

Opdrachtgever:
STOWA

www.meteobase.nl

online-archief

van

neerslag- en verdampingsgegevens

voor het waterbeheer

Auteurs: Rudolf Versteeg
Hans Hakvoort
Siebe Bosch
Maarten-Jan Kallen



Inhoud

Lijst van tabellen.....	iii
Lijst van figuren	v
1 Waarom www.meteobase.nl?.....	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden	1
1.4 Leeswijzer	1
2 Wat is de inhoud van www.meteobase.nl?.....	3
2.1 Basisdata.....	3
2.1.1 Informatie in meteobase.nl.....	3
2.1.2 Gegevens en bewerkingen	3
2.1.3 Aanwijzingen bij gebruik.....	3
2.2 Rasterdata.....	5
2.2.1 Informatie in meteobase.nl.....	5
2.2.2 Gegevens en bewerkingen voor neerslagrasters.....	6
2.2.3 Gegevens en bewerkingen voor verdampingrasters	11
2.2.4 Aanwijzingen bij gebruik.....	13
2.3 Toetsingsdata voor regionale wateroverlast.....	14
2.3.1 Informatie in meteobase.nl.....	14
2.3.2 Overwegingen m.b.t. beschikbare data en methodes.....	15
2.3.3 Gegevens en bewerkingen voor neerslagreeksen	18
2.3.4 Gegevens en bewerkingen voor verdampingsreeksen	21
2.3.5 Gegevens en bewerkingen voor neerslagstatistiek	23
2.3.6 Neerslagpatronen.....	25
2.3.7 Aanwijzingen bij gebruik.....	25
2.4 Gebiedsreductiefactor.....	27
2.4.1 Inleiding.....	27
2.4.2 Informatie in meteobase.nl.....	27
2.4.3 Bepaling gebiedsreductiefactoren	27
2.4.4 Toepassing gebiedsreductiefactoren	30
2.4.5 Aanwijzing gebruik gebiedsneerslag	32
3 Welke mogelijkheden tot doorontwikkeling zijn er?	35
4 Referenties	37

Lijst van tabellen

Tabel 1-1:	Overzicht van gegevens in www.meteobase.nl	2
Tabel 2-1:	Overzicht van basisgegevens in www.meteobase.nl	3
Tabel 2-2:	Overzicht van gegevens ten behoeve van kalibratie in www.meteobase.nl	5
Tabel 2-3:	Overzicht van gegevens ten behoeve van toetsing aan de NBW normen voor regionale wateroverlast in Meteobase.nl	15
Tabel 2-4:	Factoren voor de aanpassing van de neerslag per regime (Bron: Buishand et al., 2009)	20
Tabel 2-5:	Overzicht van beschikbare neerslagstatistiek: + betekent beschikbaar uit de literatuur, - betekent niet beschikbaar uit de literatuur	23
Tabel 2-6:	Overzicht van beschikbare (+), afgeleide (+') en niet beschikbare (-) neerslagstatistiek	25
Tabel 2-7:	Regressiecoëfficiënten voor de gebiedsreductiefactor	29

Lijst van figuren

Figuur 2-1:	Werkstroom voor het aanmaken van rasters met neerslaghoeveelheden voor de periode waarvoor radargegevens beschikbaar zijn.....	7
Figuur 2-2:	Werkstroom voor het aanmaken van rasters met neerslaghoeveelheden voor de periode waarvoor geen radargegevens beschikbaar zijn	10
Figuur 2-3:	Aantal stations waarvoor voldoende invoerdata ten behoeve van het uitrekenen van de formule van Penmann-Monteith beschikbaar is	13
Figuur 2-4:	Aantal neerslagstations waarvoor neerslaggegevens beschikbaar zijn	15
Figuur 2-5:	Visualisatie van de gemiddelde dekking van neerslagstations over Nederland voor de periode 1906 tot 1951, links dagstations (25x25 km), rechts uurstations (185x185 km)	16
Figuur 2-6:	Verschillen in jaarneerslag tussen de handregenmeter en de uurlijkse waarnemingen.....	19
Figuur 2-7:	Vier te onderscheiden neerslagregimes L, G, H en H+ met elk een eigen extreme waarden statistiek (Bron: Buishand et al., 2009).....	20
Figuur 2-8:	Gebiedsreductiefactor (ARF) bij oplopend oppervlak, een duur van 24 uur en herhalings tijden van 10, 50 en 100 jaar.....	29
Figuur 2-9:	Uurintensiteiten van de neerslag voor de gebeurtenis juli 1952.....	30
Figuur 2-10:	Maximale neerslagvolumina voor oplopende duren voor de gebeurtenis juli 1952	31
Figuur 2-11:	Overschrijdingsfrequenties voor oplopende duren voor de gebeurtenis juli 1952	31
Figuur 2-12:	Neerslagintensiteiten ten gevolge van gebiedsreductie voor de gebeurtenis juli 1952	32
Figuur 2-13:	Berekende waterstanden zonder en met gebiedsreductie van de neerslag en in rood gestippeld de schatting van de 'werkelijke' situatie.....	33

1 Waarom www.meteobase.nl?

1.1 Inleiding

De wateroverlastgebeurtenissen van september en oktober 1998 hebben duidelijk gemaakt dat regionale watersystemen kwetsbaar zijn voor overvloedige regenval. Naar aanleiding hiervan is de discussie op gang gekomen over de eisen die aan de waterhuishouding moeten worden gesteld. Dit heeft geresulteerd in normen, waarvan de uitgangspunten zijn vastgelegd in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Om aan de normen te kunnen toetsen is het voor de waterbeheerders wenselijk te kunnen beschikken over actuele extreme neerslagstatistiek voor neerslagduren van orde 1 tot 10 dagen.

Gegevens van (de statistiek van) neerslag en verdamping zijn tevens nodig voor kalibratie van modellen, het GGOR vraagstuk en toepassingen voor zoetwatervoorzieningsvraagstukken met bijvoorbeeld het NHI.

STOWA heeft aan HKV [LIJN IN WATER](http://www.lijninwater.nl) en Siebe Bosch Hydroconsult gevraagd om de (statistiek van) neerslag- en verdampingsgegevens te actualiseren. Dit heeft geresulteerd in www.meteobase.nl. Het KNMI is bij dit project betrokken geweest in een adviserende rol.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is om beschikbare neerslag- en verdampingsgegevens te actualiseren en te ontsluiten om deze vervolgens toe te kunnen passen bij modelkalibratie en de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast. Daarnaast kunnen (delen van) deze gegevens ook gebruikt worden voor andere vraagstukken zoals GGOR en zoetwatervoorziening.

