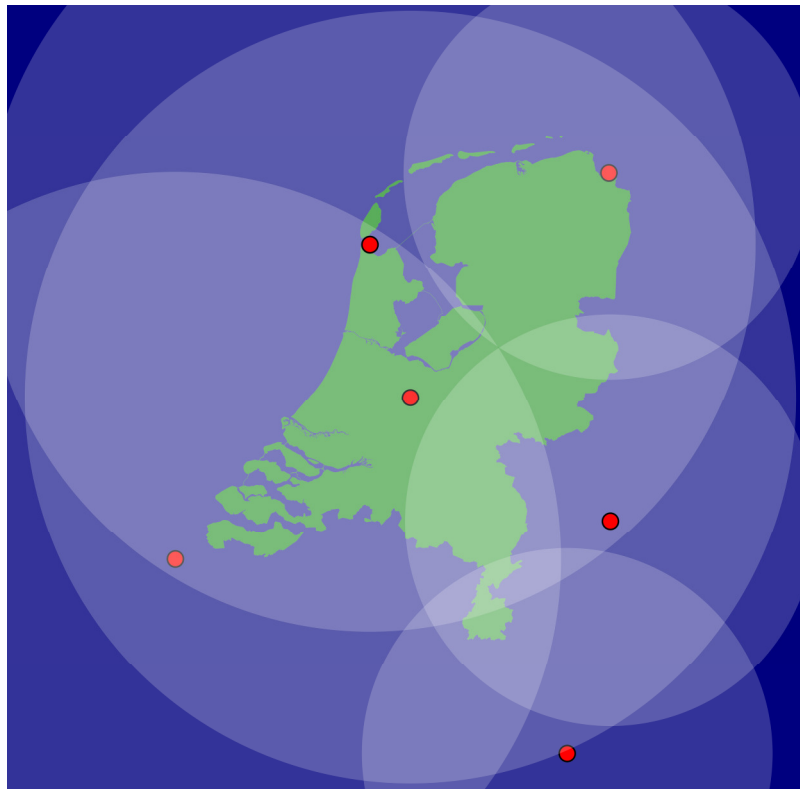




# Nationale Regenradar

## Toelichting operationele neerslagproducten



Noorderzijlvest  
Februari 2013  
BA8186

# Nationale Regenradar

## Toelichting operationele neerslagproducten

dossier : BA8186  
registratienummer : LW-AF20112987MSW  
versie : Definitief  
classificatie : Openbaar

<b>INHOUD</b>	<b>BLAD</b>	
1	INTRODUCTIE	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doel	3
1.3	Wat is het beste product?	4
1.4	Leeswijzer	4
2	PROCES	5
2.1	Samenwerking	5
2.2	Planning	5
3	PRODUCTEN	7
3.1	Overzicht gevraagde producten	7
3.2	Radarbeelden	7
3.3	Neerslagvoorspellingen	10
4	METHODEN	13
4.1	Inleiding	13
4.2	Composiet	14
4.3	Kalibratie	26
5	AANBEVELINGEN	31
5.1	Aanbevelingen afnemers	31
5.2	Aanbevelingen ontwikkelaars	31
6	TOEPASSINGEN	33
7	REFERENTIES	36
8	COLOFON	38

## **BIJLAGEN**

Bijlage A – Projectorganisatie/ Overlegverslagen / presentaties

Bijlage B – Stroomschema's A3 formaat

Bijlage C – Software code

Bijlage D – Metadata radarbestanden



# 1 INTRODUCTIE

## 1.1 Aanleiding

Neerslag is de belangrijkste drijvende kracht voor de hydrologie. Het belang van goede neerslagdata voor waterbeheerders is daarom groot. Afgelopen jaar is op initiatief van waterbeheerders (waterschappen, gemeenten en rijkswaterstaat) de projectgroep Nationale Regenradar in het leven geroepen. Op 28 oktober 2011 is de Europese aanbesteding “Levering operationele datastroom neerslaginformatie” uitgebracht. Waterschap Noorderzijlvest treedt hierbij op als penvoerder. Op 10 januari 2012 is de voorlopige gunning gegeven voor de offerte van DHV en Nelen & Schuurmans. Het aantal aanmeldingen voor deelname op 1 juni 2012 was dusdanig dat er besloten is te starten met het project.

In opdracht van, en in nauwe samenwerking met, de projectgroep is voor heel Nederland een neerslagproduct ontwikkeld. Naast een intensieve samenwerking met de projectgroep is nauw samengewerkt met de expertgroep van het KNMI, Deltares, Wageningen Universiteit, Universiteit Utrecht en de TU Delft. In dit rapport wordt een toelichting gegeven op de producten die in het kader van dit project worden geleverd. Hierbij wordt aandacht besteed aan het proces, de gevolgde werkwijze en de inhoudelijke keuzes. Tevens worden de toepassingen kort belicht.

Er zit veel specialistische kennis in dit project. Alle methoden zijn verwerkt in software code. Deze software code is openbaar (open source volgens GPL3 licentie). In het hoofdrapport wordt ingegaan op de hoofdlijnen met als doelgroep de waterbeheerders die geïnteresseerd zijn in de achtergronden van de neerslagdata. Experts worden voor de details verwezen naar de softwarecode. De code is als bijlage opgenomen in dit rapport en staat (meest recente versie) online : <https://github.com/nens/openradar>.

## 1.2 Doel

Doel van het project is “de kwaliteit van operationeel geleverde neerslaginformatie die gebruikt wordt in vele applicaties en toepassingen sterk te verbeteren ten opzichte van de huidige geleverde data”. De doelgroep zijn de waterbeheerders. Bij alle keuzes die gemaakt zijn gedurende dit project is deze doelgroep steeds voor ogen gehouden.

Op voorhand was de verwachting dat de kwaliteitsverbetering zal worden behaald door:

1. het meenemen van Duitse en Belgische radarstations;
2. het meenemen van meer grondstations (Nederland en Duitsland);
3. de radarbeelden veel sneller aan te passen met gegevens van beschikbare grondstations.

Bovenstaande punten zijn uitgebreid toegelicht in de offerte van DHV en Nelen & Schuurmans (DHV en Nelen&Schuurmans, 2011). Naast radarproducten worden ook neerslagvoorspellingen geleverd. De focus van de werkzaamheden lag echter op het verbeteren van de radarproducten. Daarbij is met name onderzocht wat de beste methode is voor:

1. Composiet: het samenvoegen van de informatie van de verschillende radarstations
2. Kalibratie<sup>1</sup>: het aanpassen van de composietbeelden aan de hand van regenmeters

---

<sup>1</sup> De definitie van kalibratie is officieel het controleren en eventueel bijstellen van systemen (parameters) en apparaten/instrumenten. In strikte zin is de term ‘aanpassing’ beter.

### **1.3 Wat is het beste product?**

Er zijn vele methoden om tot een vlakdekkend neerslagbeeld te komen. Er zijn om die reden dan ook diverse aanbieders op de markt die neerslagdata aanbieden. Het hebben van veel aanbieders is eerder een probleem dan een oplossing. Wanneer iedereen met zijn eigen waarheid aankomt in een crisiscentrum of rechtbank, gaat de discussie over de waarde van de neerslaginformatie in plaats van over het probleem zelf. Het grote verschil met alle andere op de markt aangeboden neerslagproducten is dat de producten die via Nationale Regenradar worden aangeboden volledig transparant zijn. De code is openbaar en hierdoor kunnen en mogen te allen tijde experts meekijken. Dit initiatief is dan ook bedoeld om uit te groeien tot de onbetwiste bron van neerslaginformatie, met twee kernwaarden: (1) maximale toegankelijkheid tot de data en (2) maximale transparantie. Met dit initiatief willen we de focus van de markt veranderen als het gaat om neerslagdata. Onze visie is dat marktpartijen zich onderscheiden met de innovatieve verbeteringen die ze open source kunnen toevoegen aan bestaande softwarecode. Gemeenten en waterschappen betalen dus niet allemaal individueel een abonnement voor dezelfde data, maar trekken de portemonnee voor verbeteringen die zij belangrijk vinden. Daarmee wordt innovatie de prikkel en profiteert iedereen.

Zoals aangegeven zijn er vele methoden om tot een vlakdekkend neerslagbeeld te komen. Bij elke stap moeten keuzes gemaakt worden. Gedurende het project kwamen we erachter dat veel keuzes afhangen van het doel dat waterbeheerders met het eindproduct hebben. We hebben in nauw overleg met de expertgroep en de projectgroep verschillende methoden getest. De uitkomsten van de methoden zijn beoordeeld op basis van een aantal criteria. De beste methode is een balans tussen nauwkeurigheid, rekentijd en robuustheid. Uiteindelijk hebben de waterbeheerders (projectgroep) op basis van deze resultaten en het advies vanuit de expertgroep keuzes gemaakt. Hierbij hebben we te allen tijde de gehele planning van het project bewaakt. Uiteraard zijn er tijdens het project diverse verbeterpunten naar voren gekomen. Deze hebben we verzameld en samen met de expertgroep geprioriteerd. Het resultaat hiervan is te vinden in het hoofdstuk aanbevelingen.

### **1.4 Leeswijzer**

Onderhavig rapport is een beschrijving van de gevolgde methodieken om te komen tot een operationele levering van neerslagvelden. Hierbij is de doelgroep van waterbeheerders voor ogen gehouden. Het rapport behandelt de methoden dan ook op hoofdlijnen met veel illustraties. Voor de details wordt verwezen naar de software code die is opgenomen in bijlage B.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het gevolgde proces. Zowel met de projectgroep als met de expertgroep is gedurende het project regelmatig overleg geweest. Alle verslagen en bijbehorende stukken zijn opgenomen als bijlage A. Hoofdstuk 3 gaat in op de producten die binnen het Nationale Regenradarproject worden geleverd. Hoofdstuk 4 gaat in op de methoden van composiet maken en de kalibratie/aanpassing van de radargegevens door middel van regenmeters. De aanbevelingen die gedurende het project naar voren zijn gekomen zijn samen met de expertgroep geprioriteerd en puntsgewijs aangegeven in hoofdstuk 5. Tot slot wordt in hoofdstuk 6 ingegaan op de toepassingen van de neerslagproducten in het waterbeheer.

## 2 PROCES

### 2.1 Samenwerking

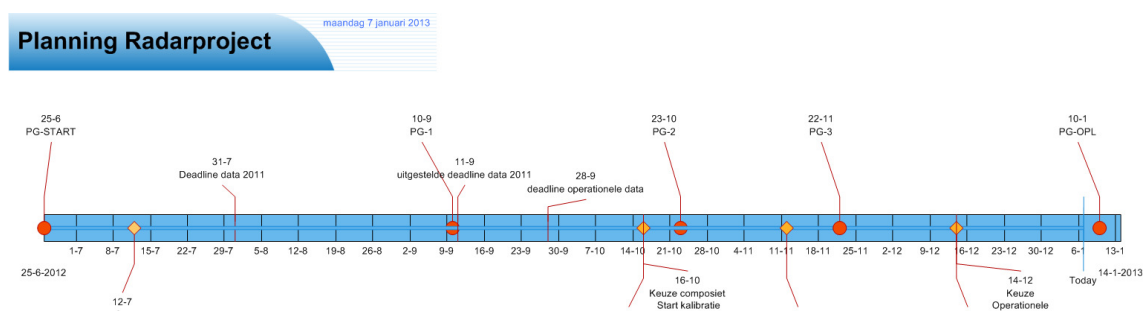
De uitvoering van het project vindt plaats door middel van een unieke samenwerking tussen marktpartijen, kennisinstellingen en overheden. De gevraagde neerslagproducten vereisen specialistische kennis. Op voorhand kan door niemand precies worden aangegeven wat de beste methode is. Om deze reden zijn er twee overlegorganen in het leven geroepen: de projectgroep en de expertgroep. De projectgroep heeft een procesmatige invulling. Binnen de projectgroep worden alle belangrijke besluiten genomen. Daarnaast is er een expertgroep waarin deskundigen bespreken wat de beste methoden zijn voor het genereren van de afgesproken producten. In de expertgroep zitten twee vertegenwoordigers van de projectgroep. Bij discussies in de expertgroep is het doel om consensus te krijgen. De expertgroep geeft een eensluidend advies aan de projectgroep. De projectgroep neemt de uiteindelijke beslissing.

Bijlage A geeft een overzicht van de planning van het project alsook de samenstelling van de projectgroep en de expertgroep. Tevens zijn in deze bijlage alle overlegverslagen en presentaties van zowel de projectgroep als de expertgroep opgenomen.

### 2.2 Planning

Afbeelding 1 toont schematisch het tijdspad en de projectplanning voor de fase vanaf startoverleg tot aan de operationele levering. Tijdens het startoverleg met de projectgroep (PG) op 25 juni zijn de data voor alle projectgroeptijden gepland. Daarbij is het opleveringsoverleg op 10 januari gepland. De expertgroep (EG) bijeenkomsten zijn tussen de projectgroeptijden gepland.

Gedurende het project is continu een afweging gemaakt tussen nauwkeurigheid, tijd en beschikbaar budget. Door een goede samenwerking en wisselwerking tussen projectgroep en expertgroep zijn we erin geslaagd producten te leveren die onderbouwd en gedragen zijn. Dit rapport is de onderbouwing van deze keuzes.



**Afbeelding 1. Projectplanning. Overlegmomenten projectgroep (PG) zijn aangegeven in rode bollen, overlegmomenten met expertgroep (EG) zijn weergegeven als gele ruiten.**





### 3 PRODUCTEN

#### 3.1 Overzicht gevraagde producten

In de aanvraag staan de producten beschreven, zoals weergegeven in Tabel 1. Dit zijn negen neerslagradarproducten alsmede drie neerslagvoorspellingsproducten. In dit project is alleen gewerkt aan verbetering van de neerslagradarproducten. Gedurende het project is besloten de nowcasting uit te stellen tot het moment dat het KNMI de code voor nowcasting heeft herschreven. De middellange termijn (Hirlam) en ECMWF voorspellingen zijn een directe doorlevering van producten uit de KNMI catalogus (<http://www.knmi.nl/datacentrum/catalogus/>).

De producten worden sinds januari 2013 operationeel geleverd via een ftp-site. Deelnemers van de Nationale Regenradar hebben een inlogcode en kunnen de data van de ftp-site halen. De data op de ftp-site staat er slechts tijdelijk.

