

Weerradar en de neerslag van augustus 2004

Iwan Holleman, KNMI

In het vorige nummer van *Meteorologica* hebben Robert Mureau en Sander Tijm (2004) de neerslag van augustus 2004 en de bijbehorende verwachtingen van HiRLAM beschreven. Zij merken op dat het registreren van neerslag lastig is door het zeer lokale karakter, maar laten vervolgens de radarmaandsommen links liggen omdat “die nogal wat calibratiefouten” bevatten. In dit artikel zullen we laten zien dat de waargenomen verschillen tussen neerslaghoeveelheid uit radar en stations hele andere oorzaken hebben. Bovendien zal worden aangetoond dat juist de radar (in combinatie met de stations) het mogelijk maakt om de dagelijkse neerslagpatronen met meer ruimtelijk detail te analyseren. Hierdoor wordt, onder andere, het neerslagrecord van station Maasland bevestigd.

Neerslag in augustus 2004

Augustus 2004 was een extreem natte maand: in grote delen van Nederland is meer dan 200 mm neerslag gevallen en station Maasland had een absoluut record met 325 mm. Normaal valt er ongeveer 65 mm neerslag in augustus en zijn de regionale verschillen groot door de willekeurige banen die onweerscomplexen nemen. Het record van station Maasland is desondanks opmerkelijk doordat de omringende stations (op minder dan 10 km afstand) in deze maand “slechts” 200-230 mm hebben afgetapt. Puur op basis van de beschikbare stationswaarnemingen is het daarom moeilijk om een uitspraak te doen omtrent de betrouwbaarheid van het gerapporteerde record van station Maasland.

De dagelijkse radar neerslaganalyses kunnen worden geaccumuleerd tot een maandsom. In deze neerslaganalyses worden de belangrijkste foutenbronnen bij kwantitatieve neerslagbepalingen met radar (zie kader) op systematische wijze gecorrigeerd met behulp van stationswaarnemingen. In de tweede helft van dit artikel wordt deze methode in meer detail belicht. In figuur 1 zijn beelden van de maandsom over augustus 2004 uit de neerslaganalyses (links) en die uit alleen stationswaarnemingen (rechts) naast elkaar geplaatst. Kwalitatief stemmen de grootschalige neerslagstructuren in beide beelden – de band van intense neerslag langs de kust, het “doughnut” patroon boven Friesland, en de brede band van Friesland naar Overijssel – goed overeen. Ook kwantitatief is de overeenstemming zowel in de relatief droge gebieden als in de zeer natte gebieden goed. Het grote verschil tussen de twee maandsom beelden in figuur 1 is natuurlijk de mate van ruimtelijke detaillering. De (informatie) dichtheid van de handmatige stations is ongeveer 1 station per 100 km² en die van de dagelijkse neerslaganalyses is meer dan 17 keer zo hoog. Deze hogere informatiedichtheid is het belangrijkste voordeel van de neerslaganalyses en biedt de mogelijkheid om het neerslagrecord van station Maasland nader te onderzoeken.

Neerslag in augustus 2004 rond Maasland

Het linker beeld van figuur 2 laat de maandsom over augustus 2004 uit de dagelijkse neerslaganalyses rond het station Maasland in meer detail zien, maar is verder identiek aan het linker beeld van figuur 1. Het beeld laat een zeer lokaal neerslagmaximum zien waarbij tien beeldpunten (ongeveer 60 km²) een neerslaghoeveelheid van meer dan 250 mm aangeven. Bovendien is er één beeldpunt dat een neerslaghoeveelheid van meer dan 275 mm (278 mm om precies te zijn) aangeeft en dit beeldpunt ligt precies boven station Maasland! Het zeer lokale karakter van het neerslagmaximum boven Maasland is de verklaring voor het gebrek aan ondersteunende waarnemingen door de omringende stations. Op ongeveer 10 km (vier beeldpunten) van het neerslagmaximum is de waargenomen neerslaghoeveelheid afgenomen tot 200-225 mm, in goede overeenstemming met de aftappingen van de omringende stations. Het maximum in de neerslaganalyse is wat lager dan het record van Maasland, maar de analyse geeft een gebiedsgemiddelde over 6 km² terwijl station Maasland een puntmeting representeert.

