: Radar observation of the atmosphere. Univ. of Chicago Press, 279 pp.
- RUSSCHENBERG, H.W.J., 1989: Neerslagonderzoek met de Delft Atmospheric Research Radar, dit nummer.
- WESSELS, H.R.A., 1989: Gebruik van KNMI neerslagsradars, dit nummer.

H.R.A. Wessels

SAMENVATTING

Radarwaarnemingen van neerslag bewijzen vooral hun nut bij de verwachtingen op korte termijn, bijvoorbeeld ten behoeve van luchtvaart, bouwwereld, landbouw, enz. Daarbij is het van belang dat de meteoroloog - op diverse plaatsen in het land - continu kan beschikken over een zo actueel mogelijk radarbeeld. Aan de waarneming worden dus hoge eisen gesteld wat betreft snelheid en betrouwbaarheid. Mede daarom zijn de radarmetingen thans grotendeels geautomatiseerd. De bediening van de radar wordt door een computer bestuurd. De gedigitaliseerde radarreflecties van buien worden dan via telefoonlijnen verspreid en kunnen vervolgens op kleurenbeeldschermen gepresenteerd worden.

Sinds april 1987 is de kwaliteit en de betrouwbaarheid van de radarbeelden nog verder toegenomen door het mengen van de simultane waarnemingen van de radars te Schiphol en De Bilt. Het nuttige waarnemingsbereik wordt zo vergroot en bij het mengen kan de beste informatie worden geselecteerd. Bovendien fungeren de radars in geval van storing automatisch als elkaars vervanging.

Na de beschrijving van de thans beschikbare mogelijkheden zal ook kort worden ingegaan op in de nabije toekomst te realiseren verbeteringen.

1 INLEIDING

De waarnemingen, die met een weerradar worden verkregen kunnen voor veel maatschappelijke belangen worden benut. De toepassingen kan men in twee groepen indelen: voor verwachtingen of waarschuwingen (qualitatief gebruik) en voor neerslagmetingen (quantitatief gebruik). Tenslotte kunnen radarbeelden worden opgeslagen, zodat ze beschikbaar blijven voor studie en als documentatiemateriaal.

De radarwaarneming biedt een actuele en gedetailleerde weergave van de neerslagverdeling binnen een gebied met een straal van ca. 150 km. Omdat de meeste neerslagsystemen gedurende het komende uur nog goed herkenbaar blijven en omdat achtereenvolgende radarbeelden ons de verplaatsing van die systemen leren, zijn dus weersverwachtingen op zeer korte termijn mogelijk. Bij een dergelijke toepassing worden i.h.a. geen hoge eisen gesteld aan de nauwkeurigheid, waarmee de neerslaghoeveelheden door de radar worden gemeten. Wellicht is in de toekomst een meer intelligente extrapolatie te realiseren: een numeriek dynamisch model met -onder meer- het radarbeeld als invoer.

Voor sommige hydrologische toepassingen is een meer quantitative interpretatie van het radarbeeld onontbeerlijk. Het gaat dan niet alleen over de momentane regenintensiteit, maar ook om de hoeveelheid, die op een bepaalde plaats of gemiddeld over een bepaald gebied gedurende bijvoorbeeld het voorafgaande uur is gevallen.

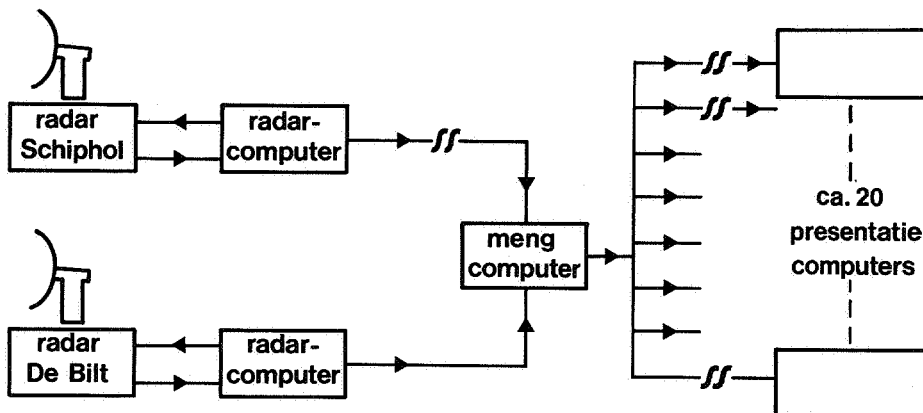
Men kan een radarwaarneming meestal voor beide toepassingen gebruiken; de verschillen zitten dan vooral in de verdere bewerking, interpretatie en verspreiding van de gegevens.

2 RADARWAARNEMINGEN BIJ HET KNMI

De meteorologische toepassing van radar kwam rond 1950 snel op gang, zowel voor het volgen van weerbalonnen als voor het waarnemen van neerslagsystemen. Het KNMI beschikt sinds ca. 1960 over een tweetal weerradars, namelijk te De Bilt en op de luchthaven Schiphol. De eerste

dient voor algemene voorlichting, de tweede meer speciaal voor luchtvaartverwachtingen. Tot 1987 werden de schermbeelden uurlijks met de hand nageschetst, en vervolgens via facsimilé naar de diverse Nederlandse meteorologische vestigingen gezonden. Deze waarnemingen gebeurden met beide radars om en om, zodat elk half uur een nieuwe schets beschikbaar kwam.

In de 70-er jaren zijn de radars geschikt gemaakt voor digitale verwerking van de gegevens. De signalen worden daarbij gemiddeld over afstandsintervallen van 1 of 2 km en bovendien over een aantal achtereenvolgende pulsen. Zo wordt een stabiele polaire presentatie van de neerslagniveau's op de kathodestraalbuis verkregen. Tussen 1982 en 1984 zijn daarenboven de beide radars voorzien van een radarcomputer. Het KNMI heeft vervolgens presentatiecomputers in gebruik genomen, die geschikt waren voor de opslag van 8 beelden.



Figuur 1 Overzicht van de KNMI-radarconfiguratie (1987 en later)

De huidige configuratie dateert van april 1987 (Figuur 1). De signalen passeren thans drie computers:

- De radarcomputer verzorgt de automatische besturing van de radar: elke 15 minuten worden enkele horizontale scans van 360 graden

gemaakt op vooraf ingestelde elevaties. Elke horizontale scan vergt 20 seconden. De data, die van de radar binnenkomen zijn al gedigitaliseerd. De radarcomputer stelt uit de polaire data, die horen bij verschillende elevaties en bij afstanden tot 230 km, een rechthoekig (televisie) beeld samen, met beeldelementen ter grootte van 2x2 km. De beeldgrootte bedraagt 400 bij 430 km (W-O, resp. N-Z). De echo's worden voor de afstand gecorrigeerd en geordend naar 6 niveau's (>0.1, >0.3, ... >30 mm/hr). Daarenboven kunnen beelden met de oorspronkelijke intensiteitsresolutie (ruim 100 niveau's) op magneetband worden gearchiveerd.

- De mengcomputer is een PC, die de beelden van Schiphol en De Bilt integreert. Waar elke radar ca. 5% van de tijd buiten bedrijf is, komt de gelijktijdige afwezigheid van twee radars minder dan 0.5% van de tijd voor. De continuïteit van de gegevensvoorziening is dus zeer goed. Het gecombineerde bereik is ook iets groter dan van het enkele beeld, namelijk 430 bij 454 km (zie Figuur 3 en 4). Bij de integratie wordt per beeldelement van 2x2 km telkens een nieuwe neerslagwaarde gekozen op grond van de beide niveau-waarden van De Bilt en Schiphol. De wijze van combineren hangt af van de plaats in het beeld en kan eenvoudig door middel van tabellen worden gewijzigd. Zo wordt langs de rand van het mengbeeld het sterkste van beide signalen gekozen. Binnen 10 km van een radar daarentegen, waar het regensignaal door grondecho's wordt versluierd, ofwel regen gemist wordt wegens onvoldoende hoge elevatie, krijgt het signaal van de andere radar de voorkeur.
- De presentatie-computer is eveneens een PC, die de radardata via een vaste datalijn (al dan niet met tussenkomst van modems) ontvangt. Daarbij kan een kaart-overlay naar keuze worden toegevoegd. De laatste 8 beelden worden bewaard en desgewenst in een 'time-loop' gepresenteerd; daarbij kan het zo belangrijke laatste beeld een langere presentatie-tijd krijgen. De beweging en verandering van de buien wordt zo op doeltreffende manier zichtbaar gemaakt. De beelden kunnen automatisch worden opgeslagen, 8 per diskette, 514 op een vaste schijf. Bij een stroomstoring volgt automatische herstart en als de opslagdiskette is gevuld, worden de beelden van de time-loop weer geladen. Desgewenst kan automatisch een zwart-wit versie van het beeld worden uitgeprint, waarbij gekozen kan worden tussen het

hele beeld of alleen Nederland. Eventueel kan het schermbeeld vergroot worden; de resolutie blijft echter 2x2 km.

Met deze voorzieningen kan ca. 8 minuten na het begin van de waarneming bij een tiental diensten over het radarbeeld worden beschikt. Het aantal aansluitingen stijgt voorts gestadig.

3 BEPERKINGEN VAN DE RADARWAARNEMING

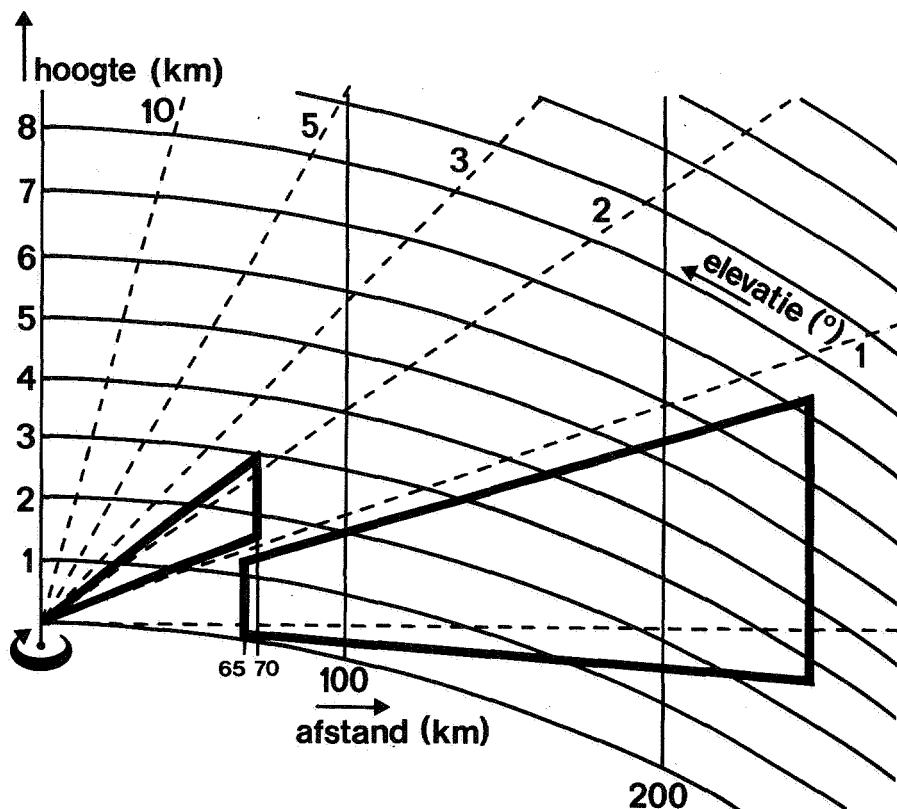
Voor de interpretatie van radarwaarnemingen is inzicht in het bruikbare bereik nodig. Dit bereik kan nog afhangen van de nauwkeurigheidseisen, die men stelt. Bovendien moet bedacht worden, dat behalve neerslag ook andere objecten of fenomenen aanleiding tot radarecho's kunnen geven.

3.1 Het bereik van een weerradar

Bij korte-termijnverwachtingen is het van belang om te weten of het ontbreken van een echo op bijvoorbeeld 150 km afstand, inderdaad betekent, dat daar geen regen valt. Bij neerslagmetingen gaat het meer specifiek om kennis van de mate van afname van de meetnauwkeurigheid met de afstand.

Omdat de radarzender zeer krachtig is, en de ontvanger zeer gevoelig, vormt de kromming van de aarde de belangrijkste beperking van de radarreikwijdte. De antennes van De Bilt en Schiphol staan op ca. 40 m hoogte en hebben een vrij uitzicht: in sommige richtingen tot een elevatie van -0.1 graad, maar in richtingen met gebouwen of heuvels rond 0 graden. Flinke neerslag kan al vallen uit wolken met toppen op slechts 1500 m hoogte, en is dan dus hoogstens tot 200 km afstand te zien (Fig.2). In de praktijk wordt dat 150 km, omdat voor het kunnen meten van een echo een voldoende deel van de bundeldoorsnede met neerslag gevuld moet zijn. Het bereik hangt voorts af van het soort neerslag, waarin men belang stelt: bij hoge onweersbuien (toppen op 8 à 12 km) kan het bereik wel meer dan 300 km bedragen, terwijl lichte motregen soms binnen 50 km niet wordt gedetecteerd!

De radars van het KNMI hebben een bundeldoorsnede van 1 graad. Dit betekent op 150 km afstand al ca. 3 km. De kans is groot, dat de regen dan slechts een deel van de bundel vult, zodat de neerslagintensiteit wordt onderschat. Ook het feit, dat op die afstand de as van de bundel op 2 km hoogte ligt, waar meer of minder neerslag pleegt te vallen dan op de grond, leidt tot snel afnemende nauwkeurigheid met de afstand. In het algemeen wordt quantitatief gebruik boven 100 km dan ook afgeraden.



Figuur 2 Effect van aardkromming en bundelverbreiding op het door de radar waargenomen volume. Bij de waarneming wordt thans op 2 elevaties gewerkt en worden nabije respectievelijk verre data uit die bundels verworpen. Neerslag tot ca. 1500 m hoogte kan men tot ruim 150 km afstand detecteren.

3.2 Het optreden van grondecho's

Grondecho's ziet men in de eerste plaats dicht bij de radar, waar gebouwen en bomen een sterke echo geven. Deze zone reikt tot ca. 40 km afstand. Om deze storing te omzeilen (en bovendien omdat ook neerslag van belang is, die -nog- niet de grond bereikt) worden de nabije echo's met een elevatie van ca. 1.7 graden gemeten. Deze waarde is gekozen op grond van de hoekafhankelijkheid van de gevoeligheid van de betreffende radarantennes. Na het mengen van beide radarbeelden (zie vorige hoofdstuk) zijn de nabije grondecho's nauwelijks storend meer.

Een ernstiger probleem zijn de grondecho's die ontstaan als energie uit de radarbundel in luchtlagen met een sterke opwaartse afname van de waterdampinhoud naar beneden afbuigt in plaats van rechtdoor gaat. Deze 'abnormale propagatie' kan optreden in uiteenlopende situaties, namelijk

- boven sterk verdampend (warm) zeewater,
- kortstondig onder onweersbuien, als zich koude lucht over de grond uitspreidt,
- bij afkoeling boven land in heldere nachten. Dit komt voor in de meeste heldere nachten met niet te veel wind. De bijbehorende grondecho's zijn uitgebreid en hardnekkig; ze verdwijnen pas als de zon voldoende kracht ontwikkeld heeft.

Men ziet dan meestal in een sector van soms tientallen graden een echoveld met sterke en chaotische horizontale variaties. De meteoroloog kan dit meestal wel als grondecho's herkennen, mede dank zij de voor hem beschikbare informatie van satellieten en weerstations. Bij andere gebruikers kan verwarring ontstaan.

3.3 Neerslagmeting

Veel problemen bij kwantitatieve neerslagmeting zijn in het voorgaande al genoemd. Belangrijk is vooral, dat men meestal veel te hoog boven de grond meet, zodat meetfouten ontstaan ten gevolge van de verticale variatie van de echosterkte (o.a. bright band). Voorts heeft de

grootte-verdeling van de regendruppels invloed op de relatie tussen echosterkte en regenval. Men probeert voor dit laatste te corrigeren, door bij verschillende weertypen een andere vertaling van echo naar neerslag te gebruiken.

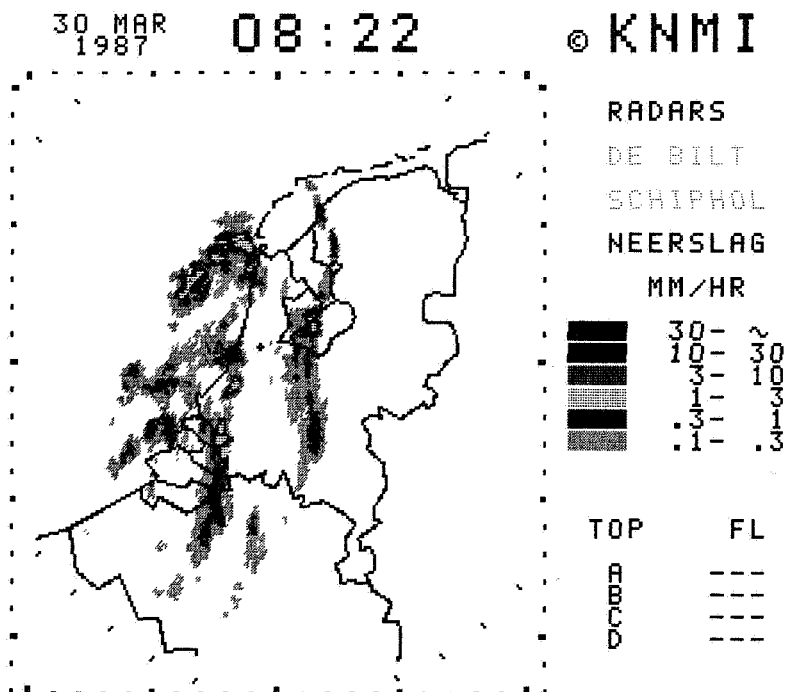
De technische eigenschappen van de KNMI-radars maken deze redelijk geschikt voor kwantitatief werk:

- op de golflengte van 5.3 cm is de absorptie van radarstraling in zware neerslag nog aanvaardbaar;
- de technische calibratie van de radar blijft voldoende constant;
- bij de dataverwerking kunnen neerslagintensiteiten nog met een resolutie van 3% worden verwerkt (bij de gewone scherm-presentatie is dit ongeveer 60%);
- de bundel heeft een kleine doorsnede (1 graad); de resolutie van de presentatie in 2x2 km vakken is tot ruim 100 km afstand reëel;
- het is mogelijk de beelden met een tijdsinterval slechts 5 minuten te produceren.

4 GEBRUIK VOOR WAARSCHUWINGEN

Buien zijn niet alleen interessant vanwege de hoge intensiteit en/of lange tijdsduur, maar ook vanwege de andere verschijnselen, die ze kunnen vergezellen: hagel, onweer, windstoten, gladheid en slecht zicht. Belanghebbenden vinden we in de sectoren: luchtvaart, scheepvaart, wegverkeer, bouwbedrijf, goederenoverslag, landbouw, waterbeheer, sport en recreatie. Het nut van dergelijke radarinformatie neemt uiteraard toe naarmate de gebruiker ook echt beschermende maatregelen kan nemen, dan wel de planning van geraamde activiteiten kan aanpassen. Het initiatief voor de informatieoverdracht kan bij de meteoroloog zowel als bij de gebruiker liggen. In het eerste geval waarschuwt de meteoroloog volgens bepaalde criteria (bij de vele mogelijke locaties en de ingewikkelde, snel wijzigende neerslagpatronen is dit een onmogelijke opgave). Het kan dan overigens nuttig zijn dat de gebruiker ook over het radarbeeld beschikt. In het geval dat de gebruiker zelf het radarbeeld gebruikt en zijn conclusies trekt, kan worden afgesproken, dat bij twijfel de meteoroloog geraadpleegd wordt.

Vanwege de grilligheid en de snelle fluctuatie van de neerslagverdeling is de overdracht van beeldinformatie erg voor de hand liggend. De verstrekte informatie moet betrouwbaar zijn, dus de afbeelding moet met de neerslagverdeling overeenstemmen. De belangrijkste misverstanden worden daarbij veroorzaakt doordat de detectiemogelijkheden met toenemende afstand afnemen, maar niet altijd in dezelfde mate (zie 3.1). Voorts kunnen grondecho's ten gevolge van abnormale voortplanting tot verwarring leiden (zie 3.2). Misverstanden zijn te vermijden door instructie van de gebruiker of door het beeld te bewerken (beperkt gebied tonen; grondecho's verwijderen).



Figuur 3 Zwart-wit weergave van het schermbeeld van de radarpresentatie. Bij ontbreken van een der radars wordt de desbetreffende naam in de legenda weggelaten. De letters rechtsonder worden soms gebruikt voor de referentie aan posities in het beeld, waar de hoogte van de echo gemeten is.

Een tweede aspect van betrouwbaarheid betreft de beschikbaarheid der beelden: het beeld uit de mengcomputer is voor 99.5% van de gevallen aanwezig (voor die mengcomputer is een reserve beschikbaar), maar een individuele presentatie-eenheid of datalijn kan nog wel eens uitvallen.

Een krachtig hulpmiddel bij de presentatie is het tonen van achtereenvolgende beelden in een 'loop'. Verplaatsing en verandering van echo's worden aldus effectief geïllustreerd, zodat extrapolatie gemakkelijk wordt gemaakt. De optimale waarneemfrequentie hangt samen met de tijdschaal van veranderingen in buien en zal 5 à 15 minuten bedragen: om te zorgen dat het laatste beeld voldoende recent is en om een vloeiende loop-presentatie te krijgen. De klok geeft de tijd in GMT en is groot afgebeeld, omdat de juiste tijd van het beeld essentieel is bij de interpretatie; bij een defect kan dat beeld verouderd zijn.

Het succes van een voorspelling met radarbeelden hangt uiteraard van de verwachtingstermijn en de aard van de neerslag af. Een gesloten frontaal systeem kan soms uren vooruit met (bijna) zekerheid worden aangekondigd. Bij individuele buien daalt die termijn tot binnen het uur. Een zone met verspreide buien kan hoogstens tot een kansverwachting voor een bepaalde locatie leiden; de buien kunnen zowel overtrekken als terzijde passeren. Naarmate de gebruiker meer ervaring heeft en over andere gegevens beschikt, ziet hij beter het onderscheid tussen deze categorieën.

Behalve het tijdstip van aanvang van de regen is natuurlijk ook het ophouden van de neerslag van groot belang voor veel gebruikers. Een andere mogelijke toepassing is het voorspellen van zware windstoten. Die herkent men niet zozeer aan de grote intensiteit of afmeting van de buien, maar aan het voorkomen van sterke horizontale echoveranderingen over afstanden van luttele kilometers.

Omdat het hier doorgaans kansverwachtingen betreft, komen de voordelen van weerradargebruik vooral tot hun recht bij langdurige systematische toepassing.

5 GEBRUIK VOOR NEERSLAGMETING

In veel opzichten geldt hiervoor hetzelfde als voor het opstellen van kwalitatieve verwachtingen: het radarproduct is snel en vaak ter beschikking en heeft een goede horizontale resolutie. Radar is onnauwkeurig in vergelijking met registrerende regenmeters, maar die bieden slechts een -weinig representatieve- puntmeting en de gegevens zijn soms pas uren later beschikbaar. De continue 'calibratie' van de radardata met een of meer pluviografen leidt tot een betere nauwkeurigheid. Een kosten-baten beschouwing kan leren, met welke combinatie van radar en regenmeters de voor een bepaalde toepassing beoogde metingen kunnen worden verkregen.

In veel gevallen zal dus de vereiste c.q. bereikbare nauwkeurigheid beslissen, of radar geschikt is voor quantitative hydrologische toepassingen. De ervaring leert, dat het quantitative bereik van weeradars tot ca. 100 km beperkt blijft, zodat met de huidige radars slechts een deel van het land bediend kan worden. De huidige radar kan in principe frequente 8 bits-waarnemingen verzorgen en daarmee neerslagsommen voor stroomgebieden uitrekenen. Dit programma kan helaas niet gelijktijdig draaien met het operationele programma, dat de overzichtsbeelden produceert.

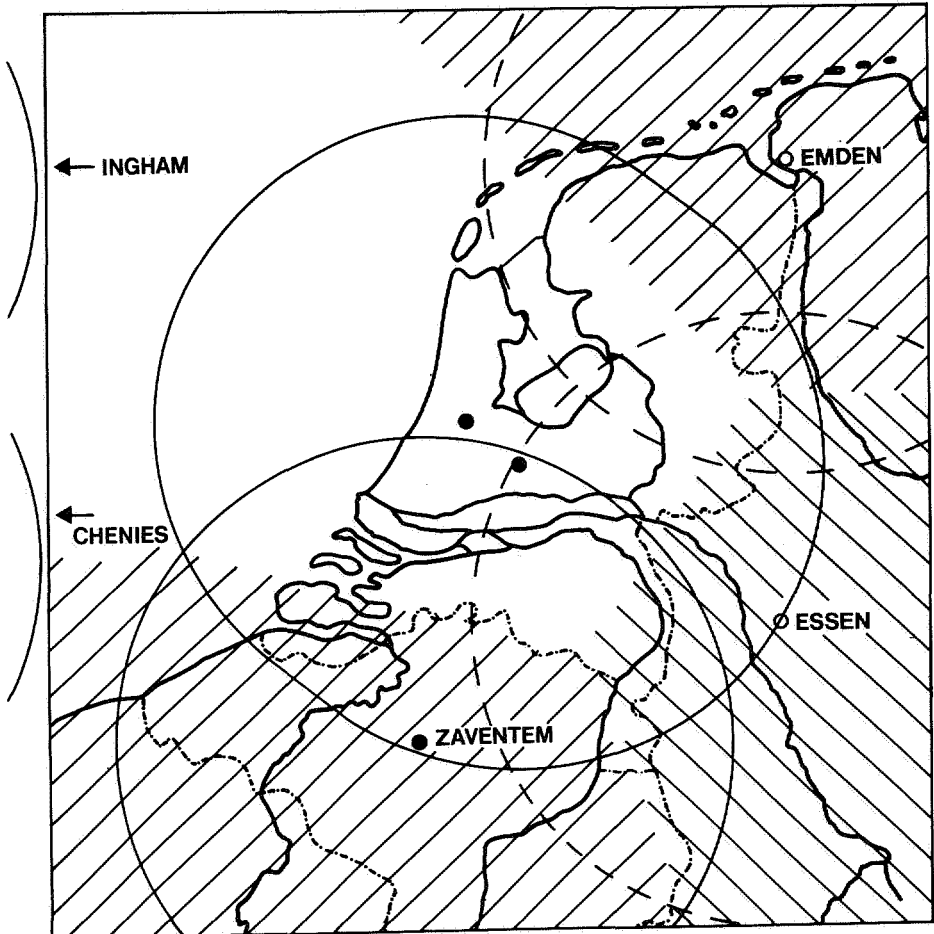
Thans wordt onderzocht, welke meetnauwkeurigheden met radar in het typische vlakke Nederlandse landschap haalbaar zijn. Voorts wordt bij de op handen zijnde vervanging van radarcomputer en -programma zoveel mogelijk met hydrologische toepassingen rekening gehouden.