1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

In het project zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd:

- Er wordt gebruik gemaakt van neerslaggegevens en onderzoeksresultaten die bij aanvang van het project beschikbaar zijn.
- Het KNMI speelt in dit project een adviserende rol.
- De eigendomsrechten van de onderzoeksresultaten liggen bij STOWA en het KNMI.

1.4 Leeswijzer

www.meteobase.nl is zo opgezet dat het eigenlijk voor zichzelf spreekt. Dit document is derhalve niet bedoeld als handleiding, maar als achtergrondinformatie voor de bezoekers van de website en de gebruikers van de gegevens. Hierbij gaan we er van uit dat de gebruiker deskundig is en kan beoordelen hoe hij of zij welke informatie kan gebruiken. We geven in deze rapportage op hoofdlijnen de beperkingen van de gegevens weer, veelal beperkingen die ontstaan door de beperktheid in de beschikbaarheid van gegevens en hiaten in de bestaande kennis. In Hoofdstuk 3 schetsen we daarom de mogelijkheden voor doorontwikkeling en aanvullend onderzoek om de hiaten in de kennis te verminderen.

Hoofdstuk 2 gaat over de herkomst en bewerking van de data. Het geeft een opsomming van informatie die gebruikt is en vermeldt welke bewerkingen zijn uitgevoerd. We maken daarbij onderscheid in:

- Basisdata (§ 2.1).
Dit is onbewerkte data die we gebruikt hebben voor het afleiden van rasterdata en toetsingsdata en waarvan we denken dat de waterbeheerder deze data graag ter beschikking heeft.
- Rasterdata (§ 2.2).
Dit betreft neerslag- en verdampingsrasters voor geheel Nederland, te gebruik voor kalibratie van modellen.
- Toetsingsdata (§ 2.3).
Met deze data kan een waterbeheerder voor de toetsing van zijn watersysteem aan de NBW-normen voor regionale wateroverlast de neerslagrandvoorwaarde invullen volgens de zogenaamde tijdreeksmethode en/of stochastenmethode.
- Gebiedspreiding extreme neerslag (§ 2.4).

Een overzicht van de gegevens in www.meteobase.nl is opgenomen in Tabel 1-1. Voor details wordt verwezen naar de betreffende paragraaf.

Basisdata, § 2.1	
1	Neerslagreeksen van de automatische weerstations van het KNMI (1-32 stations, uurwaarden, periode max. 1906 t/m 2010)
2	Neerslagreeksen van de neerslagstations van het KNMI (13-325 stations, dagwaarden, periode max. 1906 t/m 2010)
3	Verdampingsreeks Makkink van de automatische weerstations van het KNMI (1-33 stations, dagwaarden, periode max. 1957 t/m 2010)
Rasterdata voor kalibratie, § 2.2	
4	Neerslagschattingen (Nederland, 1x1 km raster, uurwaarden, periode 1990 t/m 2010)
5	Verdampingschattingen Makkink (Nederland, 1x1 km raster, dagwaarden, periode 1990 t/m 2010)
6	Verdampingschattingen Penman-Monteith (Nederland, 1x1 km raster, dagwaarden, periode 1990 t/m 2010)
Toetsingsdata (tijdreeks) § 2.3	
7	Langjarige neerslagreeksen (1906 - 2010), afgeleid voor regio's (L, G, H, H+) en klimaatscenario's (H, G, G+, W, W+). In totaal 20 reeksen.
8	Langjarige verdampingsreeksen (Makkink, 1906 - 2010) voor huidig klimaat en klimaatscenario's (G, G+, W, W+). In totaal 5 reeksen.
Toetsingsdata (stochasten) § 2.3	
9	Neerslagstatistiek in tabellen voor regio's (L, G, H, H+), klimaatscenario's (H, G, G+, W, W+) en seizoenen. In totaal 80 tabellen.
10	Neerslagpatronen: 7 patronen voor 5 duren en seizoenen.
Gebiedspreiding extreme neerslag, § 2.4	
11	Gebiedsreductiefactor

Tabel 1-1: Overzicht van gegevens in www.meteobase.nl

2 Wat is de inhoud van www.meteobase.nl?

2.1 Basisdata

2.1.1 Informatie in meteobase.nl

Onderdeel van meteobase.nl is het beschikbaar stellen van basisdata van neerslag en verdamping. Het betreft de data die ook beschikbaar is via de website van het KNMI (<http://www.knmi.nl/klimatologie/>). In meteobase.nl is de informatie geografisch gepresenteerd en eenvoudig voor meerdere locaties opvraagbaar. De opgenomen gegevens zijn samengevat in Tabel 2-1. Hierbij merken we op dat de data in meteobase.nl zijn bijgewerkt tot en met 2010.

Voor de toepasbaarheid van meteobase.nl adviseren wij om de gegevens regelmatig te actualiseren. Dit geldt overigens ook voor de rasterdata en de toetsingsdata.

Nr	Parameter	Periode	Tijdstap	Aantal
1	Neerslag	1906 t/m 2010	Uur	1-32 stations ¹
2	Neerslag	1906 t/m 2010	Dag	13-325 stations ¹
3	Verdamping Makkink	1957 t/m 2010	Dag	1-33 stations ²

¹ Het aantal stations dat is vermeld neemt van 1906 tot 2010 toe, dat wil zeggen dat er in de loop der tijd meer stations zijn waar neerslag en verdamping is geregistreerd. In § 2.3.2 is een meer gedetailleerd overzicht van beschikbare neerslaggegevens beschreven.

² De verdamping volgens Makkink is beschikbaar vanaf 1 juli 1957 voor één station: De Bilt. Het aantal stations dat is vermeld neemt van 1957 tot 2010 toe, in de periode 1986 tot 1995 is de toename het grootst: van 6 naar 30 stations.

Tabel 2-1: Overzicht van basisgegevens in www.meteobase.nl

2.1.2 Gegevens en bewerkingen

Alle data zijn gedownload van de website van het KNMI (www.knmi.nl). Op deze reeksen zijn geen bewerkingen uitgevoerd. Voor de metadata van de neerslagstations verwijzen we dan ook naar de website van het KNMI.