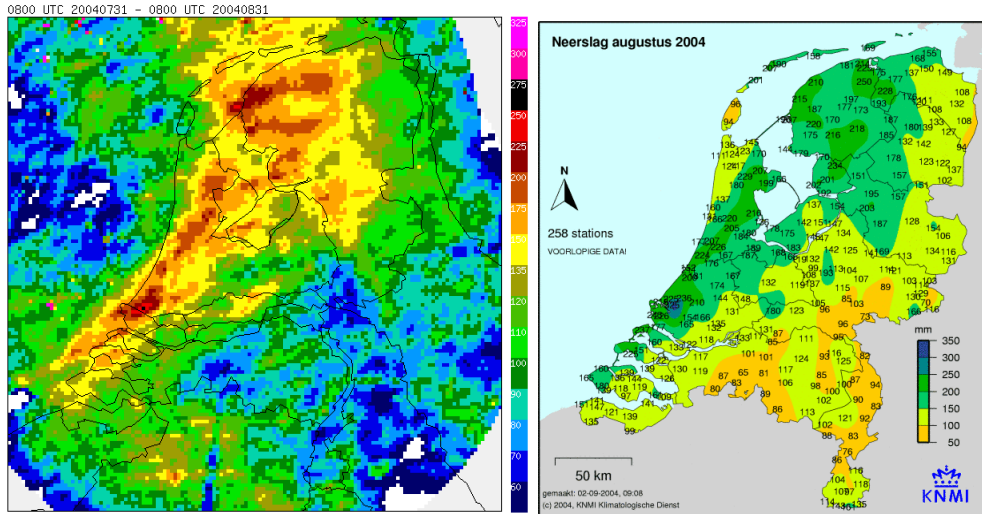


Figure 1: Totale hoeveelheid neerslag over de maand augustus 2004 uit de dagelijkse neerslaganalyses (links) en uit alleen de stationswaarnemingen (rechts).

Bovenstaande verificatie van het neerslagrecord van Maasland is niet helemaal eerlijk omdat de waarnemingen van het station zijn gebruikt bij de berekening van de dagelijkse neerslaganalyses. Hoewel de invloed van een enkel station in de afstandsafhankelijke analyses en de ruimtelijke analyses beperkt is, is dit principieel niet correct. In het rechter beeld van figuur 2 is de maansom over augustus 2004 uit de dagelijkse neerslaganalyses **zonder** de waarnemingen van station Maasland weergegeven. Het zeer lokale neerslagmaximum rond station Maasland is, hoewel iets minder sterk, weer goed zichtbaar in het beeld en het is dus daadwerkelijk waargenomen door de weerradars. Al met al, maken de radargegevens in de dagelijkse neerslaganalyses het mogelijk om de opgetreden neerslagpatronen met meer ruimtelijk detail te analyseren en wordt hiermee het record van Maasland bevestigd.

Neerslaganalyse op dagbasis

Er is een methode ontwikkeld voor het combineren van neerslaggegevens uit radar en stations op dagbasis. In deze neerslaganalyse worden de belangrijkste foutenbronnen bij kwantitatieve neerslagbepalingen met radar (zie kader) op systematische wijze gecorrigeerd. Voor de ontwikkeling van deze methode zijn de volgende dagelijkse neerslaggegevens (08-08 UTC) verzameld over de periode van begin juni 2002 tot eind december 2002:

- Stationswaarnemingen door het klimatologische netwerk. Dit netwerk bestaat uit ongeveer 325 stations die op vrijwillige basis dagelijks de waargenomen neerslag rapporteren. Deze neerslaggegevens zullen verder worden aangeduid als de “handmatige neerslagwaarnemingen”.
- Stationswaarnemingen door de ongeveer 35 automatische stations. De waarnemingen van deze automatische stations zijn geaccumuleerd tot dagelijkse 08-08 UTC waarnemingen. Deze neerslaggegevens zullen verder worden aangeduid als de “automatische neerslagwaarnemingen”.
- Dagelijkse neerslagaccumulaties van de weerradars in De Bilt en Den Helder. Voor de accumulatie worden de reflectiviteiten in de radarbeelden omgezet naar neerslagintensiteit met de Z-R relatie (zie kader). Om het accumuleren van ruis tegen te gaan worden reflectiviteiten lager dan 7 dBZ (=0.1 mm/h) niet meegenomen, en om invloed van hagel te onderdrukken worden de reflectiviteiten gemaximeerd op 55 dBZ (=100 mm/h). Na accumulatie wordt een 5-punts mediaanfilter toegepast om lokale uitschieters door bijvoorbeeld geaccumuleerde grondecho's te verwijderen. Deze neerslaggegevens zullen verder worden aangeduid als de “ruwe radaraccumulaties”.

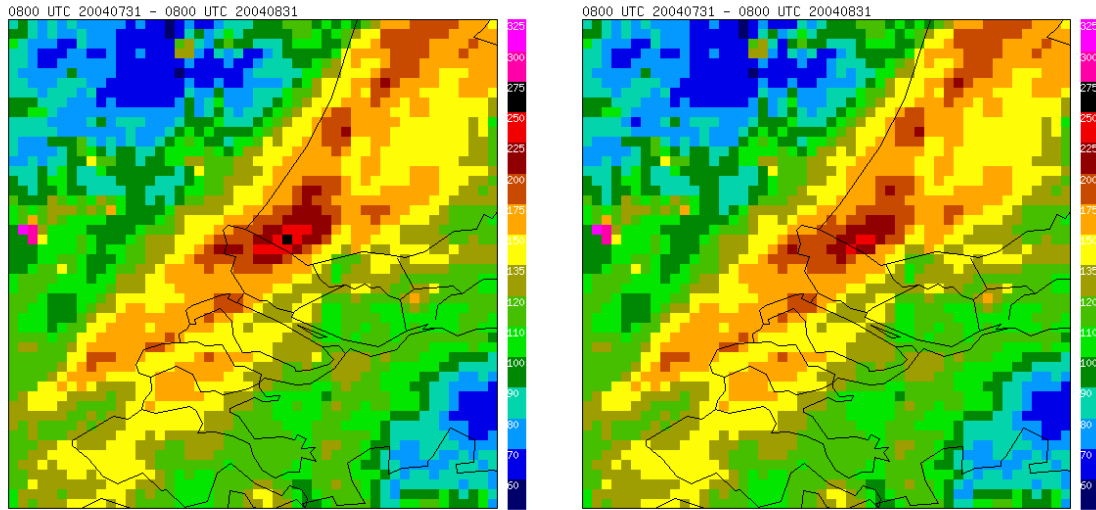


Figure 2: Totale hoeveelheid neerslag over augustus 2004 rond station Maasland uit de dagelijkse neerslaganalyses. Voor het linker beeld zijn gegevens van alle beschikbare stations gebruikt en voor het rechter beeld zijn die van station Maasland **niet** meegenomen.

Er zijn dus twee onafhankelijke sets van stationswaarnemingen beschikbaar: die van de handmatige neerslagstations en die van de automatische neerslagstations. De gegevens van de handmatige stations zullen gecombineerd gaan worden met de ruwe radaraccumulaties, terwijl de gegevens van de automatische stations als onafhankelijke verificatie gebruikt gaan worden.

Werking van de neerslaganalyse

De ontwikkelde methode is gebaseerd op de methode die wordt gebruikt door het BALTEX Radar Data Centre (Michelson, 2000). Bij het combineren van de neerslaginformatie uit radar en stations wordt de volgende grootte geanalyseerd:

$$RG \equiv 10^{10} \log \left(\frac{R}{G} \right) \quad (1)$$

waarbij R en G corresponderende paren van neerslagaccumulaties voorstellen uit respectievelijk de radar en de stations. De grootte RG wordt alleen berekend als zowel de radar- als de stationsaccumulatie boven 1.0 mm liggen. Het gebruik van deze grootte RG , de verhouding van de accumulaties in dB, biedt tenminste twee zeer belangrijke voordelen: RG is bij benadering een standaard normaal verdeelde grootte en RG is over het algemeen constanter dan het neerslagveld zelf.