6 VOORUITBLIK OP NIEUWE ONTWIKKELINGEN

Voor elk van de drie computers in de radarconfiguratie (Figuur 1) worden verbeteringen voorzien. Bovendien wordt getracht de radar zelf te verbeteren, door een automatische herkenning van grondecho's in te bouwen. Steeds belangrijker wordt voorts de internationale uitwisseling van radargegevens (Collier, e.a., 1988). In het COST-73 project van de Europese Commissie, wordt al een gecombineerd West-Europees radarbeeld

met 5x5 km resolutie verspreid. Dit product kan een positieve bijdrage aan de weeranalyse geven en daarmee aan de verwachtingen.

De nieuwe radarcomputer zal een uitgebreider scan-programma gaan uitvoeren: 4 horizontale scans in plaats van 2. Daarenboven worden 4 verticale scans gemaakt, ten eerste voor automatische topmetingen en ten tweede voor het verkrijgen van informatie over de verticale verdeling van de echosterkte. Dit kan leiden tot een automatische correctie voor 'bright-band' effecten. De verticale scans zijn dus



Figuur 4 De arcering geeft aan, waar buitenlandse radars de kwaliteit van de informatie in het werkgebied van de korte-termijn verwachting kunnen verbeteren.

zowel nuttig voor luchtvaartvoorlichting als voor hydrologische toepassing. Behalve het programma zullen ook de uitvoermogelijkheden meer flexibel worden, zodat één waarneming kan leiden tot meerdere - op speciale gebruikersgroepen toegespitste- producten.

De mengcomputer zal worden uitgebreid met de presentatie van buitenlandse radars. Met name met de thans al beschikbare radar van Zaventem en in de 90-er jaren met twee nieuwe radars in de Bondsrepubliek. Hiermee wordt bereikt, dat de weergave van neerslag tot in de hoeken van het huidige beeldvlak betrouwbaar wordt, zodat alle Nederlandse meteorologen, ook die op de luchthavens Beek en Eelde, de buien toch minstens 1 à 2 uur van te voren kunnen zien naderen. Bovendien is besloten de mengcomputer uit te breiden voor de (optionele) presentatie van blikseminslagposities, zoals gepeild door de NV KEMA. Het is voor de korte-termijn verwachting immers zeer belangrijk, of een bepaalde bui al dan niet van onweer vergezeld gaat.

Wat betreft de presentatie-computer zijn minder ingrijpende verbeteringen voorzien. Wel wordt overwogen de radarbeelden ook over andere beeld-informatie-systemen te verspreiden.

Samenvattend kan worden gesteld, dat met behulp van de beschikbare techniek de kwaliteit en de toepassing van radarinformatie sterk verbeterd is en dat deze ontwikkeling met kracht wordt voortgezet.

LITERATUUR

- BUISHAND, T.A. en VELDS, C.A., 1980. Neerslag en verdamping. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, 206 p.
- COLLIER, C.G., FAIR, C.A. and NEWSOME, D.H., 1988. International Weather-Radar Networking in Western Europe. Bull. American Meteorological Society, 69: 16-21.
- COLLINGE, M.G. and KIRBY, C., Editors, 1987. Weather radar and flood forecasting. John Wiley & Sons, Chichester, 10 + 296 p.

NEERSLAGONDERZOEK MET DE DELFT ATMOSPHERIC RESEARCH RADAR:
MEETTECHNIEK EN RESULTATEN

H.W.J. Russchenberg

SAMENVATTING

Radar wordt gebruikt om de regenintensiteit op afstand en over een groot gebied te kunnen bepalen. Om echter een correcte interpretatie van de meting te maken moet men rekening houden met de reflecties door gebouwen, bomen en dergelijke. Enige technieken om hun storende invloed te beperken worden besproken. Het gebied in de atmosfeer waar sneeuw smelt tot regen kan een in vergelijking met regen hoge radarreflectie geven. Als bij de data-interpretatie niet bepaald kan worden of men regen meet of smeltende sneeuw, wordt een fout gemaakt. Met de invoering van een techniek die is gebaseerd op de polarisatie afhankelijkheid van de radarreflectie kan de smeltende laag, alsmede hagel en sneeuw, van regen onderscheiden worden. Bovendien wordt met deze techniek een nauwkeuriger schatting gemaakt van de regenintensiteit. Dit wordt geïllustreerd met metingen door de Delft Atmospheric Research Radar.

1 INLEIDING

Op het dak van de faculteit der Elektrotechniek van de Technische Universiteit Delft staat de Delft Atmospheric Research Radar DARR waarmee sinds 1980 onderzoek wordt gedaan aan neerslag. Het accent van het onderzoek ligt op de microstructuur van neerslag: wat is de gemiddelde druppelgrootte en hoeveel druppels bevinden zich in het radarvolume? Met behulp van deze informatie kan dan ondermeer de regenintensiteit bepaald worden.

Het grote voordeel van radar ten opzichte van een regenmeter is dat men met een radar de regenintensiteit over een groot gebied kan bepalen. Dit wordt gedaan door het converteren van de gemeten radar reflectie naar regenintensiteit via een van tevoren bepaald verband. Bij conventionele radars wordt uitgegaan van een constante relatie tussen radarreflectie en regenintensiteit, terwijl dat niet het geval hoeft te zijn. Bij DARR wordt een methode gebruikt die rekening houdt met de variaties binnen een regenbui. In deze inleiding wordt dieper ingegaan op beide methoden.

Om een goede interpretatie van radarmetingen te maken moet men kennis hebben van de mogelijke foutbronnen. Hoe kan met regen onderscheiden van gebouwen, bomen en dergelijke? Hoeveel demping ondervindt het signaal door de regen tussen de radar en het radarvolume dat bestudeerd wordt? En hoe kan men regen onderscheiden van sneeuw? In deze inleiding wordt hier dieper op ingegaan.

2 RADAR METINGEN

Bij een radar denkt men al snel aan continue draaiende antennes. Het onderzoek in Delft echter wordt gedaan met een stilstaande radar met een elevatie die sterk afwijkt van de horizontaal. Hierdoor wordt een grote stabiliteit verkregen en kan de microstructuur van regen als functie van de tijd en hoogte nauwkeurig bestudeerd worden.

Om een correcte interpretatie van het radarsignaal te krijgen moet men rekening houden met verscheidene foutbronnen. We zullen er hier een aantal bespreken.

Behalve regen meet de radar ook reflectie door vaste objecten als gebouwen, bomen en dergelijke (aangeduid met de term clutter). Meestal wordt de clutter door een naar de grond wijzende zijlob van de antenne "opgepikt". Om clutter te onderdrukken zijn enkele technieken ontwikkeld:

- 1) Tijdens droog weer meet men de reflectie van de vaste objecten en trekt dit af van het signaal dat gemeten wordt tijdens een regenmeting. Deze methode is eenvoudig te implementeren in het radarsysteem. Het nadeel van deze methode is dat een object als het droog is een

andere radarreflectie geeft dan wanneer het nat is. De clutter wordt slechts bij benadering onderdrukt. De regenreflectie - clutter verhouding is kwadratisch omgekeerd evenredig met de afstand van het object tot de radar. Dit houdt in dat vaste objecten een relatief grotere invloed krijgen naarmate ze dichterbij de radar staan. Om toch dichtbij te kunnen meten kan men de antenne een kleine elevatie geven, waardoor vaste objecten die juist verder van de radar verwijderd zijn door de zijlob van de antenne gemeten worden. Hierdoor wordt de invloed van clutter kleiner.

- 2) Het door een gebouw gereflecteerde signaal zal langer constant zijn dan het signaal dat wordt weerkaatst door regen, vanwege het simpele feit dat regen valt en het gebouw stilstaat. Als men nu de signalen die gemeten worden op twee verschillende tijdstippen van elkaar aftrekt, waarbij men er zorg voor draagt dat het clutter signaal niet is veranderd, dan wordt de clutter onderdrukt. Bij deze methode worden echter wel strenge eisen gesteld aan de stabiliteit van de radar: de in het signaal optredende veranderingen moeten wel het gevolg zijn van het verschil tussen regen en clutter en niet van veranderingen van de radarperformance. Bovendien moet men er zich van verzekerd hebben dat de radar in de tijd die gebruikt wordt om de clutter te onderdrukken naar dezelfde richting kijkt. Als vuistregel wordt genomen dat de radar tijdens de clutteronderdrukking niet meer dan een tiende van zijn bundelbreedte verschoven mag zijn.

Het radarsignaal plant zich voort door regen en kan hierdoor demping ondervinden. De grootte van de demping hangt af van de regenintensiteit, de radarfrequentie en de polarisatie van het radarsignaal. Bij frequenties onder 3 GHz is de demping tot een regenintensiteit van ongeveer 50 mm/hr te verwaarlozen, maar bij hogere frequenties kan een aanzienlijke demping van het signaal optreden (Ulaby et al, 1981). Bij deze frequenties dient bij de interpretatie van het radarsignaal rekening gehouden te worden met de demping.

Een vaak optredend fenomeen tijdens een radarmeting aan neerslag is het optreden van een 'bright band'. Deze bevindt zich vlak onder de nul graden isotherm in de troposfeer waar sneeuw smelt tot regen. De bright band wordt veroorzaakt doordat reflectie door smeltende sneeuw gemiddeld

11 dB sterker kan zijn dan reflectie door regen. Alhoewel weerradars vaak in het horizontale vlak draaien kunnen ze door de kromming van de aarde op grote afstand toch in de bright band meten. Wil men echter een juiste convertering maken van radarreflectie naar regenintensiteit, dan moet men de aanwezigheid van de bright band kunnen onderzoeken. Uitgebreide behandeling van de bright band is te vinden in Klaassen (1988).

3 CONVERTERING VAN RADARREFLECTIE NAAR REGENINTENSITEIT

De fijnstructuur van regen wordt beschreven door de druppelverdeling. Deze geeft aan hoeveel druppels van een bepaalde grootte er aanwezig zijn per volume eenheid. Vaak wordt de druppelverdeling beschreven met de volgende relatie:

$$N(D) = N_0 * D^m * \exp(-(3.67+m)D/Do) \quad (1)$$

waarin $N(D)$ het aantal druppels met diameter D voorstelt. N_0 is een schalingsfactor, Do is de mediaan van de druppelverdeling en m wordt de dispersiefactor genoemd.

Bij de conventionele radar wordt uitgegaan van een statistisch bepaalde vaste relatie tussen de regenintensiteit R [mm/hr] en radarreflectie Z [mm⁶/m³] met de volgende algemene vorm:

$$Z = a R^b \quad (2)$$

waarin a en b constanten zijn. Meestal wordt a gelijk gekozen aan 200 en b aan 1.6. In de realiteit echter zullen deze waarden zowel in de tijd als in de ruimte variëren, waardoor de conventionele radar een fout zal maken.

Een nauwkeuriger schatting van de regenintensiteit kan gemaakt worden als meerdere parameters van de druppelverdeling bepaald kunnen worden. Een methode die zowel de mediaan Do als de schalingsfactor N_0 kan bepalen wordt gebruikt bij DARR. De filosofie hierachter is de volgende: als een regendruppel valt zal het door de luchtweerstand afgeplat worden, waarbij druppels platter worden naarmate ze groter zijn. Hierdoor wordt

de radarreflectie door regendruppels afhankelijk van de polarisatie van de radar, waarbij de mate van polarisatie afhankelijkheid een maat is voor de druppelgrootte. In de praktijk meet men de reflectie bij zowel horizontale als verticale polarisatie en bepaalt van de totale verzameling druppels in het radarvolume de 'differential reflectivity' Zdr:

$$Zdr = \frac{Z_h}{Z_v} \quad (3)$$

waarin Z_h en Z_v de radarreflectie bij respectievelijk horizontale en verticale polarisatie voorstellen. De Zdr heeft de eigenschap dat die onafhankelijk is van de schalingsfactor N_o . Door nu de dispersie factor een vaste waarde te geven kan men met behulp van de Zdr dus de mediaan van de druppelverdeling bepalen. Als deze bekend is, kan uit Z_h of Z_v de schalingsfactor N_o bepaald worden. De druppelverdeling is nu bekend en de regenintensiteit kan berekend worden. Voor een uitgebreide behandeling van deze methode wordt verwezen naar Ulbrich en Atlas (1984).

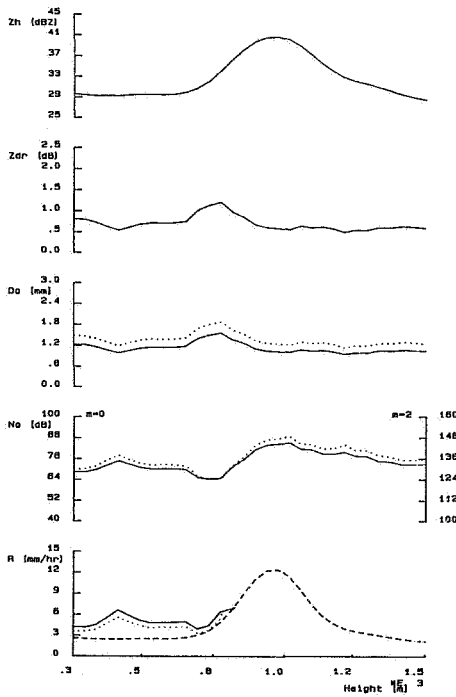
Het concept van de differential reflectivity kan ook gebruikt worden om regen, hagel en sneeuw van elkaar te onderscheiden. Want terwijl de gemiddelde vorm van een verzameling regendruppels kan worden beschreven met een omwentelingsellipsoïde, zal er in het geval van hagel en sneeuw gemiddeld sprake zijn van een bolvorm. In het eerste geval zal de gemeten Zdr groter zijn dan in het tweede geval. Het onderscheid tussen hagel en sneeuw is gebaseerd op het feit dat de radarreflectie van hagel sterker is dan de reflectie door sneeuw.

4 ENIGE RESULTATEN

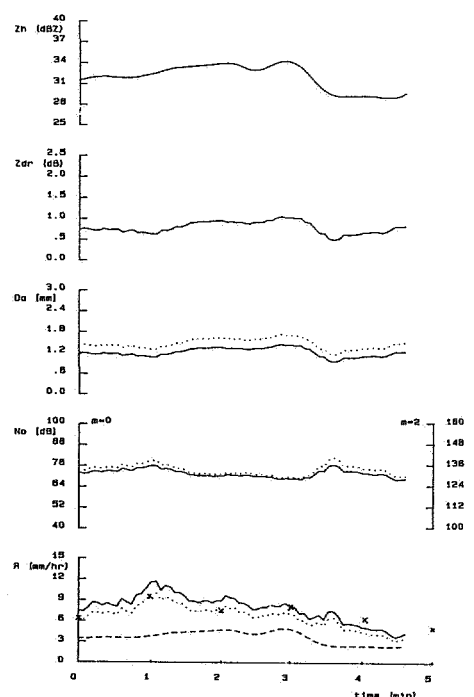
In figuur 1 staan de radarreflectie Z_h , de differential reflectivity Zdr, de mediaan D_o , de schalingsfactor N_o en de regenintensiteit R weergegeven als functie van de hoogte, gemiddeld over 300 m en 32 s. De meting is gedaan tijdens een stratiforme regenbui. Duidelijk is op een hoogte rondom 1000 m de bright band te zien. De reflectie is hier 10 dB groter dan in de regen er direkt onder. Deze piek is het gevolg van smeltende sneeuw. Als een radar een bright band niet kan herkennen en de reflectie afkomstig wordt gedacht van regen, wordt er een fout gemaakt bij de bepaling van de regenintensiteit. In de onderste figuur staat de

regenintensiteit weergegeven voor verschillende gevallen: de getrokken lijn representeert de druppelverdeling met $m=0$, de punten horen bij de verdeling met $m=2$ en de streepjes lijn is berekend volgens (2). Als de regenintensiteit die wordt berekend uit de bright band reflectie wordt vergeleken met die op kleinere hoogten valt op groot de fout is die gemaakt kan worden: ongeveer 9 mm/hr als uitgegaan wordt van relatie (2). De Zdr heeft een maximum vlak onder de bright band, die wordt verklaard door de aanwezigheid van platte bijna gesmolten sneeuwvlokken. De Zdr kan hierdoor gebruikt worden om de bright band te onderscheiden van regen.

In figuur 2 staat de tijdsafhankelijkheid van dezelfde grootheden als in figuur 1, behorend bij een hoogte van 300 m. De kruisjes in de grafiek van de regenintensiteit representeren regenmeter waarden, gemiddeld over



Figuur 1



Figuur 2

1 minuut. Direct valt de correlatie tussen de reflectie Z_h en Z_{dr} op: de Z_{dr} neemt af als Z_h afneemt, hetgeen duidt op een kleiner wordende gemiddelde druppelgrootte. De regenintensiteit die wordt berekend met behulp van de druppelverdeling volgens (1) met $m=2$ komt goed overeen met de waarden van de regenmeter, terwijl relatie (2) leidt tot een onderschatting met ongeveer 3 mm/hr. Uit het onderzoek in Delft is gebleken dat de druppelverdeling met $m=0$ altijd een overschatting van de regenintensiteit geeft. Bij lage intensiteiten (< 3 mm/hr) geven beide methoden vergelijkbare resultaten. Door het toepassen van Z_{dr} kan de regenintensiteit met een nauwkeurigheid van 10 % bepaald worden (Goddard, Cherry, 1984).

5 CONCLUSIES

Radar is een nuttig instrument om de regenintensiteit op afstand en over een groot gebied te bepalen. Om echter een goede interpretatie van de radarmetingen te maken, moet rekening worden gehouden met de reflectie door andere objecten dan regen (zoals gebouwen), met de demping die het radarsignaal in de regen kan ondervinden en met de aanwezigheid van de bright band.

De reflectie van regen is afhankelijk van de polarisatie van de radar. Dit maakt het mogelijk om met behulp van de differential reflectivity een nauwkeuriger schatting te maken van de regenintensiteit dan die, die volgt uit metingen met een conventionele radar. Bovendien kunnen hiermee de smeltende laag, hagel, sneeuw en regen van elkaar onderscheiden worden.

LITERATUUR

GODDARD, W.F., CHERRY, S.M., 1984. Quantitative precipitation measurements with dual linear polarisation radar. Proc. 22nd Conf. on Radar Meteor., Zürich.

KLAASEN, W., 1988. Radar observations and simulation of the melting layer of precipitation. Accepted for publication in J. Atmos. Sci.

- ULABY, F.T., MOORE, R.K., FUNG A.K., 1981. Microwave Remote Sensing, Vol 1. Addison-Wesley Publ. Comp., London.
- ULBRICH, C.W., ATLAS D., 1984. Assessment of the contribution of differential polarization to improved rainfall measurements. Radio Science, Vol 19, No 1, 1984.

S. van den Assem

1 INLEIDING

In het kader van een NWO-project wordt onderzoek verricht naar de variabiliteit en voorspelbaarheid van neerslag over kleine ruimte- en tijdsschaal. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een geautomatiseerd regenmeternetwerk in het westelijk deel van N-Brabant, radar-data van het K.N.M.I. in De Bilt en mogelijk satellietwaarnemingen (meteosat). Het NWO-project is een voortzetting van onderzoek naar de ruimtelijke variabiliteit van neerslag, waarbij de mogelijkheden werden nagegaan van reductie van de capaciteit van rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Voor diverse belangstellenden binnen het waterbeheer en de landbouw, is kennis over de kleinschalige verdeling van reeds gevallen neerslag zeer nuttig en is de behoefte aan een gedetailleerde (korte termijns-) voorspelling groot. Gecombineerde data van regenmeters, radar(s) en satelliet(en) zijn hiervoor zeer wenselijk, (Berndsson and Niemczynowicz, 1988; Barrett et al., 1988; Collier and Knowles, 1986; Cluckie et al., 1987; Mendel und Schultz, 1987; Roesli et al., 1987; Wartena, 1987).

Het NWO-project is gestart medio 1987. De resultaten van het onderzoek, zoals in het onderstaande weergegeven, dragen een voorlopig karakter en zijn nog niet in detail uitgewerkt.

a Regenmeters

De bepaling van neerslag op een bepaalde plaats door middel van regenmeters is relatief nauwkeurig in vergelijking tot radar- en satelliet-bepalingen. In de Angelsaksische literatuur worden regenmeterregistraties vaak met 'groundtruth' aangeduid. Toch moet bij regenmeters rekening worden gehouden met een onnauwkeurigheid van 2-5%, (Buishand en Velds, 1980). De afwijkingen zijn het grootst bij harde wind en sneeuwval. De regenmeters registreren dan minder dan er in werkelijkheid valt. Neerslag valt nooit geheel uniform: de hoeveelheden kunnen binnen enkele kilometers vele mm's verschillen. De ruimtelijke variabiliteit van neerslag is afhankelijk van het weertype: neerslag uit fronten zonder lokale buiencluster is vaak redelijk uniform, terwijl neerslag uit buien zeer plaatselijk kan zijn.

Zestien geautomatiseerde regenmeters met een kantelbakjesmechanisme zijn geïnstalleerd in een gebied van ongeveer 30x45 km in het westelijk deel van N-Brabant. De afstand tot de radar bedraagt 40-100 km. In één gebiedje van 2x2 km (radarpixel) zijn 5 regenmeters geplaatst. De kantelwaarden van de regenmeters zijn ongeveer .16 mm (12 regenmeters) en .20 mm (4 regenmeters) respectievelijk. IJking van de regenmeters in het laboratorium toonde aan dat regenmeters met een kantelbakjes-mechanisme enigszins intensiteitsafhankelijk zijn, (Van den Assem, 1988; Muller en Van London, 1983). Bij extreem hoge intensiteiten (>2 mm/min.) is de kantelwaarde 10-15% hoger dan bij lage neerslagintensiteiten. Datum en tijd van elke kanteling wordt geregistreerd. Dit geeft de mogelijkheid om continue neerslagwaarden over vaste tijdsintervallen te berekenen.

b Radar

De radars in De Bilt en Schiphol zenden golven uit van 5 cm. Momenteel wordt elke 15 minuten een scan gemaakt op twee hoogtes (0.3° en 1.7°). De radargegevens worden (nog) niet gecorrigeerd voor storende (meteorologische) factoren, zoals uitdoving van de radarbundel, 'bright band' en valse echo's.

Weerradars kunnen ruimtelijke variabiliteit van neerslag zeer goed kwalitatief weergeven. De radar van het K.N.M.I. geeft de gemiddelde neerslagintensiteit aan over gebiedjes van 2x2 km (pixels). De neerslagintensiteiten zijn echter niet nauwkeurig. De verhouding tussen neerslaghoeveelheden bepaald door de radar en regenmeters kan variëren van minder dan .2 tot meer dan 5., afhankelijk van de (meteorologische) omstandigheden (Collinge, 1987, Collier, 1986a en 1986b). De onnauwkeurigheid van de neerslagintensiteiten weergegeven door de radar kan worden veroorzaakt door:

- Z-R relatie: de gereflecteerde hoeveelheid radarstraling is o.a. afhankelijk van de hoeveelheid en in zeer sterke mate van de grootte van de regendruppels of sneeuwvlokken. Dit wordt uitgedrukt in de variabele Z ($Z = \Sigma(D^6)$, waarbij D de diameter van de neerslagpartikels is). De variabele Z kan gerelateerd worden aan de neerslagintensiteit R(mm/hr):

$$Z = aR^b \quad (1)$$

waarbij a en b empirische parameters zijn, afhankelijk van de meteorologische condities. Er zijn relaties gerapporteerd variërend van $Z=31R^{1.7}$ tijdens orographische regen tot $Z=486R^{1.4}$ tijdens onweersbuien, en $Z=540R^{2.0}$ bij sneeuwval, (Clift, 1985). De standaardwaarden, die operationeel vaak gebruikt worden voor a en b, zijn respectievelijk 200 en 1.6. Met behulp van dual polarization radar en Dopplerradar kan informatie worden verkregen over het druppelspectrum, maar desondanks blijft een zekere onnauwkeurigheid in de Z-R relatie aanwezig.

- Smeltband (bright band). Wanneer vaste neerslagdeeltjes door het 0°C niveau vallen, beginnen ze te smelten aan de buitenkant. Neerslag in vloeibare vorm kan radarstraling 5 maal zo sterk terugkaatsen als wanneer het in vaste vorm is, bij dezelfde grootte van de deeltjes, (Battan, 1973, Clift, 1985). Dit wordt veroorzaakt door het verschil in de dielectrische constante van water en ijs. Smeltende sneeuw bestaat uit relatief grote deeltjes, die aan de buitenkant vloeibaar zijn. Als de sneeuw geheel is gesmolten, dan is de reflectie weer afgenomen, omdat de grootte van de regendruppels kleiner is dan van sneeuw. Het is belangrijk dat de 'bright band' wordt gedetecteerd.

Wanneer de radarbeelden zijn weergegeven op een kleurenbeeldscherm, is de 'bright band' vaak te zien als een ring, met de radar in het midden van de cirkel. Het is mogelijk de 'bright band' automatisch te detecteren en zelfs te corrigeren, mits er radar-scans onder verschillende elevaties worden verricht (Persson and Lundgren, 1986; Smith, 1986).

Bij buiige neerslag speelt de 'bright band' doorgaans geen belangrijke rol.

- Uitdoving (attenuation). Radarstraling wordt uitgedoofd door absorptie en verstrooiing. Dit proces is sterker bij kortere golflengtes dan bij langere golflengtes. Bij 3 cm radars kan deze uitdoving aanzienlijk zijn. Bij 10 cm radars speelt de uitdoving geen belangrijke rol (Clift, 1985). De K.N.M.I. radars (5 cm) zitten tussen beide golflengtes in.

Tot nu toe zijn de radargegevens van het K.N.M.I. nog niet voor deze uitdoving gecorrigeerd. De correctie is in het beginstadium van data-verwerking betrekkelijk eenvoudig. Er wordt dan nog met polaire data gewerkt. Zijn de gegevens omgezet tot cartesische (pixels van 2x2 km), dan is correctie voor attenuation niet eenvoudig en nauwkeurig meer.

- Hoogte van de radarbundel. Onder normale omstandigheden volgt de radarbundel een licht gebogen baan door de atmosfeer. Als gevolg van de aardkromming komt de radarbundel op steeds grotere hoogte. De neerslagintensiteit gedetecteerd op een bepaalde hoogte in de atmosfeer kan sterk verschillen van de neerslag ter plekke aan het aardoppervlak: enerzijds kan de neerslag onderweg verdampen, zoals beschreven door Rosenfeld en Mintz, (1988), anderzijds is het ook mogelijk dat neerslag beneden de radarbundel gevormd wordt. Ook kan het voorkomen dat de radarbundel slechts gedeeltelijk gevuld is met neerslag (incomplete vulling): bijvoorbeeld wanneer een deel van de bundel zich boven neerslag-producerende wolken bevindt.
- Valse echo's. Hoge objecten zoals gebouwen, torens en bruggen (heuvels en bergen) kunnen radarstralen reflecteren. Deze reflecties zijn doorgaans bekend. Onder bijzondere meteorologische condities kan de radarbundel sterk worden afgebogen naar het aardoppervlak (anomalous propagation), (Turton, 1988). Dit geeft sterke

echo's, hetgeen als zware neerslag geïnterpreteerd zou kunnen worden. Dit verschijnsel kan optreden bij een sterke verticale vochtafname in de atmosfeer en wanneer een duidelijke inversie aanwezig is. Detectie van 'anaprop' is doorgaans niet moeilijk. Gebruikers van radargegevens dienen echter wel goed bedacht te zijn op dit verschijnsel.