**Tabel 1. Producten zoals aangeven in de projectaanvraag (tabel uit aanvraag is overgenomen als figuur)**

Type	Subtype	Resolutie	Frequentie	Leveringstermijn
5 minuten beelden	Realtime	1x1 km	5 minuten	5 minuten
	Near-real-time	1x1 km	5 minuten	60 minuten
	Achteraf	1x1 km	5 minuten	48 uur
Uursommen	Realtime	1x1 km	60 minuten	5 minuten
	Near-real-time	1x1 km	60 minuten	60 minuten
	Achteraf	1x1 km	60 minuten	48 uur
Dagsommen	Realtime	1x1 km	24 uur	5 minuten
	Near-real-time	1x1 km	24 uur	60 minuten
	Achteraf	1x1 km	24 uur	48 uur
Directe prognose (nowcasting)		1x1 km	5 minuten	5 minuten
Middellange termijn prognose 1)		± 10x10 km	6 uur	(doorlevering)
ECMWF-EPS		50x50 km	12 uur	(doorlevering)

#### 3.2 Radarbeelden

Uit Tabel 1 blijkt dat er negen radarproducten worden gevraagd: 5 minuten sommen, uursommen en dagsommen met drie verschillende leveringstijden. In Tabel 2 is een beschrijving gegeven van de negen radarproducten. Hieronder volgt allereerst een toelichting op de naamgeving, waarna kort de totstandkoming van de beelden wordt toegelicht.

##### Naamgeving

De naamgeving van de radarbeelden is als volgt gekozen:

RAD\_TFhmm\_[subtype]\_yyyymmddhhmm.h5

Waarbij de volgende afkortingen zijn gebruikt:

- RAD: afkorting voor RADAR
- TF staat voor *time frame*, de tijdsduur van de neerslagperiode. Er zijn drie mogelijkheden TF2400 (dagsom), TF0100 (uursom) en TF0005 (5 minuten som)
- Subtype geeft aan op welk moment een correctie van het radarbeeld met data van neerslagstations heeft plaatsgevonden. Er zijn drie mogelijkheden: R=*realtime*, N=*near-real-time*, A = *after*
- *yyyymmddhhmm* staat voor jaar, maand, dag, uur, minuten en geeft de eindtijd weer van de bijbehorende periode. Tijd is weergegeven in UTC
- *h5*; is de extensie naam van de file.

**Voorbeeld:**

RAD\_TF0005\_A\_TS201301192205

Dit is de 5 minuten neerslagsom die geldt voor de periode 19 januari 22.00 UTC tot 22.05 UTC welke achteraf (na 48 uur) is gecorrigeerd. In Tabel 2 staan de namen van de verschillende producten gedefinieerd.

**Tabel 2. Beschrijving van de negen radarproducten**

Type	Subtype	Resolutie	Freq.	Leveringstermijn	Naam
5 minuten sommen	Realtime	1 x 1 km	5 min	5 minuten	RAD_TF0005_R_yyyymmdd.h5
	Near-real-time	1 x 1 km	5 min	1 uur	RAD_TF0005_N_yyyymmdd.h5
	achteraf	1 x 1 km	5 min	48 uur	RAD_TF0005_A_yyyymmdd.h5
1 uursommen	Realtime	1 x 1 km	1 uur	5 minuten	RAD_TF0100_R_yyyymmdd.h5
	Near-real-time	1 x 1 km	1 uur	1 uur	RAD_TF0100_N_yyyymmdd.h5
	achteraf	1 x 1 km	1 uur	48 uur	RAD_TF0100_A_yyyymmdd.h5
24 uursommen	Realtime	1 x 1 km	24 uur	5 minuten	RAD_TF2400_R_yyyymmdd.h5
	Near-real-time	1 x 1 km	24 uur	1 uur	RAD_TF2400_N_yyyymmdd.h5
	achteraf	1 x 1 km	24 uur	48 uur	RAD_TF2400_A_yyyymmdd.h5

**Korte toelichting totstandkoming**

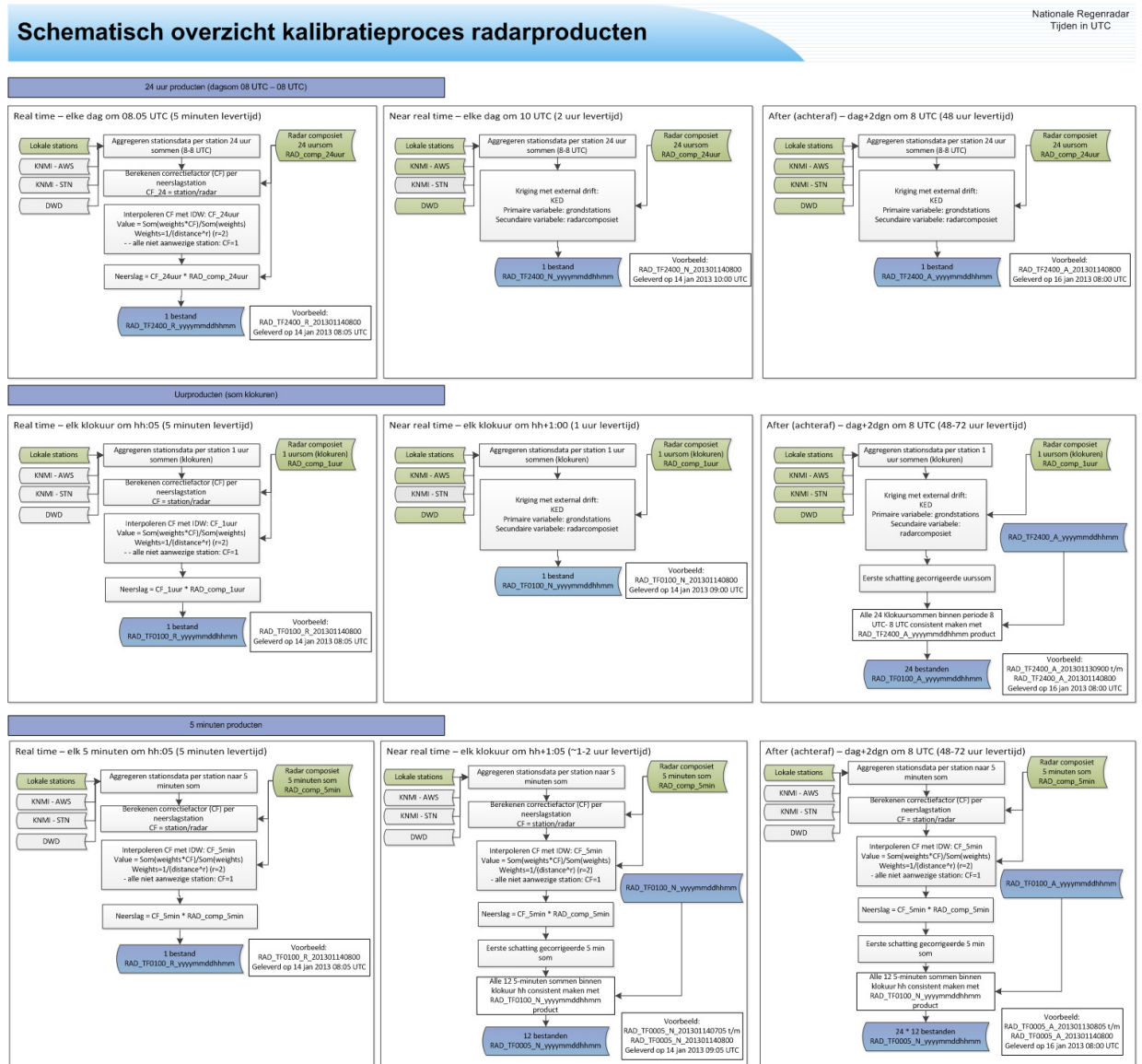
De radarproducten zoals beschreven in Tabel 2 zijn tot stand gekomen door een samenvoeging (composiet) van Nederlandse en Duitse radarbeelden. Zodra in België het radarstation Jabekke operationeel data gaat leveren (verwachting begin 2013) zal ook dit station worden toegevoegd. Hoofdstuk 4 gaat nader in op de methodieken van het radarcomposiet. Nadat het radarcomposiet is gemaakt wordt dit vlakdekkende neerslagbeeld gecorrigeerd aan de hand van grondstations (regenmeters). Dit kalibratieproces, zoals wij het in dit rapport noemen, wordt ook nader toegelicht in hoofdstuk 4. Welke kalibratiemethode wordt gebruikt hangt af van het subtype (realtime, near-real time, after). Dit komt voornamelijk door (i) het feit dat de data van neerslagstations met een vertraging beschikbaar komt en (ii) omdat het aantal grondstations dat met een hoge temporele resolutie meet beperkt is.

Afbeelding 2 geeft een schematisch overzicht van het kalibratieproces voor elk van de negen radarproducten. Voor alle real-time producten geldt dat de neerslagstations die op dat moment beschikbaar zijn direct worden meegenomen in de kalibratie. De near-real time 5-minuten sommen worden consistent gemaakt met de near-real time 1-uursommen. Achteraf worden zowel de uursommen als de 5 minuten sommen consistent gemaakt met de 24 uursommen.

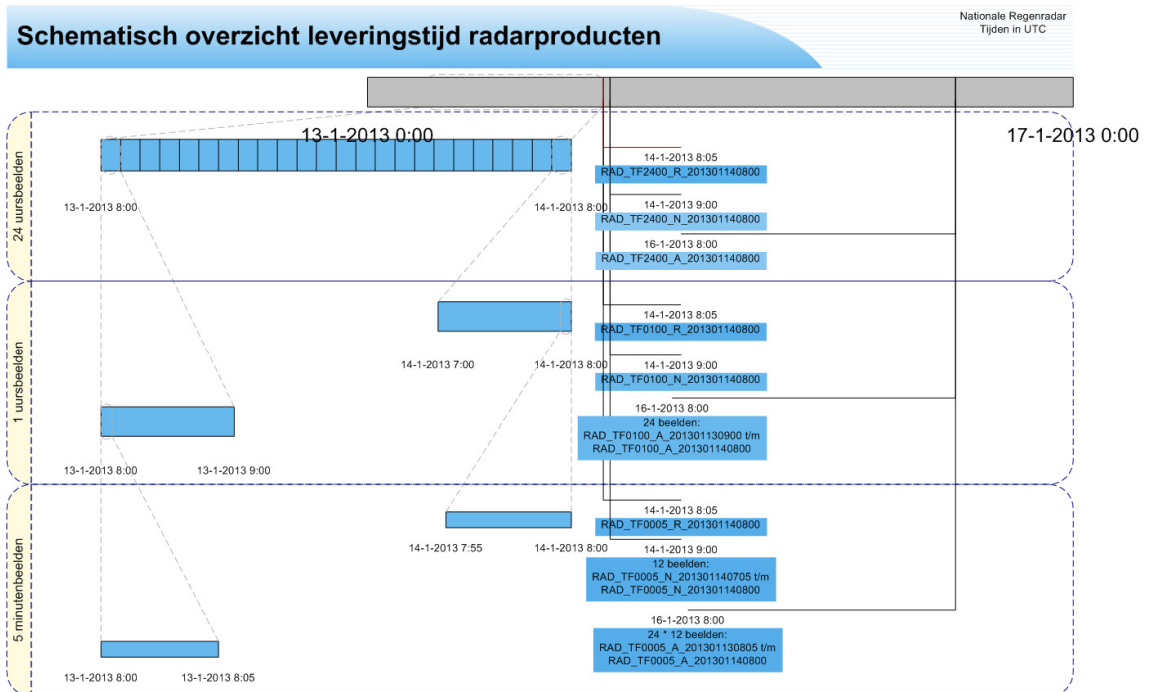
Het maken van een composiet en het vervolgens corrigeren van het composietbeeld met neerslagstations kost uiteraard enige processing tijd. Afbeelding 3 geeft een schematisch overzicht van de leveringstijd van de negenradarproducten. Hierbij is een voorbeeld genomen voor beelden in de periode van 13 januari 2013 08 UTC tot 14 januari 2013 08 UTC.

### Metadata

Bij elk van de negen neerslagproducten wordt metadata meegeleverd in de h5 bestanden. In deze metadata is onder andere aangegeven welke radars zijn gebruikt voor de composietmethode (welke radars beschikbaar waren) en het aantal grondstations dat gebruikt is voor de kalibratie. In bijlage D staat een beschrijving van de metadata, een voorbeeldbestand evenals de beschrijving van metadata van KNMI radarbestanden waaraan is geconformeerd.



Afbeelding 2. Stroomschema van het kalibratieproces van de radarbeelden (zie bijlage B voor A3-formaat).



**Afbeelding 3. Schematisch overzicht van leveringstijd van de negen radarproducten (zie bijlage B voor A3-formaat).**

### 3.3 Neerslagvoorspellingen

#### Introductie

Radar en regenmeters zijn geschikt om (indirecte) metingen van neerslag uit te voeren. Metingen zijn per definitie geen voorspellingen maar kunnen hier wel voor gebruikt worden. Voorspelling van neerslag is voor waterbeheerders echter van groot belang. Hoe nauwkeuriger de voorspellingen en hoe verder in de toekomst, hoe beter waterbeheerders hierop kunnen anticiperen met maatregelen.

Over de toepassingen van neerslagvoorspellingen binnen hydrologische toepassingen is uitgebreid gepubliceerd (Wilson et al. 1979; Wyss et al. 1990; Pessoa et al. 1993; Sempere-Torres et al. 1999). Schuurmans en Bierkens (2008) hebben de toepassingen van ECMWF binnen Nederland voor hydrologische doeleinden bestudeerd.

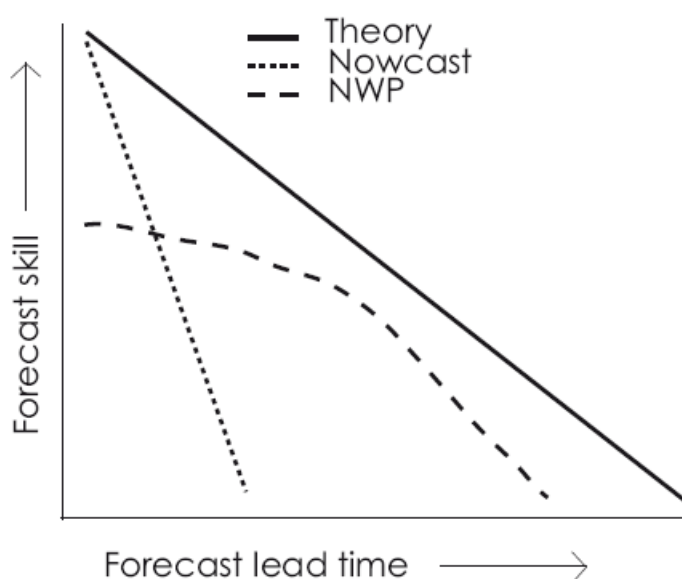
Er zijn in hoofdzaak 3 manieren om neerslag te voorspellen:

1. nowcasting;
2. numerieke weersvoorspellingsmodellen (NWP);
3. combinatie van nowcasting en NWP

Bij nowcasting wordt gebruik gemaakt van extrapolatie van initiële informatie over vlakdekkende neerslag. Hoe nauwkeuriger deze intiele informatie, hoe beter de voorspellingen. Nowcasting is een zeer korte termijnvoorspelling. Omdat nowcasting methoden geen fysische basis hebben neemt de nauwkeurigheid van de voorspellingen (*skill*) snel af met de voorspellingstijd (*lead time*).

