



Het berekenen, verifiëren en corrigeren van radarneerslagsommen

R.M. van Westrhenen

Technical Report = Technisch Rapport; TR-253

De Bilt, 2003

PO Box 201, 3730 AE De Bilt
The Netherlands
Wilhelminalaan 10
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31 30 22 06 911
Telefax +31 30 22 10 407

Author: Westrhenen, R.M. van

UDC: 551.501.777
551.501.815

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2234-8



Het berekenen, verifiëren en corrigeren van radarneerslagsommen

R.M. van Westrhenen

Inhoudsopgave

1 Samenvatting.....	3
1 Inleiding.....	4
2 De werking van de radar en de berekening van de radarneerslagintensiteit en neerslagsommen.	
2.1 De werking van de radar.....	5
2.2 De berekening van de neerslagintensiteit en neerslagsommen.....	5
3 Verificatie van de neerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder	
3.1 Verificatie van radarneerslagsommen met neerslagmetingen.....	7
3.2 Hoe ziet de fout eruit als functie van de afstand en tot welke afstand zijn de radarneerslagsommen nauwkeurig?	9
3.3 De ruimtelijke verdeling van de fout.....	11
3.4 Hoe vaak geven de radars terecht of onterecht neerslag?	13
3.5 Variatie van de fout in de tijd.....	15
3.6 Variatie van de fout per neerslaghoeveelheid en neerslag type.....	16
3.7 Fouten ten gevolg van grondecho's.....	18
4 Corrigeren van radarneerslagsommen.	
4.1 Corrigeren van fouten in neerslagsommen veroorzaakt door grondecho's.....	19
4.2 Corrigeren van de afstandafhankelijke, tijdsafhankelijke, neerslagafhankelijke en richtingsafhankelijke fouten.....	20
4.3 Optimaal mengbeeld van de radars in De Bilt en Den Helder.....	21
4.4 Testen van de correcties op de onafhankelijke dataset.....	23
5 Conclusies en aanbevelingen.....	23
Referenties.....	24

Samenvatting

Het KNMI beschikt over twee neerslagradars van het type Gematronic C-band Doppler radar, opgesteld in De Bilt en Den Helder. De door deze radars uitgezonden microgolven worden door regendruppeltjes gereflecteerd en weer ontvangen. De intensiteit van de gereflecteerde straling wordt door middel van een semi empirische relatie omgerekend in de neerslagintensiteit. Operationeel wordt er elke 5 minuten een neerslagintensiteitbeeld bepaald. Het achtereenvolgens vertonen van deze 5 minuten beelden geeft een overzicht van de neerslag en verplaatsing van de neerslag boven Nederland en omgeving, en wordt vaak in de weersverwachting op televisie getoond.

Door deze 5 minuten neerslagintensiteitbeelden te sommeren is het mogelijk om de hoeveelheid neerslag over een periode van een veelvoud van 5 minuten te berekenen. Door de radarneerslagsom te vergelijken met de corresponderende neerslagmetingen aan de grond is het mogelijk de kwaliteit van de radarneerslagsommen te bepalen. Verificatie van radarneerslag met neerslagmetingen aan de grond heeft een aantal structurele fouten in radarneerslagsommen aangetoond. De grootste fouten zijn de afstandafhankelijke, neerslaghoeveelheidsafhankelijke, tijdsafhankelijke, richtingsafhankelijke en de fout veroorzaakt door grondecho's.

De fout in de neerslagwaarde veroorzaakt door het sommeren van grondecho's kunnen eenvoudig uit de neerslagsom worden gefilterd. De overige fouten kunnen worden gecorrigeerd door de fout als functie van de afstand, neerslaghoeveelheid, tijd en richting af te leiden, en de neerslagsommen met de inverse van deze functies te corrigeren. Met behulp van één regressievergelijking kunnen de verschillende fouten gelijktijdig worden gecorrigeerd. Door deze regressievergelijking voor ieder dag af te leiden over de daaraan voorafgaande periode worden de fouten in de neerslagsommen verder verkleind.

Door het combineren van de afzonderlijk gecorrigeerde radarneerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder wordt voor heel Nederland een optimale neerslagsom bepaald.

De correcties zijn berekend op grond van data over heel 2001 en getoetst op de onafhankelijke dataset van 2002. Door het verwerken van de correcties worden de neerslagsommen significant verbeterd en daarmee de toepasbaarheid van de radarneerslagsommen vergroot.

1 Inleiding

In dit rapport wordt uitgelegd hoe met behulp van een radar neerslag kan worden gedetecteerd en hoe neerslagsommen kunnen worden berekend. De kwaliteit van de radarneerslagsommen wordt bepaald door deze met metingen aan de grond te verifiëren. Het KNMI beschikt over een dicht net van ca. 325 neerslagstations waar elk etmaal de in het 24 uurstijdvak van 8 tot 8 uur UTC gevallen hoeveelheid neerslag wordt gemeten. Door deze metingen te vergelijken met de 24 uurs radarneerslagsommen wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Is er een afstandsafhankelijke fout en tot welke afstand zijn de radarneerslagsommen bruikbaar?
- Hoe ziet de ruimtelijke verdeling van de fout er uit?
- Hoe vaak detecteert de radar terecht of onterecht neerslag?
- Is er een variatie in de tijd, b.v. per jaargetijde?
- Hoe is de variatie van de fout per neerslag hoeveelheid?

Voor de structurele fouten in de radarneerslagsommen zijn correcties afgeleid. Zo worden de afstandsafhankelijke, neerslaghoeveelheidsafhankelijke, tijdsafhankelijke en richtingsafhankelijke fouten gecorrigeerd en worden fouten t.g.v. gesommeerde grondecho's uit de neerslagsommen gefilterd. Door de afzonderlijk gecorrigeerde neerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder te combineren kan een optimale radarneerslagsom voor Nederland worden bepaald.

2 De werking van de radar en de berekening van de radarneerslagintensiteit en neerslagsommen.

2.1 De werking van de radar.

Het woord radar is een acroniem van “Radio Detection And Ranging”. Radar is in de tweede wereldoorlog ontwikkeld om vliegtuigen mee op te sporen. De mogelijkheid van een meteorologische toepassing van radar werd al spoedig duidelijk na het constateren van neerslagecho's tijdens het zoeken naar vliegtuigen.

Een radarsysteem bestaat uit een zender, een antenne en een ontvanger. Een weerradar zendt microgolflstraling met een golflengte tussen de 3 en 10 cm uit. Microgolven verplaatsen zich met de snelheid van het licht. De uitgezonden microgolven worden door een parabolische antenne van enkele meters doorsnede in één richting gebundeld. De energie wordt gedurende korte pulsen uitgezonden. Tussen de pulsen door wordt de door regendruppels gereflecteerde energie weer door de antenne opgevangen. Een ontvanger meet de gereflecteerde energie. Uit het tijdsverschil tussen zenden en ontvangen wordt vervolgens de positie van de neerslag bepaald. Door de antenne telkens een stukje te draaien en op verschillende hoogtes te richten wordt een ruimtelijke verdeling van de neerslag bepaald.

De radars in De Bilt en Den Helder zijn van het type Gematronik C-band doppler radar en werken met een golflengte van 5 cm. Per seconde wordt 250 keer een puls uitgezonden. De antenne draait op vier verschillende elevaties rond, onder een hoek van resp. 0.3, 1.1, 2.0 en 3.0 graden t.o.v. de horizontale stand. De elevatie met de kleinste hoek is van belang voor metingen ver van de radar. Tot een afstand van ca. 300 km kan neerslag worden gedetecteerd. De elevatie met de grootste hoek is van belang voor metingen dichtbij de radar. De minimale afstand waar de radar neerslag detecteert is ca 20 km. De neerslagmeting binnen dit gebied (boven de radar) is afkomstig van de andere radar. De vier elevaties worden gecombineerd tot één radarbeeld, representatief voor een hoogte van 1 km. Dit zogenoemde pseudo CAPPI (CAPPI = Constant Altitude Plan Position Indicator) is een gewogen gemiddelde van de vier elevaties.

Een radarbeeld is opgebouwd uit 256 x 256 radarpixels. Elke pixel geeft de neerslagintensiteit per uur op een hoogte van 1 km voor een gebied van 2.5 x 2.5 km oppervlakte.

2.2 De berekening van de neerslagintensiteit en neerslagsommen.

Het aantal druppeltjes $N(D)$ per m^3 hangt af van de diameter (D) van de druppeltjes en de neerslagintensiteit. Met uitzondering van hele kleine druppeltjes, d.w.z. kleiner dan 1.5 mm, geldt de volgende exponentiële functie (J.S. Marshall en W.McK. Palmer, Ref. 10):

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D} \quad (2.1)$$

De parameter N_0 is gelijk aan

$$N_0 = 8.10^6 \text{ m}^{-3} \quad (2.2)$$

en voor elke neerslagintensiteit R geldt dat Λ gelijk is aan:

$$\Lambda = 4100R^{-0.21} \text{ m}^{-1} \quad (2.3)$$

De totale radarreflectie Z is gelijk aan de som van de verschillende reflecties. Deze worden bepaald door het aantal druppeltjes en de diameter van de druppeltjes (Collier, 1989):

$$Z = \int N(D)D^6 dD = \frac{720N_0}{\Lambda^7} \quad (2.4)$$

Uit de vergelijkingen (2.3) en (2.4) volgt:

$$Z = \frac{720 \times 8 \cdot 10^6}{(4100)^7} (R^{0.21})^7 = 296R^{1.47} \text{ mm}^6/\text{m}^3 \quad (2.5)$$

Doordat de reflectie Z afhankelijk is van de zesde macht van de diameter van de regendruppels, is de relatie tussen Z en R verschillend voor bijvoorbeeld motregen en zware onweersbuien. Bij het KNMI gebruikt men de semi empirische relatie:

$$Z = 200R^{1.6} \text{ mm}^6/\text{m}^3 \quad (2.6)$$

Uit de radarreflectie wordt elke 5 minuten een neerslagintensiteit met als eenheid mm/uur berekend. Door meerdere radarreflecties te integreren kunnen neerslagsommen worden berekend. Voor de verificatie van de neerslagsommen zijn de sommen over het 24 uur tijdvak van 8 tot 8 uur UTC vergeleken met de in tijdvak corresponderende neerslagmetingen aan de grond.