Een ruimtelijk analyse van de grootte RG vormt de basis voor het combineren van de neerslaggegevens uit de radars en de stations. De ruimtelijke analyse van RG is afhankelijk van het aantal locaties waarop RG bekend is. Dit aantal hangt af van het aantal beschikbare neerslagstations en het neerslagpatroon. De volgende drie stappen worden in principe uitgevoerd tijdens de ruimtelijke analyse van RG :

- 1. Biascorrectie** Het gemiddelde van alle beschikbare RG waarden wordt gebruikt om de bias door bijvoorbeeld calibratiefouten te corrigeren. Bovendien wordt de berekende standaard afwijking gebruikt om een kwaliteitscontrole op de RG waarden, en dus op de radar- en stationswaarnemingen, uit te voeren.

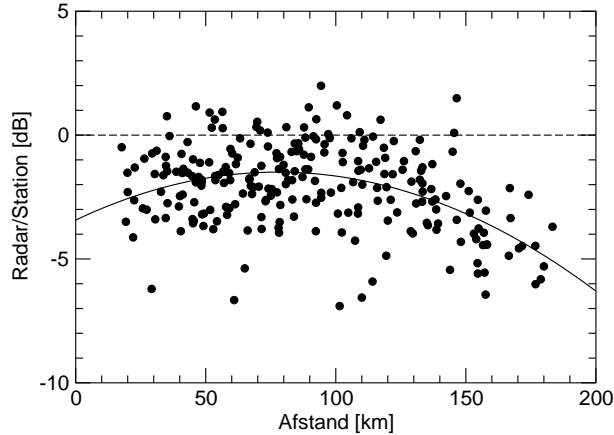


Figure 3: Resultaat van de RG analyse als een functie van de afstand voor de radar in De Bilt. De analyse is gebaseerd op 24-uursaccumulaties van 08 UTC 31 augustus 2004.

2. Afstandscorrectie De beschikbare RG waarden worden geanalyseerd als functie van de afstand tot de radar r en het verloop wordt gefit aan een parabool:

$$RG(r) = a + b \cdot r + c \cdot r^2 \quad (2)$$

waarbij a , b , en c de fit parameters zijn. Deze parabool wordt gebruikt om het effect van de hoogte boven het aardoppervlak van de radarbundel en de daarmee samenhangende onderschatting van de neerslag op grote afstand te corrigeren.

3. Ruimtelijke correctie Een objectieve ruimtelijke analyse van de RG waarden wordt gebruikt om lokale effecten in het radarbeeld te corrigeren. Voor de ruimtelijke analyse wordt een zogenaamde “inverse-distance” methode gebruikt, die een glad veld oplevert dat niet noodzakelijkerwijs door de gegeven punten gaat. De “gladheidsparameter” van de inverse-distance methode is zo ingesteld dat voor ieder pixel meerdere neerslagstations worden meegewogen.

Voor iedere stap wordt een toelatingsdrempel op het aantal beschikbare RG waarden gehanteerd. In figuur 3 is een voorbeeld van de afstandscorrectie weergegeven voor de radar in De Bilt op 31 augustus 2004. De systematische onderschatting van de neerslag als functie van de afstand door de radar is duidelijk zichtbaar en loopt op tot bijna 5 dB (factor 3) op 200 km afstand. Verder valt op dat de totale spreiding van de RG waardes rond de parabool ongeveer 3 dB (factor 2) is. Deze spreiding wordt voornamelijk veroorzaakt door de representativiteitsverschillen tussen de radar- en stationswaarnemingen. De methode voor de dagelijkse neerslaganalyse wordt in meer detail beschreven in Holleman (2003).

Kwaliteit van de neerslaganalyses

In de eerste paragraaf is de maandsom van de dagelijkse neerslaganalyses over augustus 2004 op een subjectieve wijze geverifieerd door vergelijking met de aftappingen van de handmatige stations. De dagelijkse neerslaganalyses worden berekend op basis van de ruwe radaraccumulaties en de gegevens van de handmatige neerslagstations. De neerslaggegevens van de automatische stations kunnen daarom gebruikt worden voor een onafhankelijke verificatie.