Numerieke weersvoorspellingsmodellen hebben wel een fysische basis, maar daar ontbreekt vaak aan lokaal detail en imperfecte assimilatie algoritmen. Daardoor is de nauwkeurigheid van de initiële condities lager dan bij nowcasting technieken. Maar doordat de fysische relaties worden meegenomen neemt de *skill* minder snel af dan bij nowcasting technieken. In Afbeelding 4 is dit schematisch weergegeven.

Om verder te kunnen gaan dan 2 uur vooruit voorspellen kan een combinatie worden gemaakt van bovenstaande nowcasting techniek met NWP data. Dit is onder andere voorgesteld door (Bowler et al., 2006; Golding 2000, Wong et al., 2009).



**Afbeelding 4. Schematische representatie van het verlies aan informatie in voorspellingen (forecasts skill) als functie van de voorspellingstijd. De doorgetrokken lijn representeert de theoretische grens van voorspelbaarheid. De gestreepte lijn representeert NWP modellen (numerieke weersvoorspellingsmodellen). De gestippelde lijn nowcasting methoden. Naar: Golding, 1998 en Lin et al., 2005)**

### Nowcasting

Het KNMI gebruikt op dit moment een nowcastingmethode die wordt toegepast op de radarbeelden die het KNMI produceert. Zoals toegelicht zal door een betere uitgangssituatie van vlakdekkende neerslag ook de korte termijnvoorspelling van neerslag verbeteren. De verwachting is dan ook dat door het toepassen van deze methode op de in dit project geproduceerde radarbeelden de neerslagvoorspelling zal verbeteren. De code voldeed echter niet aan de GPL3 open source eisen. Gedurende het project is daarom besloten de nowcasting uit te stellen tot het moment dat het KNMI de code voor nowcasting heeft herschreven.

### HiRLAM

Het KNMI is deelnemer in het internationale project HiRLAM (High Resolution Limited Area Model) dat zich tot doel stelt de middelen en mogelijkheden voor numerieke weersverwachtingen in Europa te verbeteren en duurzaam te onderhouden. Binnen dit project wordt gewerkt aan een operationeel model op mesoschaal niveau (horizontale resolutie 2.5 km) dat HARMONIE heet. Op dit moment is dit model nog operationeel.

Het product dat momenteel doorgeleverd wordt voor dit project is nl/nwp/lam/grid/p5 uit de KNMI catalogus. Voor meer achtergrondinformatie over Hirlam wordt verwezen naar de KNMI catalogus of naar de site van HIRLAM ([www.hirlam.org](http://www.hirlam.org)).

### **ECMWF**

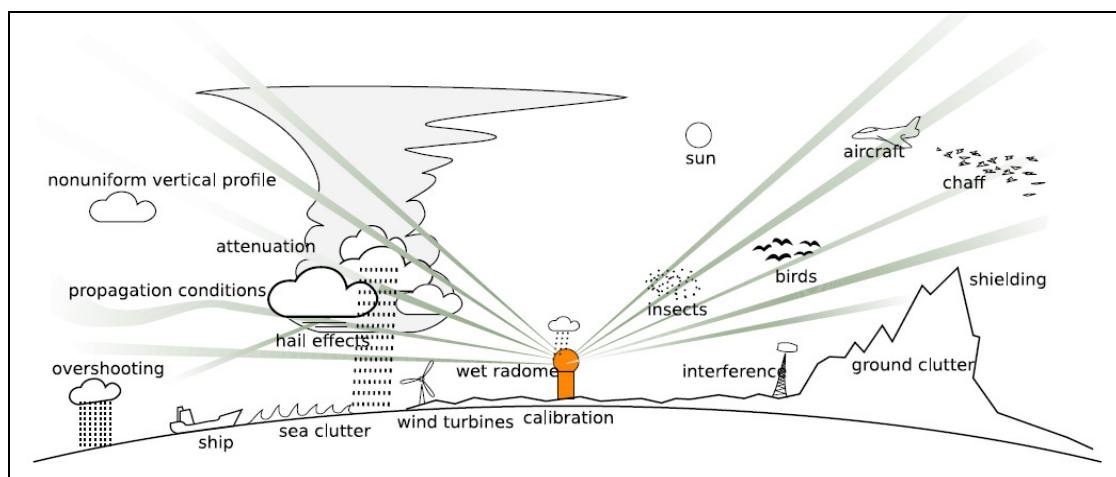
De onzekerheid van de verwachting neemt toe met het groeien van de verwachtingstermijn. Met het Ensemble Prediction System (EPS) van het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in Reading (Engeland) wordt een schatting gemaakt van die onzekerheid. Na het maken van de operationele ECMWF-verwachting met een rekenmodel met hoge resolutie (T1279, roosterpuntsafstand ~16km) wordt de berekening 51 maal herhaald. Dit gebeurt met een model met lagere resolutie (T639, roosterpuntsafstand ~ 32 km) om rekentijd te besparen. Bij de herhalingen is de begintoestand een beetje verstoord t.o.v. de beide eerste runs; dit om de effecten van onzekerheden in die begintoestand te simuleren. Hoe breder de kleurenbanden uitwaaiëren, hoe groter de spreiding van de verwachtingen binnen het ensemble, of, met andere woorden, hoe onzekerder de verwachting.

Het product dat binnen dit project wordt doorgeleverd zijn door het KNMI bewerkte ECMWF data en betreft het product: nl-ecm-eps-ts-surf uit de KNMI catalogus. De gegevens zijn gebaseerd op de runs van het Ensemble Prediction System van het ECMWF en zijn verwachte roosterpunt gegevens in de vorm van tijdreeksen voor locaties in Nederland. De reeksen worden verstrekt in de vorm van een gegevenspakket voor alle beschikbare modeltijdstappen, alle beschikbare locaties in Nederland, alle parameters. Daarbij wordt de model uitvoer beschikbaar gesteld van alle leden van ensemble (50), de EPS control versie en uit het Deterministisch Model. Het aantal model versies, waarvan de tijdreeksen wordt geleverd, bedraagt dus in totaal 52. Voor meer informatie wordt verwezen naar de KNMI catalogus of naar de pagina van ECMWF ([www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)).

## 4 METHODEN

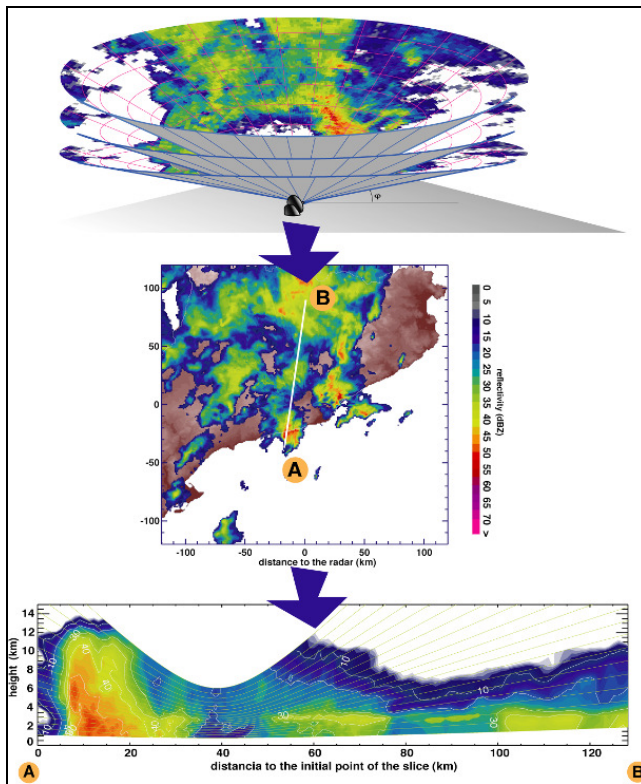
### 4.1 Inleiding

Een neerslagradar meet geen neerslag maar meet terugkaatsing van elektromagnetische straling (Batan, 1973; Joss en Waldvogel, 1990:). De radar zendt elektromagnetische straling uit, en ontvangt het teruggekaatste signaal. De meeste meteorologische diensten maken daarbij gebruik van C-band radar (golflengte 3.75-7.5 cm en een frequentie van 4-8 GHz). Het principe van de radar is weergegeven in Afbeelding 5. In deze figuur zijn ook de belangrijkste foutenbronnen van radargegevens schematisch weergegeven. Het teruggekaatste elektromagnetische signaal (Z) moet worden omgezet in een neerslagintensiteit (R), de zogenaamde Z-R relatie. Deze relatie is afhankelijk van het buitype. In Afbeelding 5 zijn ook de voornaamste foutenbronnen weergegeven, storing door objecten op het aardoppervlak (*groundclutter*) of door objecten anders dan neerslag, over buien 'heen kijken' op lange afstand (*overshooting*), uitdoving van het signaal (*attenuation*). Een goed overzicht van foutenbronnen in de radar wordt ook gegeven door Zawadzki (1984).



**Afbeelding 5. Schematisch overzicht van de foutenbronnen van neerslagradar. Bron: Markus Peura, Finnish Meteorological Institute.**

Om een vlakdekkend beeld te krijgen van de neerslag draait de radar rond. Dit gebeurt bij de meeste radars niet op 1 hoogte (elevatie) maar op meerdere hoogtes. Op deze manier ontstaat een volumescan zoals weergegeven in Afbeelding 6.



**Afbeelding 6. Illustratie van het radar scanning protocol: Boven, de verschillende gescande kegels. Midden: een horizontale vlakdekkende projectie (2D) van deze informatie. Onder: een dwarsdoorsnede van de lijn A-B (witte lijn in middelste plaatje). Bron: Hyds**

Om van een volumescan met reflectiewaarden te komen tot een 2 dimensionaal vlakdekkend grid van neerslagintensiteiten zijn veel tussenstappen nodig. Deze worden allemaal onder het kopje 'composiet' behandeld. Dit vlakdekkende beeld van neerslagintensiteit op een gridniveau van 1 km x 1 km is geheel afkomstig van radarwaarnemingen. Op het aardoppervlak wordt ook regen gemeten door middel van regenmeters. Deze data wordt gebruikt om de radarbeelden aan te passen, in dit rapport wordt dit 'kalibratie' genoemd. In de volgende paragrafen wordt afzonderlijk ingegaan op het radarcomposiet en de kalibratie.

De laatste jaren is het gebruik van neerslagradar voor waterbeheerders in Nederland steeds meer gemeengoed geworden (Rioned 2011, Brauer et al. 2011). Ontwikkelingen op dit gebied gaan snel en er komen steeds nieuwe inzichten bij. In dit project een zeer gedegen en generieke basis gelegd. Een basis die uitgangspunt vormt voor toekomstige ontwikkelingen en verbeteringen. Dit hoofdstuk beschrijft de achtergronden.

## 4.2 Composiet

### 4.2.1 Inleiding

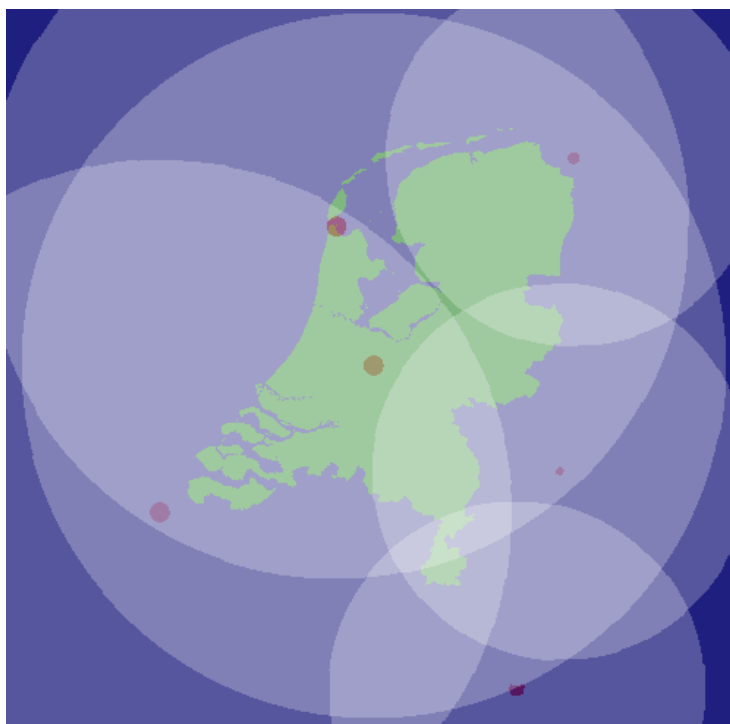
Afbeelding 7 geeft een geografisch overzicht van de radarstations die in dit project zijn gebruikt. De cirkel om elke radar geeft het maximale bereik waarop de data wordt uitgeleverd. Het KNMI hanteert daarbij de grens (straal) van 240 km, de Deutsche Wetter Dienst (DWD) een grens van 128 km rondom de radar. Het



KNMI gebruikt voor de huidige radarproducten de twee radarstations in Nederland. In dit project maken we gebruik van zes radarstations. Deze radarstations zijn geselecteerd in nauw overleg met de project- en expertgroep.