Hierbij merken we op dat de weerstations IJmuiden, Vlieland en Woensdrecht geen uurregistraties van de neerslag kennen en daarom ook niet zijn opgenomen in de basisdata.

2.1.3 Aanwijzingen bij gebruik

De gebruiker kan de basisgegevens toepassen voor onderzoeken als modelkalibratie, klimatologische analyses, GGOR studies en een veelvoud aan hydrologische analyses. Van de gebruiker wordt verwacht dat hij kennis heeft van de bruikbaarheid en geschiktheid van de basisdata voor het betreffende onderzoek en dat hij de onzekerheden van het gebruik van de data kan inschatten.

Hierbij willen we op voorhand de volgende opmerkingen plaatsen bij de kwaliteit van de data:

- Invloed van wind op de neerslagmeting.
Door het KNMI wordt niet gecorrigeerd voor de windinvloed op de neerslagmetingen. De

data in meteobase.nl zijn derhalve ook niet gecorrigeerd voor windinvloeden. Het KNMI heeft in dit onderzoek aangegeven dat er geen wetenschappelijk voldoende verantwoorde methode beschikbaar is om voor de windinvloed te corrigeren en dat correctie voor de wind daarmee onverantwoord wordt geacht.

Hierbij merken we op dat de afwijking door windinvloed een systematische afwijking is: wind zorgt er voor dat er minder neerslag wordt gemeten dan er in werkelijkheid gevallen is. Deze invloed wordt groter bij toenemende windsnelheden en hangt af van de kenmerken van de opstelling van de regenmeter. In een Engelse opstelling (waarbij de regenmeter is omgeven door een aarden wal met eenzelfde hoogte als de opvangtrechter) is de windfout bijvoorbeeld nihil. De meeste regenmeters staan echter niet in een Engelse opstelling en zullen daardoor een systematische onderschatting geven van de werkelijk gevallen neerslag.

- Veranderingen in de opstellingen.

De neerslagdata in de reeksen kennen mogelijk inhomogeniteiten die zijn veroorzaakt door verplaatsing of verandering van de meetopstelling. Een voorbeeld van een veranderde opstelling is de neerslagmeting te De Bilt (station 550). Deze kent in de loop van de tijd de volgende kenmerken (bron: www.knmi.nl):

1/1/1906 - 4/6/1935:	regenmeter 4 dm ² met de rand v/d trechter op 1.50 m boven maaiveld
5/6/1935 - 31/10/1946:	verplaatst, regenmeter 4 dm ² met de rand v/d trechter op 1.50 m boven maaiveld
1/11/1946 - 6/12/1993:	verplaatst, regenmeter 2 dm ² met de rand v/d trechter op 0.40 m boven maaiveld.
7/12/1993 - heden:	verplaatst, regenmeter 2 dm ² met de rand v/d trechter op 0.40 m boven maaiveld.

Door de verlaging van de hoogte en de verkleining van de diameter van de opvangtrechter is de regenmeter in 1946 minder gevoelig geworden voor windinvloed. Mogelijk dat hierdoor de neerslagmetingen vóór 1946 een grotere afwijking hebben ten opzichte van de werkelijk gevallen neerslag dan de neerslagmetingen ná 1946. Daarnaast kan door wijzigingen in de omgeving of verplaatsing van de opvangtrechter een meer of mindere gunstige situatie voor de neerslagmeting ontstaan. Ondanks dat de gekozen locaties zeer zorgvuldig worden afgewogen kan ook hierdoor een inhomogeniteit in de neerslagreeksen ontstaan.

De overige stations en ook de uurwaarnemingen in Nederland kennen vergelijkbare veranderingen in de opstelling. Bij het gebruik van de neerslagreeksen voor kalibratie van modellen en klimatologische analyses zal de gebruiker de gebruikte gegevens zorgvuldig moeten beoordelen.

- Sneeuw.

De regenmeters registreren neerslag in de vorm van sneeuw over het algemeen slecht. Een groot deel van de neerslag die valt als sneeuw wordt niet met de regenmeter geregistreerd. Hier speelt wind een belangrijke rol.

Bij gebruik van de neerslagreeksen in hydrologische modelsimulaties betekent dit dat een deel van de werkelijk gevallen neerslag niet op het model wordt gezet en het model daarmee minder neerslagoverschot kent dan in werkelijkheid het geval. Bij gebruik van de neerslagreeksen voor kalibratie van modellen en klimatologische analyses zal de gebruiker rekening moeten houden met deze beperkingen.

- Correctie neerslagreeksen automatische weerstations

Bekend is dat standaard handregenmeters die eenmaal per dag worden geleegd

nauwkeuriger neerslaghoeveelheden registreren dan een pluviograaf of elektrische regenmeter die met kortere tijdsintervallen neerslag registreren. Dit komt onder meer door verdampingsfouten als gevolg van het verwarmingselement in een pluviograaf of elektrische regenmeter en de minder gunstige aërodynamische vorm van de laatste twee regenmeters ten opzichte van de standaard handregenmeter. Gemiddeld gezien zijn daardoor de met een pluviograaf of elektrische regenmeter gemeten hoeveelheden structureel lager dan de hoeveelheden afgetapt met behulp van de handregenmeter. Het effect van het verschil in aërodynamica is het grootst bij hoge windsnelheden. In Smits et al. (2004) is geïllustreerd dat dit verschil gemiddeld over meerdere jaren 5% bedraagt.

Tot 1982 zijn de neerslagreeksen van de automatische weerstations (de uurwaarden) door het KNMI gecorrigeerd op basis van de neerslagstations (de dagwaarden). Na 1982 wordt deze correctie niet meer toegepast. Uurreeksen die over deze grens lopen zijn daardoor niet homogeen. Wij adviseren de gebruiker daarom alvorens gebruik te maken van de uurreeksen deze vanaf 1982 te corrigeren op basis van de handregenmeters. N.B.: Hierbij merken we op dat de uurreeks van De Bilt zoals opgenomen in het onderdeel 'Toetsingsdata' in Meteobase.nl is gecorrigeerd, zie § 2.3.3.