Wanneer de radarreflectie met formule (2.6) wordt omgezet naar een neerslagintensiteit aan het aardoppervlak, kunnen afwijkingen ontstaan (zie W. Klaassen, 1989) doordat bijvoorbeeld:

- 1) de druppelgrootte afwijkt van het statistisch gemiddelde;
- 2) de neerslag zich in een andere fase bevindt (sneeuw, hagel);
- 3) de neerslagintensiteit sterk varieert in de ruimte en tijd;
- 4) de reflectie niet (alleen) door neerslag wordt veroorzaakt;
- 5) een deel van de straling wordt geabsorbeerd en verstrooid;
- 6) de kalibratie van de radar kan afwijken en/of verlopen;
- 7) en doordat er water, sneeuw of vuil op de radar radome kan komen.

In hoofdstuk 3 wordt de fout in radarneerslagsommen, veroorzaakt door bovenstaande afwijkingen, gekwantificeerd. In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe de radarneerslagsommen kunnen worden gecorrigeerd.

3 Verificatie van de neerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder.

3.1 Verificatie van radarneerslagsommen met neerslagmetingen.

Het KNMI beschikt over 357 stations in Nederland waar de neerslaghoeveelheid wordt gemeten. Hierbij zijn 32 automatische stations die elke 10 minuten de neerslaghoeveelheid registreren. De overige metingen worden uitgevoerd door waarnemers die elke 24 uur een regenmeter aftappen en de neerslaghoeveelheid telefonisch doorgeven aan het KNMI. Deze 24 uren metingen lopen van 8 tot 8 uur UTC.

In dit hoofdstuk worden de verificatieresultaten van de radars met de gecorrigeerde neerslagmetingen van de “handmatige stations” getoond. Om de radarmetingen met de regenmetingen te kunnen vergelijken worden 288 vijf minuten radarbeelden tot een 24 uren som geïntegreerd. De 24 uren neerslagmeting van ieder “handmatig” station wordt vergeleken met de 24 uren neerslagsom van de radarpixel voor die locatie.

Door de kromming van de aarde meet de radar met toename van de afstand op steeds grotere hoogte de neerslag. Het is mogelijk dat deze neerslag “op hoogte” enkele kilometers verder pas de grond bereikt (of misschien wel helemaal niet). Onderzoek heeft echter aangetoond dat, door over 24 uren te integreren, de verschillen tussen verificatie met één pixelwaarde of het gemiddelde van de omliggende pixelwaarden verwaarloosbaar is. Daarom is voor de verificatie slechts één pixelwaarde gebruikt.

Voor de verificatie en optimalisatie van de neerslagsommen zijn de metingen van 2001 gebruikt. Alleen de dagen waarop tenminste 286 van de 288 radarbeelden gearchiveerd zijn, worden gebruikt. Voor de radar in De Bilt was dit op 220 dagen in 2001 het geval en voor de radar in Den Helder op 286 dagen. De resultaten van het optimaliseren zijn getest op een onafhankelijke dataset, nl. de metingen van 2002.

De volgende zaken zijn onderzocht:

- Hoe ziet de fout eruit als functie van de *afstand* tot de radar en tot welke afstand zijn de radar neerslagsommen nauwkeurig?
- Hoe ziet de *ruimtelijke verdeling van de fout* eruit?
- Hoe vaak geven de radars *terecht of onterecht* aan dat er neerslag is gevallen?
- Hoe is de *variatie van de fout in de tijd*: is de afwijking in b.v. de winter groter dan in de zomer?
- Hoe is de *variatie van de fouten per neerslaghoeveelheid* en in *extreme* situaties?
- Hoe goed valt er voor systematische afwijkingen tussen radarneerslagsommen en conventioneel gemeten sommen te corrigeren? Wat is de dan behaalde kwaliteit van neerslagsommen?

Bij de verificatie is veelvuldig gebruik gemaakt van het gemiddelde verschil (de bias) tussen radarneerslagsommen en neerslagmetingen, de root mean square (rms) error, de standaarddeviatie van de fout (δ), de mean absolute error (mae), probability of detection (pod) en false alarm rate (far) Vergelijking 7 t/m 12 beschrijven de berekeningen van deze statistische kentallen. Tenzij anders vermeld, tellen alleen radarneerslagsommen van minimaal 3.0 mm mee voor verificatie.

De **bias** is gelijk aan:
$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (3.1)$$

waarbij: $x_i = 24$ uren radarneerslagsom.
 $y_i = 24$ uren neerslagmeting

De **root mean square (rms) error** is gelijk aan:
$$rms = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x_i - y_i]^2} \quad (3.2)$$

De standaarddeviatie wordt uit de rms en de bias berekend. Dit om te voorkomen dat eerst de dataset doorlopen moet worden om een gemiddelde te bepalen voordat de standaarddeviatie kan worden

berekend. De **standaarddeviatie σ** is gelijk aan:
$$\sigma = \sqrt{rms^2 - bias^2} \quad (3.3)$$

De **mean absolute error (mae)**, is gelijk aan:
$$mae = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.4)$$

Gegeven een 2x2 contingentietabel met de klasse “neerslag” en “geen neerslag” waarin de radarneerslag wordt vergeleken met de observaties (tabel 3.1). In vak a wordt het aantal keren dat de radar neerslag heeft gemeten en er ook neerslag is geobserveerd gegeven (hits). Vak b geeft het aantal keren dat de radar geen neerslag heeft gemeten, maar er wel neerslag is gevallen (missers). Vak c geeft het aantal keer dat de radar neerslag heeft gemeten terwijl er geen neerslag is gevallen (false alarm) en vak d geeft het aantal keer dat de radar geen neerslag heeft gemeten en er ook geen neerslag is geobserveerd (correct rejections).

		Radar		
		neerslag	geen neerslag	
observaties	neerslag	a	b	a+b
	geen neerslag	c	d	c+d
		a+c	b+d	

Tabel 3.1: 2x2 contingentietabel

Het **fraction correct (fc)** is gedefinieerd als:

$$fc = a + d \quad (3.5)$$

De **probability of detection (pod)** is gedefinieerd als:

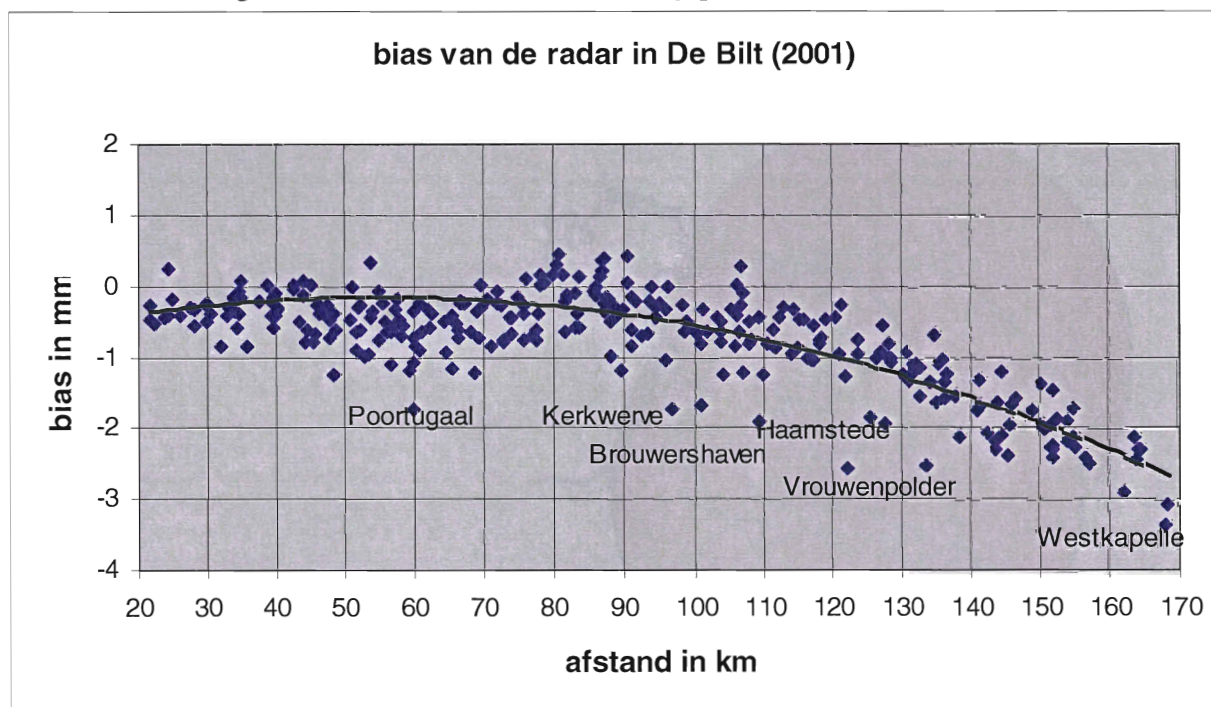
$$pod = \frac{a}{a + b} \quad (3.6)$$

De **false alarm ratio (far)** is gedefinieerd als:

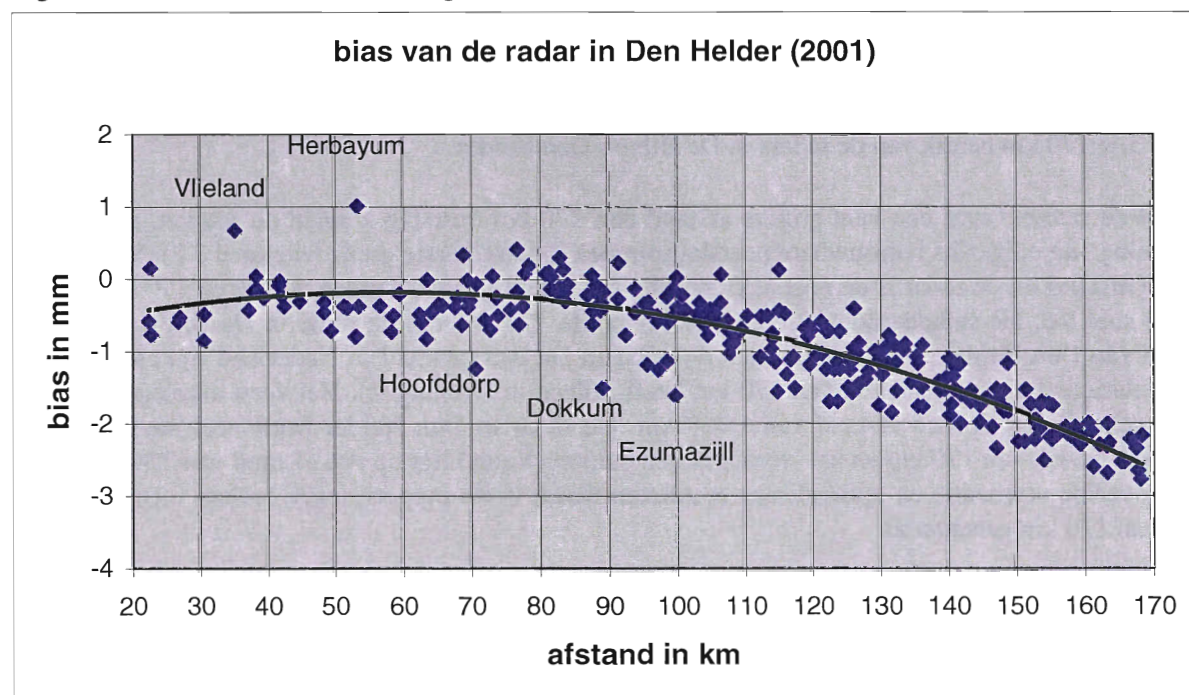
$$far = \frac{c}{a + c} \quad (3.7)$$

3.2 Hoe ziet de fout eruit als functie van de afstand en tot welke afstand zijn de radar neerslagsommen nauwkeurig?

Door de kromming van het aardoppervlak en de bundelverbreiding van het uitgezonden radarsignaal neemt de nauwkeurigheid van de radarneerslag met de afstand tot de radar af. In figuur 3.1 en 3.2 is het gemiddelde verschil (bias) tussen de 24 uren neerslagsommen in 2001 van de radars in De Bilt en Den Helder en de regenmeters als functie van de afstand geplott.



Figuur 3.1: Bias van de 24 uren neerslagsommen in 2001 van de radar in De Bilt als functie van de afstand.

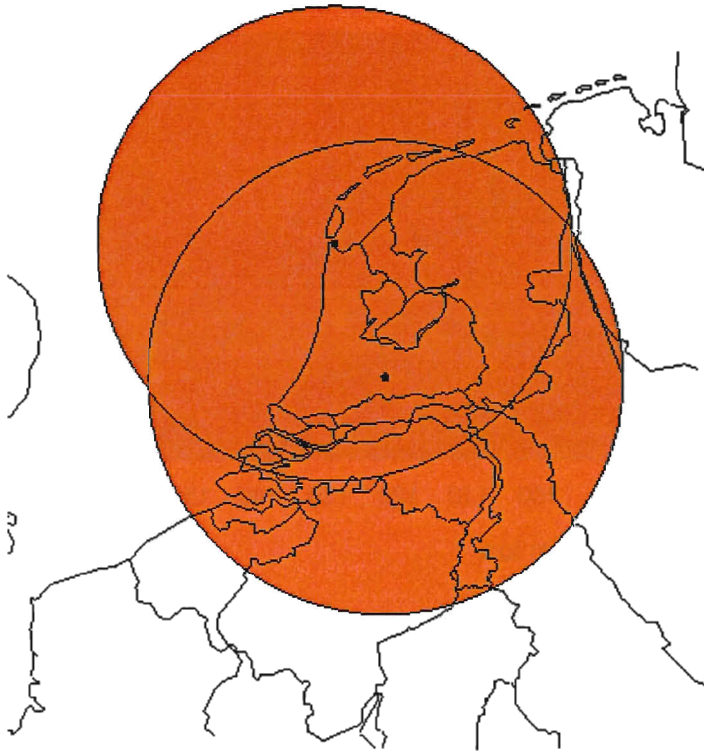


Figuur 3.2: Bias van de 24 uren neerslagsommen in 2001 van de radar in Den Helder als functie van de afstand.

Gemiddeld onderschatten beide radars de hoeveelheid neerslag. In paragraaf 3.6 wordt aangetoond dat deze onderschatting alleen plaats vindt bij grote hoeveelheden neerslag (meer dan 3.0 mm).

De radarneerslagsommen hebben voor een beperkt aantal locaties, genoemd in figuur 3.1 en 3.2, een opvallend grote fout in de neerslaghoeveelheid. In paragraaf 3.3 wordt aangetoond dat deze fout wordt veroorzaakt in bepaalde richting van de radars, waar het radarsignaal wordt onderbroken door obstakels.

Om voor heel Nederland neerslagsommen te berekenen is een minimaal bereik van 170 km noodzakelijk (zie figuur 3.3).



Figuur 3.3: 170 km bereik van de radars in De Bilt en Den Helder.

Hoewel de radars vanaf een veel grotere afstand dan 170 km neerslag kunnen detecteren, is voor de berekening van enigszins betrouwbare neerslagsommen dit de uiterste grens (zie tabel 3.2). Van 20 tot 100 km afstand tot de radar is de neerslagschatting het nauwkeurigst. Tussen de 100 en 170 km neemt de fout snel toe. De standaarddeviatie en bias boven de 170 km van de radar in De Bilt zijn kleiner dan die van Den Helder. Dit komt doordat de radar in De Bilt centraal in Nederland ligt en er slecht enkele stations buiten het bereik van 170 km heeft (alleen in Groningen). Het verst afgelegen station (Roodeschool) ligt op een afstand van 180.9 km. De radar in Den Helder heeft veel meer stations buiten het bereik van 170 km en het verst gelegen station (Vaals) ligt op een afstand van 254.9 km. Bij de overige verificatie en optimalisatie resultaten wordt in dit rapport, tenzij anders vermeld, deze grens van 170 km gehanteerd.

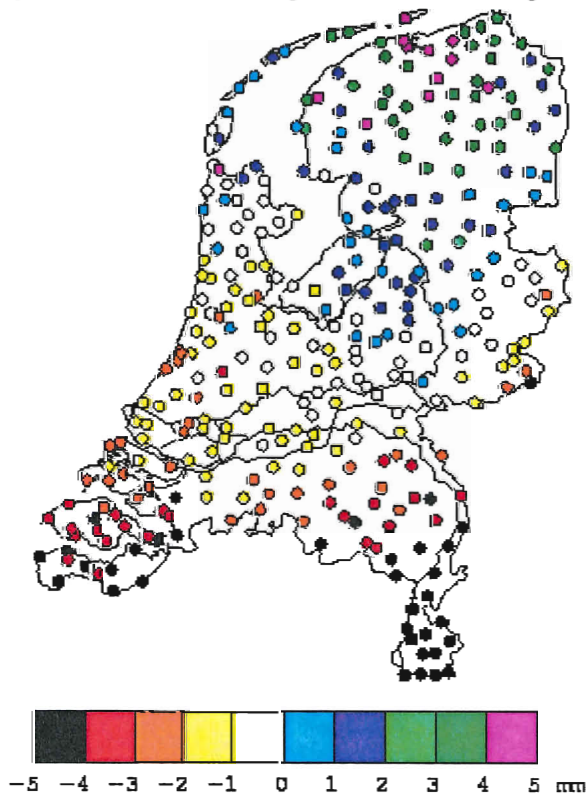
	Radar in De Bilt			Radar in Den Helder		
	bias	σ	mae	bias	σ	mae
20-170 km	-1.52 mm	4.53 mm	3.13	-1.99 mm	4.27 mm	3.30
20-100 km	-0.89 mm	4.49 mm	2.80	-0.98 mm	3.84 mm	2.71
100-170 km	-2.57 mm	4.39 mm	3.68	-2.68 mm	4.40 mm	3.70
>170 km	-5.24 mm	4.83 mm	5.71	-5.80 mm	5.23 mm	6.19

Tabel 3.2: Bias, standaarddeviatie en de mean absolute error, van de 24 uursradarneerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder.

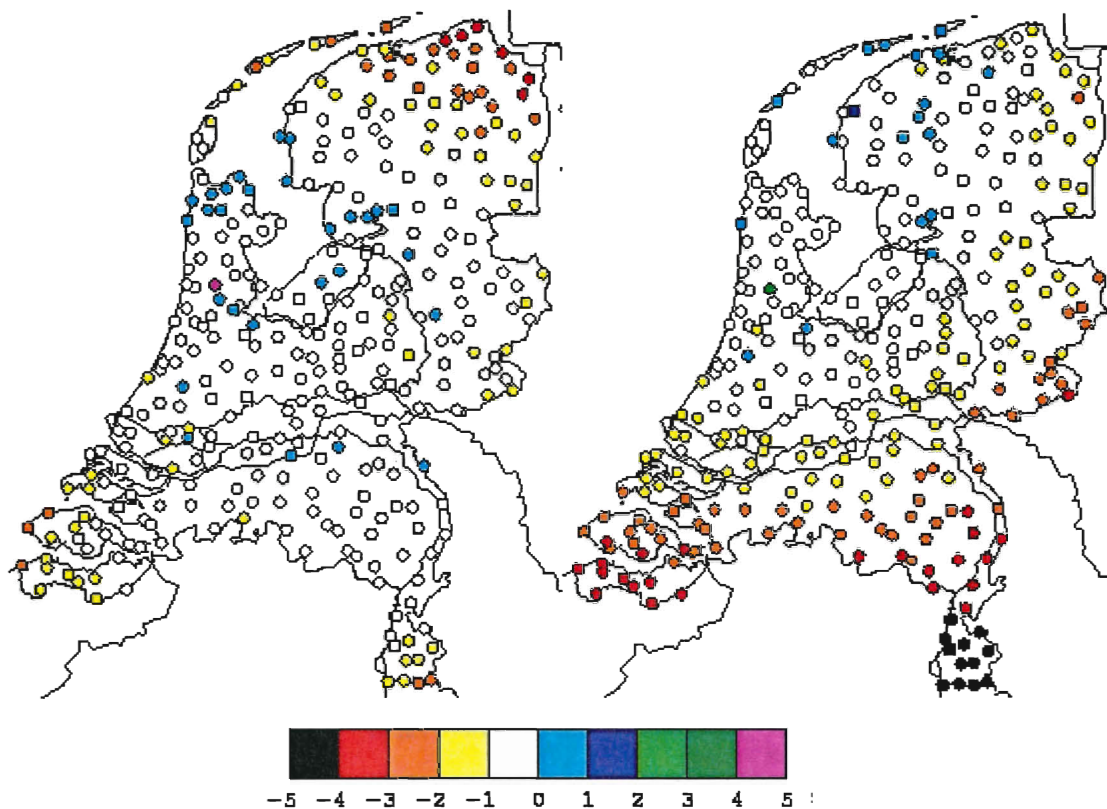
3.3. De ruimtelijke verdeling van de fout.