In Afbeelding 7 is te zien dat er op veel plaatsen een overlap is van twee of meerdere radars. Waar slechts één radarstation beschikbaar is, wordt de composietwaarde volledig bepaald door dit radarstation. Voor locaties met een overlap moet een keuze worden gemaakt of en hoe deze data te combineren. Afbeelding 12 geeft een schematische dwarsdoorsnede van twee radarbundels. In het project zijn in overleg met de experts 3 methoden getest, waarbij uiteindelijk voor methode 3 is gekozen:

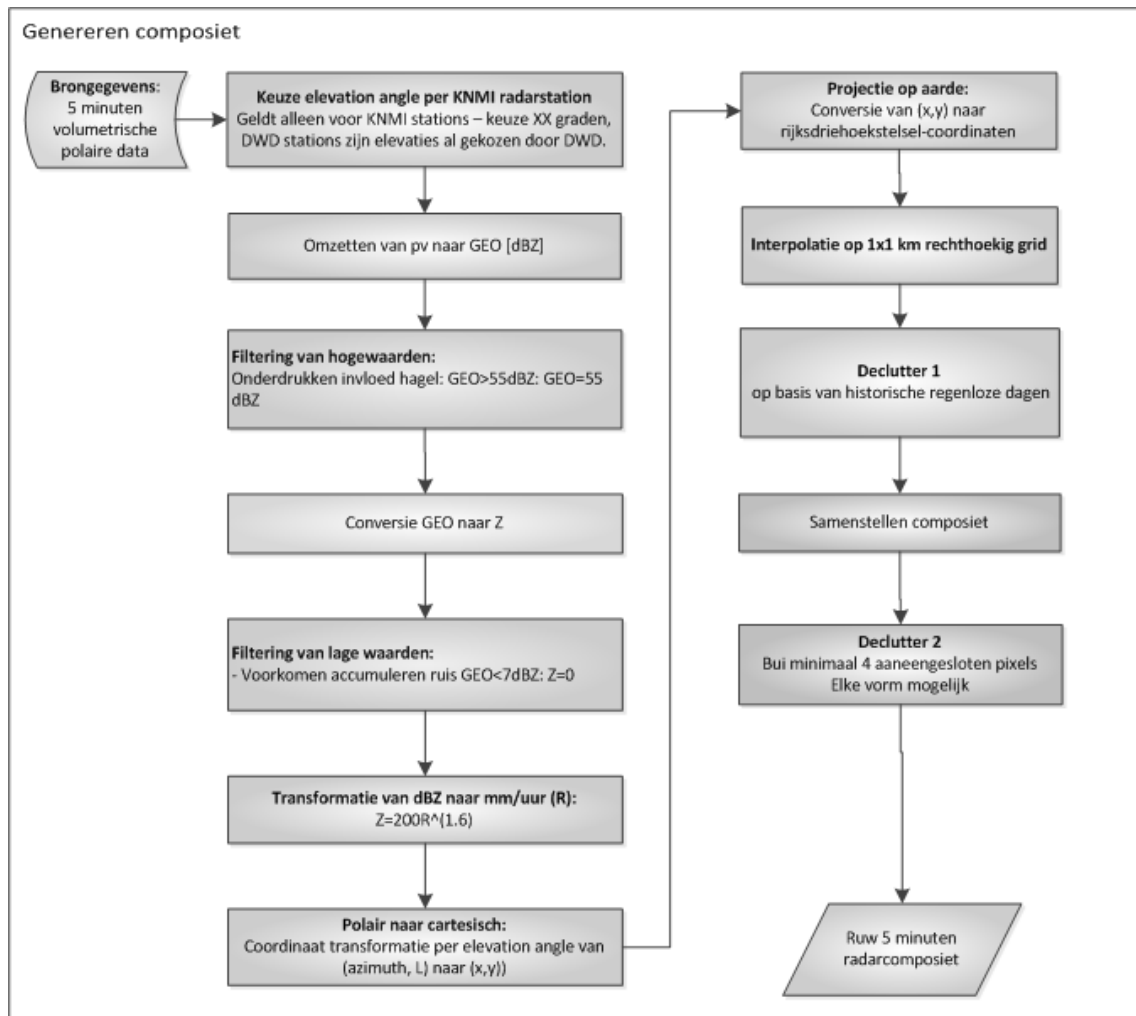
1. Laagste elevatie;
2. Parabolische weging;
3. Laagste elevatie met weging aan de randen.



**Afbeelding 7 Geografisch overzicht van de in deze fase van het project gebruikte radarstations, alsmede het bijbehorende maximale uitgeleverde bereik. In Nederland van noord naar zuid: Den Helder en De Bilt. In Duitsland van noord naar zuid: Emden, Essen en Neuheilenbach. De radar in België (Jabekke) zal naar verwachting in de eerste helft van 2013 operationeel zijn.**

Om uiteindelijk tot een radarcomposiet te komen dat op een ruimtelijke resolutie van 1 km x 1 km een vlakdekkend beeld geeft van de neerslagintensiteit zijn diverse tussenstappen nodig. Afbeelding 8 geeft in een stroomschema op hoofdlijnen deze tussenstappen weer. Bij al deze tussenstappen zijn diverse methoden getest. Deze methoden zijn voorbesproken met de expertgroep en de resultaten zijn teruggekoppeld met de expertgroep. Gezien het grote belang van dit onderdeel is hier uiteindelijk veel aandacht aan besteed. Hiermee ligt er een solide basis met goede neerslagschatting op basis van radargegevens. Voor de details, waarin experts zijn geïnteresseerd, wordt verwezen naar de softwarecode welke is opgenomen in bijlage C. In de volgende subparagrafen worden de volgende tussenstappen toegelicht:

- Keuze te gebruiken elevatie van de KNMI-radarstations
- Conversie van de gemeten reflecties naar neerslagintensiteit (Z-R)
- Conversie van polair grid naar een rechthoekig 1x1 km grid
- Genereren van het composiet
- Ruisfiltering (decluttering)



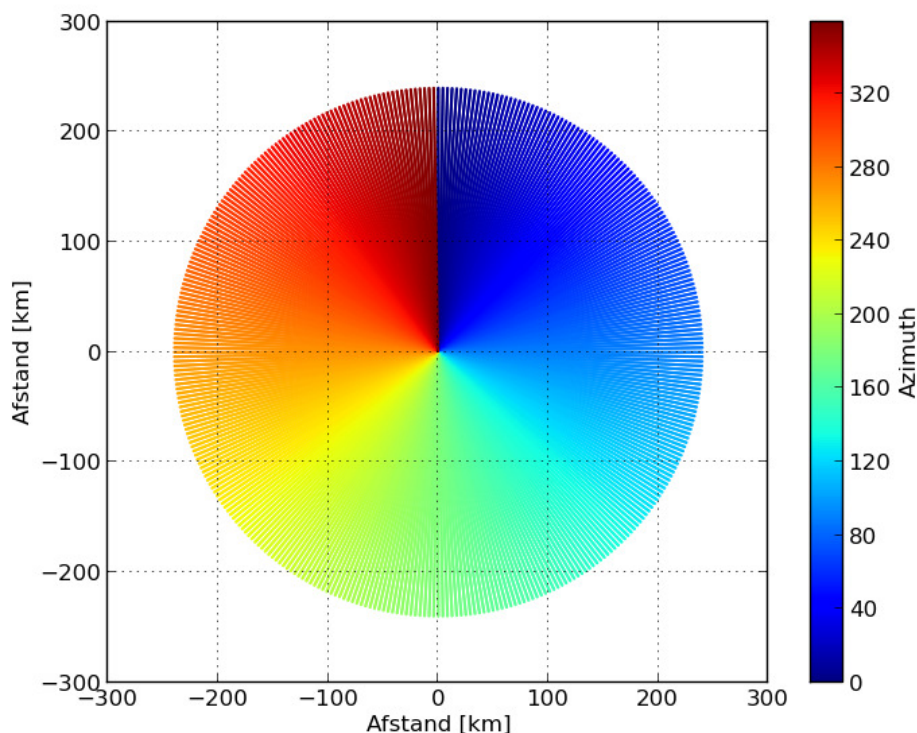
Afbeelding 8. Stroomschema stappen composiet (zie bijlage B voor A3-formaat)

#### 4.2.2 Keuze elevatie

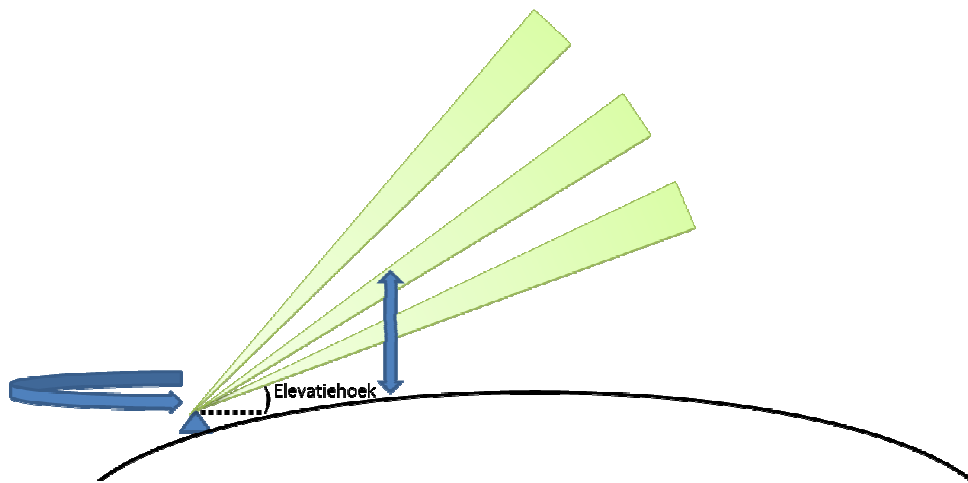
De keuze van de elevatie bepaalt welk deel van de radarscans wordt gebruikt om het composiet te vormen. Zoals toegelicht in de inleiding van dit hoofdstuk maken de meeste radars volumescans met diverse elevaties. De radar zendt op iedere elevatiehoek pulsen uit terwijl de radar ronddraait. Per 1 graad azimuth komt er voor elke kilometer informatie. In Afbeelding 9 is een voorbeeld van een polair radarbeeld gegeven. De kleur van elk punt geeft de azimuth (hoek met het noorden) aan. Per elevatie kan een dergelijk beeld gemaakt worden en het totaal vormt de volumescan. De metingen van iedere elevatie hebben hun eigen kenmerken. Zo hebben lage elevaties het voordeel dat ze dicht bij het aardoppervlak

meten, waardoor er relatief weinig neerslag gemist wordt die lager in de atmosfeer pas wordt gevormd. Ook hebben deze elevaties minder last van verstrooiing door wind of harde echo's door ijsvorming in de atmosfeer. Lage elevaties hebben echter als nadeel dat ze last kunnen hebben van bijvoorbeeld hoge gebouwen of topografie. Als een (deel van de) bundel de grond of objecten raakt, ontstaat er ruis.

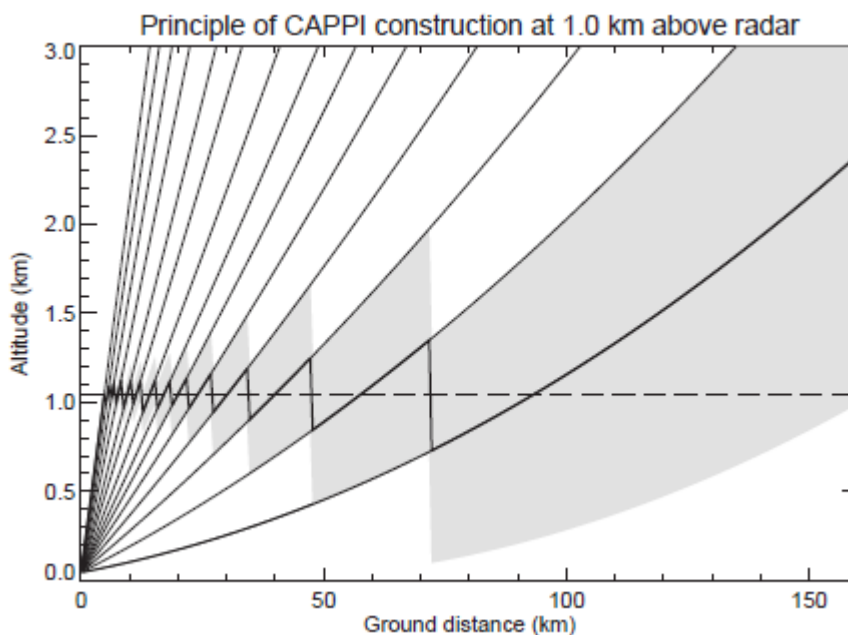
Momenteel levert het KNMI een product uit voor Nederland dat een samenstelling is van alle elevaties, zodat een compositie op één uniforme hoogte ontstaat. Dit wordt ook wel een CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) genoemd. In Afbeelding 11 wordt een schematische weergave van dit principe gegeven. De CAPPI's worden iedere 5 minuten geleverd en zijn opgebouwd uit alle 14 elevatiescans. Tot 2009 werd de CAPPI geconstrueerd op 800 meter, sinds 2009 op 1500 meter. De reden voor de verhoging van de 'constant altitude', de standaardhoogte, is het feit dat er op 800 meter teveel storingen optraden in het ruimtelijk neerslagbeeld. Het gebruik maken van de CAPPI beelden is gezien het doel van dit project niet de beste keuze. CAPPI beelden maken niet gebruik van het voordeel dat lagere elevaties metingen uitvoeren dicht bij het aardoppervlak. Waterbeheerders zijn wel in deze informatie geïnteresseerd. Hieronder staat voor KNMI en DWD radarstations afzonderlijk de motivatie van de keuze van de gebruikte elevaties. Tabel 3 geeft voor elk radar station de gegevens over de hoogte van de radarkoepels evenals de elevatiehoek die voor dit project gebruikt is.



**Afbeelding 9. Voorbeeld van polair radarbeeld (De Bilt, 0.4 graden elevatie). Per 1 graad azimuth komt er voor elke kilometer informatie. Dit is in dit figuur weergegeven als een punt. De kleur van het punt geeft de azimuth aan.**



Afbeelding 10. Elevatiehoek.



Afbeelding 11. Dwarsdoorsnede van het principe van een CAPPI, gebruik makend van 14 elevaties. De x-as is de afstand tot het radarstation in kilometers. De y-as is de hoogte vanaf het aardoppervlak in kilometers. De stippellijn is de CAPPI hoogte (in het geval van KNMI momenteel 1500 meter). De doorgetrokken lijn representeert de elevatiehoek die het dichtst bij de CAPPI hoogte ligt. Bron: Van der Wielen, 2004.

*Toelichting KNMI radarbeelden*

De volumescans van het KNMI zijn opgebouwd uit 14 elevatiescans. Dit product (KNMI catalogus: nl-rdr-data-vol) is voor dit project afgenomen voor De Bilt en Den Helder. Dit product wordt geleverd met een temporele resolutie van 5 minuten. In overleg met de expertgroep is besloten gebruik te maken van de op een na onderste elevatie (0.4°). De motivatie voor deze keuze is het feit dat we geïnteresseerd zijn in de neerslag op het aardoppervlak. Hiervoor kan in principe het beste de elevatie worden gebruikt die het

dichtst bij het aardoppervlak ligt. Aangezien de laagste elevatie teveel last heeft van storing van nabijgelegen gebouwen en ruis door reflecties van de grond, is daarom gekozen voor de op een na onderste elevatie (0.4°). In de directe omgeving van de radarstations treed alsnog veel ruis op. Daarom is bij de bouw van het composiet ervoor gekozen om 15 km rondom de KNMI radars gebruik te maken van het signaal van de andere radar. Dit is conform de huidige KNMI methodiek. Deze keuze is voor dit moment binnen de expertgroep gemaakt maar is niet noodzakelijkerwijs de uiteindelijk beste keuze. Resultaten moeten uitwijzen of een aanpassing van deze keuze noodzakelijk is zoals ook is aangegeven in de aanbevelingen.

#### *Toelichting DWD radarbeelden*

Voor de DWD is gebruik gemaakt van de meest ruwe gegevens die beschikbaar zijn, het DX product. Deze is afgenomen voor Emden, Essen en Neuheilenbach. Dit product heeft een temporele resolutie van 5 minuten. De DWD levert geen volume data, maar heeft zelf per azimuth een keuze gemaakt voor de elevatie op basis van kennis over ruisveroorzakende objecten en geografische hoogteverschillen in de omgeving. Bekend is per azimuth welke elevatie gekozen is. Deze informatie is gebruikt tijdens de composietmethode. Voor de DWD gegevens hebben we binnen dit project dus niet zelf een keuze gemaakt voor de te gebruiken elevatie.