In figuur 4 zijn dagelijkse bias en standaard afwijking voor de neerslaganalyses en die van de ruwe radaraccumulaties weergegeven. De bias en standaard afwijking zijn voor elke dag berekend uit de 08-08 UTC neerslaghoeveelheden van de 35 automatische stations en die van de bovenliggende pixels in de neerslaganalyse. Deze objectieve verificatie laat duidelijk zien dat de dagelijkse neerslaganalyse de dagelijkse bias van de ruwe radaraccumulaties zeer effectief reduceert. Een (absolute) bias groter dan 0.5 mm komt slechts een enkele keer

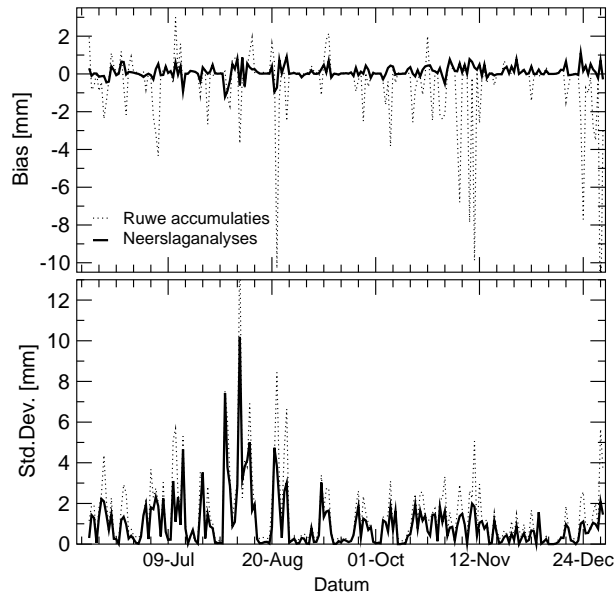


Figure 4: Verificatie resultaten voor 2002 van de dagelijkse neerslaganalyses en de ruwe radaraccumulaties tegen de neerslagwaarnemingen van de automatische stations.

voor. Tevens wordt de standaard afwijking nooit groter dan die van de ruwe radaraccumulaties en wordt deze vaak gereduceerd met een factor 2 of meer. Dagen met een grote standaard afwijking zijn meestal dagen met veel convectieve neerslag en op die dagen zijn de stationswaarnemingen een stuk minder representatief.

Uit een meer gedetailleerde verificatie (Holleman, 2003) blijkt dat de reductie van de bias puur is toe te schrijven aan de bias- en afstandscorrecties van de neerslaganalyse. Bovendien blijkt dat de afstandscorrectie soms ook een (geringe) reductie van de standaard afwijking tot gevolg heeft. Dit gebeurt alleen op dagen met een sterke afstandsafhankelijkheid in de bias waardoor de spreiding in de RG waardes wordt teruggebracht door de afstandscorrectie. De reductie van de standaard afwijking van de neerslaganalyses is echter voornamelijk toe te schrijven aan de ruimtelijke correctie.

Conclusies

De verschillen in de neerslaghoeveelheid bepaald door radars en stations worden niet veroorzaakt door “calibratiefouten” van de radars (Mureau en Tijn, 2004), maar door meteorologische fenomenen zoals de spreiding rond het verband tussen de neerslagintensiteit en de radarreflectiviteit, het verticale reflectiviteit profiel, en verschillen in representativiteit. Er is een neerslaganalyse ontwikkeld die de gegevens uit de radars en de handmatige stations combineert en op systematische wijze corrigeert voor de belangrijkste foutenbronnen. De maandsom van deze neerslaganalyses over augustus 2004 bevestigt het neerslagrecord van station Maasland en laat zien dat het wordt veroorzaakt door een zeer lokaal maximum.