In figuur 3.4 is de bias in de 24 uursneerslagsom van Den Helder t.o.v. de neerslagmetingen over heel 1998 grafisch weergegeven. Er is duidelijk te zien dat de spreiding van de fout niet willekeurig, maar richtingsafhankelijk is. De bias in noordoostelijke richting is het grootst, in zuidelijke richting kleiner en in zuidwestelijke richting minimaal. Na het nauwkeurig bijstellen van de radar elevatie begin 2000 is deze richtingsafhankelijke fout verdwenen.

In figuur 3.5 en 3.6 zijn de bias van de radar in De Bilt en Den Helder van de afhankelijke dataset (2001) t.o.v. de neerslagmetingen grafisch weergegeven. Hier is geen duidelijke fout als functie van de draairichting meer te zien en hoeft er dus niet meer voor te worden gecorrigeerd. Wel zijn de fouten in enkele specifieke richtingen opvallend groot. Zo is er voor de radar in De Bilt in oostelijke richting, zuidelijke richting en zuidwestelijke richting een aantal neerslagwaarnemingen met een grote negatieve bias en voor de radar in Den Helder in noordoostelijke en pal zuidelijke richting. Deze onderschattingen van de neerslag vallen nog meer op als de neerslagsom over een lange periode wordt berekend en geplot (zie figuur 3.7 en 3.8). Duidelijk zijn de richtingen te zien waar het radarsignaal is verstoord. De oorzaak van deze verstoringen zijn hoge objecten in de nabijheid van de radars die het signaal onderbreken. Voor de radar in De Bilt zijn dit o.a. hoge gebouwen in Utrecht (waaronder het Fortisgebouw in Utrecht-Oost) en een flatgebouw in Zeist (Flat Vollenhoven). Het signaal in Den Helder wordt in noordoostelijke richting verstoord door een hoog gebouw en in zuidelijke richting door een windmolen! Deze onderschattingen van de neerslag in enkele specifieke draairichtingen van de radarantenne zijn bij het maken van het neerslagmengbeeld van beiden radars (zie paragraaf 4.3) te corrigeren door ze te vervangen door de neerslagsom van de andere radar.

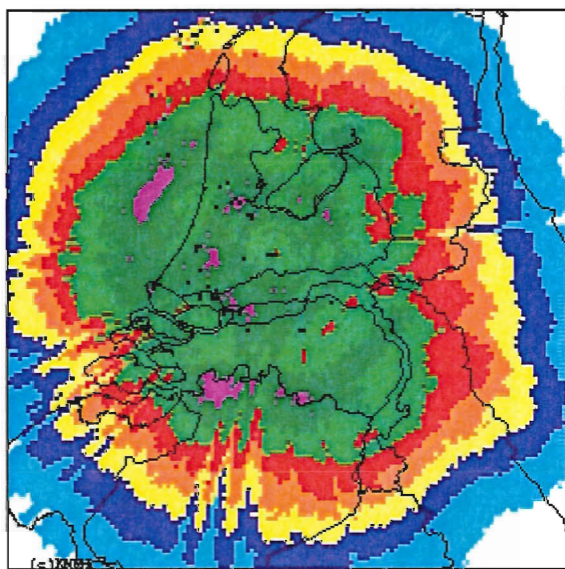


Figuur 3.4: Bias van de radar in Den Helder over 1998

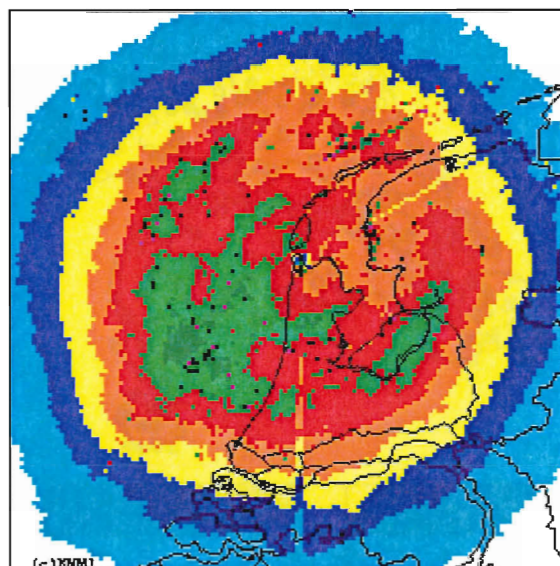


Figuur 3.5: Bias in mm van de radar in De Bilt over 2001.

Figuur 3.6: Bias in mm van de radar in Den Helder over 2001.



Figuur 3.7: Neerslagsom van de radar in De Bilt over de periode van 1 januari t/m 31 maart 2001.



Figuur 3.8: Neerslagsom van de radar in Den Helder over de periode van 1 januari t/m 31 maart 2001

3.4. Hoe vaak geven de radars terecht of onterecht neerslag?

Door de neerslaghoeveelheid gemeten met de radar op te splitsen in verschillende klassen en deze te vergelijken met de neerslagmeters krijg je onderstaande contingentietabellen. Horizontaal staan de radarwaarnemingen en verticaal die van de neerslagstations. De getallen op de diagonaal van de contingentietabel (van linksboven naar rechtsonder) geven het percentage van de waarnemingen in die klasse gemeten door zowel de regenmeter als de radar. Als radar en regenmeter altijd waarden in dezelfde klasse aangeven, zouden alleen op deze diagonaal percentages staan, de overige zijn dan gelijk aan nul.

Radar in **De Bilt**.

Aantal waarnemingen = 80127

		Radar (%)							
Observaties (%)		< 0.1	≤ 0.3	≤ 1	≤ 3	≤ 10	≤ 30	> 30	totaal
	r < 0.1	27.22	5.96	3.17	0.63	0.08	0.08	0.00	37.14
	0.1 < r ≤ 0.3	2.84	1.56	1.57	0.43	0.04	0.03	0.00	6.47
	0.3 < r ≤ 1	1.71	1.97	4.36	3.18	0.21	0.03	0.00	11.46
	1 < r ≤ 3	0.47	0.70	3.11	8.51	2.83	0.07	0.02	15.71
	3 < r ≤ 10	0.05	0.06	0.63	5.33	13.85	1.28	0.04	21.24
	0 < r ≤ 30	0.00	0.00	0.00	0.17	3.65	3.86	0.07	7.76
	R > 30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.06	0.22
	Totaal	32.30	10.24	12.84	18.25	20.65	5.52	0.19	100.00

Radar in **Den Helder**,

Aantal waarnemingen = 66810

		Radar (%)							
Observaties (%)		0	≤ 0.3	≤ 1	≤ 3	≤ 10	≤ 30	> 30	totaal
	r = 0	26.97	6.19	3.33	0.93	0.21	0.01	0.00	37.65
	0 < r ≤ 0.3	2.81	1.50	1.41	0.49	0.07	0.00	0.00	6.30
	0.3 < r ≤ 1	1.81	2.08	4.06	3.13	0.32	0.01	0.00	11.41
	1 < r ≤ 3	0.46	0.82	3.52	8.20	2.78	0.04	0.00	15.82
	3 < r ≤ 10	0.03	0.08	0.77	6.34	12.86	1.07	0.01	21.15
	10 < r ≤ 30	0.00	0.00	0.00	0.37	3.82	3.23	0.07	7.49
	r > 30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.06	0.18
	totaal	32.08	10.68	13.10	19.46	20.06	4.49	0.14	100.00

Tabel 3.3: Contingentietabellen van de radar in De Bilt en Den Helder. De verificatieperiode loopt van januari 2001 tot en met december 2001. Alleen dagen waarop alle 288 radarbeelden aanwezig zijn tellen mee.

Uit bovenstaande contingentietabellen is het volgende af te leiden:

- a) In respectievelijk 85.0% en 84.2% geven de radars van De Bilt en Den Helder terecht aan dat er al dan niet meer dan 0.3 mm neerslag is gevallen, ofwel het fraction correct (zie vergelijking 3.5) is:

$$f_{c_{debilt}} = 85.0 \%$$

$$f_{c_{denhelder}} = 84.2 \%$$

b) De probability of detection (3.6) is gelijk aan:

$$pod_{debilt} = 73.3\%$$

$$pod_{denhelder} = 71.6\%$$

c) De false alarm rate (3.7) is gelijk aan:

$$far_{debilt} = 15.7\%$$

$$far_{denhelder} = 13.6\%$$

d) In resp. 91.9% en 91.8 % van de gevallen dat de stations neerslag hebben gemeten, hebben de radars in De Bilt en Den Helder ook neerslag gemeten, ofwel:

$$P\{radar_{db} = regen \mid stations = regen\} = 91.9\%$$

$$P\{radar_{dh} = regen \mid stations = regen\} = 91.8\%$$

waarbij : $radar_{db}$ = neerslagmeting van de radar in De Bilt
 $radar_{dh}$ = neerslagmeting van de radar in Den Helder.
 $stations$ = neerslagmeting van de neerslagst

e) In resp. 85.4% en 84.3% van de gevallen dat de radars neerslag detecteren, wordt dit bevestigd door het feit dat de neerslagstations ook neerslag gemeten hebben, ofwel:

$$P\{station = regen \mid radar_{db} = regen\} = 85.4\%$$

$$P\{station = regen \mid radar_{dh} = regen\} = 84.3\%$$

f) In resp.57.4% en 58.1% van de gevallen geven de radars in De Bilt en Den Helder dezelfde neerslagklasse als de neerslagstations, ofwel:

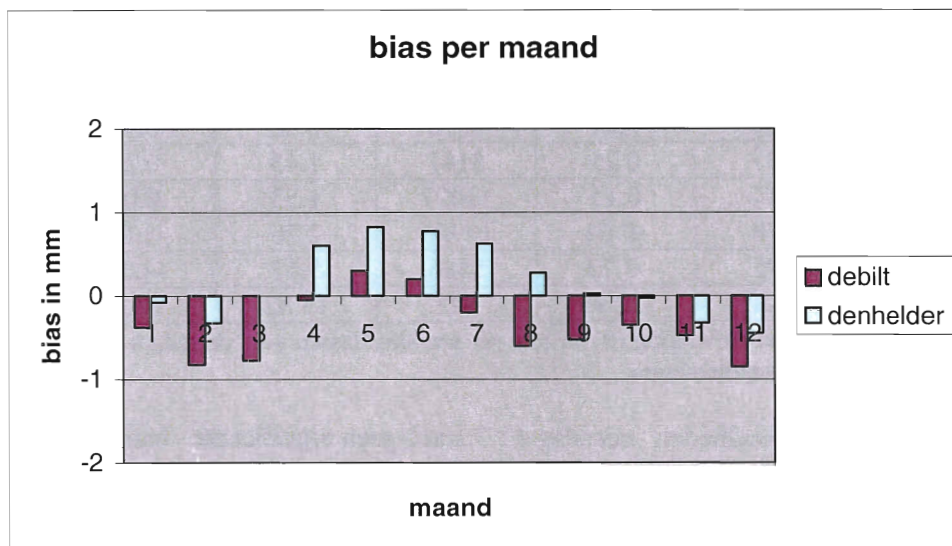
$$P\{radar_{dh} = klasse(x)\} = 57.4\%$$

$$P\{radar_{db} = klasse(x)\} = 58.1\%$$

$$\text{voor } x = \{1, \dots, 7\}$$

3.5. Variatie van de fout in de tijd.

Om te controleren of het verschil in radarneerslagsommen en neerslagmetingen varieert in de tijd, is over de jaren 1998, 1999 en 2000 de gemiddelde dagelijkse bias per maand berekend. In figuur 3.9 is de bias van de radar in De Bilt en Den Helder geplot.



Figuur 3.9: Gemiddelde dagelijkse bias per maand van de radars in De Bilt en Den Helder, berekend over de jaren 1998, 1999 en 2000.

Zowel de radar in De Bilt als in Den Helder hebben in het voorjaar en begin zomer een positieve bias. In deze maanden overschatten de radars de hoeveelheid neerslag. In de overige maanden wordt de neerslag onderschat, met de grootste negatieve bias in de wintermaanden.

Mogelijke oorzaken hiervoor zijn de hoogte van het nulgraden Celsius niveau en het verschil in neerslagtypen tussen zomer en winter. Ijskristallen reflecteren het radarsignaal slechter dan regendruppeltjes, waardoor een lager nulgraden Celsius niveau kan leiden tot een lagere schatting van de hoeveelheid neerslag. In de zomermaanden komt vaker convectieve neerslag voor. Dit type neerslag wordt door de radar iets overschat (zie paragraaf 3.6)

3.6. Variatie van de fout per neerslaghoeveelheid en neerslag type.

Om te onderzoeken of de fout in de neerslagsommen afhankelijk is van de *neerslaghoeveelheid*, zijn per neerslagklasse de bias en de standaarddeviatie van het verschil berekend. In tabel 3.4 is een overzicht gegeven.

neerslag klassen	radar in De Bilt			radar in Den Helder		
	aantal	σ	bias	aantal	σ	bias
0.0 - 0.1 mm	29761	0.93	0.14	27776	0.55	0.13
0.1 - 0.3 mm	5181	1.25	0.21	4530	0.66	0.17
0.3 - 1.0 mm	9183	1.37	0.25	8141	1.45	0.23
1.0 - 3.0 mm	12591	2.14	0.15	11027	1.53	0.01
3.0 -10.0 mm	17022	3.18	-0.64	14706	2.76	-1.07
10.0 -30.0 mm	6214	5.95	-3.73	5486	5.67	-4.39
>30 mm	175	11.20	-12.91	122	15.82	-10.75

Tabel 3.4 Aantal neerslagsommen, standaardafwijking (σ) en bias per neerslagklassen voor de radars in De Bilt en Den Helder vergeleken met de stationswaarnemingen.

Beide radars hebben voor kleine hoeveelheden neerslag (< 3 mm) geen significante bias en voor grote neerslaghoeveelheden een negatieve bias. Grote hoeveelheden neerslag worden onderschat. Verder is onderzocht of de fout in de neerslagsommen afhankelijk is van *neerslagtype* (convectief of stratiform). In beginsel zal bij convectieve neerslag het percentage stations dat neerslag meet relatief klein zijn, terwijl bij stratiforme neerslag het percentage relatief groot is. Tabel 3.5 toont de standaarddeviatie en bias per percentage stations dat neerslag meet.

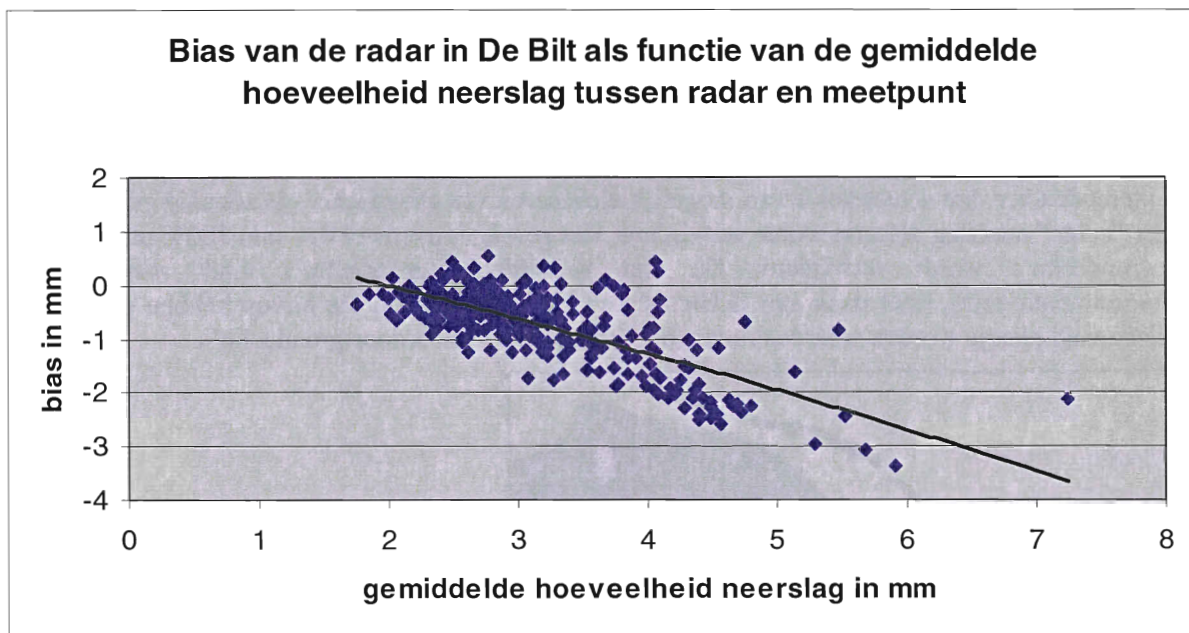
percentage stations dat neerslag heeft gemeten	De Bilt			Den Helder		
	aantal	σ	bias	Aantal	σ	bias
0-10 %	15657	1.00	0.09	17030	0.48	0.07
10-20 %	5833	0.82	0.09	3406	1.39	0.11
20-30 %	3684	1.82	0.15	4192	1.78	0.14
30-40 %	3684	1.62	0.21	2620	1.35	0.24
40-50 %	3070	1.57	-0.08	3144	1.57	0.29
50-60%	3991	2.81	0.33	1572	1.09	0.09
60-70%	4605	1.96	0.00	3930	2.93	0.48
70-80 %	5219	2.76	0.16	4716	1.70	-0.17
80-90 %	6140	2.42	-0.15	6288	2.20	-0.34
90-100 %	28244	4.00	-1.10	24890	3.97	-1.51

Tabel 3.5. Aantal neerslagsommen, standaarddeviatie (σ) en bias van de radars in De Bilt en Den Helder vergeleken met de stations waarnemingen per percentage stations dat die dag neerslag heeft gemeten.

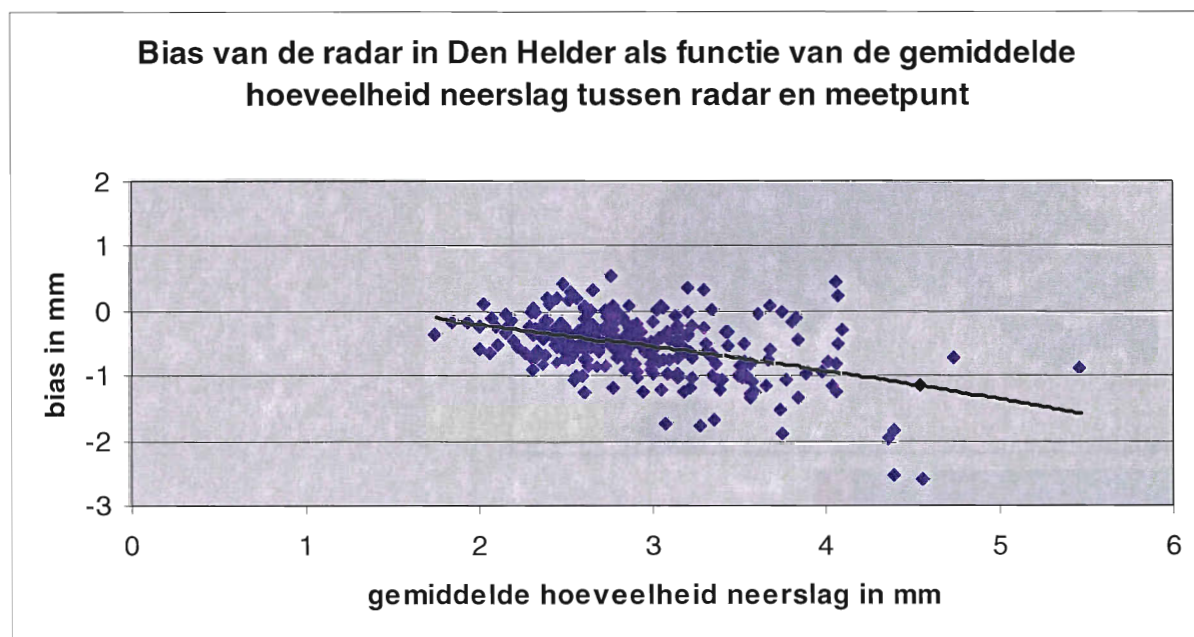
Uit tabel 3.5 blijkt dat de standaarddeviatie groter wordt bij een toename van het percentage stations dat neerslag meet. De systematische fouten weergegeven in tabel 3.5 (bias) zijn vrij klein doordat de totale dataset van het jaar 2001 is gebruikt, ook met de dagen dat er geen neerslag valt. Bij een klein percentage stations dat (convectieve) neerslag meet is er een positieve bias en wordt de neerslag dus overschat. Bij een groot percentage stations dat (stratiforme) neerslag meet is de bias negatief en wordt de neerslaghoeveelheid dus onderschat.