2.2 Rasterdata

2.2.1 Informatie in meteobase.nl

Naast de basisdata ontsluit Meteobase.nl ook rasterdata. Deze rasterdata is primair bedoeld voor modelkalibratie. De rasterdata betreft zowel neerslagschattingen als verdampingschattingen. In Tabel 2-2 staat een overzicht met de globale kenmerken van de in meteobase.nl opgenomen gegevens.

Nr	Parameter	Periode	Tijdstap	Locatie	Rastergrootte
4	Neerslagschattingen	1990 t/m 2010	Uur	Nederland	1x1 km
5	Verdampingschattingen Makkink	1990 t/m 2010	Dag	Nederland	1x1 km
6	Verdampingschattingen Penman-Monteith	1990 t/m 2010	Dag	Nederland	1x1 km

Tabel 2-2: Overzicht van gegevens ten behoeve van kalibratie in www.meteobase.nl

Zoals in de tabel is te zien is de dataset beperkt tot 1990 en loopt deze niet verder terug in het verleden. In overleg met de begeleidingsgroep is besloten de periode vanaf 1990 te kiezen. De belangrijkste argumenten hiervoor zijn:

- Vóór 1998 zijn geen radarbeelden beschikbaar en kan voor de constructie van een ruimtelijk beeld van de neerslag enkel gebruik gemaakt worden van de waarnemingen van grondstations. Voor kalibratiedoeleinden zijn we daarbij ook geïnteresseerd in de extremen van de neerslag, waarbij de uurintensiteit een belangrijke rol speelt. Het aantal automatische weerstations (die een uurintensiteit registreren) is in de periode vóór 1990 zeer beperkt (16 stations, zie ook Figuur 2-4 in § 2.3.2) en verdubbelt begin jaren '90. Wij achten het aantal stations in de periode vóór 1990 te beperkt om een voor kalibratiedoeleinden voldoende betrouwbaar ruimtelijk beeld te construeren. Met name de mogelijke afvlakking van extremen door interpolatie van de data uit het beperkt aantal stations kan voor kalibratiedoeleinden ongewenste afwijkingen opleveren.

- Vanaf 1990 hebben de waterschappen doorgaans op voldoende locaties gemeten en zijn voldoende betrouwbare metingen beschikbaar om hydrologische modellen te kalibreren. De databeschikbaarheid verschilt sterk per waterschap.
- Voortdurende wijzigingen in de ruimtelijke ordening en de inrichting van watersystemen zorgen ervoor dat met name recente metingen een juiste weergave zijn van het gedrag van het actuele watersysteem. Hoe ouder de metingen, hoe minder zij doorgaans geschikt zijn voor kalibratie. In de praktijk wordt doorgaans gekalibreerd op de periode vanaf 2000, geregeld aangevuld met de hoogwatergebeurtenissen in 1993 tot en met 1995 en in 1998.

Als de gebruiker in de periode vóór 1990 wil rekenen met lokale neerslag kan de in § 2.1 beschreven basisdata worden gebruikt. De toepasbaarheid hangt daarbij sterk af van de aanwezigheid en het aantal neerslagstations in de omgeving van het onderzoeksgebied.

§ 2.2.2 behandelt de rasters voor de neerslagschattingen, § 2.2.3 de rasters voor de verdampingschattingen. In § 2.2.4 zijn aanwijzingen gegeven voor het gebruik van de rasterdata.

2.2.2 Gegevens en bewerkingen voor neerslagrasters

Door de begeleidingsgroep is aangegeven dat zij voor de afleiding van de neerslagschattingen zo veel mogelijk aan wil sluiten bij de methoden zoals gebruikt voor de Neerslagdatabase Midden Nederland. De belangrijkste redenen die hiervoor zijn aangevoerd zijn dat 1) de daarin gebruikte methode (kort gezegd: 'Kriging with external drift') state-of-the-art is; deze methode informatie kan geven over de betrouwbaarheid van de neerslagschattingen en de bandbreedte daarvan. Dit laatste kan vervolgens worden gebruikt bij de optimalisatie van modelparameters in de modelkalibratie.

In deze paragraaf zijn de gebruikte methoden globaal toegelicht. Voor verdere achtergronden bij de gebruikte methode verwijzen we naar Kallen (2009a) en Kallen (2009b).

De geografische projectie en de ruimtelijke resolutie van de rasters zijn dezelfde als de polair stereografische projectie en 1 km bij 1 km resolutie die het KNMI in haar radarproducten toepast (KNMI, 2012). De rasters beslaan de periode 1 januari 1990 tot en met 31 december 2010. Voor de totstandkoming van deze rasters zijn drie periodes van belang, te weten:

1. januari 1990 tot en met december 1999: periode waarvoor geen radargegevens beschikbaar zijn,
2. januari 2000 tot en met maart 2008: periode waarvoor radargegevens op een resolutie van 2.5 km bij 2.5 km beschikbaar zijn, en
3. april 2008 tot en met december 2010: periode waarvoor radargegevens op een resolutie van 1 km bij 1 km beschikbaar zijn.

De grens tussen de eerste en tweede periode hebben we in januari 2000 gekozen. In de jaren 1998 en 1999 zijn er weliswaar radargegevens, maar deze is in grote delen van het jaar niet beschikbaar en/of niet betrouwbaar. Het percentage missende gegevens is in die jaren dusdanig groot dat het niet verantwoord wordt geacht de radar gegevens van deze jaren te gebruiken voor kalibratiedoeleinden. Wij adviseren na te gaan of er interesse bestaat bij de gebruikers om de interessante hoogwatergebeurtenissen uit bijvoorbeeld 1998 (maart, september en oktober/november) toe te voegen op basis van radar gegevens. Deze moeten dan eerst worden

gecontroleerd op beschikbaarheid en betrouwbaarheid alvorens te worden verwerkt en toegevoegd.

Het verschil tussen perioden 2 en 3 is alleen de ruimtelijke resolutie van de radargegevens. Voor het aanmaken van de rasters voor meteobase.nl is de methode in beide gevallen hetzelfde. In de volgende paragrafen lichten we daarom twee methoden toe om rasters met neerslaggegevens aan te maken: zonder radargegevens en met radargegevens. We beginnen met deze laatste.