Plannen

Op dit moment wordt er gewerkt aan de ontwikkeling van 3-uurlijkse neerslaganalyses op basis van gegevens uit de weerradars en de automatische neerslagstations. Dit is een echte uitdaging omdat de ruimtelijke variabiliteit van het neerslagpatroon sterk toe neemt naarmate de tijdschaal korter wordt en het aantal beschikbare stations sterk afneemt ($325 \rightarrow 35$). Als eerste stap is een methode ontwikkeld om ruwe radaraccumulaties te corrigeren voor het verticale reflectiviteit profiel door gebruik te maken van radargegevens op verschillende hoogtes (Holleman,

2004). Bovendien is er een verzoek gedaan aan de Nederlandse Waterschappen om hun automatische neerslagwaarnemingen aan het KNMI te gaan leveren. Naar verwachting zullen de eerste leveringen door een aantal Waterschappen eind dit jaar worden opgestart.

Literatuur

- Holleman, I., *Neerslaganalyse uit radar- en stationswaarnemingen*, KNMI IR-2003-06, 2003.
- Holleman, I., *VPR Adjustment using a Dual CAPPI Technique*, ERAD Publication Series 2, 2004, blz. 25–30.
- Marshall, J. en W. Palmer, *The Distribution of Raindrops with Size*, J. Meteorol. 5, 1948, blz. 165–166.
- Michelson D., et al., *BALTEX Radar Data Centre Products and their Methodologies*, SMHI RMK 90, 2000.
- Mureau, R. en S. Tijm, *HiRLAM en de neerslag van augustus 2004*, Meteorologica 3, 2004, blz. 11–13.
- Wessels, H., *Metingen van regendruppels te De Bilt*, KNMI WR-72-6, 1972.

In kader:

Foutenbronnen bij neerslagmeting met weerradar

Bij conventionele radarmetingen wordt het terugkomende signaal (echo) omgezet in een grootheid Z , de zogenaamde radarreflectiviteit. Voor deze radarreflectiviteit geldt:

$$Z = \sum_i n_i \cdot D_i^6 \quad (3)$$

waarbij n_i staat voor het aantal deeltjes per volume-eenheid met diameter D_i . Onder de aanname van een klimatologische druppelgrootteverdeling van de neerslag en een afhankelijkheid van de valsnelheid van druppeltjes met hun diameter, kan de radarreflectiviteit worden omgerekend naar een hoeveelheid neerslag per tijdseenheid (R). In figuur 5 is het waargenomen verband tussen de radarreflectiviteit en de neerslagintensiteit weergegeven. Dit verband is bepaald met behulp van metingen van de druppelgrootteverdelingen van neerslag bij verschillende intensiteiten (Wessels, 1972). Er is een duidelijke correlatie tussen beide grootheden maar de spreiding rond het gemiddelde (klimatologische) verband is groot. Deze spreiding wordt veroorzaakt door verschillen in de meteorologische omstandigheden, bijvoorbeeld door stratiforme of convectieve neerslag. Bij een radarreflectiviteit van bijvoorbeeld 20 dBZ zijn neerslagintensiteiten tussen 0.4 en 0.8 mm/h waargenomen. Omdat gegevens over de actuele druppelgrootteverdeling van de neerslag niet beschikbaar zijn, wordt het volgende "klimatologische verband" tussen de Z en R gebruikt om de neerslagintensiteiten af te leiden uit de radarwaarnemingen:

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

waarbij Z gegeven is in mm^6/m^3 en R in mm/h . Deze relatie wordt ook internationaal veel gebruikt, maar in individuele gevallen kunnen dus behoorlijke afwijkingen optreden. De volgende generatie operationele weerradars zal zeer waarschijnlijk in staat zijn om zogenaamde "dual-polarisatie" waarnemingen te doen waardoor de nauwkeurigheid van de afleiding van neerslagintensiteiten sterk toeneemt.