Een oorzaak van deze onderschatting is het "uitdoven" van het radarsignaal door neerslag tussen de radar en het punt van meten. In figuur 3.10 en 3.11 is de bias van de radar als functie van de gemiddelde hoeveelheid neerslag tussen radar en punt van meten weergegeven. De gemiddelde hoeveelheid neerslag wordt berekend door op de lijn tussen radar en punt van meten om de 2.5 km de

neerslag voor dat punt te bepalen en voor alle punten te sommeren. Door de som door het aantal punten te delen wordt de gemiddelde hoeveelheid neerslag berekend..



Figuur 3.10: Bias van de radar in De Bilt als functie van de gemiddelde hoeveelheid neerslag tussen de radar en het meetpunt.

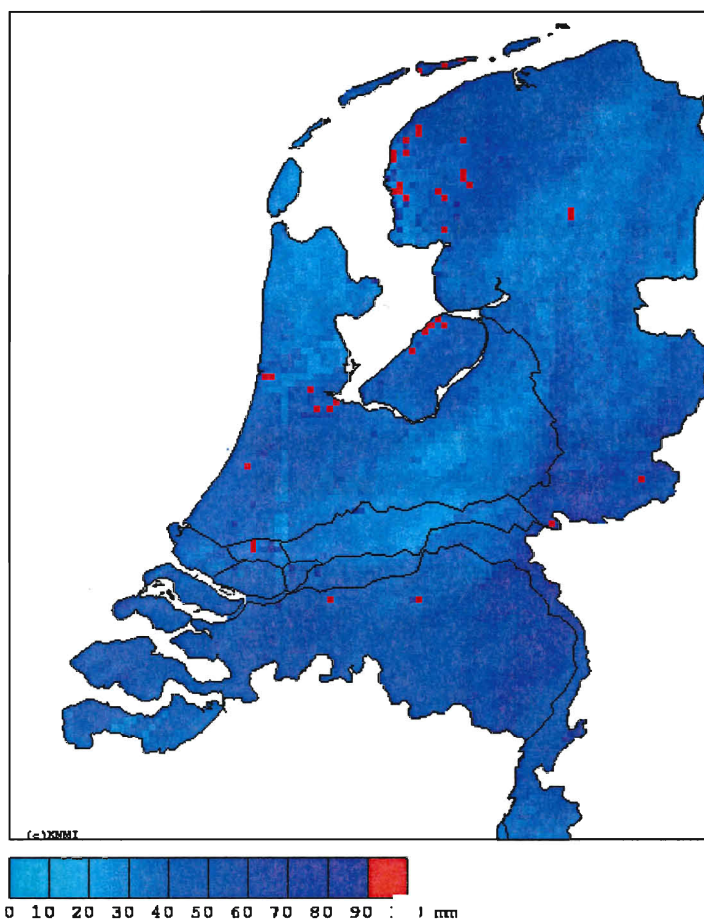


Figuur 3.11: Bias van de radar in Den Helder als functie van de gemiddelde hoeveelheid neerslag tussen de radar en het meetpunt.

3.7. Fouten ten gevolge van grondecho's.

Door verticale temperatuurverschillen en waterdamp in de atmosfeer kan de uitgezonden radarbundel naar de grond worden afgebogen. De opgevangen reflectie aan het aardoppervlak wordt dan ten onrechte geïnterpreteerd als neerslag, de zogenaamde "grondecho's". Deze worden achteraf, zoveel mogelijk uit het radarbeeld gefilterd (Wessels, 1997).

Deze methode t.b.v. het detecteren en zo mogelijk elimineren van grondecho's is zodanig gekozen dat nimmer "echte" neerslag detectie wordt verwijderd. Het gevolg is evenwel dat niet 100% procent van alle grondecho's wordt verwijderd. De niet verwijderde grondecho's vindt men in de neerslagsommatie terug (met dank aan G.Hiemsta en E.J.M.Noordman die hierop hebben gewezen). In onderstaand plaatje worden waarden boven de 90 mm veroorzaakt door grondecho's.



Figuur 3.12: Grondecho's

De grote van de fout in de neerslagsommen die veroorzaakt wordt door grondecho's, is moeilijk objectief vast te stellen:

- omdat niet eenduidig is vast te stellen of er wel of geen sprake is van grondecho's, danwel neerslagdetectie.
- omdat de locaties van grondecho's vaak niet overeenkomen met de locatie van een neerslagstation;

De grootte positieve bias van enkele stations (o.a. Vlieland en Herbayum) in figuur 3.2 worden voornamelijk veroorzaakt door grondecho's. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten getoond van een methode om nog resterende grondecho's uit neerslagsommen te verwijderen.

4. Corrigeren van radarneerslagsommen.

In hoofdstuk 3 zijn de verificatieresultaten van de 24 uren neerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder beschreven. Daarbij is een aantal *structurele* fouten aangetoond die eenvoudig kunnen worden gecorrigeerd:

- De grootste structurele fouten is de afstandafhankelijke fout.
- In neerslagdata van vóór 2000 is voor de radar in Den Helder een fout als functie van de richting zichtbaar (zie figuur 3.4). Ook deze is makkelijk te corrigeren. Na het nauwkeurig stellen van de radar begin 2000 is de hoekafhankelijke fout geminimaliseerd. Wel resteren fouten in enkele specifieke richtingen (figuur 3.8 en 3.8). Deze zijn te corrigeren door bij het mengen van de radarneerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder tot één neerslagsom voor heel Nederland, de ontbrekende data van de ene radar te completeren door data van de andere radar.
- De variatie van de bias in de tijd kan worden gecorrigeerd door een tijdsafhankelijke correctie af te leiden, waarbij de negatieve bias in de winter en de positieve bias in de zomer worden opgeheven.
- Het overschatting van grote hoeveelheden neerslag (> 3.0 mm) kan worden gecorrigeerd door een neerslaghoeveelheidafhankelijke correctie af te leiden.
In paragraaf 4.2 zal blijken dat de gemiddelde hoeveelheid neerslag tussen radar en punt van meting ook een belangrijke prediktor is voor de juiste hoeveelheid neerslag.
- Tenslotte de extreme piekwaarde veroorzaakt door grondecho's. In paragraaf 4.1 wordt een methode besproken om deze te verwijderen.

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe deze fouten kunnen worden gecorrigeerd en wat de kwaliteit van de gecorrigeerde neerslagsommen is. Neerslagsommen worden gecorrigeerd als er meer dan 0.1 mm is gevallen. De volgorde in de correctieprocedure is dat eerst de hoge piekwaarden als gevolg van de grondecho's uit de neerslagsommen worden verwijderd. Daarna worden de overige fouten m.b.v. een regressievergelijking gecorrigeerd. De regressievergelijking wordt voor iedere dag opnieuw afgeleid over de laatste 30 neerslagsommen groter dan 0.1 mm.

Nadat de neerslagsommen per radar zijn gecorrigeerd, wordt een optimaal mengbeeld van de radarbeelden van De Bilt en Den Helder bepaald (zie paragraaf 4.3). Het uiteindelijk resultaat is getest op de onafhankelijk dataset van 2002.

4.1 Corrigeren voor fouten in de neerslagsommen door grondecho's.

Een kenmerk voor de fout in de neerslagmeting t.g.v. grondecho's is een hoge piekwaarde voor één radarpixel. Een eenvoudige manier om deze piekwaarde te corrigeren is te kijken naar de verhouding tussen de piekwaarde en omliggende pixelwaarden of naar de standaarddeviatie. Hier is gekozen voor een methode waarbij een piekwaarde die hoger is dan de som van de 8 omliggende wordt vervangen door het gemiddelde van de acht omliggende waarden. Deze methode is niet geschikt voor het corrigeren van één enkel radarbeeld. In één enkel radarbeeld zouden er te vaak buien ter grootte van één pixel ten onrechte worden verwijderd. Omdat het in deze analyse echter om een 24 ursorommen gaat, zullen zelden ten onrechte neerslagmetingen worden verwijderd met deze methode.

Het verwijderen van grondecho's leidt niet tot grote verbeteringen in de statistische kentallen, doordat de locaties van een grondecho zelden overeenkomen met de locatie van een neerslagmeting van een grondstation. In een plaatje van een neerslagsom is het effect van het verwijderen van grondecho's echter duidelijk te zien.

4.2. Corrigeren van de afstandafhankelijke, tijdsafhankelijke, neerslagafhankelijke en richtingsafhankelijke fouten.

In figuur 3.1 en 3.2 zijn de bias van de radarneerslagsommen als functie van de afstand geplot en is de 2-de orde regressie polynoom getekend. Met behulp van de inverse polynoom zou de dataset voor de afstandafhankelijke fout kunnen worden gecorrigeerd. Op een zelfde manier zouden de neerslaghoeveelheidsafhankelijke fout, de tijdsafhankelijke fout en de draairichtingafhankelijke fout kunnen worden gecorrigeerd. Met behulp van een regressieanalyse kan echter één lineaire regressievergelijking worden afgeleid die genoemde fouten gelijktijdig corrigeert. De regressievergelijking ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned}
 \text{neerslag} = & c_1 + c_2 \text{radar} + c_3 \text{radar}^2 + c_4 dx + c_5 dx^2 + c_6 \text{gemneer} + c_7 \text{gemneer} + \\
 & c_8 \sin\left(\frac{\text{maand}}{12} * \frac{2\pi}{3}\right) + c_9 \cos\left(\frac{\text{maand}}{12} * \frac{2\pi}{3}\right) + c_{10} \sin\left(\frac{\alpha}{360} * 2\pi\right) + c_{13} \cos\left(\frac{\alpha}{360} * 2\pi\right)
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

waarbij : *neerslag* = de 24 uursom (mm) gemeten door de neerslagstations;
radar = de 24 uursom (mm) gemeten door de radar
gemneer = gemiddelde neerslag tussen radar en punt van waarneming.
dx = de afstand tot de radar.
maand = tijd van het jaar (van 0.00 tot 12.00)
 α = draairichting t.o.v. het noorden van 0 tot 360 graden met de klok meedraaiend.
 $c_{1..10}$ = regressiecoëfficiënten.