- Onjuiste locatie van neerslag als gevolg van winddrift. De radarbundel bevindt zich op enige hoogte boven het aardoppervlak, afhankelijk van de afstand tot de radar en de ingestelde elevatie. Dit kan variëren van enkele tientallen meters tot zelfs boven 2000 m hoogte. De neerslag die de radar op een bepaalde locatie waarneemt hoeft niet altijd direct eronder het aardoppervlak te bereiken als gevolg van windschering (verandering van windsnelheid en -richting met de hoogte in de atmosfeer) en veranderingen in de neerslagintensiteit van een neerslaggebied. Het zal duidelijk zijn dat de onnauwkeurigheid in de bepaling waar neerslag valt bij uniforme (frontale) neerslag geringer zal zijn dan bij buiige omstandigheden.
- Afscherming van de radarbundel. Grote gebouwen dichtbij de radar (of heuvels en bergen) kunnen de radarbundel geheel of gedeeltelijk afschermen van erachter gelegen gebieden. In Nederland ondervindt men hiervan weinig hinder.

Met een radar worden neerslagintensiteiten bepaald. De radar scant elke 15 minuten gedurende korte tijd de omgeving af. Bij radargegevens die eens per 15 minuten beschikbaar zijn, betekent dit dat er geïnterpoleerd dient te worden in ruimte en tijd, wil men neerslaghoeveelheden nauwkeurig in een gebied bepalen. Het kan bijvoorbeeld voorkomen, dat een kleine (intensieve) bui, tussen twee radarscans door, over een bepaald gebied trekt. Zonder interpolatie zou het volgens de radargegevens droog zijn gebleven in het betreffende gebied. Als betrekkelijk eenvoudige interpolatie-techniek kan een methode worden gebruikt, waarbij men in ruimte en tijd lineair interpoleert, gebruik makend van de trekrichting van neerslagsystemen. Het succes van deze interpolatie-techniek is mede afhankelijk van de variabiliteit in de tijd en de levensduur van neerslagsystemen. Worden radarscans

frequenter gedaan, dan is de noodzaak tot interpolatie minder groot.

c Satelliet (meteosat)

Satellietgegevens kunnen een nuttige aanvulling zijn op de radardata buiten het efficiënte bereik van een weerradar (>150 km), (Aschbacher, 1987; Austin and Bellon, 1982; Bader et al., 1988). In Engeland combineert men operationeel op satellietgegevens met data van een regenmeter- en radarnetwerk (FRONTIERS), (Browning, 1986 en 1987). De nauwkeurigheid van neerslagschattingen met behulp van satellietgegevens is gering, vooral op de gematigde breedtes.

3 COMBINATIE VAN REGENMETER- EN RADAR-GEGEVENS

a Variatie van neerslag binnen een pixel

De radar geeft goed de ruimtelijke neerslagverdeling aan, met een beperkte nauwkeurigheid. Regenmeters zijn daarentegen veel nauwkeuriger, maar beperkt tot een enkele plaats. De radargegevens kunnen worden aangepast (gecalibreerd) met behulp van de gegevens van regenmeters, zodat de nauwkeurigheid van de radardata wordt verhoogd. Op real-time basis betekent dit, dat de gegevens van de regenmeters direct beschikbaar moeten zijn.

De neerslaghoeveelheden, die een regenmeter weergeeft, behoeven niet representatief te zijn voor de omgeving. Wanneer de neerslag een buiig karakter vertoont, kunnen de verschillen in neerslaghoeveelheden over een gebied van 2x2 km (radarpixel) aanzienlijk zijn.

Op 6 maart 1988 bevond Nederland zich in een NW-stroming op grotere hoogte in de atmosfeer. In een warmtefront op de Noordzee ontwikkelde zich een onstabiele golfvormige storing. Deze bracht langdurige regen in Nederland.

Tabel 1 Vijftien-minuten neerslaghoeveelden (mm) in een gebied van 2x2 m bij Zevenbergen, bepaald door 5 regenmeters op 6 maart 1988. Regenmeters L1 t/m L4 bevinden zich in de hoekpunten en O1 in het centrum van de pixel. De neerslag was frontaal en homogeen, zonder individuele buiencellen.

tijd	L1	L2	L3	L4	O1	O1- \bar{L} .	$(O1-\bar{L}.)/(O1+\bar{L}.) * 100\%$
14.15	.35	.32	.36	.35	.34	-.01	- 2.9%
14.30	.38	.42	.42	.40	.41	.01	+ 2.5%
14.45	.38	.37	.48	.42	.36	-.05	-12.4%
15.00	.41	.43	.58	.51	.44	-.04	- 8.4%
15.15	.44	.42	.53	.46	.47	.01	+ 2.2%
15.30	.45	.45	.45	.45	.44	-.01	- 2.2%
15.45	.17	.19	.16	.16	.14	-.01	- 6.1%

Tabel 2 Vijftien-minuten neerslaghoeveelheden (mm) in een gebied van 2x2 km bij Zevenbergen, bepaald door 4 regenmeters op 6 maart 1988. Regenmeter L1 t/m L4 bevinden zich in de hoekpunten en O1 in het centrum van de pixel. De neerslag had een buiig karakter.

tijd	L1	L2	L3	L4	O1	O1- \bar{L} .	$(O1-\bar{L}.)/(O1+\bar{L}.) * 100\%$
6.00	xx	1.71	1.61	1.23	1.48	-.04	- 2.7%
6.15	xx	.65	.45	.50	.57	.04	+ 7.4%
6.30	xx	2.52	2.88	3.00	2.61	-.19	- 6.9%
6.45	xx	.48	.19	.19	.46	.17	+51.5%
7.00	xx	1.57	1.95	1.80	2.02	.25	+13.6%
7.15	xx	2.08	1.43	1.10	1.89	.35	+21.5%
7.30	xx	1.86	.59	.16	.95	.08	+ 9.0%
7.45	xx	.10	.27	.41	.18	-.08	-33.3%

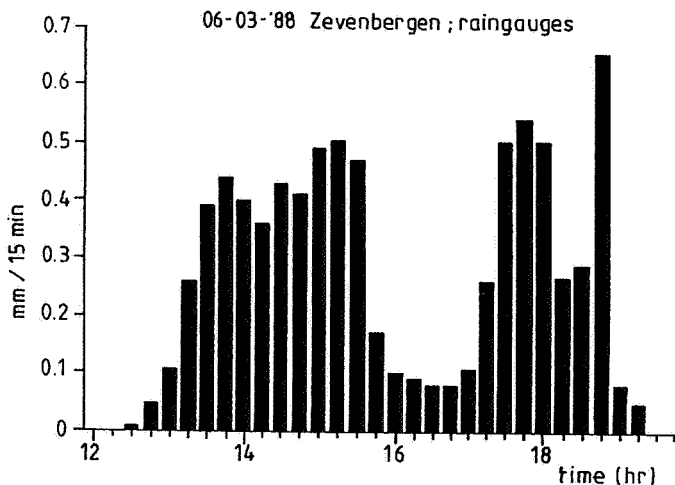
De meteorologische omstandigheden op 20 en 21 augustus waren als volgt: in de loop van de 20e stroomt koele lucht boven Nederland uit.

De lucht is erg onstabiel van opbouw. Er worden onweersbuien gemeld. Vanuit Engeland nadert een trog, die de 21e boven Nederland ligt. Er vormen zich buienlijnen, die zich langzaam verplaatsen. Plaatselijk is de intensiteit van de neerslag groot.

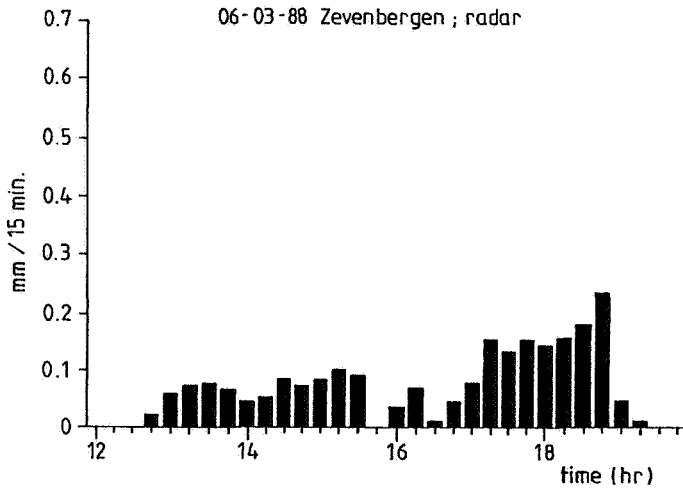
Zoals uit de tabellen 1 en 2 valt af te leiden, zijn de 15 minuten-neerslagvariatiës over een gebied van 2x2 km tijdens min of meer homogene frontale neerslag vrij gering; onder buiige omstandigheden kunnen de variaties groot zijn, zowel in absolute zin (mm) als relatief (%). Bij combinatie van de regenmeter- met de radargegevens dient men hiermee rekening te houden.

b Variatie van neerslag in de tijd

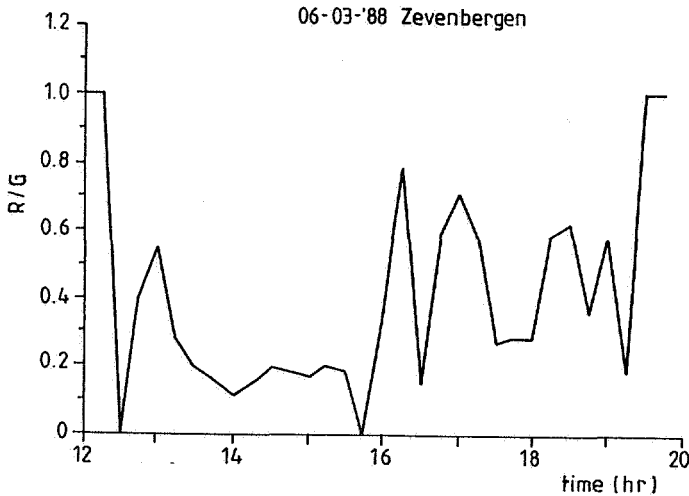
De neerslaghoeveelheden bepaald met regenmeters en de radar in De Bilt zijn vergeleken in een pixel bij Zevenbergen. Deze pixel ligt 61 km verwijderd van de radar in De Bilt. De radarbundel bevindt zich daar op een hoogte van ca. 1500-2000 m.



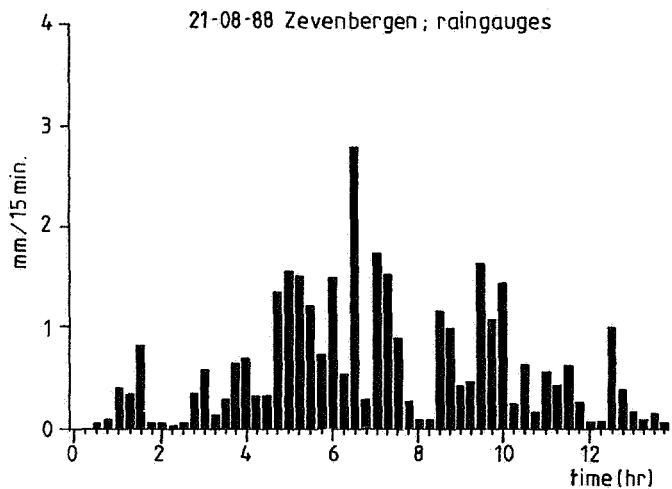
Figuur 1a Neerslaghoeveelheden over 15 minuten op 6 maart 1988, bepaald met 5 regenmeters in één pixel bij Zevenbergen, 61 km van de radar in De Bilt.



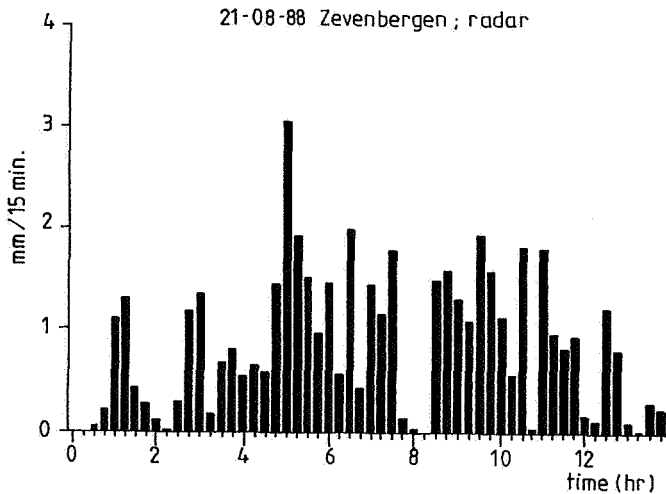
Figuur 1b Neerslaghoeveelheden over 15 minuten op 6 maart 1988 in één pixel bij Zevenbergen, geschat met de radar in De Bilt, 61 km verwijderd van de pixel. De radardata zijn ongecorrigeerd. Er is uitgegaan van $Z=540R^{*2.0}$, omdat de neerslag bij Zevenbergen op een hoogte van 1500-2000 m in de vorm van sneeuw viel.



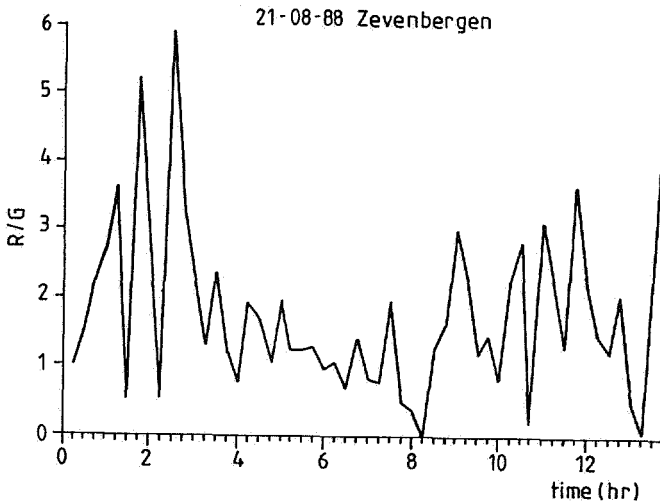
Figuur 1c Verhouding tussen de 15 minuten-neerslaghoeveelheden in één pixel bij Zevenbergen op 6 maart 1988, geschat met ongecorrigeerde radargegevens in De Bilt en bepaald met behulp van 5 regenmeters.



Figuur 2a Neerslaghoeveelheden over 15 minuten op 21 augustus 1988, bepaald met 4 regenmeters in één pixel bij Zevenbergen, 61 km van de radar in De Bilt.



Figuur 2b Neerslaghoeveelheden over 15 minuten op 21 augustus 1988 in een pixel bij Zevenbergen, geschat met de radar in De Bilt, 61 km verwijderd van de radar. De radardata zijn ongecorrigeerd. Er is uitgegaan van $Z=200R^{1.6}$.



Figuur 2c Verhouding tussen de 15 minuten-neerslaghoeveelheden in een pixel bij Zevenbergen, geschat met behulp van ongecorrigeerde gegevens van de radar in De Bilt en bepaald met 4 regenmeters op 21 augustus 1988.

De neerslag op 21 augustus 1988 was erg buiig zoals uit de figuren 2a en 2b valt af te leiden. De verhouding in neerslag bepaald met de radar en regenmeters vertoont een uiterst grillig verloop in de tijd. Sterke fluctuaties in de verhouding tussen neerslaghoeveelheden geschat met behulp van radar en regenmeters treden vooral op in buiige situaties. Fluctuaties kunnen worden veroorzaakt door:

- storende factoren in de radardata, zoals genoemd onder 2b, waarvoor niet, gedeeltelijk of onjuist is gecorrigeerd. Men denke hierbij bijvoorbeeld aan veranderingen in het druppelspectrum en winddrift.
- niet representativiteit van neerslaghoeveelheden bepaald met één enkele regenmeter voor een gebied van 2x2 km.
- onnauwkeurigheden, onjuistheden in de regenmeter-registraties.

De verhouding van de hoeveelheid neerslag bepaald met radar en regenmeters kan worden uitgedrukt in de zogenaamde 'assessmentfactor':

$$\text{ASSESSMENTFACTOR} = \text{RADAR/REGENMETER} \quad (2)$$

Het verloop van de verhouding tussen de radar en regenmeterregistraties (assessmentfactor) met toenemende afstand zal een steeds sterker toenemende waarde van deze verhouding te zien geven bij eenzelfde elevatie van de radarbundel. Dit komt door een incomplete vulling van de radarbundel of omdat de radar niet in staat is neerslag op lagere niveau's waar te nemen, (Collier, 1986a). De relatie tussen afstand en assessmentfactor zal bij verschillende weertypes een ander verloop geven: neerslag uit lage stratiforme wolken geeft een veel grotere afstandsafhankelijkheid van de assessmentfactor dan wanneer de neerslag uit sterk verticaal ontwikkelde convectieve bewolking valt.

Wanneer men kwantitatief nauwkeurige data wil verkrijgen van de neerslagverdeling over een bepaald gebied, is het wenselijk om de gegevens van regenmeters, radar en zo mogelijk van satellieten optimaal te benutten. Het is mogelijk om radardata te vermenigvuldigen met een bepaalde aanpassingsfactor, die afgeleid is uit gegevens van een regenmeternetwerk, (Collier et al., 1983; Collier, 1986a en 1986b; Joss and Waldvogel, 1987; Wilson and Brandes, 1979). Een techniek waarbij rekening wordt gehouden met ruimtelijke correlatiepatronen in de neerslag, is co-kriging, (Creutin, 1988; Krajewski and Georgakakos,

1985; Krajewski, 1987).

$$\text{AANPASSINGSFACTOR} = 1/\text{ASSESSMENTFACTOR} \quad (3)$$

De aanpassingsfactor van elke pixel van de radardata is afhankelijk van de afstand tot de radar en van het neerslagtype. Het neerslagtype is variabel in tijd en ruimte. Een objectieve methode om het neerslagtype te analyseren is wenselijk. Alleen synoptische data zijn hiervoor ontoereikend; bijvoorbeeld in een frontale zone kunnen convectieve cellen ontstaan, die niet tijdig en nauwkeurig als zodanig worden onderkent. Dit kan dan leiden tot gebruik van verkeerde aanpassingsfactoren in de gebieden met deze convectieve neerslag. Een betrekkelijk eenvoudige methode om onderscheid te maken tussen verschillende neerslagtypen wordt beschreven door Collier et al., (1983). Zij passen harmonische analyse toe op reeksen van de assessmentfactor. Wanneer de assessmentfactor vooral over langere tijd varieert (0.5-1 uur), wordt aan de neerslag een frontaal karakter toegeschreven; vindt de variatie vooral plaats over kortere tijd (0.25-0.5 uur), dan is de neerslag buig. De gemiddelde waarde van de assessmentfactor geeft informatie over het al dan niet optreden van 'bright band' situaties.

Shepherd et al., (1988) maken gebruik van correlatie-patronen in neerslag op verschillende locaties. De correlatie-structuren geven (objectieve) informatie over het neerslagtype en tot op zekere hoogte over het optreden van 'bright band' situaties.

Is het neerslagtype vastgesteld, dan kunnen mogelijk ook de parameters a en b van de relatie $Z = aR^b$ worden bijgesteld, hetgeen kan bijdragen aan de nauwkeurigheid van de radargegevens. Niet onder alle omstandigheden zullen de aanpassingsfactoren even nauwkeurige kwantitatieve radargegevens opleveren. Vooral de 'bright band' situaties zijn berucht, (Collier, 1986a en 1986b). Soms zal het zelfs beter zijn alleen van regenmetergegevens gebruik te maken (May, 1986).

- a De nauwkeurigheid van neerslagbepaling met behulp van radar over kleine tijd- en ruimteschaal is afhankelijk van de meteorologische condities.
- b Detectie en indien mogelijk correctie van storende factoren op radardata, zoals uitdoving (attenuation), valse echo's en 'bright band' is absoluut noodzakelijk voor nauwkeurig kwantitatief gebruik van radargegevens.
- c Kwantitatieve analyse van reeds gevallen neerslag over kleine tijd- en ruimteschaal is in principe mogelijk met behulp van gecombineerde regenmeter- en radargegevens. De regenmeters moeten dan wel neerslaghoeveelheden over korte tijdsintervallen kunnen registreren.
- d De tijdsschaal waarop gedetailleerde neerslagvoorspellingen kunnen worden gedaan, is afhankelijk van de levensduur van de neerslagproducerende systemen.
- e Gedetailleerde kwantitatieve neerslagvoorspelling met behulp van gecombineerde regenmeter- en radar-waarnemingen kan alleen over zeer korte termijn plaatsvinden (maximaal 0.5-1 uur vooruit).
- f Op langere tijdsschalen (1-3 uur vooruit) krijgen neerslagvoorspellingen meer een kwalitatief karakter. Koppeling aan satellietgegevens en (mesoschaal-) modellen biedt wellicht perspectieven.

REFERENTIES

- ASCHBACHER, J., 1987. Combination of meteosat- and synoptic data to determine rainfall: a case study. *Met. Atm. Phys.*, 37: 212-218.
- ASSEM, S. VAN DEN, 1988. IJking van regenmeters met een kantelbakjes mechanisme. Onderzoeksverslag nr. 85, Landbouwwuniversiteit Wageningen, 18 p.
- AUSTIN, G.L. and BELLON, A., 1982. "Very short range forecasting of precipitation by the objective extrapolation of radar and satellite data", In: *Nowcasting*, ed. K.A. Browning, Academic Press, London, New York, 256 pp.
- BADER, M.J., BROWNING, K.A., FORBES, G.S., OLLIVAR, V.J. and

- SCHLATTER, T.W., 1988. Towards improved subjective interpolation of satellite and radar imagery in weather forecasting; results of a workshop. Bull. Am. Met. Soc., 69(7):763-769.
- BARRETT, E.C., HERSCHY, R.W. and STEWART, J.B., 1988. Satellite remote sensing requirements for hydrology and water management from the mid 1990's, in relation to the Columbus Programme of the European Space Agency. J. of Hydrological Sciences, 33(1):1-17.
- BATTAN, L.J., 1973. Radar observations of the atmosphere. University of Chicago Press, Chicago and London.
- BELLON, A. and AUSTIN, G.L., 1984. The accuracy of short-term radar rainfall forecasts. J. of Hydrology, 70: 35-49.
- BERNDTSSON, R. and NEINCZYNOWICZ, J., 1988. Spatial and temporal scales in rainfall analysis - some aspects and future perspectives. J. of Hydrology, 100:293-313.
- BROWNING, K.A. et al., 1982. On the forecasting of frontal rain using a weather radar network. Monthly Weather Review, 110:534-552.
- BROWNING, K.A., 1986. Weather radar and FRONTIERS. Weather, 41(1):6-16.
- BROWNING, K.A., 1987. Application of satellite imagery in inwasting and very short range forecasting. Meteorological Magazine, 116(1379):161-179.
- BUISSHAND, T.A. en VELDS, C.A., 1980. Neerslag en verdamping. KNMI.
- CLIFT, G.A., 1985. Use of radar in meteorology. World Meteorological Organization. Technical Note No. 181, WMO No. 625.
- CLUCKIE, I.D. et al., 1987. Some hydrological aspects of weather radar research in the United Kingdom. Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques, 32(3):329-346.
- COLLIER, C.G., LARKE, P.R. and MAY, B.R., 1983. A weather radar correction procedure for real-time situations of surface rainfall. Q. J. Rog. Met. Soc., 109:589-608.
- COLLIER, C.G., 1986. Accuracy of rainfall estimates by radar, part I: calibration by telemetering raingauges. J. of Hydrology, 83(3/4):207-223.
- COLLIER, C.G., 1986. Accuracy of rainfall estimates by radar, part II: comparison with raingauge network. J. of Hydrology, 83(3/4):225-235.
- COLLIER, C.G. and KNOWLES, J.M., 1986. Accuracy of rainfall estimates

- by radar, part III: application for short-term flood forecasting. J. of Hydrology, 83(3/4):237-249.
- COLLINGE, V.K. and KIRBY, C., 1987. Weather radar and flood forecasting. Ed. V.K. Collinge and C. Kirby, 1987. John Wiley and Sons, 296 pp.
- CREUTIN, J.D., DELRIEN, G. and LEBEL, T., 1988. Rain measurements by raingauge-radar combination: a geostatistical approach. J. of Atmospheric and Oceanic Technology, 5:102-115.
- JOSS, J. and WALDVOGEL, A., 1987. Precipitation measurements and hydrology, a review. Bottom Memorial and 40th Anniversary Conference on Radar Meteorology.
- KRAJEWSKI, W.F. and GEORGAKAKOS, K.P., 1985. Synthesis of radar rainfall data. Water Resources Research, 21(5):764-768.
- KRAJEWSKI, W.F., 1987. Co-kriging radar rainfall and raingauge data. J. Geophys. Res., 92(08):9571-9580.
- MAY, B.R., 1986. Discrimination in the use of radar data adjusted by sparse gauge observations for determining surface rainfall. Meteorological Magazine, 115(1365):101-115.
- MENDEL, H.G. und SCHULTZ, G.A., 1987. Satelliten - Fernerkundung: Anwendungsmöglichkeiten in Hydrologie und Wasserwirtschaft. Wasserwirtschaft, 77(1):13-18.
- MULLER, S.N. en LONDON, A. VAN, 1983. Het beoordeelen van regenmeters, met als voorbeelden de Times-regenmeters en de elektrische VIMI-regenmeter. K.N.M.I., WR 83-16.
- PERSSON, O. and LUNDGREN, P., 1986. Reduction of melting level effects on radar rain rate estimates. SMHI PROMIS-REPORTER, no. 5
- ROESLI, H.P., Joss, J. and COLLIER, C.G., 1987. COST-73 and its application in very short range forecasting. Mesoscale analysis and forecasting. Proceedings of an international symposium. Vancouver, Canada, 17-19 August, 1987.
- ROSENFELD, D. and MINTZ, Y., 1988. Evaporation of rain falling from convective clouds as derived from radar measurements. Journal of Applied Meteorology, 27:209-215.
- SCHOLMA, L. en WITTER, J.V., 1984. Verslag onderzoek in relatie tot de dimensionering RWZI "Bath". Waterschapsbelangen, 4:143-149.
- SHEPHERD, G.V. CLUCKIE, I.D., COLLIER, C.G., YU, S. and JAMES, P.K., 1988. The identification of rainfall type from weather radar data.