**Tabel 3. Overzicht van de hoogte van de radarkoepels en gekozen elevatie per radarstation.**

<i>radarstation</i>	<i>Hoogte radarkoepel [m tov zeeniveau]</i>	<i>Elevatie hoek (graden)</i>	<i>toelichting</i>
De Bilt	44	0.4	eigen keuze uit KNMI data
Den Helder	51	0.4	eigen keuze uit KNMI data
Emden	58	0.4 - 0.7	opgelegd door DWD
Essen	185.1	1.0 - 1.2	opgelegd door DWD
Neuheilenbach	585.15	0.5 - 0.9	opgelegd door DWD

### **4.2.3 Z-R transformatie**

Zoals eerder toegelicht meet radar geen neerslag maar teruggekaatste elektromagnetische straling. De pixelwaarde is een echo van een elektromagnetische puls. Deze echo (Z) moet worden omgezet naar een regenintensiteit (R). Dit wordt ook wel de Z-R transformatie genoemd. Het KNMI hanteert hiervoor een standaard formule, welke is aangegeven in het stroomschema in Afbeelding 8. Deze transformatie is ook toegepast op de Duitse radardata.

Om te voorkomen dat er ruis wordt opgeteld worden reflectiviteiten (Z-waarden) lager dan 7 dBZ (0,1 mm/uur) niet meegenomen (op 0 mm/uur gezet). Aan de andere kant worden reflectiviteiten gemaximaliseerd op 55 dBZ (100 mm/uur). Hiermee worden onrealistische hoge waarden als gevolg van hagel of verstoring van het signaal door niet meteorologische omstandigheden geminimaliseerd. Deze methodiek is gelijk aan de methodiek die het KNMI momenteel hanteert.

### **4.2.4 Van polair naar cartesisch grid**

Afbeelding 9 geeft een voorbeeld van het polaire radargrid. De dichtheid van de punten is dichtbij de radar hoger dan verder van de radar af. Al deze punten zijn getransformeerd naar het rijkdriehoekstel. Vervolgens worden op basis van deze punten zogenaamde TINs (Triangular Irregular Network) gevormd

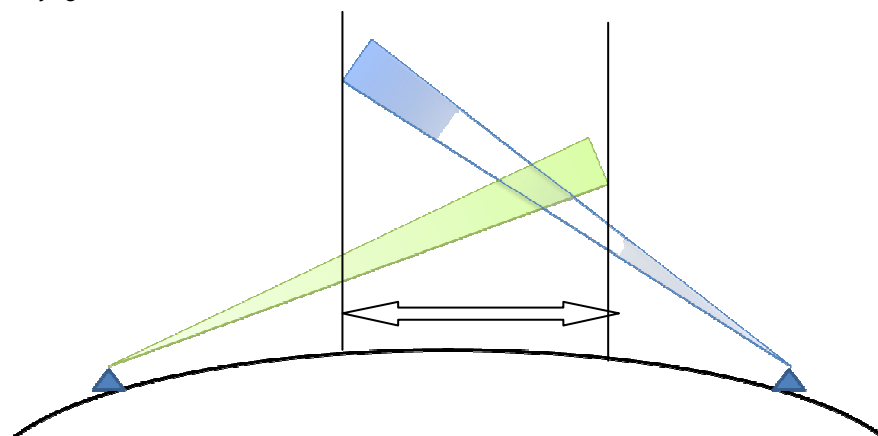
Vervolgens is over deze TINs een regelmatig grid gelegd van 1 km bij 1 km. Hierbij is gebruik gemaakt van areaal gemiddelde. In het geval van meerdere TINs is een gemiddelde genomen. Deze methodiek is conform de methodiek die het KNMI hanteert. Wat goed is om te realiseren is dat het in principe mogelijk is om dichterbij de radar een neerslagveld met een hogere ruimtelijke resolutie dan 1 km x 1 km te genereren.

#### 4.2.5 Genereren composiet

In Afbeelding 7 is te zien dat er op veel plaatsen een overlap is van twee of meerdere radars. Waar slechts één radarstation beschikbaar is, wordt de composietwaarde volledig bepaald door dit radarstation. Voor locaties met een overlap moet een keuze worden gemaakt of en hoe deze data te combineren. Afbeelding 12 geeft een schematische dwarsdoorsnede van twee radarbundels. In het project zijn in overleg met de experts 3 methoden getest:

1. Laagste elevatie
2. Parabolische weging
3. Laagste elevatie met weging aan de randen

Wederom verwijzen we de experts voor details naar de softwarecode. De software is dusdanig generiek opgesteld dat rekening wordt gehouden met de uitval van radars. Daarnaast kunnen ook relatief eenvoudig radars worden toegevoegd. Hieronder volgt een korte toelichting op de drie geteste composietmethoden. Vervolgens wordt een korte motivatie van de keuze voor methode 3 gegeven. Voor meer details wordt verwezen naar de projectgroep en expertgroep verslagen en presentaties welke zijn opgenomen in bijlage A.

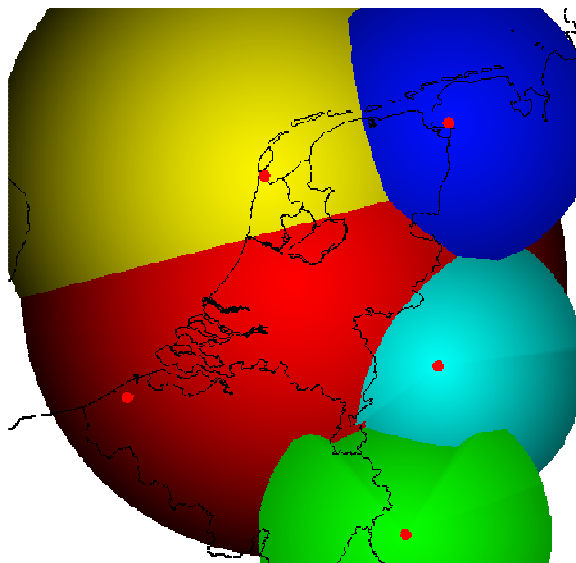


**Afbeelding 12. Schematische dwarsdoorsnede van aardoppervlak met twee radarbundels. Pijl geeft aan waar op het aardoppervlak data beschikbaar is van twee radars.**

##### Laagste elevatie

De methode laagste elevatie kijkt voor iedere locatie langs het aardoppervlak voor welk beschikbaar radarstation de gekozen radarbundel het dichtst bij het aardoppervlak meet. Dat betekent in het geval van Afbeelding 12 dat van links naar rechts eerst de groene bundel wordt gebruikt voor de composietwaarde tot de locatie waar de blauwe bundel de laagste van de twee bundels wordt. Vanaf dit kruispunt wordt alleen de blauwe radarbundel gebruikt voor de composietwaarde. Ruimtelijk levert dit een beeld op zoals weergegeven in Afbeelding 13. Met een unieke kleur wordt aangegeven voor welke locatie welke radar wordt gebruikt.

Deze methode is zeer generiek en daarmee goed onderhoudbaar. Uit deze afbeelding blijkt echter al duidelijk dat er harde grenzen worden opgelegd tot waar data van één radar wordt meegenomen, ondanks dat deze radars wel informatie geven over de neerslag over een groter oppervlak. Hiermee is de toegevoegde waarde van buitenlandse radars zeer gering. De harde overgangen waren ook duidelijk te zien in het neerslagpatroon bij de visuele inspectie van de resultaten. Om die reden is dan ook een andere methode getest die gebruik maakt van een weging.

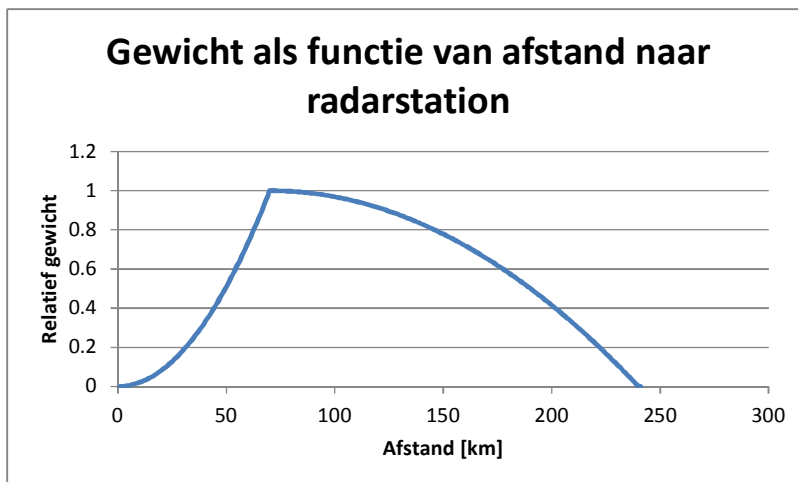


**Afbeelding 13. Ruimtelijk resultaat weging laagste elevatie. Radarstation Jabekke in België is als punt weergegeven maar hiervoor is momenteel nog geen data.**

### **Parabolische weging**

Deze methode gaat anders om met de regio waar meerdere radarstations beschikbaar zijn. In plaats van op iedere locatie één radarstation te kiezen dat voor 100% de composietwaarde bepaald, wordt in deze methode de composietwaarde bepaald door een gewogen gemiddelde van de beschikbare radarstations. Deze weging is afhankelijk van de afstand tot het radarstation. Dichtbij het radarstation is risico op ruis doordat de radarbundel daar de grond raakt. Dichtbij het station is het gewicht daarom laag t.o.v. een iets verder weg gelegen station. Waar de radarbundel de grond niet meer raakt, is de volledige radarbundel het dichtst bij de grond en levert daarmee de betrouwbaarste resultaten. Hier is het gewicht dus relatief hoog. Hoe verder een locatie van een radarstation des te onbetrouwbarder de meting (de meting is hoog in de atmosfeer en mist daardoor een deel van de atmosfeer, er treedt uitdoving van het signaal op en er kan ruis ontstaan door atmosferische effecten of bijvoorbeeld vogels). Daarom wordt de weging verder weg relatief steeds lager. Afbeelding 14 geeft deze parabolische weging per radarstation weer.

Als een radarstation een laag gewicht heeft, wil dat niet zeggen dat dit radarstation weinig invloed heeft op een bepaalde locatie. De totaalwaarde vormt een gewogen gemiddelde van de individuele bundels op basis van de relatieve gewichten. Als op een locatie twee radarbundels beschikbaar zijn die allebei een laag gewicht van bijvoorbeeld 0,2 hebben, dan tellen ze allebei voor 50% mee. Zijn er twee bundels beschikbaar waarbij de één een gewicht heeft van 0,8 en de ander van 0,2, dan telt de laatste maar voor 20% mee. Aangezien bij deze methode de mate waarin een radarstation wordt meegenomen ruimtelijk varieert is het niet eenvoudig een ruimtelijke visualisatie te geven zoals is gedaan bij laagste elevatie.



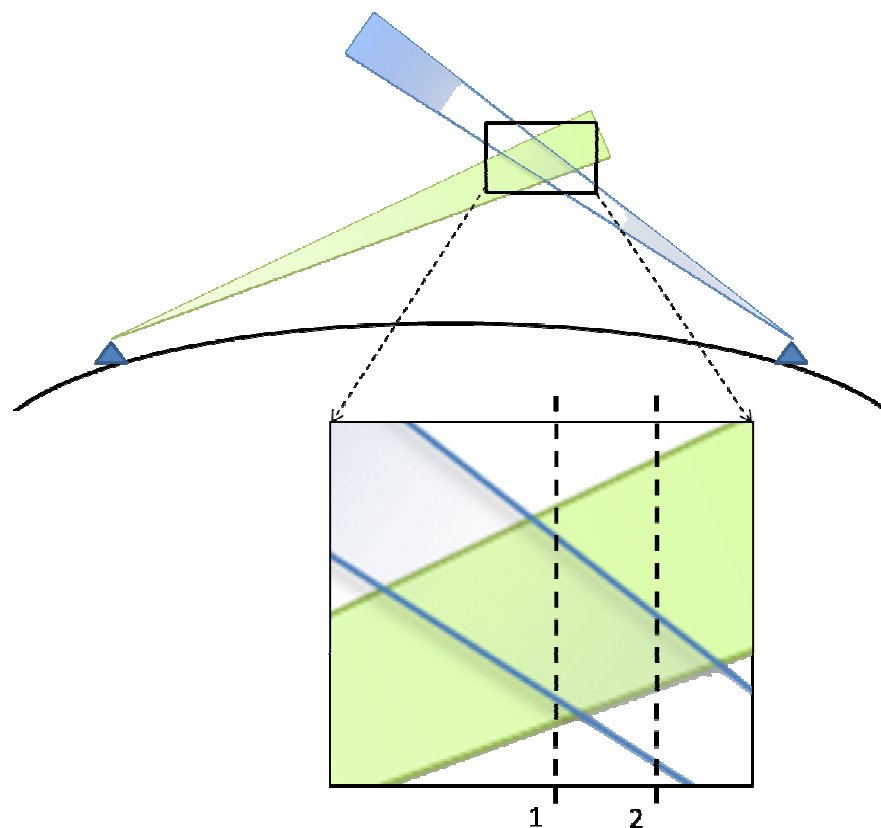
**Afbeelding 14. Parabolische weging per radarstation**

Deze methode is conform de huidige KNMI methodiek. Het grote voordeel ten opzichte van de methode van laagste elevatie is dat er een geleidelijkere overgang is tussen de radars (visuele inspectie). De vorm van parabolische weging is echter gebaseerd op waarden die op basis van ervaring zijn vastgesteld. Dit maakt de methode een stuk minder goed onderhoudbaar en generiek. Om die reden is een derde methode getest.

#### **Laagste elevatie met weging aan de randen**

Ook bij deze methode wordt een weging toegepast. De criteria zijn hier echter anders dan bij de parabolische weging. De radarbundel die het laagst is t.o.v. het aardoppervlak is leidend en telt 100% mee. Vervolgens wordt gekeken of er bundels zijn van andere radarstations die de laagste bundel snijden, Afbeelding 15. Als op een locatie de snijdende bundel volledig in de laagst gelegen bundel ligt, telt ook de snijdende bundel 100% mee, zie bijvoorbeeld locatie 1 in Afbeelding 15. Als de snijdende bundel slechts gedeeltelijk overlapt met de laagst gelegen bundel, dan wordt van de snijdende bundel slechts die fractie meegenomen die overlapt met de laagst gelegen bundel. Zie voor een voorbeeld locatie 2 in Afbeelding 15. Op locatie 2 is de blauwe bundel het laagst en telt dus voor 100% mee. De groene bundel snijdt de blauwe ongeveer 35% van de bundel. 60% van de groene bundel ligt buiten de blauwe bundel. De groene bundel wordt dus voor 35% meegeteld in de gewogen middeling van de twee bundels:  $(1 \cdot \text{blauw} + 0,35 \cdot \text{groen}) / (1 + 0,35)$ .