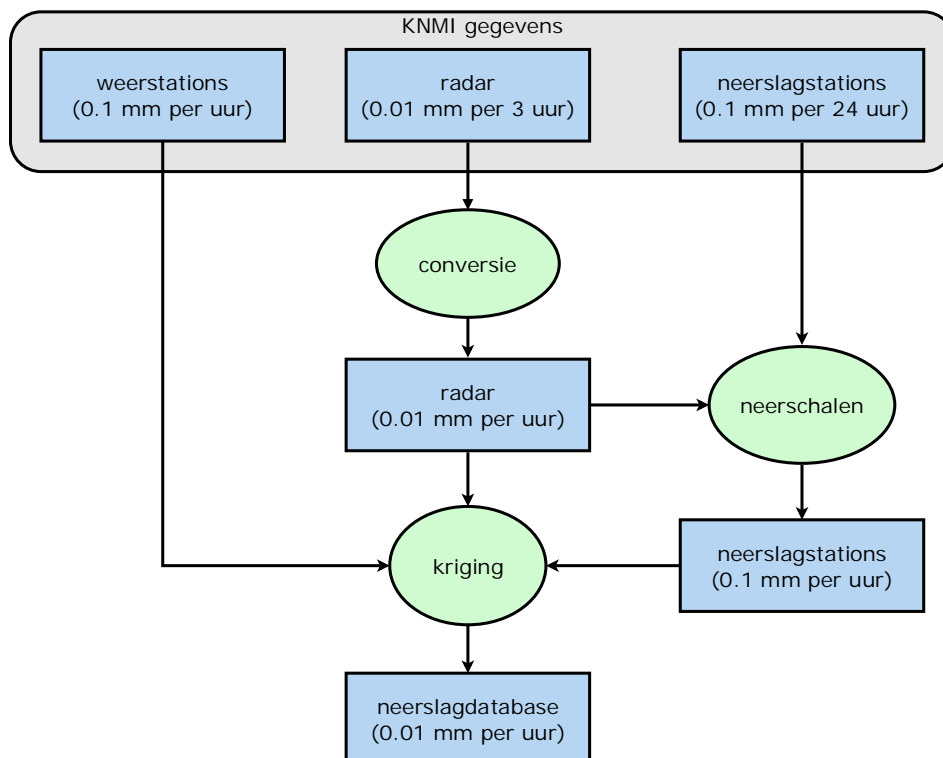
Neerslaggegevens verrasteren met radarbeelden

Het proces om tot rasters met uurwaarden van neerslaghoeveelheden te komen, is redelijk complex. Dat komt doordat een aantal gegevensbronnen geen uurwaarden leveren. Figuur 2-1 laat de volledige werkstroom zien om tot het eindproduct te komen. Het proces begint bovenaan met drie soorten gegevens die door het KNMI geleverd worden:

1. Uurwaarden van de automatische weerstations: dit zijn de automatische regenmeters.
2. Neerslagradar: deze composietbeelden van de twee radars in Nederland worden per uur geleverd, maar bevatten de som van de neerslag over de afgelopen drie uur. Een composietbeeld is een samengesteld beeld van de gegevens van twee of meer neerslagradars.

Het oude radarproduct 'RAD_NL21_RAC_03H' heeft een resolutie van 2.5 km bij 2.5 km. Het huidige product 'RAD_NL25_RAC_03H' heeft een resolutie van 1 km bij 1 km en wordt sinds april 2008 door het KNMI geleverd.

3. Dagwaarden van de neerslagstations: dit zijn regenmeters waarvan er ongeveer 325 door vrijwilligers in heel Nederland handmatig afgelezen worden. Deze waarden worden ook wel etmaalwaarden genoemd, omdat deze regenmeters de som van de neerslag over de 24 uren tussen 08:00 uur en 08:00 uur UTC op de volgende dag geven.



Figuur 2-1: Werkstroom voor het aanmaken van rasters met neerslaghoeveelheden voor de periode waarvoor radargegevens beschikbaar zijn

De eerste stap in het proces is dat de neerslaggegevens in de radarbeelden geconverteerd worden naar uurwaarden. Daarna worden deze nieuwe radarbeelden met uurwaarden gebruikt om de neerslaghoeveelheden van de neerslagstations naar etmaalwaarden te schalen. Op dat moment zijn alle gegevens beschikbaar als uurwaarden en voegen we deze samen door een statistische interpolatietechniek die bekend staat als *kriging*. Deze drie stappen, die met groene ellipsen in Figuur 2-1 zijn weergegeven, lichten we kort toe in de volgende paragrafen.

Conversie van radarbeelden

Het radarproduct van het KNMI is een belangrijk product voor waterbeheerders, omdat het product op uurbasis geleverd wordt en omdat het gecorrigeerde neerslaghoeveelheden in millimeters bevat. De correctie die het KNMI uitvoert voor dit product is de zogenaamde *Mean-Field Bias Adjustment* (Holleman, 2006). Deze techniek komt erop neer dat de neerslaghoeveelheden in het composietbeeld vermenigvuldigd worden met een factor die volgt uit het verschil tussen de gemeten waarden bij de (automatische) weerstations en de waarden in het composietbeeld van de radars precies boven deze weerstations.

Een nadeel van dit product is dat elk beeld de neerslagsom van de voorgaande drie uur bevat. Het product van 03:00 uur bevat dus de som van de neerslag van 00:00 uur tot 03:00. Het product van 04:00 bevat de neerslagsom van 01:00 uur tot 04:00, enzovoort. Voor meteobase.nl is het noodzakelijk om deze neerslagsommen te converteren naar uurwaarden.

De conversie van gesommeerde neerslaghoeveelheden naar uurwaarden verloopt als volgt: voor elke rastercel in het radarproduct wordt eerst de tijdreeks van gesommeerde neerslaghoeveelheden uitgelezen. Vervolgens schatten we een reeks van uurwaarden met gebruik van de kleinste-kwadrate methode. Met andere woorden: we schatten de reeks van uurwaarden die het dichtst bij de tijdreeks van gesommeerde neerslaghoeveelheden zit, als we deze ook zouden sommeren per drie uur.