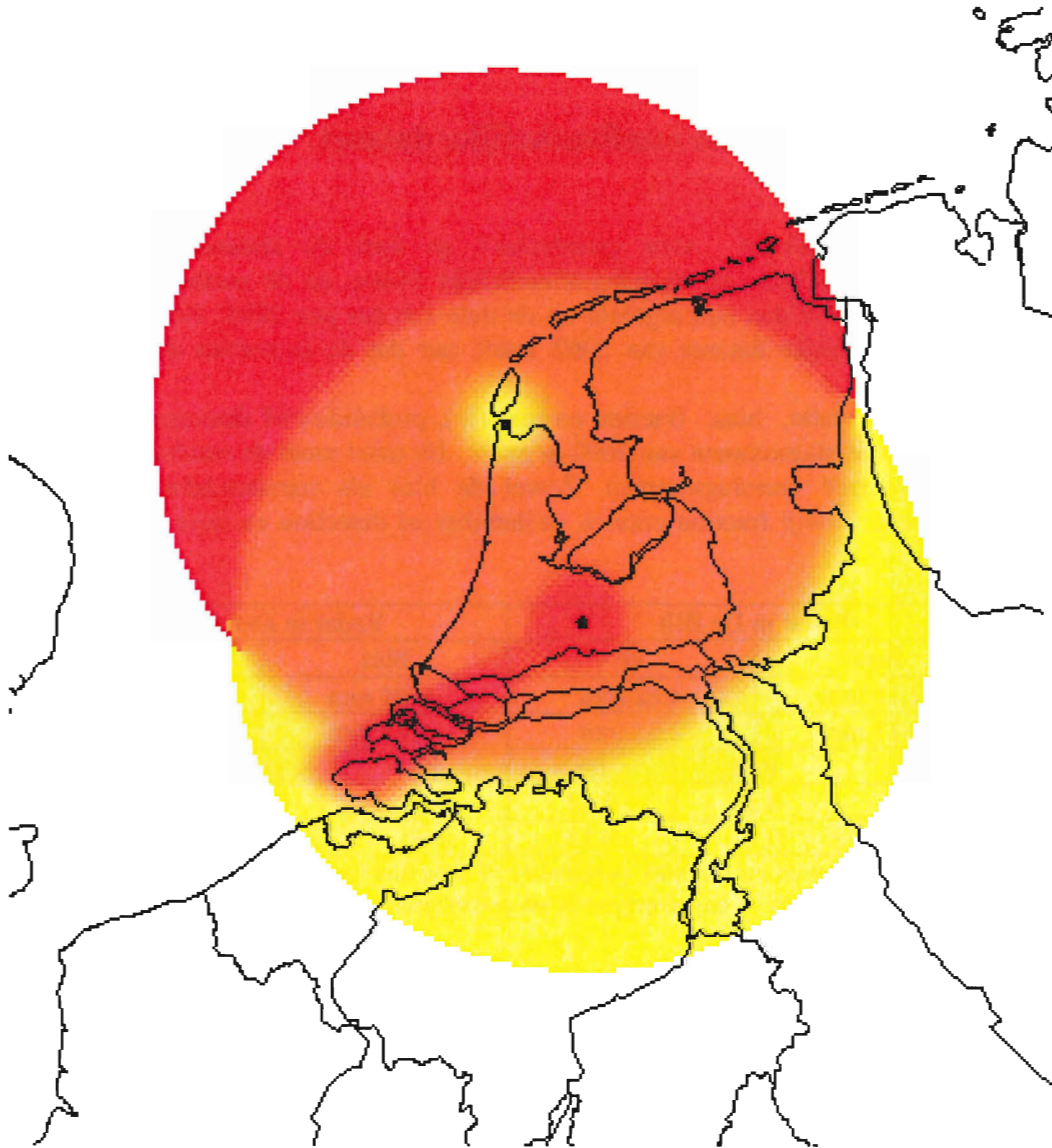
De regressievergelijkingen worden voor elk te corrigeren neerslagsom over een voorafgaande periode afgeleid. Bij een voorafgaande periode van b.v. één jaar zijn de tijdsafhankelijke prediktoren zoals $\sin(\text{maand})$ en $\cos(\text{maand})$ belangrijk om in de regressievergelijking mee te nemen. Bij een korte periode van b.v. 60 dagen zijn de tijdsafhankelijke prediktoren onbelangrijk en komen niet in de regressievergelijking voor. Een voorafgaande periode van 60 dagen voor het afleiden van de regressie vergelijking geeft goede resultaten. Tabel 4.1 toont voor beide radars het resultaat van correcties van de neerslagsommen waarbij voor elke dag in het jaar 2000 is gecorrigeerd m.b.v. een regressievergelijking die is afgeleid over voorafgaande periode van 60 dagen.

	Radar in De Bilt			Radar in Den Helder		
	Bias	σ		bias	σ	
Ongecorrigeerd	-1.52 mm	4.53 mm		-1.99 mm	4.27 mm	
Gecorrigeerd	-0.15 mm	2.51 mm		-0.17 mm	2.58 mm	
	fc	pod	far	fc	pod	far
Ongecorrigeerd	0.86	0.90	0.12	0.85	0.90	0.13
Gecorrigeerd	0.90	0.92	0.12	0.88	0.92	0.13

Tabel 4.1: Bias, standaarddeviatie en mean absolute error(mae), fraction correct (fc), probability of detection (pod) en false alarm ratio (far) van de radars in De Bilt en den Helder voor en na de correcties voor de 24 uurs neerslagsommen.

4.3 Optimaal mengbeeld van de radars in De Bilt en Den Helder.

Door het combineren van de afzonderlijke beelden met gecorrigeerde radarneerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder kan voor heel Nederland een zo optimale mogelijke neerslagsom worden bepaald. In figuur 4.1 is aangegeven hoe het mengbeeld van de radars wordt geconstrueerd.



Figuur 4.1: Gecombineerde neerslagsom van de radars in De Bilt en den Helder. Geel zijn de pixelwaarden van de radar in De Bilt, rood die van Den Helder en oranje is een gemiddelde van beide radars.

In het gebied binnen een afstand 170 km van beide radars (oranje gebied in figuur 9) wordt, door een lineaire afstandsafhankelijke interpolatie, uit beide radars één neerslagsom berekend. Buiten dit gebied wordt de neerslagsom van de dichtbij gelegen radar gebruikt (voor het rode gebied in figuur 9 de radar in Den Helder, voor het gele gebied de radar in De Bilt). Voor de neerslagwaarde in het gebied “boven” een radar (de radar kan vanaf ongeveer 20 km afstand pas neerslag meten) wordt de andere radar gebruikt.

De sector in zuidwestelijke richting t.o.v. de radar in De Bilt, waar de radarreflectie wordt verstoord door hoge bebouwing (o.a. het Fortis gebouw in Utrecht), wordt vervangen door de radar radarneerslagsom van Den Helder. Tabel 4.2 geeft de bias en de standaarddeviatie van de gecorrigeerde radars apart en die van het mengbeeld van beide radars.

	radar in De Bilt		radar in Den Helder	
	bias	σ	Bias	σ
niet gemengd	0.05	2.51	0.09	2.58
gemengd	0.04	2.44	0.05	2.45

Tabel 4.2. Bias en standaarddeviatie van de gecorrigeerde neerslagsommen van de radars in De Bilt en Den Helder en van het mengbeeld van het jaar 2001.

4.4 Testen van de correcties op de onafhankelijke dataset.

De correcties van de neerslagsommen voor grondecho's en voor de afstandafhankelijke-, tijdsafhankelijke-, richtingsafhankelijke- en neerslag-afhankelijke fouten en de methode voor het uiteindelijk mengen van de radarbeelden zijn afgeleid op de data van het jaar 2001. Het testen van deze correcties op de onafhankelijke dataset van 2002 toont aan dat de correcties de gewenste verbetering geven.

In tabel 4.3 zijn de standaarddeviatie, bias, fraction correct (fc), probability of detection (pod) en false alarm ratio van de radarneerslagsommen van 2002 gegeven. De tabel toont de resultaten van de ongecorrigeerde en gecorrigeerde neerslagsommen. Zowel de bias als standaardafwijking zijn significant kleiner na correctie terwijl fraction correct, probability of detection en false alarm ratio gelijk blijven of verbeteren.

	Radar in De Bilt			Radar in Den Helder		
	Bias	σ		bias	σ	
Ongecorrigeerd	-2.11 mm	4.62 mm		-0.94 mm	5.16 mm	
Gecorrigeerd	-0.13 mm	2.61 mm		-0.15 mm	2.75 mm	
	fc	Pod	far	Fc	pod	Far
Ongecorrigeerd	0.87	0.86	0.12	0.86	0.87	0.13
Gecorrigeerd	0.89	0.91	0.12	0.90	0.90	0.12

Tabel 4.3: Bias, standaarddeviatie, fraction correct (fc), probability of detection (pod) en false alarm ratio (far) van de radars in De Bilt en den Helder van de ongecorrigeerde en gecorrigeerde onafhankelijke dataset van het jaar 2002.

5 Conclusies en aanbevelingen

Voor het verifiëren van de hoeveelheid neerslag, zoals gemeten door van de radars in De Bilt en Den Helder, zijn de geïntegreerde 24 uren radarneerslagsommen van 2001 vergeleken met de corresponderende 24 uren neerslagsommen van de 325 Nederlandse handmatige meetstations. Daaruit is het volgende gebleken:

- De grootste fout in de radarneerslagsommen is de afstandsafhankelijke fout. Om voor heel Nederland radarneerslagsommen te berekenen wordt deze fout tot een afstand van 170 km van beide radars gecorrigeerd. Buiten dit bereik neemt het verschil tussen de neerslagmetingen van de radars en de stations snel toe met de afstand.
- Beide radars worden gehinderd door hoge objecten in de omgeving, waardoor het radarsignaal in enkele specifieke draairichtingen wordt gehinderd.
- De neerslaghoeveelheid in de zomermaanden wordt door beide radars overschat en in de wintermaanden onderschat.
- Kleine hoeveelheden neerslag ($< 3\text{mm}$) worden overschat en grote hoeveelheden worden onderschat.
- Grondecho's in het gesommeerde radarbeeld kunnen hoge onrealistische piekwaarden veroorzaken.