**Afbeelding 15. schematische dwarsdoorsnede van twee radarbundels met weging waar bundels snijden**

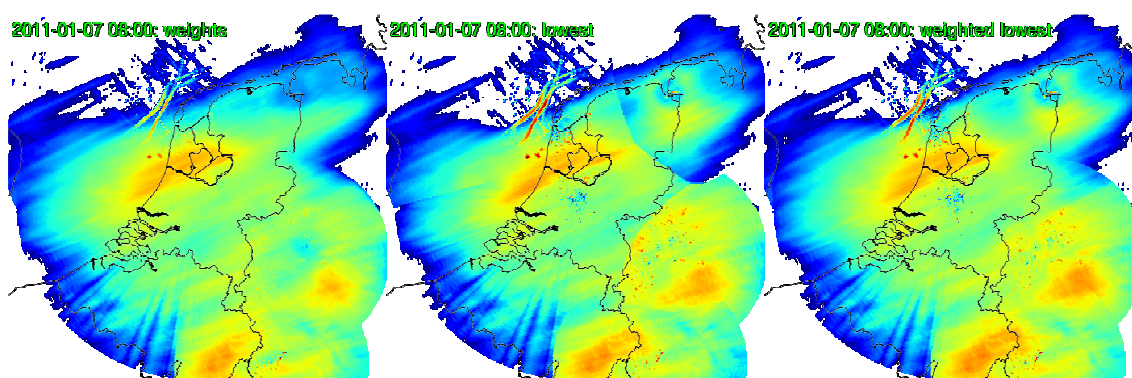
### **Keuze composietmethode**

Om een keuze tussen de verschillende composietmethoden te kunnen maken hebben we een aantal scoringscriteria vastgesteld, te weten:

- Nauwkeurigheid: hoe goed schat deze methode de neerslag?
  - o vergelijking vorm histogrammen met die van grondstations
  - o overeenkomst composietmethoden onderling (scatterplot)
  - o foutenstatistieken - grondstations (rmse, bias)
- Robuustheid: hoe foutengevoelig is het?
  - o visuele inspectie clutter
  - o overgang radars (doorlopen buien)
- Rekening: is de methode snel genoeg om operationeel te kunnen leveren binnen afgesproken tijd?
- Onderhoudbaarheid: hoe generiek is een methode, zitten er arbitraire waarden in?

In Tabel 4 zijn de drie methoden kwalitatief gescoord. Op basis van de statistieken met grondstations konden er nauwelijks verschillen worden aangetoond. Dit komt waarschijnlijk door de dichtheid van het netwerk van de grondstations. Voor een groot deel van Nederland is er geen verschil tussen de composietmethoden. Het gaat met name om de gebieden waar de bundels van de radarstations elkaar snijden. De visuele inspectie van de resultaten bleek het grootste verschil te maken. Afbeelding 16 geeft

een voorbeeld van één beeld. Tijdens de visuele inspectie is een hele tijdreeks als film afgespeeld om de buiovergangen te kunnen volgen. De methode met weging aan de randen liet daarbij de beste resultaten zien. De rekentijd verschilde nauwelijks per methode en is daarom gelijk gescoord voor alle methoden. Zoals eerder aangegeven bleek de tweede methode van parabolische weging teveel af te hangen van arbitraire waarden en scoort daarom lager dan de andere twee methoden. In overleg met de expert- en projectgroep is op basis van de resultaten gekozen voor de methode van laagste elevatie met weging aan de randen.



**Afbeelding 16.** Voorbeeld van de 3 composietmethoden voor 7 januari 2011. Wegingsmethode (links), laagste elevatie (midden) en laagste elevatie met weging aan randen (rechts).

**Tabel 4.** Kwalitatieve scoring van de composietmethoden

<i>Criteria</i>	<i>weging</i>	<i>Laagste elevatie</i>	<i>Laagste elevatie "plus"</i>
Nauwkeurigheid	+	+	+
Robuustheid	++	+	+++
Rekentijd	+	+	+
Onderhoudbaarheid	+	++	++

#### 4.2.6 Declutter

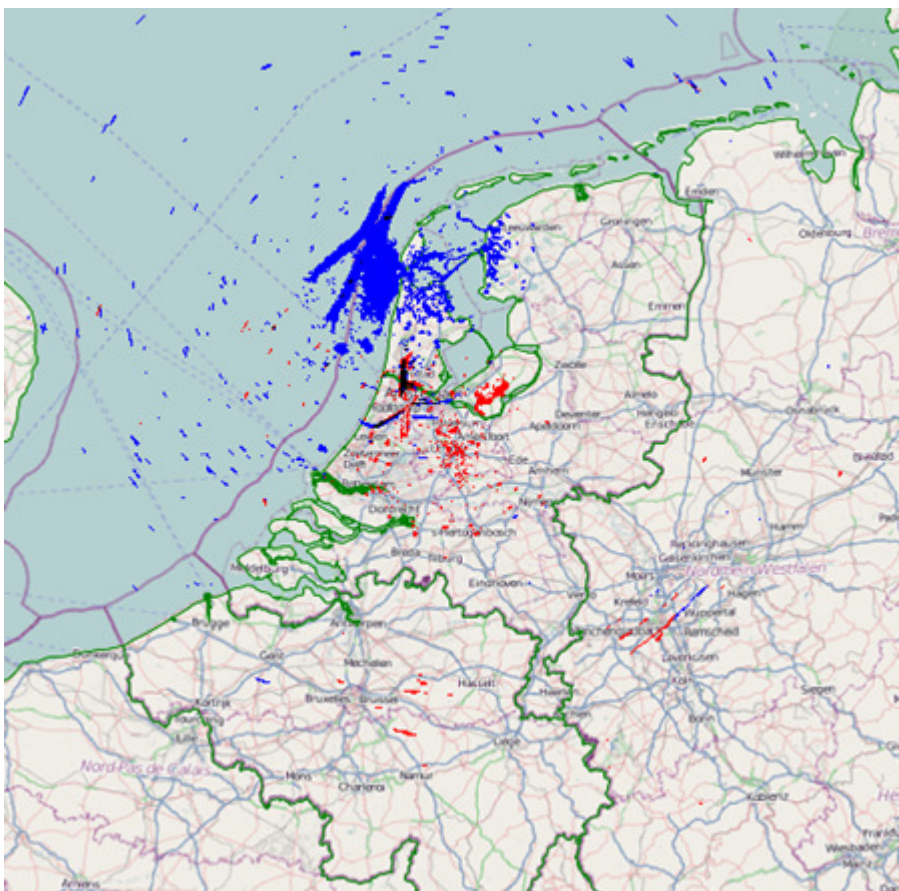
Voordat het KNMI de radardata (Z-waarden) uitlevert heeft er al een eerste vorm van filtering op de data plaatsgevonden. Holleman en Beekhuis (2005) en Wessels en Beekhuis (1994) geven meer achtergrondinformatie. Dit 'groundclutter' filter zorgt ervoor dat de ergste ruis is verwijderd. Dit filter wordt echter alleen toegepast op statische objecten zoals bijvoorbeeld gebouwen. Tijdens het project bleek dat ondanks deze bewerking bij het KNMI er nog extra filtering op de data moest worden toegepast. Zo zijn windmolenparken soms bewegende objecten (wieken) en duidelijk terug te zien als onterechte neerslagdata. Er zijn twee methoden toegepast om de clutter te verwijderen:

1. statische historische decluttering
2. dynamische omvang decluttering

##### **Statische historische decluttering**

Het grootste deel van Nederland wordt gescand door zowel de radar van De Bilt als de radar van Den Helder. De ene radar heeft op een bepaalde locatie meer last van ruis (clutter) dan de andere. In dit project is voor alle regenloze 5-minuten beelden in 2011 onderzocht waar clutter optrad. Het eindresultaat is te zien in Afbeelding 17. De blauwe gebieden zijn pixels die ruis opleveren afkomstig van radarstation

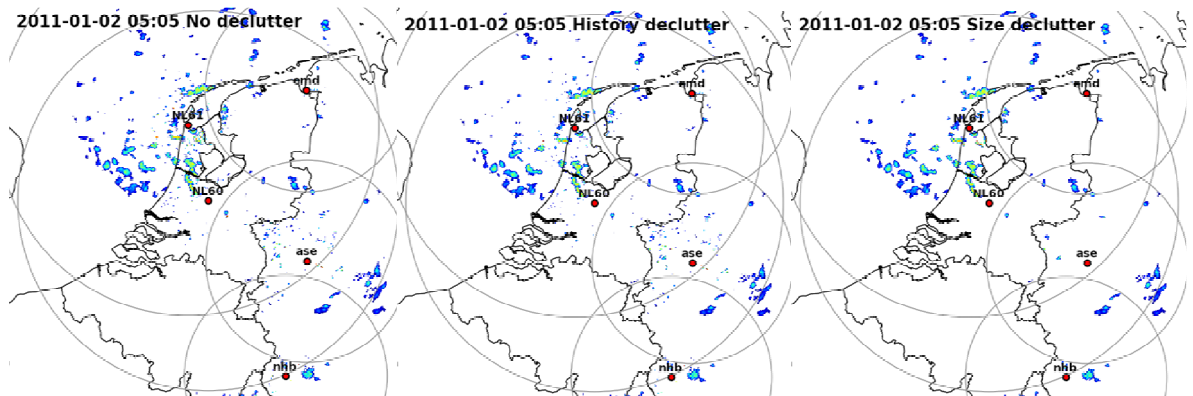
Den Helder, rood is ruis van radarstation De Bilt. Zwarte gebieden zwart zijn locaties waar beide radars ruis geven. Dit ruimtelijk beeld van pixels wordt ingezet om te weten op welke locaties de ene radar de ander moet overnemen. Voor de rode gebieden geldt dat hier de data van Den Helder wordt genomen. Het tegenovergestelde gebeurt voor de blauwe pixels. Bij de zwarte pixels is een keuze voor één van de radars gemaakt op basis van de radar die de minste ruis op die locatie geeft. In Afbeelding 18 wordt voor één dag het effect van het toepassen van de statische historische decluttering getoond (midden). Het verdient de aanbeveling deze decluttering methode te verbeteren door gebruik te maken van een langere reeks.



**Afbeelding 17. Historisch clutter patroon, blauw is afkomstig van radarstation Den Helder, rood van radar station De Bilt. Zwart betekent dat beide radars op die plek clutter geven.**

#### **Dynamische omvang decluttering**

Na het toepassen van de historische decluttering bleken er nog steeds ten onrechte losse ruispixels op te treden. Voor de dynamische decluttering is er vanuit gegaan dat een bui een zekere ruimtelijke omvang moet hebben. Buien die kleiner zijn dan 4 aaneengesloten pixels worden gezien als clutter. Daarbij maakt het niet uit hoe de 4 pixels aan elkaar zitten (elke tetris-vorm is mogelijk). Dit is een keuze die samen met de expertgroep is gemaakt en gebaseerd is op een afweging. Indien de minimale omvang van een bui wordt vergroot zal het vaker voorkomen dat er ten onrechte neerslag als clutter wordt beschouwd. Op basis van de uiteindelijke operationele producten zal besloten moeten worden of een verfijning van de dynamische decluttering noodzakelijk is en vormt dan ook een belangrijke aanbeveling.



**Afbeelding 18. Resultaten van de verschillende declutter stappen voor een voorbeeld op 2 januari 2011. Links het beeld zonder decluttering, Midden het beeld na toepassen historische decluttering methode. Rechts het eindresultaat nadat ook de ‘size decluttering’ is toegepast.**

## 4.3 Kalibratie

### 4.3.1 Inleiding

Zoals hiervoor toegelicht geven radars een indirecte schatting van de vlakdekkende neerslagintensiteit. Daarbij worden metingen verricht in de atmosfeer, niet op het aardoppervlak zelf. Hoe verder van de radar, hoe hoger in de atmosfeer gemeten wordt. Wij zijn voor dit project geïnteresseerd in de hoeveelheid neerslag die op het aardoppervlak valt. In dit project is veel aandacht besteed om op basis van radar een best mogelijke schatting te geven van de neerslagintensiteit aan het aardoppervlak (zie vorige paragraaf – composiet). In algemene zin kan worden gesteld dat regenradar goed inzicht geeft in de ruimtelijke spreiding van neerslag, veel beter dan het huidige netwerk van regenmeters. Regenmeters daarentegen zullen de hoeveelheid neerslag op die plek waar gemeten wordt over het algemeen nauwkeurig bepalen (Tabel 5). Een regenmeter is een puntmeting in de ruimte en geeft een gemiddelde over de tijd. Regenradar geeft een puntmeting in de tijd en een gemiddelde over de ruimte.

Experts zijn het erover eens dat metingen op het aardoppervlak (ground truth) nodig is om de nauwkeurigheid van radarmetingen te verbeteren. In dit rapport noemen we dit radarkalibratie, in strikte zin is het echter eerder een aanpassing van radardata.

**Tabel 5. Voor en nadelen van regenradar en regenmeter**

	<b>Radar</b>	<b>Regenmeter</b>
Ruimtelijke spreiding	+	-
nauwkeurigheid	-	+

### 4.3.2 Grondstations 'ground thruth'

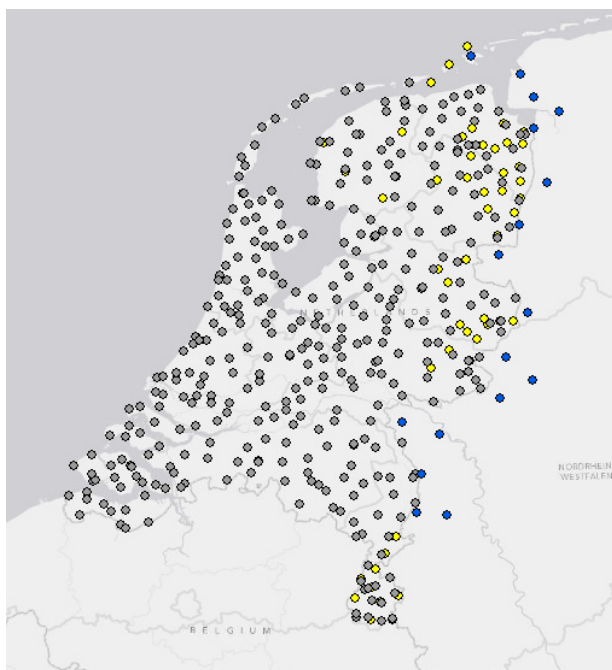
Afbeelding 19 geeft een geografisch overzicht van de grondstations zoals gebruikt in deze fase van het project. Deze stations zijn gebruikt om de radarbeelden te kalibreren.

De volgende set regenmeters is in dit project meegenomen:

- AWS stations KNMI
- STN stations KNMI
- DWD stations
- lokale stations deelnemers

Op alle regenmeters wordt continu een validatie uitgevoerd. Deze heeft de volgende kenmerken:

- Validatie gebeurt op 5 min, 1 uur en 24 uur;
- Gaten in tijdreeksen worden niet opgevuld;
- Validatiegrenzen afhankelijk van de meetperiode (5 minuten – max 25 mm ; 1 uur – max 150 mm; 24 uur – max 250 mm);
- Alle meetwaarden buiten hiervoor genoemde validatiegrenzen worden niet meegenomen, maar krijgen een 'flag' voor (latere) herkenning.