De conversie is ook wiskundig te formuleren. Definieer hiervoor de tijdreeks van uurwaarden als x_1, x_2, \dots, x_n en de tijdreeks van 3-uursommen als s_3, s_4, \dots, s_n , zodat geldt: $s_i = x_{i-2} + x_{i-1} + x_i$. De waarde s_3 is dus de som van de neerslaghoeveelheden in het eerste, tweede en derde uur van de tijdreeks met uurwaarden. De kleinste-kwadrate methode kan dan als volgt geformuleerd worden:

$$\min_{x_k} \sum_{i=3}^n \left[s_i - \sum_{k=i-2}^i x_k \right]^2, \quad x_k \geq 0, \quad k = 3, \dots, n.$$

In deze formulering staat de restrictie dat alle uurwaarden (x_k) niet negatief moeten zijn. Dat is logisch want neerslaghoeveelheden kunnen niet negatief zijn. Om deze minimalisatie uit te voeren is daarom een speciaal algoritme nodig. Wij hebben hiervoor het zogenaamde NNLS algoritme toegepast (Lawson en Hanson, 1974).

Nadat de tijdreeksen van cellen zijn geconverteerd naar uurwaarden worden deze weer samengevoegd tot rasters.

Neerschalen van etmaalwaarden

De etmaalwaarden (totale neerslag gedurende 24 uur tussen 08:00 uur en 08:00 op de volgende dag) schalen we neer op basis van de verdeling van de neerslag volgens de radarbeelden. Dit betekent dat we op de locatie van een grondstation de tijdreeks van 24 uurwaarden uit de (geconverteerde) radarbeelden nemen en de procentuele verdeling van de neerslag over deze 24 uur berekenen. Vervolgens verdelen we de etmaalwaarde van het grondstation volgens de verdeling in de radarbeelden over 24 uren. Dezelfde techniek is door Heijkers et al. (2008) toegepast om uurwaarden neer te schalen naar 5-minutenwaarden.

De wiskundige formulering hiervan is als volgt:

Definieer z als de etmaalwaarde van het grondstation en de reeks x_1, x_2, \dots, x_{24} als de uurwaarden uit de (geconverteerde) radargegevens. Bereken de neergeschaalde uurwaarde y_i in het i -de uur als volgt:

$$y_i = z \left(x_i / \sum_{k=1}^{24} x_k \right).$$

Kriging van grondstations met radargegevens

Kriging is een vorm van ruimtelijke interpolatie waarbij expliciet rekening wordt gehouden met onzekerheid in de metingen en met de ruimtelijke afhankelijkheid tussen twee metingen. Het is een techniek uit de geostatistiek (Cressie, 1991). Er zijn verschillende vormen van kriging, voor deze toepassing gebruiken wij het zogenaamde *Kriging with External Drift (KED)*. Uit verschillende studies blijkt deze methode de beste te zijn om metingen van grondstations en radargegevens te combineren tot één beeld (zie bijvoorbeeld Lam, 2003 en Goudenhoofd & Delobbe, 2009). Bij deze vorm van kriging interpoleren we (ruimtelijk) de uurwaarden van alle grondstations en gebruiken we de radargegevens als initiële schatting van de gemiddelde waarden van de neerslaghoeveelheden.

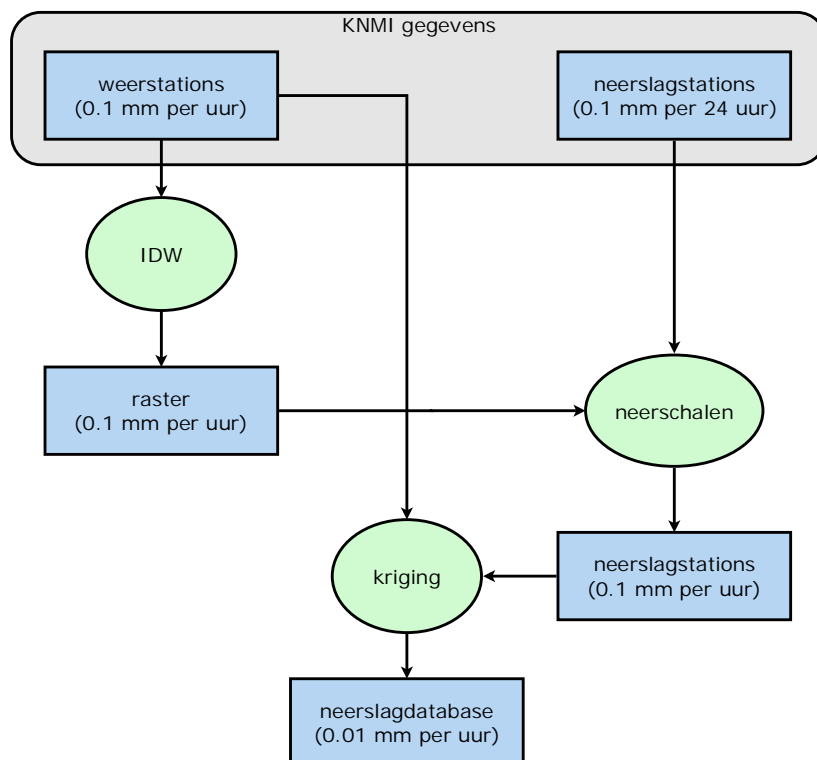
Voor het uitvoeren van kriging is gebruik gemaakt van GSTAT (zie (Pebesma & Wesseling, 1998 of Pebesma, 2004), hetgeen een breed geaccepteerd programma is voor dit doeleinde. Net zoals voor de neerslagdatabase Midden-Nederland (Heijkers et al., 2011) is een exponentieel (semi-)variogram¹ gekozen. De zogenaamde *nugget* is gelijk gesteld aan 0 en de *range* is gelijk gesteld aan 10 kilometer. De *sill* is gelijk aan de variantie tussen de metingen op de grond en de waarde in de radarbeelden op diezelfde locaties.

Neerslaggegevens verrasteren zonder radarbeelden (periode 1990 t/m 1999)

Het KNMI heeft in heel Nederland ongeveer 35 automatische weerstations staan. Deze stations meten, onder andere, de neerslaghoeveelheid per uur. Het is mogelijk om de neerslaghoeveelheden van deze stations te interpoleren tot een raster, maar door de grote afstand tussen de stations levert dit geen realistisch beeld van het ruimtelijk patroon van de neerslag. Het netwerk van neerslagstations, die door vrijwilligers bediend worden, is veel dichter (325 stations) maar levert alleen neerslaghoeveelheden per 24 uur. Omdat we geen radargegevens ter beschikking hebben, is de procedure voor het verrasteren van de neerslaggegevens anders dan beschreven staat in bovenstaande paragraaf.