Meteorological Magazine, 117:180-186.

SMITH, J.A. and KRAJEWSKI, W.F., 1987. Statistical modelling of space-time rainfall using radar and raingauge observations. Water Resources Research, 23(10):1893-1900.

SMITH, C.J., 1986. The reduction of errors caused by bright bands in quantitative rainfall measurements made by using radar. J. of Atmospheric and Oceanic Technology, 3:129-141.

TURTON, J.D. BENNETS, D.A. and FARMER, S.F.G., 1988. An introduction to radio ducting. Meteorological Magazine, 117:245-254.

WARTENA, L., 1987. Waterbeheer, weer en weersverwachting. Waterschapsbelangen, 23:766-771.

WILSON, J.W. and BRANDES, E., 1979. Radar measurements of rainfall - a summary, Bull. Amer. Met. Soc., 60:1048-1058.

H.A.R. de Bruin

1 INLEIDING

Al meer dan 25 jaar cirkelen er weersatellieten om de aarde. Deze zenden met grote regelmaat weerfoto's naar de daartoe bestemde grondstations. In eerste instantie geven weerfoto's informatie over de bewolking. Aangezien neerslag en bewolking nauw met elkaar zijn verbonden ligt het voor de hand om te pogen uit satellietbeelden de neerslagintensiteit af te leiden. Dit blijkt echter geen eenvoudige taak te zijn, allereerst omdat we met satellieten alleen de bovenkant van de aanwezige wolken kunnen zien en omdat er geen eenduidig verband bestaat tussen de optische eigenschap van (de bovenkant) van een wolk en de eventuele neerslag, die daaruit valt.

Hydrologen en waterbeheerders worstelen al jaren met het feit, dat neerslag zeer variabel is naar plaats en tijd. Het meten van neerslag is daarom, ook met de conventionele methode (= met een netwerk van regenmeters) verre van eenvoudig.

Zelfs in de rijke, technisch hoog ontwikkelde landen zijn de dichtheid en kwaliteit van de daar aanwezige regenmeternetwerken vaak onvoldoende om nauwkeurig neerslag te kunnen schatten. Dit geldt zeker voor buien (convectieve neerslag).

Het is daarom beter om de vraag te stellen: "Kunnen we met behulp van satellietbeelden neerslag schatten met een nauwkeurigheid, die vergelijkbaar is met die van een bestaand regenmeternetwerk"?

In dit artikel wordt kort ingegaan op deze vraag. Hiertoe wordt eerst een beknopt overzicht gegeven van de weersatellieten, die op het ogenblik aanwezig zijn en wordt in het kort besproken hoe neerslag ontstaat. Aan de hand daarvan wordt de meest succesvolle methode besproken voor het bepalen van neerslag uit satellietbeelden.

2 OVERZICHT WEERSATELLIETEN

Men kan twee typen weersatellieten onderscheiden, namelijk geostationaire en polaire. De geostationaire weersatellieten staan op ongeveer 36.000 km hoogte boven een vast punt van de evenaar. De V.S., India, Japan en de Europese landen hebben zo'n geostationaire weersatelliet in een baan om de aarde gebracht. De Europese satelliet heet Meteosat en staat boven het snijpunt van de nulmeridiaan en de evenaar. Meteosat maakt opnamen in drie spectrale banden.

Geostationaire satellieten hebben als voordeel de hoge frequentie, waarmee van een bepaald gebied weerfoto's kunnen worden verkregen. Voor Meteosat is dat elk half uur. Zij hebben als nadeel dat ze ver weg staan van de aarde, zodat het ruimtelijk scheidend vermogen relatief klein is. Het kleinste beeldelement (pixel) is bij de evenaar 2.5 km voor het zichtbare kanaal en 5 km voor de twee infrarode kanalen. Op hogere breedten worden de pixels groter omdat de satelliet daar schuin tegen het aardoppervlak aankijkt. Bovendien kunnen de poolstreken niet door geostationaire satellieten worden waargenomen.

De baan van polaire satellieten is, zoals de naam al zegt, over de polen. Dit is niet geheel juist; de baan is zo gekozen dat de satelliet overal op een vast tijdstip overkomt, zodat de zonhoogte bij elke opname hetzelfde is. Een betere benaming voor deze satellieten is dan ook zonsynchrone satellieten.

Hun afstand tot het aardoppervlak is beduidend kleiner dan die van de geostationaire satellieten; ongeveer 800 km.

Hierdoor is het ruimtelijk scheidend vermogen van polaire weersatelliet veel groter. Daar staat tegenover dat de tijdsresolutie in het algemeen lager is. Deze hangt af van de breedtegraad; aan de evenaar is de tijdsresolutie het kleinst, aan de polen het grootst.

De Amerikaanse organisatie NOAA onderhoudt een programma, waarin twee van deze polaire of zonsynchrone weersatellieten operationeel zijn. Zij heten NOAA-N. Op het ogenblik zijn de NOAA-9 en NOAA-10 in de lucht. De NOAA-satellieten maken foto's in 5 spectrale banden. Nederland is ongeveer eenmaal in de 2½ uur op een NOAA-foto te zien, echter niet steeds onder dezelfde hoek. De pixelgrootte van NOAA-beelden is ongeveer 1 km.

In tabel I worden de belangrijkste eigenschappen van de weersatellieten Meteosat en NOAA kort samengevat.

Naam	Type	Spectrale banden (m)	Pixell grootte (km)	aantal beelden per uur	gebied op een beeld (km ²)	afstand tot aardoppervlak (km)
Meteosat	geo-stationair	0.4-1.1 5.7-7.1 10.5-12.5	2.5-5 ¹⁾ (in Ned. 4-8)	2	12000x12000	36000
NOAA	zon-synchroon	0.55-0.68 0.725-1.0 3.55-3.93 10.3-11.3 11.5-12.5	1	0.4 ²⁾	2000x4000	800

Tabel I Overzicht eigenschappen van Meteosat en NOAA

1) Loodrecht onder satelliet

2) Voor Nederland. Hangt af van breedtegraad

De fysica van neerslagvorming

Hoewel de fysische processen, die leiden tot het ontstaan van neerslag alle vallen onder de klassieke natuurkunde zijn zij toch nog niet volledig begrepen. Dit komt omdat bij neerslagvorming tegelijkertijd kleinschalige en grootschalige processen een rol spelen. Dit is een van de belangrijkste redenen dat voor onweer, een verschijnsel, dat nauw verbonden is met neerslag, nog geen bevredigende theorie bestaat (E.R. Williams, 1988).

Neerslag ontstaat uit wolken en voor wolkenvorming zijn verticale luchtstromingen nodig op een grote schaal. Bij buien (convectieve neerslag) is dat enkele kilometers, bij frontale neerslag enkele honderden kilometers.

Wolken bestaan uit kleine waterdruppeltjes en/of ijsdeeltjes. Deze hebben een grote van ongeveer 10 micron (= 0.00001 m). De afmeting van een regendruppel bedraagt ongeveer 1 mm. Er moeten daarom tenminste 1 miljoen wolkendeeltjes bij elkaar worden gebracht voor de vorming van 1 regendruppel.

In de gematigde streken is het Bergeron-proces, genoemd naar de Noorse meteoroloog Bergeron, hiervoor verantwoordelijk. In deze streken ontstaat neerslag in wolken die bestaan uit onderkoelde waterdruppeltjes en ijsdeeltjes. Omdat, bij een zekere temperatuur, de partiële dampdruk van waterdamp boven water groter is dan die boven ijs, zal er een waterdamptransport plaats vinden van een onderkoeld waterdruppeltje naar een naburig ijsdeeltje. Het ijsdeeltje groeit hierdoor ten koste van het waterdruppeltje. De valsnelheid van deeltjes neemt toe bij toenemende diameter.

Dus grote deeltjes vallen sneller dan kleine.

De ijsdeeltjes, die door het hierboven beschreven Bergeron-proces zijn gegroeid ten koste van waterdruppeltjes kunnen daardoor kleinere wolkendeeltjes inhalen en zich na botsing hiermee verenigen. Vindt botsing plaats met een onderkoeld waterdruppeltje, dan bevriest dit onmiddellijk, waardoor een groter ijsdeeltje overblijft. Neerslag in de gematigde streken begint daarom altijd in de vorm van sneeuw. Passeert de sneeuwvlok het niveau waar de temperatuur 0°C is, dan smelt deze en wordt een regendruppel.

In de tropen ontstaat neerslag ook uit wolken die alleen uit waterdruppeltjes bestaan. Door de aanwezigheid van verschillende condensatiekernen kunnen in zo'n wolk druppels met verschillende grootte ontstaan. De grote vallen weer sneller dan de kleinere, halen de kleinere in, verenigen zich met deze, worden nog groter, etc.

In het algemeen zal het zo zijn dat hoe sterker de verticale bewegingen zijn in een wolk des te langer neerslag de gelegenheid heeft zich te vormen en des te groter de neerslagintensiteit is. Door die sterke verticale beweging zal de wolk dan ook hoog worden en hoe hoger een wolk hoe kouder de bovenkant van die wolk zal zijn. Op deze wijze kunnen we een belangrijke methode begrijpen, die is ontwikkeld om uit weersatelliet beelden neerslagintensiteit te schatten: de oppervlakte-

temperatuur van een wolk is een maat voor de verticale uitgestrektheid van een wolk en dus voor de neerslagintensiteit. De methode blijkt het meest geschikt voor convectieve bewolking.

Het zal duidelijk zijn dat deze methode alleen werkt indien de wolk horizontale afmetingen heeft die groter is dan het kleinste beeldelement van de satelliet en indien de wolk, die de neerslag produceert niet van boven wordt afgeschermd door een andere wolk, die niets met de neerslag, die er valt van doen heeft. Helaas zijn in Nederland beide beperkende factoren eerder regel dan uitzondering.

3 OVERZICHT METHODEN

Het zal uit het voorafgaande duidelijk zijn dat alleen langs indirecte weg uit satellietbeelden informatie omtrent de neerslag kan worden afgeleid. Er zijn methoden ontwikkeld voor verschillende doeleinden, zoals:

- a. Het bepalen of het al of niet regent.
- b. Het bepalen van de geaccumuleerde neerslagsom over een bepaalde periode (dag, decade, maand, seizoen of jaar).
- c. Het schatten van hoge neerslagintensiteiten in verband met overstromingsgevaar.
- d. Het opstellen van de klimatologie van de neerslag(verdeling) in een bepaald gebied.
- e. Het verwachten van neerslaghoeveelheiden in de komende n (=1,2,..) uren.

Barrett en Martin (1981) geven een overzicht over de verschillende methoden die voor deze doeleinden zijn ontwikkeld.

Scofield (1984) beschrijft een methode, die door de Amerikaanse organisatie NOAA/NESDIS operationeel wordt toegepast voor het bepalen en voorspellen van hoge neerslagintensiteiten en overstromingen. Bij deze methode wordt voornamelijk gebruik gemaakt van beelden in het infrarood.

Dit geldt ook voor de methoden van Griffith et.al. (1978) en die is ontwikkeld door de universiteit van Reading voor de Sahel-zone. (Zie bijvoorbeeld Chadwick et.al., 1986). Hierbij wordt de tijd vastgesteld, dat een wolkensysteem een temperatuur heeft beneden een bepaalde drempelwaarde. Deze 'cold cloud duration' blijkt goed te correleren

met de neerslaghoeveelheid. Deze methode wordt door de FAO operationeel gebruikt voor Afrika. Deze organisatie heeft pas geleden een eigen Meteosat ontvangststation voor onder andere dit doel in gebruik genomen.

Recent vergelijkend onderzoek heeft aangetoond, dat deze methode, waarbij de oppervlaktetemperatuur van de wolk, afgeleid uit satellietbeelden in het infrarode kanaal, als indicator voor neerslagintensiteit wordt gebruikt, de meest succesvolle is. De methode is echter alleen geschikt voor convectieve neerslagsystemen, die groot zijn ten opzichte van het kleinste beeldelement van de weersatelliet.

Het blijkt dat in een gebied als de Sahel de neerslagschattingen met behulp van satellietbeelden zeker zo nauwkeurig zijn als, die verkregen met het daar ter plaatse aanwezige regenmeternetwerk. Bovendien is de informatie snel en voor grote gebieden beschikbaar.

Omdat in Nederland frontale neerslag overheerst en convectieve neerslag uit betrekkelijk kleine systemen valt, is bij ons de directe toepasbaarheid van satellietbeelden voor neerslagschattingen betrekkelijk klein. Dat wil geenzins zeggen, dat ze totaal onbruikbaar zijn. In combinatie met radarbeelden, kan waardevolle informatie over neerslag worden verkregen. In Engeland is onder voor korte-termijn neerslagverwachtingen, een speciaal systeem, FRONTIERS geheten ontwikkeld, waarbij Meteosatbeelden worden gecombineerd met radarbeelden. De interpretatie van deze gecombineerde beelden vereist echter een specialistische meteorologische kennis.

LITERATUUR

- BARRETT, E.C. AND MARTIN, D.W., 1981: The use of satellite in rainfall monitoring, Academic Press, Londen.
- CHADWICK, A.F., DUGDALE, G. and MILFORD, J.R., 1988: Operational rainfall mapping over the Sahel. Proc. 6th Meteosat User's Meeting. Amsterdam, The Netherlands, ESA, 25-27.
- GRIFFITH, C.G., WOODLEY, W.L., GRUBE, P.G., MARTIN, D.W. AND STOUT, J., 1978: Rain estimation from geosynchronous satellite imagery-visible and infrared studies. Monthly Weather Review, 106, 1153-1171.

SCOFIELD, R.A., 1984: The NESDIS Operational Convective Precipitation Estimation Technique. Tenth Conference on Weather Forecasting and Analysis, June 25-29 Clearwaterbeach, Florida, USA.

WILLIAMS, E.R., 1988: The electrification of thunderstorms. Scientific American, November 1988, Volume 259, 48-66.

L.M. Hafkenscheid

SAMENVATTING

Neerslagverwachtingen kunnen met behulp van radar in het algemeen niet langer dan tot 6 uur vooruit gemaakt worden. Voor kwantitatieve neerslagverwachtingen langer vooruit is men aangewezen op numerieke atmosfermodellen. In deze inleiding wordt ingegaan op de beperkte waarde van de neerslagberekeningen, en op de manier waarop men toch zinvol met deze informatie kan omgaan. Tot slot wordt getoond wat momenteel operationeel beschikbaar is op dat gebied, en welke ontwikkelingen in de nabije toekomst zullen plaatsvinden.

1 NUMERIEKE ATMOSFEERMODELLEN

Met behulp van een stelsel vergelijkingen dat de tijdsontwikkeling van de atmosfeer beschrijft kan de toekomstige toestand van de atmosfeer berekend worden, uitgaande van een gegeven begintoestand. Dit stelsel vergelijkingen is niet analytisch oplosbaar en moet dus numeriek opgelost worden. Daartoe wordt het probleem gediskretiseerd in ruimte (3-dimensionaal rooster) en tijd. Typische getallen zijn een roosterpuntsafstand van 50-100 km horizontaal en 50-100 mbar vertikaal, en een tijdstap van 5-15 minuten. De toestand van de atmosfeer wordt gegeven door de waarden van de windcomponenten, temperatuur en vochtigheid op elk roosterpunt, alsmede de luchtdruk aan de grond. De begintoestand wordt "analyse" genoemd. De analyse op een bepaald tijdstip komt tot stand door de waarnemingen voor dat moment op statistische wijze te verwerken in een eerdere berekening van de toestand van de atmosfeer voor dat moment: het zgn. gisveld. Op deze wijze zit een hele "historie" van waarnemingen verwerkt in de begintoestand. Men kan numerieke atmosfeermodellen indelen naar verwachtingstermijn:

- globale modellen voor de middellange termijn (1-6 dagen); met een roosterpuntsafstand van 100-200 km
 - regionale modellen voor de korte termijn (12-48 uur); 50-100 km
 - mesoschaalmodellen voor de zeer korte termijn (tot 12 uur); 10-50 km.
- Mesoschaalmodellen zijn pas onlangs op een paar plaatsen in operationeel gebruik genomen.

2 FYSISCHE PROCESSEN

De hierboven gegeven beschrijving van de numerieke atmosfeermodellen duidt men wel aan als de "dynamica" van de modellen. Daarnaast spelen een aantal processen een rol die men wel samenvat als de "fysica" van de modellen. Deze processen beschrijven in principe verschijnselen die niet door de resolutie van het model beschreven kunnen worden, en leveren brontermen in het bovengenoemde stelsel van vergelijkingen. De belangrijkste fysische processen zijn: straling, grootschalige condensatie, convectie en bodemprocessen. Al deze processen zijn onderling gekoppeld. De fysische processen zijn erg belangrijk voor een goede verwachting. Ze

beslaan ongeveer 50% van het model, zowel in rekentijd als in programma-code.

3 NEERSLAGBEREKENINGEN

Van rechtstreeks belang voor de neerslagberekeningen zijn de grootschalige condensatie en de convectie. Deze zijn verantwoordelijk voor respectievelijk grootschalige neerslag en convectieve neerslag (buien). Bij grootschalige condensatie wordt vertikaal, laag voor laag, nagegaan of oververzadiging optreedt. Zo ja, dan wordt verondersteld dat het gecondenseerde water (of ijs) geheel of gedeeltelijk als neerslag valt. Temperatuur en vochtigheid worden gecorrigeerd voor condensatiewarmte en onttrokken water. Vervolgens worden nog processen berekend als verdamping van neerslag in onderliggende droge lagen en smelten van sneeuw.

De berekening van convectieve neerslag is iets lastiger, omdat buien veel kleiner zijn dan de roosterpuntsafstand. De berekening komt in principe op het volgende neer. Eerst wordt in de vertikaal nagegaan of de atmosfeer onstabiel is, en tot welke hoogte. Dan wordt een schatting gemaakt van de fractie van het oppervlak van het roosterpuntsvierkant waarop convectie zal optreden. Voor die fractie worden de berekeningen gedaan als bij de grootschalige condensatie. Tenslotte worden de berekende neerslaghoeveelheid en de effecten op de omgevingstemperatuur en -vochtigheid weer genormeerd naar het totale oppervlak. Per roosterpunt wordt zo cumulatief de grootschalige en de convectieve neerslag bijgehouden.

4 FOUTEN IN DE BEREKENINGEN

Men kan drie soorten fouten onderscheiden:

- fouten doordat de dynamische en fysische vergelijkingen niet precies het gedrag van de atmosfeer beschrijven
- fouten ten gevolge van de discretisatie ("afbreekfouten")
- fouten in de analyse door fouten in waarnemingen of door het ontbreken van waarnemingen.

Voor korte termijnverwachtingen (tot ca. 24 uur vooruit) zijn de fouten in de analyse, met name door het ontbreken van waarnemingen boven de oceaan, het belangrijkste.

In de voorspelling zitten dus altijd fouten, maar zelfs als de voorspelling perfect is dan heeft men nog te maken met de onnauwkeurigheid die het gevolg is van het gebruik van een rooster. In figuur 1 zijn de roosterpunten in Nederland te zien van een model met tamelijk kleine roosterpuntsafstand (ca. 60 km). Zo'n rooster is voor veel waterbeheerstoepassingen erg grof. Men moet zich voorstellen dat bij elk roosterpunt een getal staat dat de neerslagsom over een bepaalde periode geeft, gemiddeld voor het roosterpuntsvierkant rondom dat punt. Men kan wel isolijnen of contouren tekenen, maar eigenlijk is dat misleidend. Meer details zijn er niet. Voor neerslaggegevens voor deelgebieden van het roosterpuntsvierkant is men op statistische technieken aangewezen. Bij de zojuist genoemde "intrinsieke" fouten komen dan nog de fouten door de berekeningen. Deze fouten worden groter bij toenemende verwachtingstermijn. In de toekomst zijn nog wel enige verbeteringen te verwachten, maar men moet er van uitgaan dat voor een voorspeltermijn van 12 à 24 uur de fouten in de berekende neerslag niet kleiner zullen zijn dan: een factor 2 voor de gemiddelde neerslaghoeveelheid; 2 uur in de tijden van neerslag (begin en eindtijd), en 100 km in de plaats.

5 GEBRUIK VAN NUMERIEKE NEERSLAGVERWACHTINGEN

Grote of trage beheerseenheden zoals Friesland en De Veenmarken maken ruimte- of tijdsmiddeling mogelijk. Deze beheerseenheden kunnen gebruik maken van de directe neerslagberekeningen. Voor langere verwachtingstermijnen (2-6 dagen) gaan de modelfouten echter een grote rol spelen. Kleine of snelle beheerseenheden zoals afzonderlijke agrarische bedrijven en stedelijk gebied zijn voor de eerste uren aangewezen op radarinformatie e.d.. Daarna kunnen modelverwachtingen gebruikt worden, mits juist geïnterpreteerd. In beide gevallen heeft men te maken met de onzekerheid in de neerslagverwachting. Dat zal altijd zo blijven. Men kan daarom beter gebruik maken van kansverwachtingen en daarmee het beheer op statistische wijze sturen, bijvoorbeeld door de kosten te minimaliseren. Voor waterbeheer, waarbij voortdurende dezelfde soort beslissing

genomen moet worden, lijkt dat heel goed mogelijk. Moeilijker is het voor eenmalige beslissingen bijvoorbeeld in de landbouw: een gewas zal een bepaalde kritieke fase één maal per seizoen doormaken. Het nut van een statistische aanpak is dan pas na jaren zichtbaar.

Op het gebied van presentatie van numerieke neerslagverwachtingen zijn er twee vormen:

- veldpresentatie: hierbij wordt over een bepaalde periode de berekende neerslagverdeling gegeven voor een bepaald gebied
- tijdreekspresentatie: een grafiek of rij getallen die voor een bepaald roosterpunt de neerslagintensiteit als functie van de tijd geeft.

Voor beide vormen zou men de gemiddelde neerslaghoeveelheid kunnen uitbreiden met of vervangen door kansverwachtingen, bijvoorbeeld kans op overschrijden van een bepaalde kritische hoeveelheid per periode. Op dit gebied moet nog wel het nodige onderzoek gebeuren, waarbij samenspraak tussen producent en gebruiker van neerslagverwachtingen nodig is.

6 OPERATIONELE TOESTAND NU EN TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

Momenteel zijn de volgende numerieke neerslagverwachtingen beschikbaar:

Van het ECMWF-model (globaal), nieuwe verwachting 1x per 24 uur:

- berekende neerslaghoeveelheden over periodes van 12 uur, tot 2 dagen vooruit.
- regenkansen voor dagelijks 18-18 uur en 6-10 uur, tot 5 dagen vooruit

Van het UK Met.Office model (regionaal), nieuwe verwachting 1x per 12 uur:

- berekende neerslaghoeveelheden over periodes van 6 uur, 1x per 12 uur: tot 24 uur vooruit.

Op het KNMI wordt het komend jaar gewerkt aan de implementatie van een "automatische produktielijn" die de datastromen van de diverse numerieke modellen moet sturen. Er zal een nieuw regionaal atmosfeermodel in meedraaien dat elke 3 uur verwachtingen geeft tot minstens 24 uur vooruit. De presentatie van neerslaggegevens zal zijn in de vorm van velden en tijdreeksen. Kansverwachtingen moeten nog ontwikkeld worden. Er wordt aan gedacht de gegevens rechtstreeks beschikbaar te stellen aan de ge-

bruiker, zodat die direkt gebruikt kunnen worden in het beslisproces.



Figuur 1 Ligging boven Nederland van de roosterpunten van een regionaal atmosfeermodel. In totaal zijn er ca. 6000 roosterpunten. De onderlinge afstand is ca. 60 km.

J. Riemens

Een belangrijke doelstelling van het Rijnlandse kwantiteitsbeheer is de handhaving van het boezempeil. Dit boezempeil is de waterstand van ca. 4.500 ha boezemwater (plassen, meren, kanalen, sloten enz.) gelegen binnen Rijnlands ca. 100.000 ha grote beheergebied. Dit boezempeil is vastgelegd in een peilbesluit en mag ter plaatse van het in het peilbesluit genoemde waarnemingspunt niet meer dan enige cm's fluctueren. Aan de randen van het gebied zijn de fluctuaties groter door afmaling nabij de boezemgemalen en ten gevolge van op- en afwaaiing.

Het waarnemingspunt voor vastlegging van het boezempeil is gelegen te Oude Wetering, het geografisch midden van Rijnland. De beïnvloeding van de boezemstand gebeurt door de aan- en afvoer van water. De grootste aanvoerposten zijn neerslag, kwel, overtollig water van het Groot Waterschap van Woerden of door Rijnland te Gouda ingelaten water. De grootste afvoerposten zijn verdamping, uitslagwater van de boezemgemalen, inzijging, onttrekkingen door polders en door het Hoogheemraadschap van Delfland.

Voor de afvoer van water beschikt Rijnland over een viertal boezemgemalen met een gezamenlijke capaciteit van 153,4 m³/s. Voor de aanvoer van water beschikt Rijnland over een inlaatmogelijkheid bij en onder het boezemgemaal te Gouda.

Binnen Rijnland zijn een vijftal functionarissen bij toerbeurt belast met het zogenaamde boezembeheer. Dit boezembeheer gaat verder dan louter handhaving van het voorgeschreven peil omdat nadrukkelijk met meer belangen (waterkwaliteit, verziltingsbestrijding enz.) rekening gehouden moet worden. De boezembeheerder neemt dagelijks een beslissing over het bemalings- en inlatingsregiem voor de komende 24 uursperiode. Deze beslissing wordt genomen aan de hand van de voorgeschiedenis (wat is in de voorgaande periode gedaan), de weersvoorspelling en aan de hand van een aantal waarnemingen die alleen voor het boezembeheer worden gedaan. Dit betreft onder andere de waarneming van de boezembestand te Oude Wetering, de hoeveelheid te Oude Wetering gemeten neerslag in de voorgaande uren, de kwaliteit van het boezemwater (aan de hand van een wekelijkse bemonstering op 26 punten in de boezem) en de windrichting en de windsnelheid zoals deze wordt waargenomen op het kantoorgebouw van de technische dienst te Leiden. De waarneming van de boezemstand, de neerslaghoeveelheid en intensiteit en de buitenluchttemperatuur vindt plaats door middel van automatische waarneming te Oude Wetering waarvan de uitkomsten via een vaste telefoonlijn worden doorgezonden naar het kantoor te Leiden, waar vastlegging in een geheugen plaatsvindt en registratie op een recorder. De boezembeheerder kan nu met behulp van een bij hem in bezit zijnde zogenaamde portable computer op ieder moment van de dag beschikken over deze gegevens, die hij via het openbare telefoonnet vanaf iedere plaats in Nederland kan opvragen.