Binnen de internationale radargemeenschap is men er lange tijd vanuit gegaan dat de spreiding rond de Z - R relatie de grootste foutenbron is bij kwantitatieve neerslagbepaling met weerradars. Ongeveer 15 jaar geleden begon men zich te realiseren dat, met uitzondering van de (sub)tropen, de verandering van de radarreflectiviteit met de hoogte een veel grotere fout kan opleveren. Door de kromming van de aarde neemt de hoogte van de radarbundel sterk toe met de afstand van de radar. Op bijvoorbeeld 200 km afstand is de hoogte van een radarbundel met een elevatie van slechts 0.3 graden ongeveer 3.5 km en op 300 km is deze al bijna 7 km. In figuur 6 is een tijd-hoogte diagram van de reflectiviteit weergegeven voor een willekeurige dag in De Bilt. Het is duidelijk dat het verticale reflectiviteit profiel verre van constant is en sterk varieert over de dag. Radarwaarnemingen op bijvoorbeeld 6 km hoogte zullen de neerslagintensiteit aan de grond sterk onderschatten (00-04 UTC), leiden tot foutieve melding van neerslag (04-11 UTC), of het compleet missen (20-23 UTC) afhankelijk van het actuele reflectiviteitsprofiel. Door het beperken van het bereik van de radars voor kwantitatieve neerslagbepaling worden de meest extreme fouten voorkomen, maar met name tijdens stratiforme neerslag (in de winter) zal de radar de neerslaghoeveelheid sterk onderschatten.

Naast deze twee foutenbronnen wordt de nauwkeurigheid van de neerslaghoeveelheid uit de radars onder andere beïnvloed door verzwakking in het geval van zeer intense neerslag, door de radome als het regent boven de radar, en door smeltende neerslag als het 0°C niveau zich rond 800 m hoogte bevindt. Al met al zorgen deze meteorologische effecten er voor dat zelfs een perfect gecalibreerde weerradar de neerslagintensiteit en -hoeveelheid slechts met een beperkte nauwkeurigheid kan bepalen.

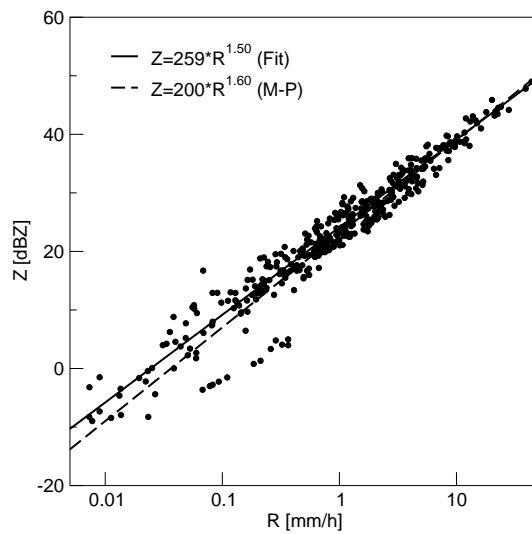


Figure 5: Verband tussen radarreflectiviteit Z en neerslagintensiteit R uit de druppelgrootteverdelingen waargenomen door Herman Wessels (1972). De doorgetrokken lijn is een kleinste-kwadraten fit door de punten en de gestreepte lijn is het verband bepaald door Marshall en Palmer (1948).

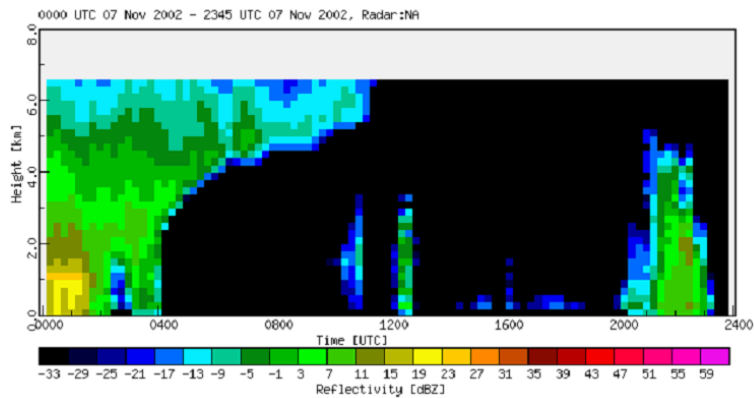


Figure 6: Tijd-hoogte diagram van de waargenomen radarreflectiviteit boven de Bilt. De getoonde reflectiviteit is de mediaan van alle waarnemingen binnen een straal van 15 km rond de radar.