¹ Het (semi-)variogram is de parameter die in een kriging interpolatie de sterkte en de vorm van de ruimtelijke afhankelijkheid beschrijft tussen twee punten in de ruimte.

Om optimaal gebruik te maken van de metingen van zowel de weerstations als de neerslagstations uit het vrijwilligersnetwerk van het KNMI, doorlopen wij drie stappen. Eerst interpoleren we (ruimtelijk) de uurwaarden van de weerstations tot rasters. Daarna gebruiken we deze rasters om de etmaalwaarden van de neerslagstations naar uurwaarden te schalen. Als laatste interpoleren we de uurwaarden van alle stations met behulp van kriging. Omdat we geen radarbeelden ter beschikking hebben, gebruiken we een andere vorm van kriging dan beschreven in bovenstaande paragraaf. Figuur 2-2 laat de werkstroom zien met daarin de drie stappen weergegeven met groene ellipsen. In de volgende paragrafen, lichten we deze drie stappen toe.



Figuur 2-2: Werkstroom voor het aanmaken van rasters met neerslaghoeveelheden voor de periode waarvoor geen radargegevens beschikbaar zijn

Verrasteren van uurwaarden

Voor het verrasteren van de uurwaarden van de KNMI weerstations, passen we een *Inverse Distance Weighted (IDW)* interpolatie toe. Dit is een ruimtelijke interpolatie waarbij de interpolatie afstandsgewogen is. Deze methode heeft één parameter, namelijk de zogenaamde *power*. Voor meteobase.nl is deze gelijk gesteld aan 2.

Neerschalen van etmaalwaarden

Het neerschalen van de etmaalwaarden gaat op dezelfde manier als beschreven in bovenvermelde paragraaf, behalve dat we in dit geval niet de radarbeelden gebruiken maar de rasters afgeleid uit de weerstations.

Kriging van grondstations

Voor het ruimtelijk interpoleren van de uurwaarden van alle neerslagstations, passen wij *ordinary kriging* toe. De instellingen die we daarvoor gebruiken, zijn dezelfde als die door het KNMI gebruikt zijn om de dagwaarden voor het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) te genereren (zie Sluiter, 2010 en Soenario & Sluiter, 2010). Het (semi-)variogram is

exponentieel of sferisch met een nuggetwaarde gelijk aan 0 en wordt automatisch gefit op de gegevens. Bovendien passen we een worteltransformatie toe op de neerslagmetingen. Dit is nodig omdat de kriging interpolatie uitgaat van normaalverdeelde neerslaghoeveelheden. Uit onderzoek van Schuurmans et al. (2007) blijkt dat een worteltransformatie nodig is om de neerslaggegevens dichter bij de normale kansverdeling te krijgen. Na de interpolatie worden de waarden weer teruggetransformeerd.

Als p de predictor is en σ_k de standaardafwijking die volgt uit de kriging, dan is de (bijna) zuivere schatter voor de neerslaghoeveelheid gelijk aan

$$p^* = p^2 + \sigma_k^2. \quad (2.3)$$

Als laatste volgen we Schuurmans et al. (2007) door het percentage rastercellen zonder neerslag minimaal gelijk te stellen aan het percentage van de neerslagstations die geen neerslag hebben gemeten. We hebben het exacte algoritme van Schuurmans et al. (2007) toegepast, wat betekent dat als 50% van de stations geen neerslag hebben gemeten, dan tenminste 50% van het geïnterpoleerde raster ook geen neerslag moet bevatten.

2.2.3 Gegevens en bewerkingen voor verdampingrasters

Het KNMI levert voor Nederland de referentie verdamping bepaald middels de Makkink formule. Internationaal wordt echter vaak de Penman-Monteith formule gebruikt.

In eerdere onderzoeken hebben waterbeheerders onderzocht of het wenselijk is in plaats van Makkink de benadering volgens Penman-Monteith te gebruiken en of de daarvoor benodigde data voor operationele toepassingen beschikbaar is (zie hiervoor Droogers, 2009 en Schuurmans & Droogers, 2010).

Op basis hiervan is besloten om in de meteobase.nl zowel de referentie evapotranspiratie op basis van Makkink en de Penman Monteith formule op te leveren als rasterdata. De bepalingen daarvan zijn hieronder beschreven.

Verdampingschattingen Makkink

Het KNMI heeft in opdracht van de Waterdienst meteorologische tijdreeksen voor het Deltamodel afgeleid (Sluiter, 2010, Homan et. al, 2011,). Een van die reeksen betreft de potentiële verdamping volgend de methode Makkink. In meteobase.nl is voor de jaren 1990 t/m 2010 dit landsdekkend grid van verdampingschattingen volgende de methode Makkink opgenomen.

Voor achtergronden bij de afleiding van deze data wordt verder verwezen naar Sluiter (2010) en Homan et. al (2011).

Verdampingschattingen Penman-Monteith

De referentie evapotranspiratie volgens Penman Monteith geldt voor een standaard gewas (gras van 12 cm hoog met een vaste oppervlakteweerstand van 70 s/m en een albedo van 0,23) onder ideale omstandigheden (geen vochttekort). De formule is als volgt (Allen et al., 1998):

$$ET_{ref} = \frac{0.408s(R_n - G) + \gamma^* \frac{900}{T} u_2 [e_s - e_a]}{s + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Waarin:

- ET_{ref} = referentie evapotranspiratie (mm/d)
- s = helling van de dampspanningscurve (kPa/°C)
- R_n = netto straling (W/m²)
- G = bodemwarmteflux (W/m²)
- γ = psychrometerconstante (Pa/K)
- T = temperatuur (K)
- U_2 = windsnelheid op 2m boven maaiveld (m/s)
- e_a = actuele dampdruk (Pa)
- e_s = verzadigde dampdruk (Pa)

Hieronder is beschreven hoe de parameterwaarden afgeleid zijn. We maken hierbij gebruik van formules uit Allen et al. (1998) en Schuurmans & Droogers (2010).