Uit het voorgaande moge blijken dat de neerslagwaarneming van groot belang is voor de boezembeheerder. Immers het grootste deel van de aanvoer op de boezem is een gevolg van of heeft rechtstreeks te maken met het vallen van of het uitblijven van neerslag. Het Rijnlandse beheersgebied bestaat voor 70% uit polders die hun overtollige water uitslaan op de boezem. Dit overtollige water bestaat voor het overgrote deel uit neerslag. Als vuistregel kan gebruikt worden dat 1 mm neerslag, bij een relatief hoge boezemstand, een belasting van de boezem met 1 miljoen m³ water tot gevolg heeft. Deze hoeveelheid komt voor een groot deel vertraagd op de boezem tot afstroming. Uit analyses van grote waterbezwaren is bekend dat binnen Rijnlands gebied bij een extreem waterbezwaar er maximaal 16 mm water per etmaal op de boezem

tot afstroming komt terwijl de boezembemalingscapaciteit ca. 13,25 mm per etmaal bedraagt. Het meerdere moet geborgen worden op de boezem. Te laat inzetten van de bemaling zal een overschrijding van het boezempeil tot gevolg hebben en een voortijdige of te zware inzet van de bemaling een te lage boezemstand. Bedacht moet worden dat bij een neerslaghoeveelheid van 30 mm de boezemstand zonder belasting door afstroming al 3 cm stijgt.

Voor de boezembeheerder is een goede voorspelling van de neerslag dus van uitermate groot belang. Sedert enige tijd beschikt hij daarvoor buiten het weerbericht volgens 003 en het uitgebreide weerbericht in het TV-journaal van 20.00 uur 's-avonds, ook over het regionaal (landbouw)weerbericht. Dit weerbericht geeft in de periode van 1 maart tot 1 november bij de neerslagverwachting een indicatie over de kans op neerslag en de te verwachten hoeveelheden. Omdat dit verwachtingen zijn die vaak meerdere uren van tevoren zijn opgemaakt, is de werkelijkheid geregeld anders dan voorspeld; dit is een feit dat de boezembeheerder zich moet blijven realiseren. Daarnaast is het te betreuren, dat in de periode tussen 1 november en 1 maart, als waterbeheerders de grootste behoefte hebben aan de voorspelling van neerslagkansen en neerslaghoeveelheden, het regionaal weerbericht die niet geeft. In de Rijnlandse situatie werd voor voorspelling van neerslaghoeveelheden ook gebruik gemaakt van de mogelijkheid tot het stellen van de weerkamer van het KNMI te Schiphol en te De Bilt. Deze kunnen vaak al dan niet met behulp van buienradar een korte termijn voorspelling doen van de neerslagkansen en de neerslaghoeveelheid. Sedert mei 1988 wordt deze informatie niet meer gratis verstrekt. Voor het verkrijgen van incidentele informatie inzake de voorspelling van neerslagkansen en neerslaghoeveelheden is nu een contract afgesloten met het KNMI. De boezembeheerder kan rechtstreeks bij de dienstdoende meteoroloog van het KNMI in De Bilt informatie inwinnen. Voor een boezembeheerder kan de "voorspelling" van de neerslag met behulp van een buienradar een hulpmiddel zijn (maar ook niet meer dan dat) om te komen tot een juiste beslissing over het bemalingsregiem voor de komende uren. Daarnaast kan een dagelijks inzicht in de op de verschillende in het beheersgebied gelegen KNMI-neerslagstations gemeten hoeveelheden voor de boezembeheerder een

belangrijk hulpmiddel zijn. Er ontstaat dan inzicht in de spreiding van de neerslag over het beheersgebied.

Uit deze notitie mag blijken dat het voor de waterbeheerders zinvol kan zijn om te beschikken over de uitkomsten c.q. voorspellingen van neerslaghoeveelheden met behulp van buienradar, maar dat voor hen de werkelijk gevallen hoeveelheden belangrijker zijn. Het verdient aanbeveling om een voor waterbeheerders toegankelijke voorspelling met behulp van buienradar te koppelen aan een systeem waarin van een groter aantal KNMI-neerslagstations de werkelijk waargenomen neerslaghoeveelheden direct opvraagbaar zijn. Voor de boezembeheerder is het van grote waarde indien het regionaal weerbericht ook in de wintermaanden de regenkans en hoeveelheid blijft voorspellen. Dit is wellicht goedkoper en zinvoller dan uitbreiding van het buienradar meetnet. Dat laatste is wellicht een mogelijkheid die in het onderzoek kan worden meegenomen.

GEBRUIK VAN WEERRADARGEGEVENS TEN BEHOEVE VAN DE BEMALING VAN EEN VERSTEDELIJKT GEBIED

L.J. Pieterse

SAMENVATTING

Bij de reconstructiewerken aan het Rotterdams bemalingssysteem is in de gemalen een regelbare capaciteit geïnstalleerd.

Bovendien is het verantwoord gebleken, het systeem van een centrale besturing te voorzien teneinde de beschikbare berging zo optimaal mogelijk te benutten.

Daarmee is een regeling op afstand van de capaciteiten van de gemalen mogelijk geworden. Daardoor kunnen overstortingen op het oppervlaktewater onder bepaalde omstandigheden worden vermeden. Door de regelmogelijkheid:

1. kan zoveel als mogelijk de statische berging bij de aanvang van een regen ter beschikking staan en
2. kunnen volumestromen uit meer door regen belaste districten voorrang krijgen boven die uit andere.

Deze mogelijkheden maken het wenselijk, neerslaggebeurtenissen te kunnen voorspellen.

Daartoe is door het KNMI en Gemeentewerken Rotterdam een project opgezet, dat ten doel heeft na te gaan, of weerradargegevens bruikbaar zijn, zowel bij de waterbeheersing in het algemeen als bij de bemaling van een afvalwatersysteem in een groot stedelijk gebied.

Bovendien zal van de door het KNMI verstrekte neveninformatie de kwaliteit en de bruikbaarheid worden onderzocht.

De bruikbaarheid zal voornamelijk tot uitdrukking komen in de mogelijkheid om de voorspellingen te vertalen in gestructureerde en gedefiniëerde handelingen. Deze kunnen in instructies worden vastgelegd, maar ook worden geautomatiseerd.

Ook zal het nodig zijn, te kunnen voorspellen, welke effecten bepaalde handelingen zullen kunnen hebben. Dat geldt voor handelingen, die niet gedefiniëerd zijn. Daarvoor zal inzicht moeten bestaan in het functioneren van het systeem en dat zal vertaald moeten worden in een zo betrouwbaar mogelijk model. In bepaalde gevallen kunnen voorspelling goede omstandigheden aankondigen voor deze systeemanalyse.

Over de aanpak van de analyses en evaluaties worden gedachten aangedragen.

1

INLEIDING

Reeds geruime tijd werd door Gemeentewerken Rotterdam gespeeld met de gedachte, om met behulp van de prognose van neerslaggebeurtenissen het bemalingsproces van het (gemengde) afvalwatersysteem en het oppervlaktewatersysteem te perfectioneren.

Dit werd nog in de hand gewerkt door de mogelijkheden, die de reconstructie van het bemalingssysteem bood. Daardoor was niet alleen een geavanceerd centraal besturingssysteem ingericht, er werden ook regelmogelijkheden in de pompinstallaties gebouwd.

Een en ander leidde tot overleg met het KNMI te De Bilt over een te starten onderzoek naar de toepasbaarheid van weerradarwaarnemingen.

Het project is beschreven en inmiddels gestart. Van de zijde van het KNMI is er vooral belangstelling voor de bruikbaarheid en de vorm van de aan te bieden informatie. De Gemeente is uiteraard geïnteresseerd in de mogelijkheden om de informatie te vertalen in operationele handelingen en in de mogelijkheden tot automatisering daarvan.

Deze operationele handelingen betreffen vooral de zorg om tijdig de beschikbare berging paraat te hebben en de wens om de beschikbare overcapaciteit tussen de riooldistricten naar behoefte uit te wisselen.

Het volgende gaat in op de aanwezige situatie en de mogelijkheden van het systeem. Vervolgens wordt de projectopzet beschreven waarbij vooral

ook de gedachten van Gemeentewerken Rotterdam over de wenselijke aandachtspunten van het project worden aangegeven.

Ten behoeve van een discussie zijn tenslotte een zevental stellingen geformuleerd. Dat houdt niet in, dat dat de enige discussiepunten zijn, die deze bijdrage opwerpt.

Het is echter nuttig, bij wat volgt nog een kanttekening te plaatsen. De automatisering van meet- en regelsystemen is thans in een stadium, waarin veel mogelijk is. De ontwerpprincipes hebben daarmee geen gelijke tred gehouden. Integendeel, de bij bemalingsberekeningen gehanteerde modellen kennen veel, algemeen erkende, onjuistheden en onbetrouwbaarheden.

Wil echter de cybernetica verder doordringen in het hier bestreken toepassingsgebied, dan is er behoefte aan betrouwbare modellen. Zolang deze niet bestaan, zullen de meet- en regelketens onderbroken moeten blijven door menselijk oordelen en ingrijpen.

Dit realiserend zal het nodig zijn de toepassing van mogelijkheden af te stemmen op dat ingrijpen. In het volgende wordt daarom regelmatig de operator ten tonele gevoerd als bepalende factor voor de toelaatbare complexiteit van informatie en handelingen. Maar ook het tempo van invoering en de omvang van verdere perfectioneringen in het meet- en regelsysteem wordt door de operator bepaald.

2 SITUATIESCHETS

Tussen 1980 en 1988 is het Rotterdams bemalingsstelsel gereconstrueerd. De bestaande bemaling kende twee fasen: kleine afvoercapaciteit bij droog weer en grote overcapaciteiten (tot 1.9 mm/uur) bij regen. Het oppervlaktewatersysteem en het afvalwatersysteem waren met elkaar verweven. Het aldus gemengde afvalwater werd onbehandeld op de rivier geloosd.

Ten behoeve van de sanering van deze onbehandelde lozingen werden de twee systemen ontkoppeld en werden zuiveringsinstallaties gesticht met een hydraulische overcapaciteit van 40 liter per inwoner per uur.

Deze afvoermogelijkheid, vertaald in gemiddeld 0,7 mm per uur per hectare verhard oppervlak zou, bij de toen beschikbare gemiddeld 7 mm

berging, geleid hebben tot gemiddeld ongeveer 7 tot 12 overstortingen per jaar. Dit werd onaanvaardbaar geacht. Tengevolge van de grote overcapaciteiten was de overstortfrequentie vòòr de sanering tussen de 2 en 5 maal per jaar gemiddeld.

Besloten werd, na gesprekken met een adviseur (DHV) en het RIZA om de ligging van Rotterdam aan groot afvoerend water te benutten en het binnenwater te sparen, door installatie van een zogenaamde bemalen overstort. De theorie daarvoor was door Ir Louwe Kooymans ontwikkeld. De overstortbemalingscapaciteit zou een deel van het overstortend water naar de rivier kunnen malen. Daardoor werd de frequentie (en de hoeveelheid) van het overstortend water op de stadswateren beperkt tot 3 à 4 maal per jaar gemiddeld. Dit strookte met het zogenaamde "stand-still" beginsel.

De overstortbemaling zou aanvankelijk gemiddeld 20 maal per jaar mogen inslaan; deze frequentie moest in de loop der tijd teruggebracht worden tot gemiddeld 10 maal per jaar. Daarbij was ingecalculeerd, dat bij rioolrenovaties enige bergingscapaciteit werd aangevuld door diametervergroting.

Opmerking: Deze overstortbemalingscapaciteit garandeerde Rotterdam tevens, dat bij (nog beheersbare) calamiteiten ten alle tijde een forse bemalingscapaciteit beschikbaar was voor het drooghouden van de stad.

Overigens was dat niet het enige probleem. Weliswaar bedroeg in de 30 onafhankelijke bemalingsdistricten van de stad nadat enkele rioolvernieuwingsprogramma's waren afgestemd op bergingsvergroting de gemiddelde bergingscapaciteit 9 mm, voor de individuele districten was de variatie van 6.1 mm tot 12.4 mm.

Investerings in berging zijn kostbaar. Teneinde het minimum op te trekken tot bijvoorbeeld 7 mm was een additionele berging nodig van circa 9.500 kubieke meter. Het te investeren bedrag daarvoor lag tussen tenminste 15 miljoen en ten hoogste 40 miljoen, afhankelijk van de te kiezen oplossing. (Bassins kostten circa f 1.600,--, rioolverzwaringen circa f 4.200,-- per kubieke meter).

De diameterverzwaringen bij rioolvernieuwing zijn goedkoper. Echter bij het tengevolge van de recessie teruggelopen tempo van de rioolvernieuwing is het resultaat daarvan thans niet meer zo indrukwekkend.

Het loonde de moeite andere oplossingen te zoeken.

Er bestonden twee mogelijkheden voor een oplossing:

- de te verwachten instroming in het riool bij regen zou tenminste geringer zijn door de verliezen tussen neerslag en inloop (de afvloeiingscoëfficiënt) zou in bepaalde gevallen dus kleiner zijn dan 1) en
- de neerslag zou niet overal even gelijkmatig en gelijktijdig vallen.

De afvloeiingscoëfficiënt

Over de afvloeiingscoëfficiënt ontstond een discussie. Niet zozeer over de geldigheid van de bewering, maar eerder over de aan te houden waarde, lager dan 1. Die discussie is nog steeds gaande. Voor Rotterdam is het stelsel beoordeeld met een "extra-berging" van 1 mm (berging-opstraat), maar naar de opvattingen van de gemeente moet er meer inzitten.

Opmerking: Het zogenaamde NWRW thema 5/STORA 38b onderzoek wees overigens uit dat afvloeiingscoëfficiënten groter dan 1 ook voorkomen, vermoedelijk indien onverhard oppervlak als verhard gaat afvoeren, door bevrozing, verzadiging of door helling.

Het plaats- en tijdeffect was niet eenvoudig te beschrijven in een prognosemodel. Een globale inventarisatie in het verzorgingsgebied van circa 12 bij 16 kilometer liet de behoedzame conclusie toe, dat wellicht 50% van de buien boven de 16 mm in de periode 1979 - 1984 een significante plaatselijke afwijking van 10% of meer vertoonde in de neerslagsom. Meer duidelijkheid was niet te krijgen hierover. Een inventarisatie van diezelfde regens wees uit, dat 77% van de pompinstallaties binnen een uur na de eerste inslag was ingeslagen en 92% binnen twee uur daarna.

Toch, ondanks deze vrij beperkte gegevens, werd besloten, dat de gegevens voldoende aanknopingspunten boden, om het stelsel zo in te richten, dat manipulatie met volumestromen mogelijk zou zijn. Daarbij telde mee, dat in nagenoeg alle gemalen de elektrische schakelinstallaties vernieuwd of tenminste ingrijpend gewijzigd moesten worden. Daarvoor werd al snel besloten tot toepassing van logische schakelingen in plaats van de klassieke zwakstroomrelais. De schakelingen waren op afstand te wijzigen.

Ook bleek het mogelijk, van de bestaande kortsluitankermotoren - eventueel na revisie - het toerental regelbaar te maken, door middel van een doorschakelbare frequentie-omvormer. Daardoor werd de relatief kostbare frequentieomvormer toepasbaar op meer dan een motor. Tegen redelijke kosten konden daardoor de gemalen worden voorzien van een regelbaar verzet.

Opmerking: In de kosten bleek overigens, dat de toerenregeling nog enkele sympathieke bijkomende voordelen opleverde. Onder andere een betere beheersing van de waterslagverschijnselen.

3 MOGELIJKHEDEN

Voor het manipuleren van volumestromen is tenminste vereist:

- 1 dat het verzet van de gemalen regelbaar is binnen een redelijke bandbreedte van de berekende overcapaciteit;
- 2 dat er een centraal overzicht is van de relevante gebeurtenissen in het stelsel en
- 3 dat vanuit dat centrale punt een snel ingrijpen mogelijk is.

Aan de eerste voorwaarde is op de eerder aangegeven wijze voldaan. De gemalen zijn alle uitgerust met installaties, waarvan de overcapaciteit (en in verzamelgemalen ook de droogweerafvoercapaciteit) regelbaar is. Water kan worden teruggehouden of extra water kan worden afgevoerd. In het traject van de overcapaciteit is dat ongeveer 15 à 20% van de berekende waarde extra.

Er is een centraal punt, waar de gegevens van de gemalen "realtime" binnenkomen. Een procescomputer zorgt voor de (tijdelijke) opslag en reproductie van de gegevens ten behoeve van de besturing.

Opmerking: De gegevens ten behoeve van analyses op langere termijn worden getransporteerd naar, opgeslagen in en gereproduceerd (in al dan niet bewerkte vorm) door een centrale main-frame computer.

Verder functioneert elk gemaal in normale omstandigheden decentraal volgens een voorgeschreven regime, vastgelegd in een programmeerbare schakeleenheid.

Centraal ingrijpen kan op twee manieren:

- door het "op afstand" wijzigen van de set-points in de programmatuur van de schakeling in het gemaal. ("Inslagpeil pomp", "Uitslagpeil pomp" en "Maximale afvoer van gemaal").

De oorspronkelijke schakelprogramma's worden dan opgeslagen en kunnen na de ingreep met hun standaard setpoints weer teruggeplaatst worden;

- door het geheel overnemen van de besturing door middel van afstand-commando's. ("Pomp in", "Pomp uit", "Afsluiter open" of "Afsluiter dicht").

De operator grijpt in dat geval "langs" de programmeerbare schakeling van het gemaal in. Na deze ingreep kan de schakeling van het gemaal weer in het circuit opgenomen worden.

De eerste manier houdt de "span of control" van de operator beperkt. Dat zal in kritische situaties met 30 hoofdrioolgemalen onder controle (dus nog afgezien van de circa 50 oppervlaktewatergemalen en ondergemalen met een beperkter bewaking en van nog circa 200 kleine gemalen die op storingen worden bewaakt) zeker wenselijk zijn.

Deze beperking van de "span of control" voor de operator is bij de ontwikkeling van het systeem als uitgangspunt gehanteerd. Het geldt evenzeer voor verdere ontwikkelingen.

4

PROBLEEMBESCHRIJVING

Bij een centraal real-time besturingssysteem als het bovenomschrevene is het mogelijk volumestromen tussen districten uit te wisselen. Indien de doelstelling van dit manipuleren met volumestromen wordt omschreven als:

Het voorkomen van overstortingen op oppervlaktewater in het algemeen en op de binnenwateren in het bijzonder, een en ander onder voorbehoud van een maximaal toelaatbare afvoer naar de installaties.

Dan is het manipuleren nader te specificeren tot de volgende (series van) handelingen:

- 1 Het tijdig ter beschikking hebben van (bij voorkeur) de volledige statische berging.
- 2 Een voorrangregime in de afvoer van afvalwater uit districten met de grootste momentane neerslagintensiteit (voorondersteld dat sprake is van significante tijd- en plaatsverschillen).

Opmerking: Alhoewel het niet in het kader van deze probleemstelling valt, maar wel de context van de doelstelling raakt, zij hier opgemerkt, dat een derde serie handelingen van belang is, namelijk:

3 Het tijdig omschakelen van normale, gedefinieerde bedrijfsvoering op een alternatieve, ook zoveel mogelijk gedefinieerde, bedrijfsvoering in geval van storingen. Daarvoor zijn voorlopig drie alternatieve bedrijfsvoeringen gedefinieerd:

- de keuze voor een andere pompinstallatie in het gemeal, indien de storing tot het gemeal zelf beperkt kan blijven zonder de prestatie ervan te schaden;
- de keuze voor een alternatieve route, bij storing in de afvoermogelijkheid naar de installatie (een externe oorzaak dus ten opzichte van het systeem);
- de keuze voor een alternatieve route in het systeem bij een defect aan een systeemonderdeel (gemeal of persleiding). In 80% van de districten is een "vluchtweg" aanwezig ter grootte van 1 à 1.5 maal de droogweerafvoer.

Bij de handelingen sub 1 en 2 (en in zekere mate ook sub 3) is het effect van de handelingen sterk afhankelijk van een tijdige centrale ingreep. Een mogelijke "extra-afvoer" van 15 tot 20% van de berekende overcapaciteit heeft alleen zin, indien er voldoende lang gebruik van kan worden gemaakt.

In dat geval wordt het wenselijk om een prognose te kunnen maken van wat aan neerslag te verwachten is, om de effectieve tijd van een handeling te verlengen.

Opmerking: Naast het beheer over de riolering voert Rotterdam het beheer over het oppervlaktewater voor zover dat in ontpolderde gebieden ligt. Ook daar zijn gemalen centraal te beïnvloeden, zodat ook daar een goed beheer gebaat zou zijn met een redelijk betrouwbare verwachting van de neerslag. Hierop in te gaan valt buiten dit bestek, maar het zal zeker onderwerp van onze aandacht zijn in de toekomst. In relatie tot het rioolstelsel kan men bijvoorbeeld het oppervlaktewater voorafgaande aan een te verwachten overstorting reeds in beweging brengen, waardoor de overstorting in bewegend water plaats vindt en minder kans bestaat op "propvorming".

Reeds omstreeks 1979, de tijd waarin voor Rotterdam het basisplan voor de reconstructie werd ontwikkeld (het zogenaamde Structuurplan Waterhuishouding), werden intern en met diverse instanties plannen ontwikkeld om tot een toepasbare neerslagvoorspelling te geraken.

Vooralsnog gingen de gedachten uit naar een daartoe ontwikkeld regenmeternet. Dit leverde problemen op. Een net dat voldeed aan de gewenste omvang en dichtheid was kostbaar in aanleg en onderhoud. Nog meer problemen leverde de plaatsing op, zeker in het stedelijk gebied. Bovendien was "on line" signalering vereist, daarvoor was een kostbare bekabeling nodig door de meestal afgelegen ligging.

Toen bleek, dat de weerradar zich ontwikkelde tot een methode om neerslag te voorspellen en dat een centraal besturingssysteem realiseerbaar zou zijn werd de gedachte aan een net van regenmeters gaandeweg verlaten.

Met het KNMI, dat doende was (en nog steeds is) radarwaarnemingen te digitaliseren en de interpretatie te perfectioneren, zijn omstreeks 1986 vruchtbare contacten gelegd, die geleid hebben tot een project dat dit jaar van start zal gaan en een periode van 12 maanden zal duren.

Met het project willen beide instanties de volgende aspecten nagaan:

- a de bruikbaarheid van weerradargegevens bij de waterhuishouding in het algemeen en de rioolwaterbeheersing in de Gemeente Rotterdam in het bijzonder;
- b de kwaliteit en bruikbaarheid van de op operationele basis door het KNMI verstrekte neveninformatie (bij de gedigitaliseerde weerradarbeelden).

5 OPZET VAN HET PROJECT

Het project is gecentraliseerd rond de weergave van weerradarbeelden van het gebied rondom Rotterdam, die elke 15 minuten worden aangevoerd. De radarbeelden zullen aangegeven worden in zogenaamde pixels van 2 x 2 vierkante kilometer en de intensiteit van de in een gebied met een straal van 100 km rond Rotterdam waargenomen neerslag aangegeven in drie klassen:

- een klasse van minder dan 3 mm per uur;
- een klasse van 3 tot 10 mm per uur en
- een klasse van meer dan 10 mm per uur.

Voor de eerste periode van een halfjaar zullen deze radarbeelden ondersteund worden met informatiebulletins. Deze zullen een beschrijving geven van de bijzondere omstandigheden, die de interpretatie van de radarbeelden beïnvloeden. De operators hebben een introductiecursus gevolgd.

In de tweede periode zal bovendien aan de informatie door het KNMI een voorspelling worden toegevoegd, waarin aangegeven:

- de kans op neerslag in het gebied in de eerstkomende 12 uur;
- de verwachte trekrichting en treksnelheid van neerslagsystemen in dat tijdvak;
- de verwachte neerslaghoeveelheid en -duur voor dat tijdvak.

Uiteraard zal het mogelijk zijn, wederzijds informatie uit te wisselen op algemeen gebruikelijke manieren.

Deze werkwijze sluit aan op een algemeen gehanteerde regel bij de inrichting van het meet- en regelprincipe van deze centrale besturing, namelijk de overzichtelijkheid en hanteerbaarheid van de informatie door deze in het eerste niveau te beperken en op verdere niveaus verder te detailleren. De weerradar kan, evenals de "on-line" signalering een groter scala van klassen en informatie aangeven. Echter, voor de operator, die op basis van deze gegevens zijn handelingen moet bepalen, is het van belang, dat de eerstaangeboden informatie zo efficiënt en effectief mogelijk is. Dat wordt voor een groot deel bepaald, door de hoeveelheid aangeboden en te interpreteren informatie.

Het eerste niveau van informatie moet derhalve een waarschuwingfunctie hebben. Daarop moeten gestructureerde, gespecificeerde handelingen kunnen aansluiten. Het tweede niveau graaft dieper en geeft nadere bijzonderheden aan. Deze biedt de mogelijkheid om nader te onderzoeken welke handelingen gedaan moeten worden wanneer niet van een gestructureerde, gedefinieerde handeling sprake kan zijn.

De bestudering van de inrichting van deze informatieniveaus behoort zeker ook tot het onderzoek en vormt met name dat deel, waarin onze partner zeer is geïnteresseerd. Halverwege het project zal een eva-

luatie plaatsvinden en zo nodig een heroverweging van de ter beschikking van de gebruiker Rotterdam te stellen informatie.

De klassen zijn gekozen op de volgende overwegingen:

De klasse kleiner dan 3 mm/uur

Neerslagsystemen die over het hele gebied intensiteiten zullen veroorzaken van minder dan drie millimeter zijn niet interessant. Het systeem moet deze buien "vanuit de leunstoel" kunnen verwerken. Hooguit bij storingen kan er aanleiding zijn tot maatregelen.

De klasse van 3 tot 10 mm/uur

Deze klasse, over het hele gebied verspreid verondersteld, blijft theoretisch binnen de mogelijkheden van het stelsel, zonder een overstorting te veroorzaken. In deze klasse is echter het effect van de voorafgaande droogweperperiode van invloed. De ledigingstijd van het stelsel ligt, afhankelijk van het district, tussen de 15 en 20 uur, gebaseerd op de berekende overcapaciteit. De voorafgaande regen kan leiden tot een specifiek op de situatie afgestemde variatie van het ledigingsprogramma, teneinde tijdig de statische berging beschikbaar te hebben.

De klasse groter dan 10 mm/uur

Regenbuien, die, over het hele gebied verspreid, een intensiteit zullen veroorzaken van meer dan 10 millimeter per uur zijn vanuit een ander oogpunt interessant. Want bij deze intensiteitsklasse, een berging van gemiddeld 9 mm en een overcapaciteit van gemiddeld 0,7 mm per uur is het systeem theoretisch als volbelast te beschouwen. Tenzij significante verliezen optreden, wat bij het gebruikte model volgens de verwachtingen het geval zal zijn.

Bij die intensiteit zal ernaar gestreefd worden de berging vooraf leeg te malen en zal de bemaling tijdens de bui volgens het berekeningsmodel worden uitgevoerd. Het bemalingsregime is afgestemd op de beschikbare berging per district en de berekende overcapaciteit. Het is ingesteld in de lokale programmeerbare schakelingen in de gemalen.

Volgens de berekeningen is in dat geval een (bemalen) overstorting te verwachten. De beschikbare capaciteiten zijn dan volledig ontwikkeld.