**Afbeelding 19. Geografisch overzicht van de grondstations zoals gebruikt in deze fase van het project. Grijs zijn alle KNMI stations, geel de stations die de deelnemende partijen hebben ingebracht en blauw de geselecteerde stations van de Deutsche Wetter Dienst (DWD).**

Er zijn vele typen neerslagmeters (Rioned 2011), de ene meter is betrouwbaarder dan de andere regenmeter. In principe kan aan elk station een kwaliteitslabel worden gehangen. Hoe hoger het kwaliteitslabel, hoe meer vertrouwen er is in de data van die regenmeter en hoe zwaarder deze meeweegt in de kalibratie. Tijdens dit project is gebleken dat de projectgroepleden pas regenmeters toe hebben

gevoegd nadat er een onafhankelijke expertcontrole van de kwaliteit van de regenmeters heeft plaatsgevonden. Alle regenmeters hebben dan ook het hoogste kwaliteitslabel gekregen.

Het merendeel van de regenmeters in Afbeelding 19 leveren data met een temporele resolutie van 24 uur. Daarbij wordt de data van veel regenmeters met een aanzienlijke vertraging aangeleverd. De consequentie daarvan is dat er zeer weinig data beschikbaar is om de real-time en near real-time radarcomposieten te kalibreren.

De verwachting is dat het netwerk van regenmeters in de toekomst zal verbeteren. De software code is dan ook dusdanig generiek opgesteld dat regenmeters die in de toekomst erbij komen toegevoegd kunnen worden. Dit zal de nauwkeurigheid van de data naar verwachting sterk verbeteren. Hoeveel regenmeters nodig zijn is niet eenduidig te beantwoorden. Zoals toegelicht in de vorige stukken hangt de nauwkeurigheid van de radarmetingen immers af van diverse factoren zoals buitype en afstand tot de radar.

### 4.3.3 Kalibratiemethoden

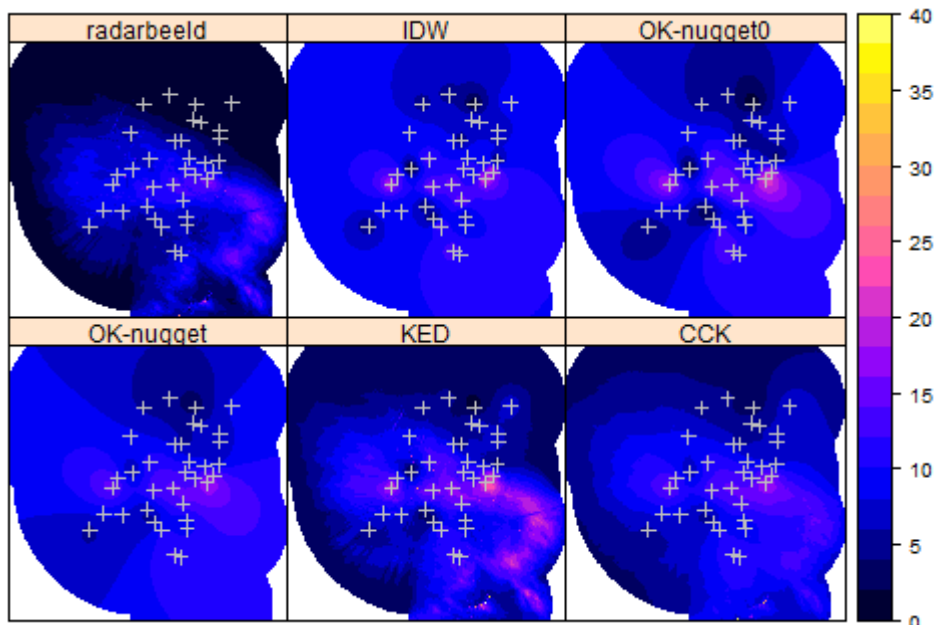
Er zijn diverse geostatistische methoden om radardata met regenmeterdata te corrigeren. Hierover is veel literatuur beschikbaar. Een goed overzicht van veel gebruikte methoden wordt gegeven door Goudenhoofd en Delobbe (2009). De meest gebruikte methoden zijn inverse distance weighting (IDW) van correctiefactoren (correctiefactor daarbij de verhouding tussen regenmeter waarde en radarwaarde) en Kriging varianten. In theorie is IDW inferieur aan Kriging aangezien bij Kriging rekening wordt gehouden met clustering van data. Bij Kriging is het mogelijk om naast regenmeter data (primaire data) ook radardata (secundaire data) mee te nemen. Alle methoden hebben parameters die de uitkomst sterk kunnen beïnvloeden. Zo is bij IDW de machtsfunctie belangrijk en bij Kriging de vorm van de variogrammen. Variogrammen beschrijven de correlatie van de datapunten als functie van hun onderlinge afstand.

In dit project zijn diverse interpolatiemethoden geïmplementeerd, zie als voorbeeld Afbeelding 19. Met de experts is afgestemd om te streven naar een kriging variant waarbij de keuze hoofdzakelijk die tussen Kriging met external drift (KED) en colocated cokriging (CCK) was. Binnen een dergelijke methodiek is het nog van belang welk variogrammodel gekozen worden. Voor een gedetailleerde beschrijving van de gehanteerde methoden wordt verwezen naar Schuurmans et al (2007). Naast de standaard variogrammen die in dit artikel worden beschreven is ook gebruik gemaakt van de klimatologische variogrammen uit het artikel van Van de Beek et al (2012).

Afbeelding 21 laat de foutenstatistieken zien van de volgende neerslaggegevens:

- RAD.NL : composiet met alleen de KNMI radarstations
- RAD.ALL: composiet met alle beschikbare radarstations
- OK: ordinary kriging van de regenmeter data
- KED: kriging met external drift
- CCK: colocated cokriging

Uit Afbeelding 21 blijkt ten eerste dat er verbetering optreedt als er gebruik wordt gemaakt van meerdere radarstations. De methode OK (ordinary kriging) maakt enkel gebruik van regenmeter data en is daarom geen optie voor radaraanpassing. Zowel KED en CCK laten een sterke verbetering zien van de nauwkeurigheid van de vlakdekkende neerslagdata.

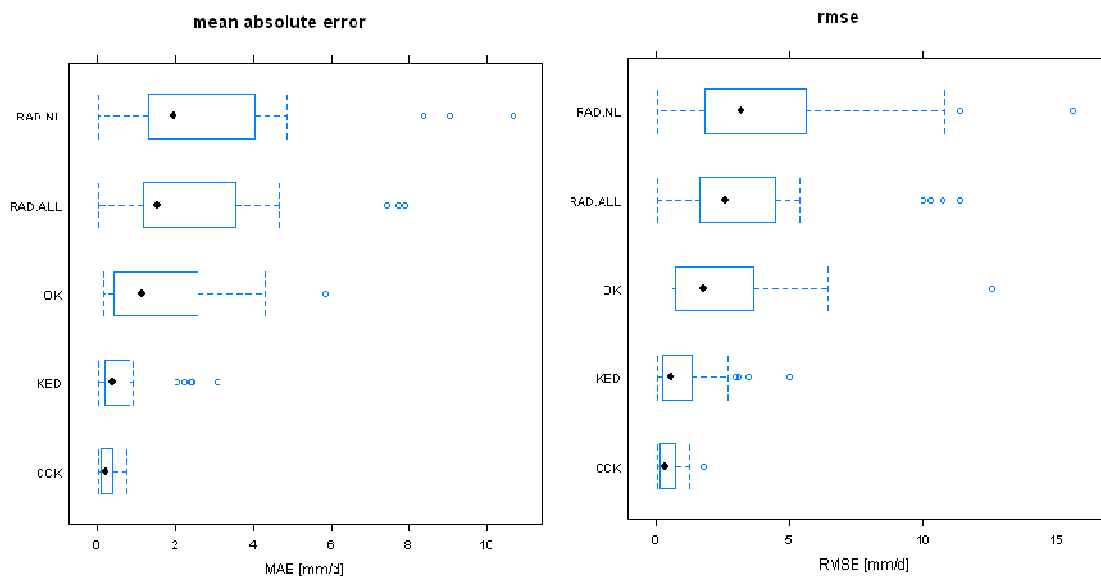


**Afbeelding 20. Voorbeeld van verschillende geostatistische interpolatietechnieken, kruisjes geven locatie van regenmeters weer (IDW – inverse distance weighting (alleen grondstations); OK – ordinary kriging (alleen grondstations); KED – Kriging met external drift; CCK – colocated cokriging).**

Zoals aangegeven in de vorige paragraaf bleek tijdens dit project dat veel regenmeters data leveren met een temporele resolutie van meer dan 1 uur (de meesten zelfs 24 uur) en dat daarnaast de data ook vertraagd worden geleverd. Dit heeft consequenties voor de geïmplementeerde kalibratietechniek, zie Afbeelding 2. Voor de real-time data wordt voor alle producten gebruik gemaakt van IDW van correctiefactoren. Voor de near real-time en achteraf producten wordt gebruik gemaakt van de methode KED. De motivatie van de keuze voor KED ten opzichte van CCK is:

- uit literatuur de meest betrouwbaar geachte methode;
- weinig verschil in nauwkeurigheid bij validatie van 2011 data;
- KED geeft visueel aantrekkelijker beeld dan CCK;
- Generiekere methode: voor elke dag wordt het residue variogram geschat, waarmee geen gebruik hoeft te worden gemaakt van standaard (klimatologische) variogrammen.

Het verdient de aanbeveling dat op het moment dat er in de toekomst meer grondstations beschikbaar komen voor de 5 minuten beelden de methode van IDW te heroverwegen. Mogelijkerwijs is het in de toekomst ook mogelijk om neerslagmetingen gebaseerd op mobiele telefonie netwerken te implementeren. Recent zijn op dat vlak hoopvolle resultaten geboekt door Overeem, Leijnse en Uijlenhoet (2013).



**Afbeelding 21. box-en-whisker plots van de fout (MAE en RMSE) van verschillende vlakdekkende neerslagdata. De 'box' geeft het laagste en het hoogste kwartiel van de data aan. De stip in de box is de mediaan. De gestippelde 'whiskers' de data range. Data verder dan 1,5 keer de interkwartiel range zijn uitschieters – de open rondjes.**



## 5 AANBEVELINGEN

### 5.1 Aanbevelingen afnemers

Radarbeelden geven de snelste ruimtelijke inschatting van neerslagintensiteit. Deze radardata kunnen pas worden verbeterd (aangepast, "gekalibreerd") op het moment dat er andere betrouwbare neerslagdata is. De meest gangbare methode om neerslag te meten zijn neerslagmeters. Daarbij zijn de volgende aspecten van belang:

- temporele resolutie (om de hoeveel tijd wordt neerslag geregistreerd)
- moment van beschikbaarheid (uitgerust met telemetrie en real time verbinding)
- betrouwbaarheid (waarbij onderhoudsaspect niet moet worden vergeten).

De belangrijkste aanbeveling richting de afnemers is het verbeteren van de grondstationdata, met name voor de 5-minuten sommen en de uursommen. Meer betrouwbare stations die frequent meten en deze data snel ter beschikking stellen zullen de kwaliteit van de neerslagproducten verbeteren. Door als overheidspartijen hierin gezamenlijk op te trekken kunnen de beheer en onderhoudskosten van regenmeters worden gedeeld, waardoor de beschikbare financiële middelen efficiënt worden ingezet.

### 5.2 Aanbevelingen ontwikkelaars

#### composiet

- toevoegen Jabekke radar (zodra operationeel beschikbaar-verwachting begin 2013)
- toevoegen van 'onderzoeksraders' zoals Raingain project in Rotterdam
- *beamblockage*: keuze voor de beste elevatie per azimuth. Daarbij kan in eerste instantie het (ongefilterde) AHN gebruikt worden.
- toepassen van intelligentere ruisfilters/dynamische clutterverwijdering. Het verdient de aanbeveling de huidige ruisfilters (zowel historisch als dynamisch) regelmatig opnieuw te beoordelen op basis van nieuwe gegevens. Hieruit moet blijken of het nodig is de huidige ruisfilters aan te passen. Tevens verdient het de aanbeveling te onderzoeken of intelligentere ruisfilters een verbetering opleveren. Zo zal bijvoorbeeld een 'wasbord patroon' kunnen worden voorkomen door rekening te houden met de trekrichting van buien.
- betere neerslagschatting direct rondom radarstations: op dit moment wordt ter voorkoming van ruis binnen een straal van 15 km om de Nederlandse radarstations de data van de andere radar gebruikt. Het verdient de aanbeveling te onderzoeken of het gebruik van een hogere elevatie tot verbetering van de neerslagnauwkeurigheid leidt binnen deze 15 km.

#### Kalibratie/aanpassing

Voordat kan worden overgegaan op een verbetering/testen van kalibratiemethoden zal er eerst meer data beschikbaar moeten komen. Dus meer grondstations, frequenter meten, frequenter opsturen, dit is een aanbevelingen richting de eindgebruikers. Voor de ontwikkelaars zijn er de volgende aanbevelingen:

- Extra validatie op basis van verschil tussen radar en station
- Extra validatie op basis van temporele trend

#### Voorspellingen

Zodra de real-time en near-real time radarbeelden zijn verbeterd (meer neerslagstations, eventuele andere radars) zal ook de neerslagvoorspelling verbeteren. Hoe beter de begintoestand bekend is hoe beter de nowcast zal zijn.

- Nowcasting produceren op basis van KNMI-software

- Nowcasting verbeteren met imaging technieken
- Blending tussen nowcasting en NWP (numerieke weersvoorspellingen)

Tot slot verdient het de aanbeveling een goede aansluiting te blijven houden met het onderzoek.