Zowel de fouten in de neerslagsommen veroorzaakt door de afstandsafhankelijke fout, de tijdafhankelijke fout, neerslagafhankelijke fout en de fout t.g.v. grondecho's kunnen worden gecorrigeerd. Hierdoor worden de neerslagsommen significant verbeterd.

De kalibratie van de radar kan gaan afwijken en/of verlopen in de tijd. Daarom is het wenselijk om regelmatig nieuwe correcties in de vorm van regressievergelijkingen af te leiden. Door het automatiseren van het afleiden van regressievergelijkingen gebeurt dit dagelijks op basis van de dataset van afgelopen 60 dagen.

Hoewel het meetnet neerslagstations in Nederland relatief dicht is, is het toch goed mogelijk dat (lokale) neerslagfenomenen niet of onvoldoende "gevangen" worden in dit net. Om toch een nauwkeurig beeld te kunnen krijgen van de gevallen neerslag overal in Nederland is een optimale interpolatie techniek vereist, waarbij de ruimtelijke spreiding van de neerslag van de radar wordt gecombineerd met de exacte metingen van de neerslagstations. Zo kan de nauwkeurigheid van de neerslagmetingen in Nederland verder worden verbeterd.

Referenties

Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, 1989: Neerslagmetingen en –voorspelling; toepassing van moderne technieken zoals radar- en satellietwaarnemingen. *TNO rapport* No 21

Borga, M. and F. Tonelli, 2000: Adjustment of range-dependent bias in radar rainfall estimates. *Phys. Chem. Earth(B)*, Vol. **25**, 909-914.

Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980: Neerslag en verdamping; KNMI, 206 pp.

Collier, C.G., 1989: Applications of weather radar systems; *Ellis Horwood Limited*, 294p.

Collier, C.G., 2001: Advanced weather radar systems 1993-97. *Final report COST-75*, EUR 19546. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 363pp.

Gabella, M. and E. Amitai, 2000: Radar rainfall estimates in an alpine environment using different gage-adjustment techniques. *Phys. Chem. Earth(B)*, Vol.**25**, 927-931.

Gibson, M., 2000: Comparative Study of Several Gauge Adjustments Schemes. *Phys. Chem. Earth(B)*, Vol. **25**, 921-926

Green, R.G. and R.A.Clark, 1972: Vertically Integrated Liquid Water – A New Analysis Tool. *Monthly Weather Review*, Vol.**100**, 548-552.

Kok, C.J., 2000: On the behaviour of a few popular verification scores in yes/no forecasting. *KNMI Scientific report WR-2000-04*

Kotlarikova D., J. Kanak, I. Strmiska, J.Joss, 1998: Radar to raingauge data statistical analysis and corrections.

Marshall, J.S., and W.McK. Palmer, 1948: The distribution of raindrops with size, *J.Meteorol* **5**, 165-166.

Seo D.J., J.P. Breidenbach, and E.R.Johnson, 1999: Real-time estimation of mean field bias in radar rainfall data. *J.of Hydrology* **223**, p131-147

Wessels, H.R.A., 1990: Coordinate conversion for presenting and compositing weather radar data. *KNMI technical report TR-129*, 9p.

Wessels, H.R.A., and J.H. Beekhuis, 1997: Stepwise procedure for suppression of anomalous ground clutter. *COST-75 Seminar on advances radar systems*, EUR 160123 EN, 270-277.

OVERZICHT VAN RECENT VERSCHENEN KNMI-PUBLICATIES / RECENTELY PUBLISHED AT KNMI

◀ **KNMI-PUBLICATIE MET NUMMER / KNMI PUBLICATIONS (MISCELLANEOUS)**

- 186-III Rainfall generator for the Rhine Basin: nearest-neighbour resampling of daily circulation indices and conditional generation of weather variables / Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-IV Rainfall generator for the Rhine Basin: multi-site generation of weather variables for the entire drainage area / Rafal Wójcik, Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-V Rainfall generator for the Rhine Basin: description of 1000-years simulations / Jules J. Beersma
- 191 Het KNMI-programma HISKLIM (HISTorisch KLIMAat) / T. Brandsma, F. Koek, H. Wallbrink en G. Können
- 192 Gang van zaken 1940-48 rond de 20.000 zoekgeraakte scheepsjournalen / Hendrik Wallbrink en Frits Koek
- 193 Science requirements document for OMI-EOS / contr. by R. van der A .. [et al.] **(limited distribution)**
- 194-1 De zonsverduistering van 11 augustus 1999, deel 1: de waarnemingen van het gedrag van flora en fauna / Jacob Kuiper, m.m.v. Guus Kauffeld
- 195 An optimal infrasound array at Apatity (Russian Federation) / Láslo Evers and Hein Haak **(limited distribution)**
- 196-I Rainfall Generator for the Meuse Basin: simulation of 6-hourly rainfall and temperature for the Ourthe catchment / Rafal Wójcik and T. Adri Buishand
- 197 Meteorologie op zee: beknopte handleiding voor waarnemingen op zee [= manual meteorology at sea] **(limited distribution)**
- 198 Projectie van de Elbe-zomerneerslag op de Rijn en Maas : onderzoek naar aanleiding van de recente overstromingen in Midden Europa / J.R.A. Onvlee en G.P. Können
- 199-I Droog, droger, droogst : bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland / J.J. Beersma en T.A. Buishand
- 200 Aerosol Retrieval and Assimilation (ARIA) : final report / G.H.L. Verver, J.S. Henzing, G. de Leeuw, C. Robles-Gonzales and P.F.J. van Velthoven **(limited distribution)**
- 201 Sciamachy data assimilation 2 / J.F. Meirink, H.J. Eskes, M. van Weele and H.M. Kelder **(limited distribution)**
- 202 MSG cloud products : final report / R.A. Roebeling, A.J. Feijt, R. Dlhopsky and H. Roozenkrans
- 203 Implementation of scatterometer wind processing at KNMI: final report / Ad Stoffelen, Tilly Drienaar and Jeroen Beysen

◀ **PROCEEDINGS (PR)**

ISSN 1570-9345

2002-01 24th EWGLAM and 9th SRNWP meetings: 7-10 October 2002, KNMI, De Bilt / [edited by G. Cats]

◀ **TECHNISCH RAPPORT = TECHNICAL REPORT (TR)**

ISSN 0169-1708

- 236 Recalibration of GOME spectra for the purpose of ozone profile retrieval / Ronald van der A
- 237 Tracing water masses in the Atlantic / Yann Friocourt and Siebren Drijfhout
- 238 Klimaat voor Amsterdam Airport Schiphol / A. Smits
- 239 Seismische analyse van de aardbevingen bij Alkmaar op 9 en 10 september en Bergen aan Zee op 10 oktober 2001 / H.W. Haak, B. Dost en F.H. Goutbeek
- 240 EBEX-2000 : the KNMI/WAU contribution / W. Kohsiek, E.W. Meijer, P.J.B. Versteeg, O.K. Hartogensis, H.A.R. de Bruin
- 241 Ontwikkeling gidsvergelijkingen voor meerdaagse neerslagkansen / D. Voegezang en K. Kok
- 242 On photosynthesis parameters for the A-gs surface scheme for high vegetation / G.J. Steeneveld
- 243 Temperatuurvergelijkingen voor de Middellange Termijn Gids : ontwikkeling en verificatie over 2000 / J. Wijngaard
- 244 Verification of clear-air turbulence forecasts / A. Overeem
- 245 A comprehensive description of the KNMI seismological instrumentation / B. Dost and H. Haak
- 246 Verandering van neerslagarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001 / A.T.H. Bruin
- 247 Het nachtelijk uur en de kans op stralingsmist / J. Terpstra
- 248 BoWa NL: visie bovenluchtwarnemingen Nederland / S. Tijm, B. Wichers Schreur en H. Klein Baltink
- 249 An investigation of the representative heights for atmospheric motion vectors / R. Dlhopsky and A. Feijt
- 250 New drag formulation in NEDWAM / V.K. Makin and M. Stam
- 251 Analysis of global irradiance measurements from pyranometer and AVHRR / G.J. van Geel, R. Roebeling and A.J. Feijt
- 252 Simulation of present-day climate in RACMO: first results and model developments / Geert Lenderink, Bart van den Hurk, Erik van Meijgaard, Aad van Ulden and Hans Cuijpers
- 253 Het berekenen, verifiëren en corrigeren van radarneerslagsommen / R.M. van Westrheden

◀ **WETENSCHAPPELIJK RAPPORT = SCIENTIFIC REPORT (WR)**

ISSN 0169-1651

- 02-01 Quality control and wind retrieval for SeaWinds / M. Potabella and A. Stoffelen
- 02-02 Shortwave radiation and cloud parameterizations for intermediate complexity models / J.J. Beersma, R. van Dorland and J.D. Opsteeg
- 02-03 Sensitivity study of the residue method for the detection of aerosols from space-borne sensors / M. de Graaf
- 02-04 Assimilation of satellite derived surface heating rates in a Numerical Weather Prediction model / Bart van den Hurk and Han The
- 02-05 On the use of physical and statistical downscaling techniques for NWP model output / Wim de Rooy and Kees Kok
- 02-06 ENVISAT Land Surface processes Phase 2 : final report / B.J.J.M. van den Hurk, Z. Su, W. Verhoef, G. Roerink and L. Jia
- 02-07 Effects of aerosols on UV-index / J. Badosa and M. van Weele
- 02-08 MERCI - Measurement error and correlation impact on the atmospheric dynamics mission / A. Stoffelen, P. Flamant, M. Hakansson, E. Källén, G.-J. Marseille, J. Pailleux, H. Schyberg and M. Vaughan
- 02-09 Influence of clouds on the solar radiation budget / H.M. Deneke