Of er een overstorting plaats vindt is afhankelijk van de duur van de bui, de intensiteit en het neerslagverlies.

De gegevens uit deze tranche kunnen achteraf geanalyseerd worden teneinde modelparameters (of wellicht het hele model) aan te kunnen passen aan de werkelijkheid. Ook de schakelprogrammatuur in de gemalen kan zo worden verbeterd. Dat kan niet lichtvaardig gebeuren, elke wijziging beïnvloedt de waarnemingsreeksen over langere perioden.

Overige patronen

Hieronder vallen de neerslagsystemen, waarin de aangegeven intensiteitsklassen door elkaar voorkomen over het gebied van de stad.

Een dergelijk regenpatroon kan diverse vormen hebben:

- een "bandvorm" met verschillende intensiteiten binnen de aangegeven klassen, die het gebied zullen passeren onder een bepaalde hoek met de trekrichting en waarvan de langste afmeting het gehele gebied bestrijkt (en uiteraard de kortste afmeting niet);
- een "eilandvorm" waarbij plaatselijk intensiteitsverschillen voorkomen waarvan de grootste afmeting kleiner is dan de gebiedsgrootte.

Van dergelijke patronen is het de vraag of gedefinieerd handelen mogelijk is of dat gehandeld moet worden naar bevind van zaken. Oogmerk van het onderzoek zal zijn, zoveel mogelijk van deze patronen te koppelen aan een gedefinieerd handelen. Dit handelen is dan gebaseerd op de aangegeven mogelijkheden:

- het ter beschikking hebben van de statische berging;
- het terughouden van afvoer bij overcapaciteit uit gebieden die door geringe neerslag getroffen zullen worden en het extra afvoeren uit gebieden waar meer neerslag verwacht wordt.

Voor de realisering van de geformuleerde doelstelling is dit waarschijnlijk de interessantste verzameling van verschijnselen. Waarschijnlijk is het ook de meest voorkomende.

Het project zal mede ten doel hebben, na te gaan of de intensiteitsklassen goed gekozen zijn.

Tijd- en plaatsgebonden effecten

Tot deze effecten behoren de ontwikkelingen, die een neerslagpatroon in de tijd ondergaat. Tijdens de presentatie op het recent symposium Riolering en Waterkwaliteit van de ervaringen met het HADES-systeem in het Seine/Saint Denis-gebied viel vooral op, welke snelle wijzigingen een regenpatroon kan ondergaan, zeker indien grote intensiteiten aan de orde zijn.

Opmerking: In geval van grote intensiteiten zal overwogen worden, in hoeverre de tijdige bijschakeling van de overstort-bemaling water-op-straat kan voorkomen. Deze optie kan deel uitmaken van de evaluatie.

Verder zijn in de regio rond Rotterdam een paar merkwaardigheden in kwalitatieve zin geconstateerd. Zo is bij de analyse van de regens met een som groter dan 16 mm gebleken, dat de rivier bij neerslaggebeurtenissen een meer dan symbolische barrière vormt voor de neerslag en blijken de neerslaggegevens van het station op Vliegveld Zestienhoven vaak lager te zijn dan die uit andere stations in het gebied, wat kan duiden op andere neerslagcondities.

6

DISCUSSIE

- 1 Ten behoeve van een passende reactie op prognoses van neerslag door waarnemingen van weerradar dient rekening gehouden te worden met de "span of control" van de operator. Dat vereist:
 - een efficiënte structurering van de aangeboden informatie, zowel de radarbeelden als de ondersteunende informatie;
 - een zo ver mogelijk gaande structurering en definiering van de handelingen die op de aangeboden informatie moeten volgen;
 - zo mogelijk, automatisering van die handelingen.
- 2 Een gelijkmatig over de stad verdeeld neerslagpatroon met een intensiteitsklasse van minder dan 3 mm/uur is niet interessant.
- 3 Een gelijkmatig over de stad verdeeld neerslagpatroon met een intensiteitsklasse tussen de 3 en 10 mm/uur moet zonder overstorting door middel van de in de gemalen ingestelde schakelprogramma's kunnen worden verwerkt.

Bij deze neerslagpatronen is de voorafgaande droogweelperiode en de ledigingstijd van belang. Een versneld ledigingsregime kan wenselijk zijn, voorafgaand aan de bui.

- 4 Een gelijkmatig over de stad verdeeld neerslagpatroon met een intensiteitsklasse van meer dan 10 mm/uur geeft de mogelijkheid, het gehanteerde berekeningsmodel te analyseren en zo nodig bij te stellen.

Een overstorting is theoretisch onvermijdelijk, de bemaling verloopt in dit geval volgens de schakelprogramma's in de gemalen.

- 5 Bij ongelijkmatig verdeelde neerslagpatronen waarin meerdere intensiteitsklassen voorkomen zullen patronen onderscheiden moeten worden, teneinde structurering mogelijk te maken. Voorlopig zijn "bandvormige" en "eilandvormige" patronen onderscheiden. Bij beide is de trekrichting en de treksnelheid van belang, bij de "bandvormige" tevens de hoek met de trekrichting.

Deze patronen bieden de mogelijkheid tot versnelling van de lediging en tot manipulatie van volumestromen.

- 6 Tijd- en plaatsgebonden effecten kunnen verstorend werken op de prognose, tenzij er een bepaalde wetmatigheid is te ontdekken tengevolge van microklimatologische gegevens.

- 7 Analyse van de resultaten kan uitwijzen, in hoeverre het gewenst en verantwoord is (ook uit het oogpunt van de waterkwaliteit), op te verwachten hevige regens te anticiperen met tijdige inschakeling van overstortbemalingscapaciteiten.

STELLINGEN EN DISCUSSIE

STELLING 1

Informatie over de actuele neerslag geleverd door radarbeelden biedt goede mogelijkheden voor sturing van waterbeheerssystemen, ongeacht de reactiesnelheid van het systeem.

De sturing van een waterbeheerssysteem geschiedt thans veelal nog op basis van peilwijzigingen. Actuele neerslaggegevens uit radarbeelden zullen kunnen bijdragen tot een optimaler waterbeheer, vooral bij die systemen waarin een nauwkeurige peilregeling is vereist. Wel dient een waterbeheerssysteem dan zo te worden ingericht dat men dan ook werkelijk, aan de hand van de radarinformatie, kan regelen.

In belangrijke mate bepalen de gebiedsgrootte en de reactiesnelheid van het gebied of radarbeelden zinvol kunnen worden gebruikt.

Bij grote, traag reagerende gebieden als een boezemgebied kunnen de radarbeelden zinvol worden gebruikt omdat het peil van de boezem binnen zeer kleine marges moet worden gehouden en er dus een kleine bergingscapaciteit aanwezig is. Radarbeelden kunnen in zo'n systeem op twee manieren zinvol bijdragen aan een optimaal waterbeheer. Ten eerste kan bij het aan of uit zetten van de boezemgemalen rekening gehouden worden met de neerslagspreiding. In de tweede plaats biedt het gebruik van informatie over het neerslagintensiteitsverloop en de neerslaghoeveelheid de mogelijkheid om het regelschema van de polder en boezemgemalen verfijnder te maken, door de tijdsvertraging van het neerslagafvoer proces te incorporeren.

Bij kleinere, snel reagerende gebieden van enkele honderden hectares biedt de actuele informatie van de radarbeelden zeer beperkt mogelijkheden om het waterbeheer te verbeteren. In de glastuinbouw polders van het Westland bijvoorbeeld zal het gebruik van de actuele informatie van de radarbeelden geen voordelen bieden. In stedelijke gebieden lijken de mogelijkheden voor gebruik van deze informatie iets groter. Doordat de rioolstelsels vaak een complex geheel zijn waarbinnen de transportcapaciteiten en bergingscapaciteiten van plaats tot plaats sterk kunnen variëren lijkt het mogelijk dat indien de informatie van met name de neerslagspreiding wordt gebruikt een beperking kan worden bereikt van het aantal overstorten en/of de overstortende hoeveelheid. Overigens is het niet zo dat met behulp van radarinformatie alle riooloverstorten op het open water voorkomen kunnen worden door de relatief geringe bergingsmogelijkheden.

Verder zal het gebruik van radarbeelden voor grote gebieden zinvoller zijn dan voor kleine gebieden in verband met de nauwkeurigheid van de beelden.

STELLING 2

Een gedetailleerde voorspelling van de neerslaghoeveelheid, -intensiteit en -spreiding is van belang voor landbouw en waterbeheer.

Deze stelling wordt gedurende de discussie door de aanwezigen onderschreven. De discussie spitst zich uiteindelijk toe op de vraag hoe gedetailleerd de voorspelling moet zijn en in welke vorm de informatie moet worden gegeven.

In eerste instantie is aan de orde gekomen dat nu het gaat om een voorspelling, de gebruiksmogelijkheden van de informatie toenemen. Zo zou bijvoorbeeld het Hoogheemraadschap van Delfland gaarne beschikken over de informatie dat in de komende 5 à 6 uur een bui van een bepaalde minimale grootte en een minimale intensiteit kan worden verwacht. Door de zeer grote reactiesnelheid gecombineerd met zeer beperkte bergingsmogelijkheden van het betreffende gebied kan deze informatie nuttig worden gebruikt om extra berging te creëren en een verhang te trekken. Nu is het dikwijls zo dat de peilstijgingen aanleiding geven tot een maalstop voor de inliggende polders, waardoor hier inundaties kunnen optreden.

Ook voor stedelijke gebieden met extra bergingscapaciteit is de neerslagvoorspelling van belang. Het regelschema wordt iets complexer maar binnen bepaalde grenzen zou het mogelijk moeten zijn om het aantal overstorten en/of de overstortende hoeveelheid te beperken (zie ook het vorige punt). Overigens zijn de mogelijkheden niet heel groot als het gaat om een uniforme bui die òf klein (< 3 mm./2hrs) òf juist groot (> 10 mm./2hrs) is. Dit wordt veroorzaakt doordat een rioolsysteem over het algemeen slechts een betrekkelijk geringe berging en pompoevercapaciteit heeft. De hiervoor genoemde bui van < 3 mm kan vrij eenvoudig worden geborgen, daar valt dus geen voordeel te verwachten door het gebruik van voorspellingen. Voor de grotere buien van meer dan 10 mm. binnen twee uur geldt dat deze bui niet kan worden verwerkt (met een berging van 8 mm en een pompoevercapaciteit van 0.7 mm/hr) zonder overstorten, hoe geavanceerd het regelschema ook is. Naar verwachting

kan wel nuttig gebruik gemaakt worden van voorspellingen bij buien met een grootte die tussen deze categorieën invallen en indien de neerslag niet uniform over het stedelijk gebied verdeeld is.

In de discussie komt sterk naar voren dat een voorspelling van een neerslag hoeveelheid, al of niet gecombineerd met een verwachte intensiteit, voor veel waterbeheerders niet voldoende informatie geeft om beslissingen te nemen. Er blijkt grote behoefte aan informatie die aangeeft hoe zeker het is dat deze voorspelling ook echt uitkomt. Naast de verwachte neerslaghoeveelheden dient dus ook de kans te worden aangegeven dat deze neerslag valt. De gebruikers zullen aan dit soort informatie wel moeten wennen.

Het lijkt een goede suggestie dat de gegevensverstrekker de vorm, waarin de informatie geleverd gaat worden, vaststelt in overleg met de gebruikers.

De vraag wordt gesteld of men moet komen van grove informatie voor de langere termijn tot steeds gedetailleerdere informatie voor de kortere termijn. Natuurlijk is het zo dat naarmate de informatie gedetailleerder is, men betere beslissingen kan nemen en men ook meer gemotiveerd is om maatregelen te treffen. Een belangrijk aspect daarbij is wat de kosten mogen zijn van die extra informatie.

Een interessant punt voor onderzoek lijkt de afweging van kosten en baten van het gebruik van radargegevens in het waterbeheer.

STELLING 3

Een nauwkeurige voorspelling van de neerslagverdeling in ruimte en tijd voor meer dan X uur vooruit is niet haalbaar.

Hoe groot X precies is, is moeilijk te zeggen; X is afhankelijk van het type bui. Hiernaar is in Engeland wel onderzoek gedaan. Het probleem hangt samen met het type verschijnsel, zo kan enerzijds X bij een fronten systeem groter zijn dan bij een convectieve buien systeem. Bovendien is de kans dat een bepaalde bui bij de eerste soort systemen al is uitgeregend voor deze een zeker gebied bereikt, veel kleiner dan bij het andere systeem. Bij de voorspelling dient dan ook altijd een

kans of een kans interval te worden gegeven. Logischerwijs wordt de voorspelling nauwkeuriger naarmate X kleiner wordt (zie ook stelling 2). Voor bepaalde toepassingen kan men stellen dat een voorspelling lang vooruit geen waarde heeft.

STELLING 4

Het meetnet van automatisch registrerende regenmeters dient te worden uitgebreid i.v.m. de noodzaak om de radarbeelden te ijken.

De radarbeelden van het KNMI worden momenteel niet geijkt met on-line registrerende regenmeters. De radarbeelden worden thans alleen als extra informatie voor de meteoroloog gebruikt. Meer kwalitatief, dan kwantitatief. Het probleem van de ijking van de radarbeelden met behulp van gemeten neerslag wordt gevormd door het feit dat met behulp van radar een goed inzicht verkregen wordt in de ruimtelijke verdeling van de neerslag, terwijl een regenmeter de puntneerslag meet. Ook een regenmeter geeft echter een waarde die in meer of mindere mate afwijkt van de werkelijk gevallen hoeveelheid neerslag, zodat nooit van een absolute ijking sprake zal zijn.

Wel wordt de nieuwe radarcomputer van het KNMI uitgerust met aansluitingen voor pluviograven. Deze mogelijkheid wordt voorlopig echter niet benut. Momenteel ontvangt het KNMI on-line uursommen van 15 verschillende pluviograven. De informatie over kleinere tijdstappen is wel beschikbaar bij het meetstation zelf maar deze worden niet on-line doorgegeven. Het nieuwe meetnet zal beschikken over 35 pluviograven; ook hiervan worden echter slechts uurgegevens aan het KNMI in de Bilt doorgeseind. Veel waterschappen hebben reeds, of gaan op korte termijn, zelf pluviograven installeren voor het operationele beheer. Deze gegevens zouden achteraf met de radargegevens kunnen worden vergeleken. Voor de berekening van rioolssystemen en voor het waterbeheer in stedelijke gebieden moet men over neerslagsommen van 15 minuten of zelfs 5 minuten beschikken.

STELLING 5

De kosten van het gebruik van de radarbeelden zijn gering t.o.v. de financiële voordelen voor het waterbeheer en de landbouw.

De vraag wordt gesteld welke kosten zijn verbonden aan de verstrekking van de radarbeelden door het KNMI. Hiervoor bestaat nog geen tarief.

Aan het KNMI wordt daarom gevraagd na te gaan tegen welk tarief deze gegevens beschikbaar zouden kunnen worden gesteld.

Dat de kosten afhankelijk zullen zal zijn van de behoefte aan deze informatie is duidelijk vanzelfsprekend. Daarnaast wordt nog genoemd dat de aanschafkosten van de KNMI-radar tussen de f 300.000,- en f 400.000,- liggen, terwijl de jaarlijkse lasten van het gehele systeem dicht tegen het miljoen aan zullen liggen. Voor de waterbeheerders levert het gebruik van radarbeelden baten op. Deze baten zouden in kaart moeten worden gebracht. Sommige voordelen zijn zeer direct in geld uit te drukken, terwijl andere voordelen meer diffuus zijn en niet of nauwelijks in geld zijn te waarderen.

Het is van belang om te komen tot een totale kosten-baten afweging van het gebruik van regenradarbeelden.

In de discussie is de mogelijkheid geopperd dat in SAMWAT verband hiertoe een poging zou kunnen worden gedaan.

STELLING 6

In de toekomst zullen de grotere waterbeheerders eigen radarapparatuur exploiteren en benutten ten dienste van het operationeel beheer en ten behoeve van derden.

In Engeland zijn meteorologische diensten joint-ventures aangegaan met regionale waterbeheerders waarbij radarapparatuur wordt geëxploiteerd ten behoeve van het operationele waterbeheer. In Nederland kan gedacht worden aan samenwerkingsverbanden tussen een aantal waterschappen en het KNMI. Ook andere vormen zijn denkbaar, wellicht zullen in de toekomst de waterschappen (of een aantal waterschappen in een samenwerkingsverband) zelf radarapparatuur installeren. Zeker indien de kosten voor een

dergelijke investering (inclusief de bijbehorende programmatuur) verder zullen dalen lijkt een dergelijke ontwikkeling niet onmogelijk.

Op dit moment lijkt het idee dat waterschappen over eigen radarapparatuur beschikken nog weinig realistisch. De vraag is aan de orde geweest of de radargegevens wel zonder meteoroloog kunnen worden geïnterpreteerd. Mogelijk kan een "expert-systeem" hier in de toekomst een oplossing voor bieden. Overigens is het natuurlijk zo dat, indien de belangen maar groot genoeg zijn en voor een ieder duidelijk, het voor een waterbeheerder altijd mogelijk is een meteoroloog in dienst te nemen. Een belangrijk aspect bij de voorspelling van de toepassingsmogelijkheden van radarapparatuur is, de mogelijk snelle ontwikkelingen op het gebied van de toepassing van satellietwaarnemingen. Een gecombineerd gebruik van beide technieken is in Engeland al gaande.

Aan het slot van de discussie is nadrukkelijk gesteld dat een versnippering van de informatie-inwinning moet worden voorkomen omdat dit kan leiden tot een inefficiënte besteding van middelen en daarbij kan leiden tot minder goede resultaten. Aan een centrale inwinning door een deskundig instituut wordt dan ook de voorkeur gegeven.

Het punt van een centrale informatie-verstrekking van regenradargegevens dient door het KNMI te worden opgepakt daar anders een decentrale ontwikkeling op gang zal komen.

STELLING 7

Vanuit het waterbeheer en de landbouw dient het onderzoek en de verdere ontwikkeling van de radar- en satellietwaarnemingen te worden gestimuleerd.

Voor de stimulering van de verdere ontwikkeling van de radar- en satellietwaarnemingen zijn verschillende wegen aan te geven. Om te beginnen zal het verslag van de studiebijeenkomst in ieder geval onderschreven moeten worden door het Klein Comité van de CHO-TNO. Het verslag kan vervolgens voorzien van aanbevelingen, aan het KNMI worden aangeboden. Het KNMI doet momenteel echter geen radaronderzoek en ook weinig aan satellietonderzoek. Het gevaar lijkt dan ook aanwezig dat een aanbeveling alleen geen voldoende stimulans is om het onderzoek op dit

gebied op te starten c.q. uit te breiden. De aanbeveling kan meer gewicht worden gegeven indien het belang van zulk onderzoek in kwantitatieve zin wordt onderbouwd. In dit verband is het daarom van belang dat op korte termijn met een onderzoek naar de de kwantificering van de baten voor het waterbeheer en de landbouw wordt gestart (zie stelling 5). Overigens moet worden overwogen om bij een dergelijke kwantificering ook de baten van andere belanghebbenden op te nemen zoals aannemers, wegenbouwers, recreanten etc. Naarmate het belang van regenradargegevens duidelijker wordt aangetoond groeien ook de mogelijkheden bij het KNMI om hier uitvoerig onderzoek naar te doen. In dit verband wordt als positieve ontwikkeling genoemd het proefproject dat onlangs is begonnen door het KNMI en Gemeentewerken Rotterdam t.a.v. de toepassingsmogelijkheden van radarinformatie voor het stedelijk waterbeheer. Daarnaast wordt het opzetten van een proefproject in een boezemgebied of waterschap zinvol geacht.

INGEZONDEN SCHRIFTELIJKE BIJDRAGEN VAN DEELNEMERS

VOORDELEN VAN DEZE TECHNIEKEN EN WENSEN VOOR HET STEDELIJK WATERBEHEER

A.J.M. Nelen
Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Groep Polderinrichting

Radar kan een waardevol instrument zijn voor een doelmatiger stedelijk waterbeheer. Het is evident dat voor het gebruik van neerslagvoorspelling voor het stedelijk waterbeheer, een dynamisch operationeel beheer, ofwel (centrale) "real-time" sturing, noodzakelijk is. Het huidige operationele beheer van de meeste Nederlandse stedelijke afwateringssystemen is nog te statisch om adequaat te reageren op verschillen in neerslaghoeveelheden.

Door het koppelen van de besturing van het waterbeheersingssysteem aan modelberekeningen, gebaseerd op neerslagvoorspelling, kan worden ingespeeld op een bui, zelfs voor dat deze gevallen is. Bij sturing gebaseerd op neerslagvoorspelling dienen hoge eisen gesteld te worden aan de calibratie van het voorspellingsmodel. Kleine afwijkingen in de voorspelling kunnen reeds leiden tot grote "fouten" bij de besturing, met als gevolg onnodige overstortingen of overstromingen. De modelvoorspelling dient daarom in alle gevallen geverifieerd te worden aan "real-time" metingen.

Algemeen geldt dat naarmate men verder in de tijd voorspelt, men beter kan inspelen op de te verwachten situatie. Echter bij een langere voorspelling zal tevens de kwaliteit van de voorspelling afnemen. Er zal dus gezocht moeten worden naar een optimum. De optimale voorspellingstijd is onder meer afhankelijk van:

- de grootte van het stroomgebied (looptijd);
- de sturingsmogelijkheden: hoe groter het aantal sturingsmogelijkheden des te verder in de tijd ligt het optimum.

(Peterson, Schilling, 1987)

Sturing van een stedelijk waterbeheersingssysteem heeft onder meer de volgende voordelen:

- een effectiever gebruik van de aanwezige berging in het systeem (minimalisatie van overstortingen, overstromingen);
- minimalisatie van de benodigde berging (voormalen);
- verbetering van aanvoerregeling naar de rwzi (minimalisatie van de benodigde capaciteit, verbetering van de effluentkwaliteit);
- minimalisatie van het aantal draaiuren van de pompen (energie).

Uiteindelijk zal dit kunnen leiden tot een minimalisatie van de aanleg- en beheerskosten. Hiertoe zullen de huidige normen en criteria t.a.v. het optimale beheer (overstortingsfrequentie, benodigde berging en pompcapaciteit) moeten worden aangepast.

De voordelen worden groter bij grotere stroomgebieden, waarbij sprake is van spreiding in neerslaghoeveelheden in tijd en plaats.

Waterschap Roer en Overmaas

Het Waterschap Roer en Overmaas (WRO) heeft sinds 1 januari 1987 het beheer over zuidelijk Zuid-Limburg gekregen. Een relatief groot gedeelte van zuidelijk Zuid-Limburg is stedelijk gebied. De neerslag die hierop valt komt bijzonder snel tot afvoer. In het landelijk gebied vindt een voor Nederlandse begrippen unieke vorm van afwatering plaats. Indien de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de lössleem-bodems overschrijdt komt er hemelwater over de oppervlakte tot afstroming, waarbij wateroverlast en erosie kunnen optreden. Ten gevolge van de snelle stedelijke afvoer en de oppervlakkige afstroming kunnen hoge piekafvoeren optreden, die inundaties en oeverslag kunnen veroorzaken.

Het inzicht in de ruimtelijke verspreiding van de neerslag bij maatgevende buisituaties en het proces van oppervlakkige afstroming is nog vrij gering. Op dit moment is WRO onder andere bezig met:

1. het opzetten van een hydrologisch meetplan;
2. meten van neerslag en oppervlakkige afstroming in het proefgebied Etzenradegrub;
3. inrichting van een hoogwater-alarmeringssysteem voor de Geul;
4. geautomatiseerd meten en regelen van een aantal stuwen in de Geleenbeek.

Moderne technieken van neerslagmeting en -voorspelling zouden mogelijk de volgende bijdragen kunnen leveren aan deze activiteiten:

- ad 1. inzicht geven in de gewenste dichtheid van het neerslagmeternetwerk;
- ad 2. inzicht geven in het ruimtelijke verspreidingspatroon van buien met hoge neerslagintensiteit;
- ad 3. mogelijkheid tot vervroegen van het tijdstip van alarmering;
- ad 4. koppeling van neerslagmeting en -voorspelling aan een meet- en regelsysteem.

Vragen:

- Hoe verhouden kosten en meetnauwkeurigheid van neerslagmeting met behulp van radar zich ten opzichte van meten met behulp van regenmeters?
- Hoe staat het met de toegankelijkheid van gegevens van satelliet- en radarwaarneming?

WATERBEHEER IN HET WATERSCHAP DE VEENMARKEN

F.C. Hamster
Waterschap De Veenmarken

Het waterschap de Veenmarken ligt in de Drentse Veenkoloniën. De Veenkoloniën bestaat uit een vrij uniform gebied ten aanzien van bodem, detailontwatering en gewasproductie.

De bodem bestaat uit een "versleten" veenkoloniale grond en er resteert een soort zandgrond.

De detailontwatering bestaat uit een zeer regelmatig patroon van wijken/sloten en de gewassen bestaan voor de helft uit fabrieksaardappelen en ca. 20% suikerbieten.

Onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er een nauwe relatie is tussen waterbeheer (relatie open waterpeilen en grondwater) en gewasopbrengsten.

Het gebied is ingericht met in grote mate geoptimaliseerde waterbeheersings-eenheden waarbinnen de open waterpeilen precies kunnen worden geregeld en veelal automatisch gehandhaafd.

Het waterschap stemt haar waterbeheer af op dit gegeven door wekelijks grondwaterstanden en open waterpeilen in het gebied te meten; wekelijks te rekenen met een onverzadigd z \hat{o} nemodel; en zo tot een advies over waterpeil te komen, een soort optimaal peil in de watergangen en voorwaardescheppend voor een goede grondwaterstand in de percelen.

In dit waterbeheer zou het belangrijk zijn de toekomstige neerslag b.v. gedurende een week te weten, met name op belangrijke beslismomenten in het voorjaar, waarbij enerzijds zo vroeg mogelijk water moet worden geconserveerd en anderzijds niet te hoge grondwaterstanden in de percelen mogen ontstaan met voor de landbouw schadelijke gevolgen.

Voor de regeling van de afvoer van water lijkt een en ander niet nodig, zowel de gemalen als de stuwen zijn geautomatiseerd.

Ten aanzien van satellietbeelden zou de vraag kunnen worden gesteld of die kunnen bijdragen in het wekelijkse rekenproces ten aanzien van de relatie grondwater-open waterpeilen, vocht, boekhouding etc.

WATERAF- EN -AANVOER

Waterschap Salland

Waterafvoer

Indien met de moderne technieken goede voorspellingen gedaan kunnen worden over de hoeveelheid, plaats en intensiteit van de neerslag, kunnen van tevoren maatregelen genomen worden om berging te creëren om zodoende de afvoergolven af te vlakken. Dit zou kunnen leiden tot een verlaging van de peilen die met een bepaalde overschrijdingskans voorkomen, hetgeen kostenbesparend kan werken. Het afnemen van de maatgevende afvoer kan leiden tot kleinere afmetingen van de watergangen of tot minder hoge dijken of kaden.