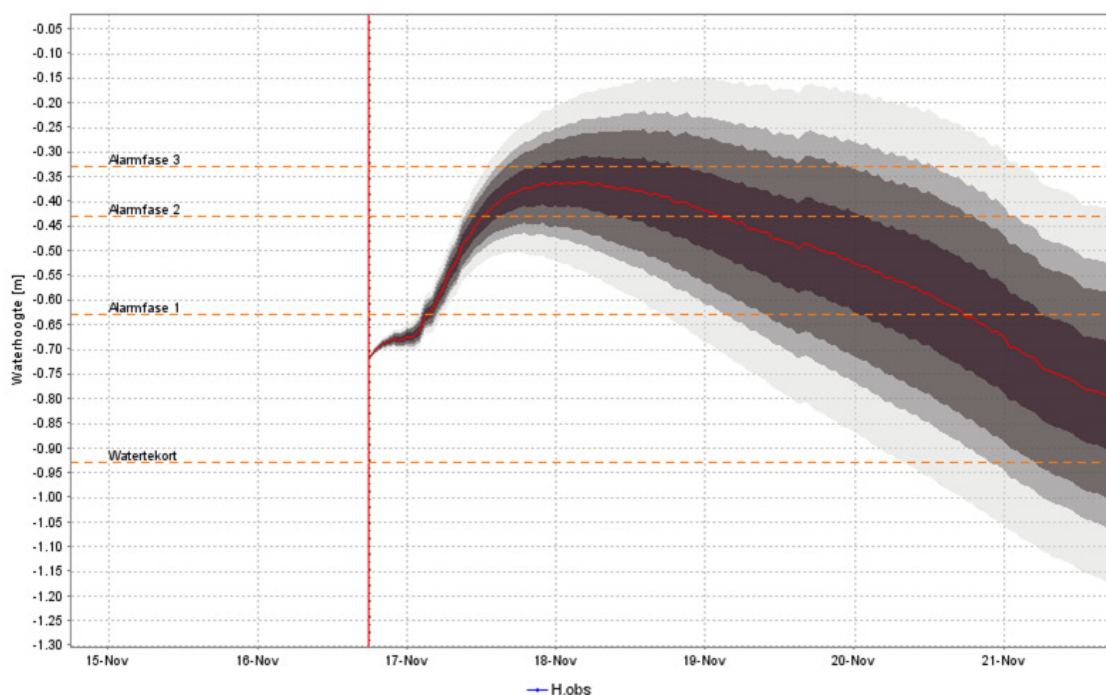
- Naast regenmeters kunnen in de toekomst mogelijk de schattingen op basis van het mobiele telefonie netwerk worden ingezet. Overeem, Leijnse en Uijlenhoet (2011 en 2012) doen hier uitgebreid onderzoek naar.
- Inzet van goedkope akoestische regenmeters – wellicht minder betrouwbaar maar door lagere kosten wel op meer plekken in te zetten
- Hoog-resolutie radars die lokaal meten (bijv Raingain project Rotterdam) zouden behalve voor onderzoeksdoeleinden ook direct kunnen worden ingezet voor verbetering van operationele radardata voor de waterbeheerders

## 6 TOEPASSINGEN

Doelgroep voor de ontwikkeling van de neerslagproducten binnen Nationale Regenradar zijn de waterbeheerders. Een gemeente zal de neerslagdata echter voor andere doeleinden gebruiken dan een waterschap of rijkswaterstaat. De benodigde nauwkeurigheid alsook de ruimtelijke resolutie hangt sterk af van de toepassing alsook de reactietijd van het hydrologische systeem. Hier worden een viertal toepassingen gepresenteerd waarvoor de neerslagdata zouden kunnen worden gebruikt.

### Hoogwatervoorspelling – BOS systemen

Bij hoogwatersituaties is het van groot belang inzicht te hebben in de neerslag die nog komen gaat. Dergelijke korte en middellange termijn voorspellingen geven aan hoe groot die kans is dat het systeem goed blijft functioneren of dat maatregelen noodzakelijk zijn. Daarnaast is een correcte inschatting van de actuele toestand van het hydrologische systeem ook van belang. Dit bepaald bijvoorbeeld hoeveel water er nog in een gebied kan worden geborgen, zie ook kop 'modelstudies'.



Afbeelding 22. Voorbeeld van een voorspelling van de waterhoogte binnen een BOS systeem.

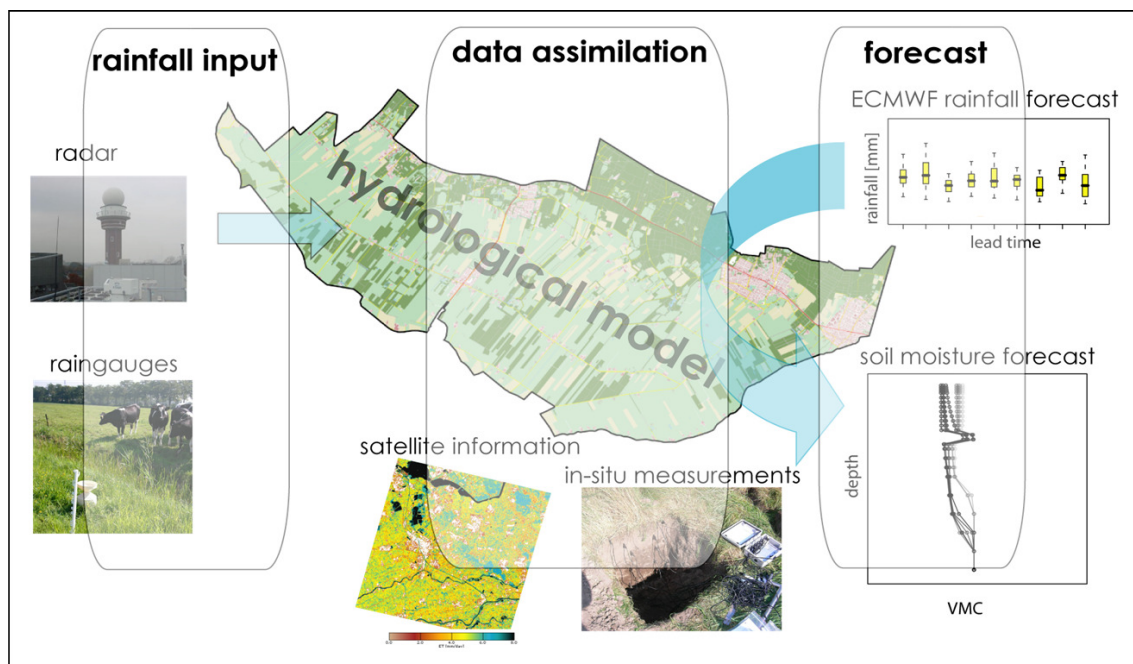
### Real time control

Real-time control is een techniek om actuele meetinformatie snel (in real-time) te verwerken en daarmee kunstwerken aan te sturen. Te denken valt aan inlaten, gemalen, pompen en stuwen. Door het toepassen van deze techniek kan het (afval-)watersysteem worden geoptimaliseerd. De voordelen zijn o.a.;

- kostenbesparing: lager energieverbruik, efficiënt inzetten van huidige middelen waardoor nieuwe investeringen mogelijkwerwijs uit kunnen blijven;
- hoger milieurendement: reductie riooloverstorten, ontzien kwetsbare wateren.

### Modelstudies

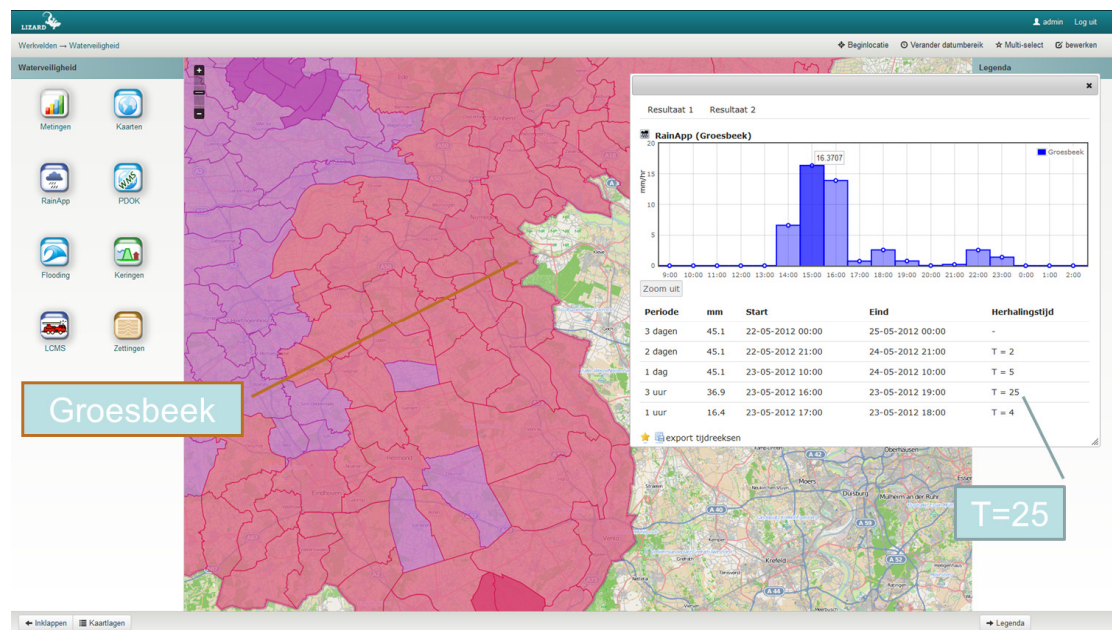
Neerslag is de belangrijkste invoervariabele bij hydrologische modellen. De laatste jaren is het ruimtelijk detail van hydrologische modellen sterk toegenomen. Regenradarbeelden zorgen ervoor dat op eenzelfde schaal ook gegevens aanwezig zijn om deze modellen te voeden. Daarmee kan beter de actuele toestand van het hydrologische systeem worden ingeschat. Daarnaast kan er ook een betere modelkalibratie plaatsvinden (Schuurmans, 2008).



**Afbeelding 23. Beter inschatting van de actuele hydrologische situatie, en daarmee van de korte termijn voorspellingen, door gebruik te maken van remote sensing technieken (Schuurmans, 2008)**

### Incidenten onderzoek

Met name gemeentes zullen bij het optreden van wateroverlast willen weten of de overlast is veroorzaakt door extreme weersomstandigheden (niet op gedimensioneerd) of door andere oorzaken. Om na te gaan of een neerslag gebeurtenis extreem is wordt vaak gebruik gemaakt van de herhalingstijd. Deze herhalingstijd is volgens recent onderzoek gebiedsgrootte- en tijdsduurafhankelijk (Overeem et al., 2010). Het is dan ook noodzakelijk om inzicht te hebben in de gebiedsgemiddelde neerslag op een hoge temporele resolutie.



Afbeelding 24. Voorbeeld van een extreme neerslaggebeurtenis binnen de gemeente Groesbeek in 2012.

## 7 REFERENTIES

Battan, L. J., 1973: Radar observation of the atmosphere. University of Chicago Press, 324 pp.

Brauer, C. C., A. J. Teuling, A. Overeem, Y. van der Velde, P. Hazenberg, P. M. M. Warmerdam, and R. Uijlenhoet, 2011. Anatomy of extraordinary rainfall and flash flood in a Dutch lowland catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15. [www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/1991/2011/doi:10.5194/hess-15-1991-2011](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/1991/2011/doi:10.5194/hess-15-1991-2011)

Collier, C. G., 1986: Accuracy of rainfall estimates by radar. *J. Hydrol.*, 93, 207-235.

DHV en Nelen & Schuurmans, 2011. Offerte Europese aanbesteding: Leveren operationeel datastroom van neerslag-informatie. LW-AF20112987/MSW.

Golding, B. W., 2000. Quantitative precipitation forecasting in the uk. *Journal of Hydrology*, 239(1-4):286 – 305. ISSN 0022-1694.

Goudenhoofd, E. and L. Delobbe, 2009. Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 195–203.

Hazenberg, P., H. Leijnse, and R. Uijlenhoet (2011), Radar rainfall estimation of stratiform winter precipitation in the Belgian Ardennes, *Water Resour. Res.*, 47, W02507, doi:10.1029/2010WR009068.

Holleman, I. and H. Beekhuis, 2005: Review of the KNMI clutter removal scheme. Technical report TR-284, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), 52 pp.

Joss, J. and A. Waldvogel, 1990: Precipitation measurements and hydrology. Radar in meteorology: Battan memorial and 40th anniversary of the radar meteorology, D. Atlas, Ed., Amer. Meteor. Soc., 577-606.

Overeem A., H. Leijnse en R. Uijlenhoet. Country-wide rainfall maps from cellular communication networks. PNAS 4 februari 2013.

A. Overeem, H. Leijnse, R. Uijlenhoet, 2012. Quantitative precipitation estimation using commercial microwave links. In: *Weather Radar and Hydrology, Proceedings of a symposium held in Exeter, UK, April 2011*, 129-134. Editors: Robert J. Moore, Steven J. Cole & Anthony J.

Overeem, A., H. Leijnse, and R. Uijlenhoet (2011), Measuring urban rainfall using microwave links from commercial 26 cellular communication networks, *Water Resour. Res.*, 47 doi:10.1029/2010WR010350.

Overeem A, T.A. Buishand, I. Holleman, R. Uijlenhoet, 2010. Extreme value modeling of areal rainfall from weather radar, *Water Resources Research*, 46, W09514, doi:10.1029/2009WR008517.

Overeem A, T.A. Buishand, I. Holleman, 2009. Extreme rainfall analysis and estimation of depth-duration-frequency curves using weather radar, *Water Resources Research*, 45, W10424, doi:10.1029/2009WR007869.

Overeem A, I. Holleman, T.A. Buishand, 2009. Derivation of a 10-year radar-based climatology of rainfall, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1448-1463, doi:10.1175/2009JAMC1954.1.

Overeem, A, T.A. Buishand, I. Holleman, 2008. Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties, *Journal of Hydrology*, 348, 124-134, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.044.

Rioned 2011, Neerslaginformatie voor het bebouwde gebied. RIONEDreeks 16, ISBN 97 890 73645 29 5

Schuurmans, J.M, M.F.P. Bierkens, E.J. Pebesma & R. Uijlenhoet, 2007, Automatic prediction of high-resolution daily rainfall fields for multiple extents: the potential of operational radar. *J. Hydrometeor.* 8, pp. 1204-1224

Schuurmans, J.M & M.F.P. Bierkens, 2008, Ability to forecast regional soil moisture with a distributed hydrological model using ECMWF rainfall forecasts. *J. Hydrometeor.* 10, pp 544-554.

Schuurmans, J.M. 2008. Thesis Utrecht University, Faculty of Geosciences. Hydrological now- and forecasting. Integration of operationally available remotely sensed and forecasted hydrometeorological variables into distributed hydrological models. ISSN 0169-4839


Van de Beek, C.Z., Leijnse, H., Torfs, P.J.J.F. and Uijlenhoet, R. (2012). Seasonal semi-variance of Dutch rainfall at hourly to daily scales. *Advances in Water Resources* 45, 76–85, DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.03.023

Wessels, H. R. A. and J. H. Beekhuis, 1994: Stepwise procedure for suppression of anomalous ground clutter. COST-75 Seminar on Advanced Radar Systems, EUR 16013 EN, 270–277.

Zawadzki, I. 1984: Factors affecting the precision of radar measurement of rain. Preprints, 22nd Int. Conf. on Radar Meteorology, Zurich, Switzerland, Amer. Meteor. Soc., 251-256.

## 8 COLOFON

---

Opdrachtgever	: Waterschap Noorderzijlvest
Project	: Nationale Regenradar
Dossier	: BA8186
Omvang rapport	: 38 pagina's
Auteurs	: Hanneke Schuurmans, Jojanneke van Vossen
Bijdrage	: projectgroepsleden Nationale Regenradar, expertgroepsleden Nationale Regenradar
Interne controle	: Frans Jorna
Projectleider	: Hanneke Schuurmans
Projectmanager	: Tobias Renner
Datum	: 13 februari 2013
Naam/Paraaf	: Tobias Renner 

---