In een bestaand ontwateringssysteem zal door de afname van de maatgevende afvoer wat "ruimte" ontstaan die gebruikt kan worden voor andere doeleinden (natuur, milieu) of toekomstige bergingsbehoefte.

Met behulp van goede voorspellingstechnieken zal het ook beter lukken om de gemalen buiten de speruren te laten draaien.

Wateraanvoer

Het aanvoeren van (gebiedsvreemd) water kan tot een minimum beperkt worden wanneer de tijd, plaats en hoeveelheid van de neerslag bekend is. Wanneer een grote hoeveelheid neerslag verwacht wordt kan de waterinlaat tijdig gestopt worden. Met het afvoeren van overtollige neerslag kan gewacht worden wanneer men weet dat er weer een droge periode aankomt.

HET WATERBEHEER IN WEST-BRABANT

L.J.J. Dijkhuis en L. Scholma
Hoogheemraadschap West-Brabant

1. Korte beschrijving van het waterbeheer in West-Brabant

Het kwantiteitsbeheer van het oppervlaktewater in West-Brabant is in handen van het Hoogheemraadschap West-Brabant (HWB) en een 9-tal inliggende waterschappen.

Het H.W.B. heeft het beheer over het boezemwater (Mark-Vliet) dat via 2 sluizen in verbinding staat met het Zoommeer. De boezem wordt gevoed door poldergemalen (noordelijk deel het afwateringsgebied) en vrij afwaterende beken (zuidelijk deel van het afwateringsgebied). Het beheer van het polderwater en van de beken, kortom de detailwaterbeheersing, berust bij de inliggende waterschappen.

Het kwaliteitsbeheer van al het oppervlaktewater in West-Brabant, inclusief het beheer van de zuiveringstechnische werken, is in handen van het H.W.B.

2. Neerslagmeting en -voorspelling met moderne technieken

2.1 Voordelen

Kwantiteitsbeheer

Door snelle beschikbaarheid van actuele neerslaginformatie en -voorspelling hieromtrent kan het dagelijks beheer worden geoptimaliseerd. Dit geldt met name voor de detailwaterbeheersing. Aan de hand van de neerslagvoorspelling en de actuele meetgegevens kan men al dan niet tot actie overgaan. Met actie wordt hier bedoeld het tijdig verlagen van waterpeilen door de stuwstand te verlagen of de gemalen aan te zetten om zodoende de kans op wateroverlast te minimaliseren.

Ook voor de boezem van het H.W.B. geldt dat in geval er hoge afvoeren worden verwacht tot actie kan worden overgegaan. Met actie wordt hier bedoeld een afkondiging van een maalverbod voor de inliggende polders voor lozing op de boezem. In zeer extreme situaties, wanneer noodpeilen dreigen te worden overschreden, kunnen betrokken instanties zoals gemeenten, zo vroeg mogelijk worden ingelicht.

Rijkswaterstaat kan aan de hand van neerslaginformatie het peil op het Zoommeer afstemmen op de aanvoer vanuit de West-Brabantse boezem. Aangezien de boezem meestal in open verbinding staat met het Zoommeer is het beheer van rijkswaterstaat van grote invloed op de waterpeilen in de boezem.

Kwaliteitsbeheer

Voor het kwaliteitsbeheer is het belangrijk of al dan niet doorgespoeld moet worden in verband met overstorten. Met behulp van de neerslaginformatie kan worden vastgesteld of er al dan niet een overstort zal optreden en of er tot actie, doorspoelen, moet worden overgegaan.

Radargegevens

Radargegevens vormen een nuttige aanvulling op de gegevens van de pluviografen:

- ter bepaling van de gebiedsneerslag;
- ter bepaling van de neerslag op een willekeurige plaats.

Digitale pluviografen:

In de huidige situatie vergt de verwerking van de schrijvende pluviografen ca. 3 mandagen per meetpunt per jaar. Naar verwachting kan deze verwerkingstijd bij toepassing van digitale pluviografen worden gehalveerd.

2.2 Wensen

- De neerslaginformatie moet elk moment opvraagbaar zijn en interpreteerbaar voor de gebruiker.
- Standaard moet de informatie 1 of 2 maal per dag op de centrale post binnenkomen.
- Extreme neerslag moet tussentijds worden gesignaleerd. De gebruiker moet hiertoe grenswaarden kiezen.

2.3 Stellingen

- Het belang van moderne technieken kan vooral tot uiting komen indien waterbeheerders over modellen beschikken, waarin de relatie tussen neerslag, afvoer en peilen tot uiting komt. Dit maakt het namelijk mogelijk verschillende beheersmaatregelen door te rekenen en vervolgens een optimale keuze te maken.
- Het verdient aanbeveling om voor 1 of 2 "voorbeeld waterschappen" de technische uitvoering van het meet- en voorspellingsstelsel en het gebruik ervan in de praktijk nader uit te werken.
- Ter onderbouwing van beleidsbeslissingen is het gewenst dat de kosten en de baten van het gebruik van de moderne technieken voor meting en voorspelling van neerslag worden gekwantificeerd.
Met betrekking tot de doelgroep waterbeheerders (waterschappen, provincies, rijkswaterstaat) ligt hier een taak voor SAMWAT (en STORA?).

VOORDELEN VAN DEZE NIEUWE TECHNIEKEN EN WENSEN VOOR HET HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DELFLAND

M.D. Sinke

Hoogheemraadschap van Delfland

Kenmerkend voor het gebied van het Hoogheemraadschap van Delfland is het verstedelijkte karakter. Bij een in 1986 uitgevoerde inventarisatie naar verhard en onverhard terrein in Delfland bleek dat circa eenderde deel van het gebied "verhard" is, hetgeen inhoudt dat de neerslag van dit gebied zeer snel tot afstroming komt. Het verharde gebied (in totaal 33% van Delflands oppervlak) is te onderscheiden in glastuinbouw (circa 10% van het totale gebied), bebouwing (10%) en straten en wegen e.d. (13%).

Het verharde oppervlak neemt nog steeds in grootte toe!

Bij regenval wordt het overtollige water van de verharde oppervlakken zeer snel afgevoerd naar de riolering en het oppervlaktewater (rechtstreeks of via gescheiden rioleringsstelsels, dan wel via het overstorten van gemengde rioleringsstelsels). Het gevolg is zeer snelle peilstijgingen van het oppervlaktewater.

Deze peilstijgingen moeten in de hand gehouden worden door het realiseren van voldoende:

a. waterberging

In glastuinbouwgebieden zijn open water percentages gewenst van circa 6%, terwijl veelal slechts circa 2 à 3% aanwezig is (knelpunt).

b. bemalingscapaciteit

De verwerkingscapaciteit van Delflands boezem en de uitmalingscapaciteit van de boezemgemalen zijn mede door de bestaande infrastructuur beperkt (veel boezemkanalen kunnen i.v.m. de bestaande infrastructuur niet verbreed worden).

Naast vergroting van de waterberging en de uitmalingscapaciteit is het voor Delflands waterhuishouding van groot belang om permanent geïnformeerd te zijn over de te verwachten neerslaghoeveelheid, intensiteit en spreiding van de neerslag over het beheersgebied.

Om nog tijdig beheersmaatregelen te kunnen treffen is een voorspellingstijd van circa 5 uur een minimum. Deze beheersmaatregelen kunnen zowel betrekking hebben op de waterbeheersing van het oppervlaktewater als het bemalen van rioleringsstelsels.

In beide gevallen kan door middel van "voormalen" bereikt worden dat de berging aan het begin van een zware regenbui maximaal is. Tevens kan beoordeeld worden of "voormalen" nodig, dan wel in welke mate gewenst is.

Maar ook tijdens de bui is een voortdurende voorspelling van het verloop van de neerslaghoeveelheden, de intensiteit, de richting waarin het neerslaggebied zich beweegt en de grootte van het neerslaggebied gewenst. Indien deze gegevens voortdurend beschikbaar zouden zijn kan hierop sturing plaatsvinden van gemalen door bijv. gemalen, gelegen buiten het neerslaggebied of in een gebied met een naar verwachting relatief lage regenintensiteit te stoppen. Door een dergelijke sturing kan bijv. bereikt worden dat:

- minder waterberging, boezembemalingscapaciteit nodig is of dat minder frequent maalpeil moet worden afgekondigd;
- de hydraulische capaciteit van een bestaande rioolwaterzuiveringsinstallatie beter benut kan worden c.q. uitbreiding niet nodig is.

De financiële voordelen van deze effecten zijn evident.

Provincie Friesland

Voor een optimaal peilbeheer van het 14.000 ha grote wateroppervlak van de Friese boezem is het nodig een zo goed mogelijk inzicht te hebben in de te verwachten toevoer vanuit het 305.000 ha grote afwateringsgebied. Deze is voornamelijk afhankelijk van de neerslag welke in de afgelopen periode (één tot enkele etmalen) gemiddeld over het totale boezemgebied is gevallen. Tevens is van het grootste belang een nauwkeurige verwachting van de gemiddelde neerslag over de komende 2 à 3 etmalen.

Met name geldt dit voor de inzet van de beide boezemgemalen (capaciteit $8 \cdot 10^6$ resp. $6 \cdot 10^6$ m³/etm). Voor de inschatting of de combinatie natuurlijke lozing via de zeesluizen plus bergingscapaciteit voldoende is voor de opvang van de te verwachten toevoer, is een nauwkeurig beeld van de gevallen en te verwachten neerslag over enkele etmalen nodig. Wordt hierbij verkeerd geschat, dan ontstaat of wateroverlast wat bij ernstige vormen schade veroorzaakt of één of beide gemalen hebben gedraaid terwijl achteraf blijkt dat dit niet nodig was geweest.

Vanwege de onzekere factor neerslag in de huidige weersverwachtingen wordt bij het peilbeheer voor de veilige kant gekozen. Dit betekent bemalingskosten terwijl het achteraf bekeken niet altijd nodig was geweest.

De ons ter beschikking staande inschattingen door meteorologen van de te verwachten gemiddelde etmaalneerslag blijken tot een factor 4 à 5 verkeerd te kunnen uitkomen.

Vraagpunten:

- Kan met behulp van radar- en satellietwaarnemingen een betere indicatie worden gegeven van de gemiddeld gevallen neerslag in een bepaalde periode over een bepaald gebied? (in ons geval gebied 2 KNMI).
- Kan dit gegeven korte tijd na de periode voor de gebruiker beschikbaar zijn (bijv. 's ochtends 9 uur over de voorgaande 24 uur, van 8 tot 8 uur)?
- Kan met behulp van radar- en satellietwaarnemingen een betere indicatie van de te verwachten neerslag over een aantal etmalen worden gegeven? Met welke afnemende nauwkeurigheid?
- Kan met behulp van radar- en satellietwaarnemingen het moment worden bepaald waarop de gevallen neerslag de verwachte hoeveelheid voor een bepaalde periode overtreft en kan dit met een aangepaste prognose aan de beheerder worden doorgegeven?

NEERSLAGRADAR EN DE AFVOERVOORSPELLING VOOR DE GROTE RIVIEREN

H.E.J. Berger, F.H.M. van de Ven en M. Adriaanse
Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA

Voor de afvoervoorspelling van de grote rivieren is neerslagradar in twee opzichten interessant:

- hij kan een beter inzicht geven in de verdeling van de neerslag,
en
 - hij biedt de mogelijkheid tot het maken van een neerslagvoorspelling.
- Daarbij is men bij de afvoervoorspelling niet zozeer geïnteresseerd in de kwalitatieve waarden (veel/weinig) maar veel meer in de kwantitatieve gegevens (millimeters neerslag).

Voor afvoervoorspellingen van Lobith (Rijn) en Borgharen (Maas) zijn met name de perioden waarin veel neerslag valt van belang, omdat dan zeer grote afvoeren kunnen ontstaan. Grote neerslaghoeveelheden komen vooral voor in uitgestrekte regengebieden in het winterhalfjaar.

Radar is in hydrologisch opzicht echter het meest waardevol bij convectieve buien en in zomerse omstandigheden, omdat het een goed inzicht in de ruimtelijke verdeling geeft en er weinig problemen optreden in verband met extra reflectie veroorzaakt door smeltende sneeuw.

De afvoer van de Rijn te Lobith is gedurende de eerstkomende dagen in sterke mate afhankelijk van de Rijnafvoer stroomopwaarts en slechts in geringe mate van de neerslag. De afvoervoorspelling van de Rijn zal door toepassing van neerslagradargegevens slechts in zeer geringe mate verbeterd kunnen worden.

De Maas te Borgharen reageert zeer snel op neerslag, vooral op de neerslag die valt in de Ardennen. De afvoervoorspelling van de Maas is sterk afhankelijk van neerslaggegevens. De voorspeltijd van de afvoer is sterk beperkt indien geen neerslagvoorspellingen voorhanden zijn. Voor de Maas is informatie over de neerslagverdeling maar vooral over de neerslagvoorspelling gewenst.

Neerslagradar zou hier een nuttige bijdrage aan kunnen leveren.

Door het sterk geaccidenteerde terrein, de hoge ligging en de grote afstand tussen de Ardennen en een radar zullen de verschillen tussen de neerslagverdeling en het bewerkte radarbeeld in de huidige omstandigheden groot zijn.

Voor een succesvolle toepassing van radar voor de afvoervoorspelling van de Maas dient de nauwkeurigheid van de neerslagbeelden nog verbeterd te worden. Een plaatsing van een neerslagradar in de Ardennen zou hiertoe een eerste stap kunnen zijn.

Stellingen:

- De radar levert kwalitatieve gegevens, de rivierbeheerder is echter geïnteresseerd in kwantitatieve gegevens;
- Neerslagradargegevens zijn alleen geschikt voor snel reagerende systemen;
- Neerslagradar vergroot de toepassingsmogelijkheden van ruimtelijk verdeelde afvoermodellen;
- De neerslagradar is in vlakke gebieden beter bruikbaar dan in heuvelachtige;
- Radar is van veel meer nut voor de afvoervoorspelling van de Maas dan die voor de Rijn. Momenteel is de configuratie voor een succesvol gebruik voor de Maas echter onvoldoende.

INDIRECTE NEERSLAGMETINGEN EN DE VOOR- EN NADELEN ERVAN VOOR HET WATERBEHEER:

J.V. Witter

Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde (UvA)

Op het gebied van het waterbeheer zijn onder andere de volgende twee ontwikkelingen gaande:

- * steeds grotere beheerseenheden, zowel voor het buiten-stedelijk water (kwaliteits)beheer als voor zuivering van afvalwater uit stedelijke gebieden;
- * (mede daardoor) verdergaande toepassing van monitoring en sturing.

Voor adequate sturing is kennis van de neerslagverdeling binnen het regionale zuiveringsstelsel of het buitenstedelijk gebied essentieel.

Derhalve is toetsing nodig van de toepasbaarheid van satelliet- en regenradar-informatie ten behoeve van sturing. Deze indirecte sensoren hebben namelijk ten opzichte van registrerende regenmeters de volgende voordelen:

- * in principe wordt het gehele gebied bemonsterd, in plaats van slechts enkele punten;
 - * de neerslagmetingen worden gemiddeld over gebieden van enkele km².
- De temporele resolutie is vergelijkbaar met die van een registrerende regenmeter. Enkele registrerende regenmeters blijven noodzakelijk ter calibratie.

Mijn stellingen zijn de volgende:

Algemeen

1. Het gaat niet om nieuwe technieken, maar om toetsing van de praktische toepasbaarheid van bestaande technieken en informatiebronnen (Engeland; Duitsland).
2. Gebruik maken van remote-sensing-gegevens vereist een aantal goed opgestelde en goed functionerende registrerende regenmeters, waarvan de metingen direct centraal beschikbaar zijn.
3. Ontwikkeling van deze technologie is niet alleen interessant voor het waterbeheer. Deze ontwikkeling kan voorts niet ten laste van en door elke waterkwaliteitsbeheerder afzonderlijk worden verricht, maar moet vanuit organisaties als CHO-TNO en STORA gecoördineerd worden.

Stedelijk waterbeheer

4. De nieuwe informatiebronnen maken het mogelijk verder vooruit in de tijd te kijken. De perspectieven hierdoor op reductie van de hydraulische capaciteit van de regionale Zuiveringsinrichting zijn echter gering. Vandaar dat ten behoeve van het stedelijk waterbeheer de nadruk moet liggen op betere voorspellingen van de huidige neerslag en de verdeling ervan over het gebied, en van de neerslag in het volgende, zeg, uurinterval.

Buiten-stedelijk waterbeheer

5. Ten behoeve van het buiten-stedelijk waterbeheer treedt het aspect, dat met de indirecte neerslagmetingen verder vooruit in de tijd kan worden gekeken, meer op de voorgrond. Hierbij zijn er overigens problemen met betrekking tot calibratie van de radar- en satellietwaarnemingen.

BIJDRAGEN VAN DE AFDELING RIOLERING AMSTERDAM

W.W.J. Prinzhorn
DOW Amsterdam
Afdeling Riolering

In onderstaande tekst komt het begrip afwateringsstelsel voor.
Daaronder wordt verstaan:

- het net van sloten, vaarten e.d. met inbegrip van de bemalingen van polders in een gebied;
- het totaal van bemalingsgebieden van rioleringen bestaande uit verscheidene leidingnetten.

Voor Amsterdam zijn langjarige reeksen regengegevens beschikbaar van een punt gelegen in de binnenstad. Sinds kort, \pm 1 jaar, wordt op het terrein van de zuivering Oost de regenval waargenomen.
Daarbij wordt de tijd geregistreerd waarop 0.2 mm regen is gevallen.

Stelling

Het gebruik van de radar- en satellietwaarnemingen is slechts in bepaalde gevallen te gebruiken en afhankelijk van:

- de geografische kenmerken van het gebied waarin de afwateringsstelsels liggen;
- het soort afwateringsstelsel;
- de afhankelijkheid van elkaar van de afwateringsstelsels.

Vraagpunten

- in hoeverre zal bovenstaande stelling juist zijn;
- indien juist, welke zijn de kenmerken;
- hoe ligt de situatie voor Amsterdam;
- bestaat er een belangrijk verschil in regenval voor stedelijke gebieden t.o.v. landelijke gebieden;
- is het noodzakelijk om een dichter net van waarnemingen te hebben voor Amsterdam.

Wensen

- een inzicht te hebben van de verschillen en de grootte daarvan die over het gehele Amsterdamse gebied voorkomen.

VOORDELEN VAN REMOTE-SENSING BIJ DE NEERSLAGVOORSPELLING EN -METING, EN WENSEN IN DE AKKER- EN TUINBOUW

J.T.M. Huinink
CAD voor Bodem-, Water- en Bemestingszaken
in de Akker- en Tuinbouw te Wageningen

Het gebruik van remote-sensing-technieken voor neerslagvoorspelling biedt voordelen in de Nederlandse akker- en tuinbouw voor zover deze technieken tot een grotere betrouwbaarheid en nauwkeurigheid zullen leiden, zowel naar plaats, tijdstip als hoeveelheid en aard van de neerslag.

Een betere voorspelling op de middellange termijn (enkele dagen) wordt vooral gewenst in de bloembollen- en vollegrondsgroenteteelten, met het oog op een betere arbeidsplanning in de plant- en oogstperiode. Zo zou er in de vollegrondsgroenteteelt sterk op arbeidskosten worden bespaard indien een plantdag zou kunnen worden gekozen waarop kunstmatige berekening redelijk betrouwbaar achterwege kan blijven. Ook binnen de stedelijk-groensector zijn de beregeningskosten direct na planten erg hoog (tankwagens) en kan een betere neerslagvoorspelling tot grote besparingen leiden.

Daarnaast zouden de oogstkosten binnen de intensieve teelten drastisch kunnen worden teruggebracht indien het, met name in de bloembollenteelt op grote schaal ingehuurd, tijdelijke personeel minder frequent het perceel zou "uitregenen".

Van groot belang is daarnaast de opbrengstverhoging als gevolg van een betere neerslagvoorspelling, doordat minder wateroverlast na kunstmatige berekening optreedt (onverwachte natuurlijke neerslag, kort na regengift). Dit aspect speelt overigens nog sterker op percelen waar de drainbuizen tevens voor infiltratie worden gebruikt (bloembollen en vollegrondsgroente in West-Nederland en N.O.P.).

Voor substraatteelten is een betere neerslagvoorspelling van belang voor de, bedrijfstechnisch zeer ingrijpende, beslissing, wanneer er van het regenwater-basin moet worden overgegaan op drinkwater en/of in welke mate er moet worden gemengd.

De voordelen van een betere korte-termijnvoorspelling zijn minstens zo groot. Deze vloeien voort uit een hoger rendement van het gebruik van meststoffen en chemische ziekte- en onkruidbestrijdingsmiddelen. Zo is het effect van ammoniak-houdende meststoffen het grootst en de milieubelasting door vervluchting het geringst indien direct na aanwending 5 à 10 mm neerslag valt. Ook na een bijbemesting tijdens het groeiseizoen is zo spoedig mogelijk een dergelijke hoeveelheid neerslag gewenst. Voor bladbemesting daarentegen geldt dat na aanwending een droge week het grootste rendement geeft. Zowel de dosering als de gift-grootte van gewasbeschermingsmiddelen kan worden geoptimaliseerd bij een betere neerslagvoorspelling, hetgeen zou leiden tot maximale bescherming bij minimale gewas- en milieuschade.

Voor de primeurteelten in de vollegrondsgroente tenslotte bestaat de mogelijkheid het gewas met het acryldoek af te schermen tegen hagel indien dit tot op een half uur vooraf betrouwbaar kan worden voorspeld.

Stellingen

1. De voordelen van het kunnen 'monitoren' van de actuele neerslagontwikkelingen zijn zó groot dat er reeds nu een behoefte bestaat op vollegrondsbedrijven semi-continu (elk $\frac{1}{2}$ uur) gebruik te kunnen maken van weerradar- en satellietbeelden.
2. De verdeling van de natuurlijke neerslag over een perceel varieert zo sterk dat bij kunstmatige berekening hiermee rekening gehouden moet worden. Remote-sensing van de neerslagverdeling over een bedrijf zal daarom onderdeel worden van het bedrijfsinformatiesysteem.
3. Het op grote schaal toepassen van remote-sensing-technieken zal duidelijker dan tot nu toe preferente neerslagpatronen (hagelzones, onweersgebieden) aan het licht brengen.

L. Wartena

LUW, Vakgroep Natuur- en Weerkunde

1 Neerslagmeting

1.1 Kunstmatige berekening

Rekening houden met de gevallen neerslag-hoeveelheid is regel bij de kunstmatige berekening. Vanwege het grillige patroon dat aan de neerslag eigen is, in het bijzonder bij neerslag met een buig karakter, wordt op bedrijven die kunstmatige berekening toepassen als regel een regenmeter afgelezen. Voor grotere bedrijven wordt sterk aanbevolen op ver afgelegen percelen een afzonderlijke regenmeter op te stellen en die dan ook dagelijks af te lezen. In de praktijk komt daar weinig van terecht. Zelfs de regenmeter dicht bij huis wordt nogal eens verwaarloosd.

De mogelijkheid een neerslagsom per blok van 10 ha te krijgen zou het bijhouden van de vochtboekhouding en het rendement van de berekening zeker verbeteren.

1.2 Bijbemesting met stikstof

In de vollegrondstuinbouw en in mindere mate op grasland wordt men herhaaldelijk geconfronteerd met tekorten aan opneembare stikstof in de wortelzone omdat er te veel opneembare stikstof beneden de wortelzone is uitgespoeld.

Adviezen voor bijbemesting worden gegeven op basis van metingen op een proefbedrijf. Vaak bereikt het advies de praktijk nauwelijks.

Er is dan een categorie die het zekere voor het onzekere neemt en maar flink N geeft wat aanleiding geeft tot overbodige uitspoeling en soms tot schade in het gewas. Een andere categorie constateert dat het gewas N-gebrek heeft en bemest dan, schade is er dan al.

Een gemeten neerslagsom per 10 ha zou ook hier ideaal zijn.

1.3 Werkplanning

Er zijn talloze werkzaamheden waarbij het meten van de hoeveelheid gevallen neerslag een zeer goede steun in de rug zou kunnen betekenen bij de planning.

* Is de grond berijdbaar of bewerkbaar?

* Kunnen gewasbeschermingsmiddelen zijn uitgespoeld?

* Kunnen oogstwerkzaamheden vandaag worden gepland?

Enzovoorts.

1.4 Detectie hagelstroken

In fruitteelt en vollegrondsgroenteteelt en in beperkte mate in de akkerbouw bestaat behoefte om de plaatsen waar het gehageld heeft nauwkeurig aan te geven. Het gaat daarbij om detectie van de stroken waar hagel gevallen is, doorgaans 50 à 100 m breed en 1 à 3 km lang.

1.5 Algemene opmerkingen

1.5.1

Bovengenoemde groepen, uitgezonderd de kunstmatige berekening, kunnen neerslaghoeveelheden indirect gebruiken. Om de toepassing mogelijk te maken is meer nodig, veelal samengevat in eenvoudige modellen. Die modellen zijn er nog nauwelijks want er is geen vraag naar. Men zou er ook iets mee kunnen aanvangen want de neerslagmetingen zijn er niet. Voor de toepassingen is behalve een goede meting ook een adequaat distributiesysteem nodig. De ontwikkeling daarvan kost ook veel inspanning.

1.5.2

De genoemde neerslag gemiddeld over 10 ha is een slecht onderbouwd ervaringsgetal. Misschien kan ook gewerkt worden met een som over een groter oppervlak, eventueel met een gemeten variatiecoëfficiënt. Dat maakt het gebruik wel moeilijker en misschien minder aantrekkelijk. De Nederlandse bedrijven zijn klein vergeleken met een Kolchoz of Sovchoz.

1.5.3

Voor sommige toepassingen zal het gewenst zijn te weten wat de grootste 1 minuut-neerslagsom is geweest (afspoeling van bestrijdingsmiddelen). Overigens is in de meeste gevallen een som over 12 uur tijdvakken voldoende.

2 Neerslagverwachting

In verband met planning van werkzaamheden heeft de landbouw een veel grotere behoefte aan neerslagverwachtingen dan aan metingen achteraf. Elke informatie is welkom maar het leren gebruiken is een vak op zich.

2.1 Kansen en onzekerheden

Terwijl de agrariër voortdurend in kwalitatieve zin bij iedere beslissing kansen tegen elkaar afweegt, weet hij zich geen raad met een kwantitatieve kansverwachting. Ook blijken de constructeurs van werkindelingsmodellen hier nog geen raad mee te weten. Wel op grote bedrijven van 10.000 ha en meer in Centraal en Oost Europa, de daár ontwikkelde modellen zijn voor bedrijf(jes!) van 100 ha of minder niet toepasbaar (dat bleek bijvoorbeeld duidelijk bij de promotie van Dr Wijngaard op 2 september 1988).

Ik wil hiermee vooral niet zeggen dat de Nederlandse landbouwer niets aan kansverwachtingen zou hebben, maar hem moet geleerd worden hoe hij daarmee om moet gaan. Dit speelt overal omdat iedere verwachting een kans van slagen heeft die beneden de 100% ligt. Zolang die kans niet gegeven wordt, wordt er gemopperd als de verwachting niet precies uitkomt en men volgt de volgende keer de verwachting weer op. Maar er moet nog gestudeerd worden aan het kwantitatieve gebruik van de kans. Dat zal waarschijnlijk leiden tot vragen aan de meteoroloog om kansen met andere inhoud, marge enzovoorts te geven.

Ook nu heeft een kans niet steeds dezelfde betekenis. Wordt bij buifig weer voor een 12 uur-tijdvak een neerslagkans van 50% verwacht, een gebieds-neerslagsom van 3 mm en de atmosfeer gedraagt zich precies zoals we verwachten, dan zou dit als volgt geïnterpreteerd kunnen worden: op 50% van het gebied valt niets, plaatsen in de andere helft hebben één of twee buien te verwerken gehad en de gemiddelde neerslag-som over het gebied waar het heeft geregend bedraagt 6 mm.

Komt daarentegen een afzwakkend gesloten regen gebied richting Nederland, de verwachtingen zijn dezelfde als boven vermeld nl. 3 mm en 50%, dan moet die 50% geïnterpreteerd worden als een onzekerheid in de 3 mm.

Op de keper beschouwd zijn dit zwart/wit-tekeningen. Veel hangt af van welke situaties in de klasse vallen op basis waarvan de kans tot stand is gekomen zijn betrokken. Het geeft echter wel duidelijk aan waar het om draait. En in de praktijk betekent het wel vaak een totaal ander gevolg voor de werkindeling.

2.2 Neerslagduur-verwachting

Het is veelal van groot belang het begintijdstip van de neerslag te weten, voor zéér veel werkzaamheden is het belangrijk te weten van wanneer af het "niet droog" zal zijn. Vaak wordt door meteorologen gezegd er kan (of zal) best wat vallen maar het (bedoeld wordt dan de hoeveelheid) stelt niets voor (bijvoorbeeld 0,1 mm som over 1 uur). Veel werkzaamheden, zoals gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, kunnen vergeefs zijn geweest als het gewas binnen 2 uur bevochtigd wordt, dan wel als het juist niet een aantal uren vochtig blijft. Dat betekent een financiële tegenvaller, onnodige milieubelasting en verlenging van de periode van ziekte-infectiegevaar.

Het ideaal zou zijn dat voor tijdvakken afgegeven konden worden neerslaghoeveelheid, betrouwbaarheidsinterval, aanvangstijd en einde van neerslagperiodes. De tijdvakken kunnen groter zijn, naarmate de verwachtingsperiode verder in het verschiet ligt.

Overigens moet worden opgemerkt dat deze globale wensen gekoppeld zijn aan verdampingsverwachtingen en dauwverwachtingen. Een neerslag van 1 mm van 12.00 tot 13.00 uur terwijl de rest van de dag een verdamping verwacht wordt van 3 mm, heeft een andere invloed op de planning dan dezelfde neerslaghoeveelheid en een verdamping van 1 mm in de rest van de dag.

In het laatste geval kan het al belangrijk zijn te weten of de neerslag 0,8 of 1,2 mm bedraagt, in het eerste geval is zelfs 0,5 of 1,5 niet erg belangrijk. Hetzelfde geldt voor de interactie met dauw.

3 Samenvatting

De land- en tuinbouw hebben grote wensen, maar zijn tevreden als stapje voor stapje meer verwachtingen beschikbaar komen. Voorts mag het (bijna) niets kosten. Ik denk dat stichtingen als SIVAK, SITU en Taurus op de goede weg zijn om er zorg voor te dragen dat informatie aan velen verstrekt kan worden. Dan wordt het betaalbaar.

J.W. van der Made
Rijkswaterstaat-DGW

Opmerking vooraf. Betrokkene is niet werkzaam op het gebied van neerslagmetingen; ook heeft hij in dit kader nooit werkzaamheden verricht. Het onderstaande hierover is dus alleen gebaseerd op gedachten.

Neerslagwaarnemingen met behulp van radar, eventueel gedaan vanuit satellieten leveren uiteraard het grote voordeel dat men een beeld krijgt van het neerslagpatroon. Dit levert een goed hulpmiddel om tussen grondwaarnemingen te kunnen interpoleren. Hierdoor hoeft men niet zijn toevlucht te nemen tot interpolaties door middel van een denkbeeldig patroon, gebaseerd bijvoorbeeld op een n^e -graads oppervlak of op spline functies die geen fysieke achtergrond hebben. Andere interpolaties, gebaseerd op de correlatiestructuur zoals kriging en optimale interpolatie geven misschien een redelijk verwachtingspatroon, maar in actuele situaties kunnen grote afwijkingen t.o.v. de opgetreden toestand optreden. Bij dergelijke interpolaties zal in ieder geval een dichter meetnet nodig zijn dan wanneer men over een fysisch interpolatiepatroon beschikt.

Wel moet men bedenken dat op onze breedte alleen een zogenaamde polar-orbiting satelliet verticaal boven ons grondgebied kan komen. Dit zal echter slechts gedurende korte tijd het geval zijn. Geo-stationaire satellieten zijn alleen mogelijk boven de evenaar.

Een vergelijkbaar voorbeeld, liggende op het gebied van waterstandsmetingen geven de radarhoogtemetingen, zoals die momenteel in studie zijn bij de TU-Delft, Faculteit voor Lucht- en Ruimtevaarttechniek (Prof. Ir K.F. Wakker).

Aan de satellieten ERS-1 en TOPEX POSEIDON, te lanceren in respectievelijk 1990 en 1991 zullen radarhoogtemeters worden aangebracht. Het is de bedoeling dat de hiermee verkregen gegevens onder meer zullen dienen voor bijstelling van het Continental Shelf Model (CSM) bij het doen van stormvloedvoorspellingen. Met eerdere satellieten zijn reeds goede resultaten bereikt, o.a. voor de bepaling van het gemiddeld zee-oppervlak over de gehele aarde.

W.D. van den Berg
Meteo Consult BV

Ondanks het beschikbaar zijn van real-time radarbeelden en satelliet-beelden is het maken van een neerslagverwachting voor de periode 1-24 uur vooruit nog bepaald niet eenvoudig. Op nog wat langere termijn (24-144 uur vooruit) zijn real-time beelden zelfs helemaal niet meer te gebruiken. Dan moet de meteoroloog het hebben van ervaring en vooral ook van wat de numerieke weersvoorspelling aan neerslag uitrekt. Ook bij het begrijpen en vertalen van deze computer-informatie naar een puntverwachting (kans, hoeveelheid) komt nog heel wat ervaring kijken. Daar zal ik nu niet op ingaan.

Wat zijn nu zoal de problemen met de interpretatie van wat men op radar/satellietbeelden ziet? Om er enkele te noemen:

- de levensduur van de regenbrengende wolkensystemen:
Individuele buien bestaan vaak korter dan 1 uur, zware trekkende buienlijnen bestaan circa 6 uur (hoewel de individuele buienhaarden langs zo'n lijn toch hooguit 1 uur bestaan), regenzones bestaan vaak 24-48 uur maar bevatten meestal 'actievare en minder actieve' plekken die op zich weer veel korter bestaan;
- de invloed van plaatselijke terreinomstandigheden:
Bij weinig wind is de verdeling van land/zee of soms de lokale topografie (heuvels, zand/klei) van belang voor het ontwikkelen en voortbestaan van zware lokale buien, op iets grotere schaal speelt de vorm van de Engelse kustlijn en de vorm van de Noordzee vaak een rol;
- het vertalen van de verwachting in voor de klant begrijpelijke informatie:
De kans op regen is 70% en de gebiedsgemiddelde neerslag is 4 mm betekent bij buien bijvoorbeeld: vanmiddag en in het begin van de avond valt op 70% van de plaatsen neerslag, de hoeveelheid kan variëren van 0 tot 15 mm (het gebiedsgemiddelde is echter ongeveer 4). Bij een gestaag regentje valt er bijvoorbeeld overal 3, 4 of 5 mm.

Zijn dan real-time radarbeelden helemaal niet te gebruiken door de niet meteorologisch geschoolde afnemer?

Natuurlijk wel, zij het dat de beelden alleen gebruikt moeten worden zoals ze zijn, dus voor het NU (en misschien de EERSTVOLGENDE 1-3 UUR vooruit). Ook bij het interpreteren van de real-time radarbeelden komt trouwens nog heel wat kijken, bijvoorbeeld:

- er moet rekening gehouden worden met de hoogte van de wolken toppen: hoge wolken worden op grotere afstand door de radar opgemerkt dan ondiepe regenwolkjes; een zone met lichte neerslag komt dus pas in beeld als die regen zich binnen 100-150 km van het radarstation bevindt;
- de radar kijkt niet goed door een band met (zeer) intensieve regen heen, zodat regen die zich daarachter bevindt lange tijd onopgemerkt blijft;
- bij sneeuw en sneeuw/regen ziet de radarecho er soms heel sterk uit (smeltzone);
- onder bepaalde weersomstandigheden ontstaan valse grondecho's, die niet altijd goed te herkennen zijn.

Hoe zit het met het gebruik van satellietfoto's?

Afhankelijk van de gebruikelijke golflengte is op een satellietfoto vooral de hoge dan wel de lage (dikke) bewolking te zien. Alleen door een bewegende reeks satellietfoto's te bekijken is een goed onderscheid te maken tussen onschuldige hoge bewolking en hoge bewolking die samenhangt met een actief slechtweergebied. Ook bij de satellietfoto geldt, dat kennis van de operationele meteorologie de interpretatie vereenvoudigt.

Belangrijk is het daarom, dat er o.a. aan de TUD gewerkt wordt aan een objectief wolkenclassificatie en -detectiesysteem, wat weer-actieve wolken met een grote trefkans ook voor de 'leek' kan markeren. Het zal echter nog wel even duren, voordat dit 'op de markt' komt.

Suggesties:

- verklein het aantal gevallen met hinderlijke grondecho's op de radarbeelden;
- probeer radarbeelden cumulatief te integreren, zodat 'neerslaginformatie per uur' beschikbaar komt (dit geeft een nauwkeuriger indicatie van de activiteit van een gebied met buien of regen dan een momentopname doet; losse buien worden dan 'gesmoothd');
- zorg voor een betere detectie van 'ondiepe' en of verre regengebieden door de plaatsing van een drietal extra radarposten (b.v.: Zeeland, Groningen, Roermond/Sittard);
- zorg voor een koppeling tussen satellietbeelden en radarbeelden.

EEN VERIFICATIE-EXPERIMENT VOOR KANSVERWACHTINGEN VOOR DE NEERSLAGSOM

A.W. Donker, KNMI (ex Meteo Zierikzee)

Tijdens de uitvoering van de Deltawerken (Stormvloedkering Oosterschelde enz.) is de Meteorologische Dienst v/h KNMI te Zierikzee ten nauwste betrokken geweest bij de dagelijkse operationele weerberichtengeving (werkbaarheidsverwachtingen).

In dit kader is een verificatie-experiment uitgevoerd voor kansverwachtingen voor wind, mist, golfbeweging.

Alhoewel de verwachte neerslag doorgaans geen werk-besliscriterium vormde zijn hier wel tweemaal daags kansverwachtingen voor opgesteld.

De dienstdoend meteoroloog baseerde daarbij zijn inschattingen op synoptisch inzicht (weerkaart meteorologie), radargegevens en na 1985 ook op numerieke prognoses. Een dergelijke werkwijze wordt ook wel met "man-machine-mix" aangeduid.

Voor de neerslag in een uurvak van zes uren werden kansen aangegeven (in stappen van 10%) voor het overschrijden van een hoeveelheid van 1,4 mm.

In totaal werden 3869 korte termijn verwachtingen geverifieerd.

De resultaten zijn weergegeven in bijgaande grafiek en tabellen.

Becijferd kan worden dat de klimatologische kans 10% bedraagt. In dat licht moet een "fifty-fifty" verwachting van de meteoroloog bezien worden als een verwachte kans van optreden die vijfmaal hoger is dan normaal.

Een toetsing van de verwachting werd uitgevoerd aan de hand van de pluviograafregistraties van slechts één station (Zierikzee). Daar ca. 50% van de neerslag in de vorm van lokale buien valt zou een toetsing voor regionale neerslag (bijvoorbeeld 5 stations) zinvoller zijn geweest.

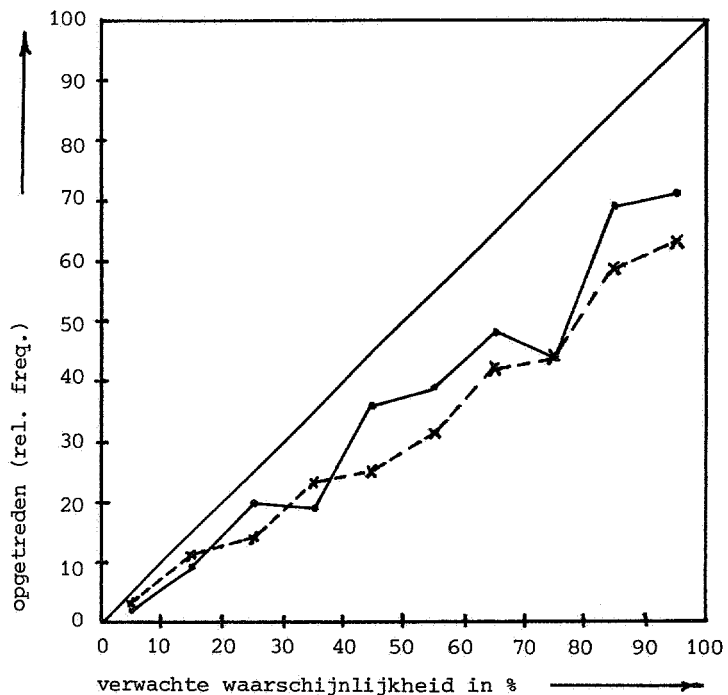
Naar mijn mening is een groep "skilled forecasters" in staat om, met de huidige hulpmiddelen, bruikbare kansverwachtingen voor de neerslagsom te geven, mits de klimatologische kans niet extreem klein wordt gesteld. (kwantitatieve definitie neerslagsom).

LITERATUUR

Murphy, A.H., and H. Daan, 1984:

Impacts of Feedback and Experience on the Quality of Subjective Probability Forecasts: Comparison of Results from the First and Second Years of the Zierikzee Experiment. Mon. Wea. Rev., 112, 413 - 423.

Figuur 1 Kansverwachtingen zes-uurs neerslagsom > 1,4 mm



periode okt 1981 t/m sep 1987

— 3 tot 9 uur vooruit

- - - 9 tot 15 uur vooruit

klimatologische kans ≈ 10 %

Tabel 1 Kansverwachting neerslagsom groter dan 1,4 mm voor een periode
3 - 9 uur vooruit

	verwachte waarschijnlijkheid in %									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
aantal ver- wachtingen	2600	379	270	175	108	57	62	64	35	119
opgetreden	42	36	53	34	39	22	30	28	24	84
percentage	2	9	20	19	36	39	48	44	69	71

Tabel 2 Kansverwachting neerslagsom groter dan 1,4 mm voor een periode
9 - 15 uur vooruit

	verwachte waarschijnlijkheid in %									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
aantal ver- wachtingen	2288	524	359	239	174	84	76	52	17	56
opgetreden	70	60	51	54	44	26	32	23	10	35
percentage	3	11	14	23	25	31	42	44	59	63

BIJLAGEN

DEELNEMERS

Naam	Instantie+adres	Tel.
S. van den Assem	NWO p/a LUW, vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie Nieuwe Kanaal 11 6709 PA Wageningen	08370-83847
W.D. van den Berg	Meteo Consult BV Postbus 617 6700 AP Wageningen	08370-23300
H.E.J. Berger	Rijkswaterstaat, DBW/RIZA Postbus 17 8200 AA Lelystad	03200-70777
P.E. Beukema	Hoogheemraadschap van Rijnland Breestraat 59 2311 CJ Leiden	071-259415
H.A.R. de Bruin	LUW, Vakgroep Natuur- en Weerkunde Duivendaal 1 en 2 6701 AP Wageningen	08370-82939
H.J. Colenbrander	CHO-TNO Postbus 297 2501 BD Den Haag	070-496537
J.C. van Dam	TUD Postbus 5048 2600 GA Delft	015-781377
P.T.M. Dircke	Waterschap Roer en Overmaas Postbus 185 6130 AD Sittard	04490-17343
A.W. Donker	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206911
L.J.J. Dijkhuis	Hoogheemraadschap West-Brabant Postbus 2212 4800 CE Breda	076-631000
A.F.V. van Engelen	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206522

C.J.H. Griffioen	Waterschap Salland Prostenkamp 3 8101 BX Raalte	05720-56800
L.M. Hafkenscheid	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206911
M. Hallema	Provincie Friesland Afdeling Water Tweebaksmarkt 52 8911 KZ Leeuwarden	058-925451
F.C. Hamster	Waterschap De Veenmarken Postbus 1 7876 ZG Valthermond	05996-1622
R.A. Hoenson	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206911
J.C. Hooghart	CHO-TNO Postbus 297 2501 BD Den Haag	070-496540
J. Huinink	Consulentschap voor Bodem-, Water- en Bemestingszaken in de Akker- Bouw en Tuinbouw Postbus 55 6700 AB Wageningen	08370-19100
R.A.A.M. Ivens	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206911
R. Jilberda	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206522
W. Klaassen	TUD, Electrotechniek Vakgroep Telecommunicatie Postbus 5031 2600 GA Delft	015-782845
D.A. Kraijenhoff van de Leur	Heimanslaan 51 6705 AE Wageningen	
J.W. van der Made	Rijkswaterstaat, DGW Postbus 20907 2500 EX Den Haag	070-889370

A.J.M. Nelen	TUD, Civiele Techniek Stevinweg 1 2628 CN Delft	015-785080
Th.J. van de Nes	Provincie Gelderland Dienst Milieu en Water Marktstraat 1 6800 GX Arnhem	085-592042
G. Nieuwenhuis	ICW Postbus 35 6700 AA Wageningen	08370-19100
L.J. Pieterse	Gemeentewerken Postbus 6633 3002 AP Rotterdam	010-4894498
C.W.S. Posthumus	CHO-TNO Postbus 297 2501 BD Den Haag	070-496515
W.W.J. Prinzhorn	Dienst Openbare Werken Wibautstraat 3 1091 GH Amsterdam	020-5964173
J.H. Riemens	Hoogheemraadschap van Rijnland Breestraat 59 2311 CJ Leiden	071-259412
H.W.J. Russchenberg	TUD, Electrotechniek Vakgroep Telecommunicatie Postbus 5031 2600 GA Delft	015-786292
L.J. Scholma	Hoogheemraadschap West-Brabant Postbus 2212 4800 CE Breda	076-631000
M.D. Sinke	Hoogheemraadschap van Delfland Postbus 2936 2601 CX Delft	015-140950
J.N.M. Stricker	IUW, Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie Nieuwe Kanaal 11 6709 PA Wageningen	08370-83846

C.J.M. Vermeulen	Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst" Postbus 152 8300 AD Emmeloord	05274-2922
C. Volp	SAMWAT Postbus 297 2501 BD Den Haag	070-496551
L. Wartena	LUW, Vakgroep Natuur- en Weerkunde Duivendaal 1 en 2 6701 AP Wageningen	08370-83981
H.R.A. Wessels	KNMI Postbus 201 3730 AE De Bilt	030-206456
R.F. Westhoek	Hoogheemraadschap van Rijnland Breesstraat 59 2311 CJ Leiden	071-259414
J.V. Witter	Universiteit van Amsterdam Dapperstraat 115 1093 BS Amsterdam	020-525911

PROGRAMMA

NEERSLAGMETING EN -VOORSPELLING;
Toepassing van moderne technieken zoals radar- en satellietwaarnemingen.

7e Studiebijeenkomst
van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (CHO-TNO),
georganiseerd in samenwerking met SAMWAT

Datum: 16 november 1988

Plaats: KNMI. De Bilt

Deelname: op uitnodiging

- 09.15 Ontvangst en koffie
- 09.45 Opening door de voorzitter van het bestuur (Klein Comité) van CHO-TNO en SAMWAT
Prof.dr.ir. J.C. van Dam
- 09.50 Inleiding door de dagleider,
Ir. J.N.M. Stricker (Landbouwniversiteit Wageningen,
Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie)
- 10.00 Neerslagwaarneming met radar
Drs. W. Klaassen (Technische Universiteit Delft,
Faculteit Electrotechniek, Vakgroep Telecommunicatie)
- 10.30 Gebruik van KNMI neerslagradars
Ir. H. Wessels (KNMI)
- 10.50 Koffie
- 11.20 Neerslagonderzoek met Delft Atmospheric Research Radar
Ir.H.W.J. Russchenberg (Technische Universiteit Delft,
Faculteit Electrotechniek, Vakgroep Telecommunicatie)
- 11.40 "Toepassing"
Uitwerking van een regendag:
- weersvoorspelling/weerkaarten
- video van beelden van het buienradar
- neerslagcijfers gemeten met regenmeters
Ir. S. van den Assem (NWO)
- 12.10 Het schatten van neerslag uit satellietbeelden,
Dr.ir. H.A.R. de Bruin (Landbouwniversiteit Wageningen,
Vakgroep Natuur- en Weerkunde)
- 12.30 Numeriek neerslagverwachtingen
Dr. L.M. Hafkenscheid (KNMI)
- 12.50 Lunch
- 14.00 Case: hoe kan het waterschap gebruik maken van de
moderne neerslagegegevens
Ing. J. Riemens (Hoogheemraadschap van Rijnland)
- 14.15 Case: hoe gaat Rotterdam gebruik maken van radargegegevens
Ir. L.J. Pieterse, (Gemeentewerken Rotterdam)
- 14.30 Discussie a.d.h.v. stellingen
- 15.30 Samenvatting door de dagleider
- 15.45 Sluiting door Prof.dr.ir. J.C. van Dam
- 15.50 Einde studiebijeenkomst

RAPPORTEN EN NOTA'S
COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

- No. 1. Tweede rapport en aanbevelingen van de Contactgroep
Archivering en Automatische Verwerking van hydrologische
gegevens TNO.
Januari 1977
- No. 2. Verslag en aanbevelingen van de ad hoc Groep
Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur TNO.
Juli 1978
- No. 3. De droogte in 1976.
Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976
verschenen literatuur - (P.K.M. v.d. Heijde).
Augustus 1978
- No. 4. Nederlandse activiteiten in internationaal hydrologisch
verband.
Lezingenserie, gehouden op 25 april 1978 te Delft, aangevuld
met (schematische) overzichten van internationale organisaties
en een overzicht van hun vertegenwoordigers in Nederland.
Augustus 1978
- No. 5. Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels.
Een verslag van de workshop op 1 en 2 april 1980 te Wageningen
- (J.C. Hooghart), aangevuld met discussiebijdragen en een
inventarisatie van onderzoek in Nederland.
Augustus 1980
- No. 6. Derde rapport en aanbevelingen van de Contactgroep Archivering
en Automatische verwerking van hydrologische gegevens TNO.
Februari 1981
- No. 7. Overzicht van de wensen van hydrologen en waterbeheerders ten
aanzien van het operationele regenwaarnemingsnet van het KNMI
- J.C. Hooghart.
Oktober 1981

- No. 8. *) Verklarende Hydrologische Woordenlijst van de Gespreksgroep
Hydrologische Terminologie.
- 8a. I Water in de onverzadigde zone
II Water in de verzadigde zone
Januari 1982
- 8b. III Atmosferisch water
Juni 1983
- 8c. IV Oppervlaktewater
Maart 1985
- No. 9. Waterkwaliteit en waterkwantiteit in het IJsselmeergebied.
Een verslag van de 2e CHO-studiebijeenkomst op 2 en 3 november
1981, De Eemhof, Zuidelijk Flevoland - (J.C. Hooghart),
aangevuld met discussiebijdragen.
Februari 1982.
- No. 10. Rapport en aanbevelingen van de Contactgroep
Grondwatermodellen, CHO-TNO
April 1982.
- No. 11. Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen.
L.J.M. Boumans
Oktober 1982
- No. 12. Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid.
Een verslag van de 3e CHO-studiebijeenkomst op 15 maart 1983
te Wageningen - (J.C. Hooghart), aangevuld met
discussiebijdragen.
Juni 1983
- No. 13. Vergelijking van modellen voor het onverzadigd
grondwatersysteem en de verdamping.
Een verslag van de 4e CHO-studiebijeenkomst op 24 oktober 1984
georganiseerd in samenwerking met de Studiegroep Hupselse Beek
- (J.C. Hooghart).
Maart/april 1985

*) Verouderd, zie de nieuwe uitgave no. 16.

- No. 14. Meten, meetnetten en optimale meetnetontwerpen ten dienste van het waterbeheer.
Een verslag van:
- Voorjaarsbijeenkomst van de KIVI Sectie Waterbeheer:
"Meten voor waterbeheer", mei 1984.
- Colloquium van de Studiegroep Statistiek in de hydrologie
CHO-TNO: "Meetnetontwerp en optimalisatie", november 1984
Februari 1986
- No. 15. Het hydrologisch systeem in het grensgebied Luik-Maasbracht.
Le système hydrologique dans la région frontalière
Liège-Maasbracht.
Een verslag van de 5e CHO-studiebijeenkomst op 13 december
1985 georganiseerd in samenwerking met de Nationale
IHP-comité's van België en Nederland en de Contactgroep
Hydrologie van het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk
Onderzoek uit België - (J.C. Hooghart).
April 1986
- No. 16. Verklarende Hydrologische Woordenlijst van de Gespreksgroep
Hydrologische Terminologie, waarin opgenomen de hoofdstukken:
I Algemene termen
II Atmosferisch Water
III Water in de onverzadigde zone
IV Water in de verzadigde zone
V Oppervlaktewater
Oktober 1986, hernieuwde uitgave
- No. 17. Duurzaamheid rioolleidingen; een literatuurstudie naar
aantastingsmechanismen.
R.B. Polder
Februari 1987
- No. 18. Ruimtelijke variabiliteit van bodem en water.
Een verslag van de 6e CHO-studiebijeenkomst op 22 oktober 1986
- (J.C. Hooghart)
Februari 1987

- No. 19. Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen.
Eindrapport van de project- en begeleidingsgroep
Verdampingsberekeningen - (J.C. Hooghart en W.N. Lablans)
December 1988
- No. 20. Tijdreeksen in bodem en water.
Bijdragen aan de lezingendag op 26 januari 1989 van de NRL0 werkgroep "Ruimtelijke variabiliteit in Bodem en Water" en de Studiegroep Statistiek in de Hydrologie van de CHO-TNO.
December 1988
- No. 21. Neerslagmeting en -voorspelling; toepassing van moderne technieken zoals radar- en satellietwaarnemingen.
Een verslag van de 7e CHO-studiebijeenkomst op 16 november 1988 georganiseerd in samenwerking met SAMWAT - (J.C. Hooghart).
Februari 1989

Voor bestellingen en informatie:

CHO-TNO

Postbus 297

2501 BD 's-Gravenhage