- Helling van de dampspanningscurve s
Deze parameter volgt uit Schuurmans & Droogers (2010), Formule 9 en 10. De benodigde te meten invoer is de minimale en maximale etmaaltemperatuur (T_{max} en T_{min}).
- Netto straling R_n
De netto straling is bepaald aan de hand van de stralingsbalans voor korte en langgolvlige straling middels de formules 21 t/m 40 uit Allen et al. (1998). Deze zijn ook gebruikt in Schuurmans & Droogers (2010). Wij sluiten aan bij de in Schuurmans & Droogers (2010) beschreven theorie.
Hierbij wordt voor de globale straling (kortgolvlige inkomende straling) gebruik gemaakt van de meetgegevens van het KNMI (in de databestanden van het KNMI is dit de term 'Q_g, Globale straling (in J/cm2)'). De uitgaande kortgolvlige straling is vervolgens berekend met het albedo.
Voor de netto straling is daarnaast de in- en uitgaande langgolvlige straling nodig. Schuurmans & Droogers (2010) geven aan dat de langgolvlige straling niet wordt bemeaten in Nederland en gebruiken voor de bepaling daarvan formules 21 tot en met 27 uit Allen et al. (1998).
- Bodemwarmteflux G
De bodemwarmteflux wordt bepaald met formule 42 t/m 46 uit Allen et al. (1998), waarbij de keuze afhankelijk is van de tijdstap. Omdat hier de verdamping op dagbasis wordt geschat wordt de bodemwarmteflux verwaarloosd. Dit is ook voorgesteld in Schuurmans & Droogers (2010).
- Psychrometerconstante γ
Deze parameter is berekend met formule 6 en 7 uit Schuurmans & Droogers (2010).
- Temperatuur T
De FAO adviseert de temperatuur te bepalen als gemiddelde van de minimale (T_{min}) en maximale (T_{max}) dagtemperatuur, uitgedrukt in graden Kelvin. Dit is overgenomen.
- Windsnelheid U_2
De formule van Penman-Monteith vraagt om de windsnelheid op 2 m boven maaiveld. Het KNMI meet wind over het algemeen op 10 m boven maaiveld (KNMI, 2012). Omdat de formule gevoelig is voor de windsnelheid rekenen we de gemeten wind om naar de juiste hoogte. Dit is gedaan met de volgende formule (Allen et al., 1998):

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

u_2 = windsnelheid op 2 m boven de grond (m/s)

u_z = gemeten windsnelheid op hoogte z (m/s)

z = hoogte boven zeeniveau waarop de windsnelheid wordt gemeten (m)

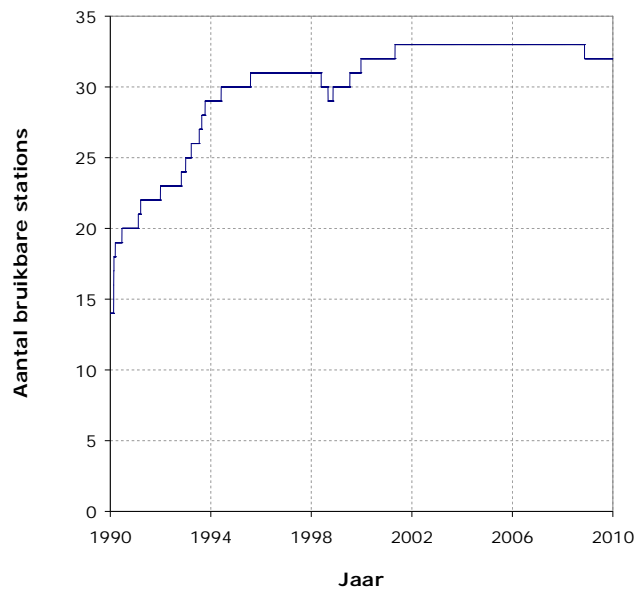
- Actuele dampdruk e_a

De actuele dampdruk is bepaald op basis van de formules 17 tot en met 19 uit Allen et al. (1998). Deze maken gebruik van de voor de stations beschikbare metingen van de relatieve luchtvochtigheid, zoals ook genoemd in Schuurmans & Droogers (2010).

- Verzadigde dampdruk e_s

De verzadigde dampdruk volgt uit formule 12 in Allen et al. (1998). De invoer is de T_{\min} en T_{\max} .

De beschikbaarheid van de benodigde gegevens is onderzocht voor de periode vanaf 1990 tot en met 2010. Een samenvatting hiervan is weergegeven in Figuur 2-3. Hierin is te zien dat in het eerste deel van het tijdvak de databeschikbaarheid nog beperkt is. Vanaf 1995 is van circa 30 stations data beschikbaar.



Figuur 2-3: Aantal stations waarvoor voldoende invoerdata ten behoeve van het uitrekenen van de formule van Penmann-Monteith beschikbaar is

De ruimtelijke interpolatie van de Penman-Monteith verdamping is vervolgens uitgevoerd met dezelfde methode als die is toegepast door het KNMI ten behoeve van de verdampingsbeelden voor het NHI zoals beschreven in de vorige sectie.

2.2.4 Aanwijzingen bij gebruik

Zoals eerder aangegeven is de neerslaggerasterdataset met name bedoeld voor gebruik ten behoeve van modelkalibratie. Bij gebruik hiervoor, maar met name voor gebruik in andere toepassingen, moet de gebruiker zich realiseren dat er een duidelijk verschil is tussen het eerste deel van de rasterdataset (1990 tot en met 1999) en het tweede deel van de rasterdataset (2000 tot en met 2010). Het eerste deel is enkel afgeleid op basis van neerslagdata op grondstations vanwege de afwezigheid van radardata, het tweede deel is mede afgeleid op basis van radardata.

Door dit verschil is de rasterdataset niet homogeen, er is immers een groot verschil in de ruimtelijke nauwkeurigheid van de beschikbare basisdata in de twee delen. Belangrijk daarbij is dat door ruimtelijke interpolatie in het eerste deel van de rasterdataset de extremen over het algemeen worden afgevlakt. Dat betreft met name om het uurlijkse neerslagverloop met een beperkte ruimtelijke dichtheid van neerslagstations. De inhomogeniteit in de reeks maakt hierdoor de dataset minder geschikt voor extreme-waarden analyses van hoge waterstanden. Het afzonderlijke tweede deel van de dataset achten wij hiervoor wel geschikt, ware het niet dat de dataset te kort is voor extreme waarden analyses.

2.3 Toetsingsdata voor regionale wateroverlast

2.3.1 Informatie in meteobase.nl

Naast de basisdata en rasterdata ten behoeve van kalibratie van modellen stelt meteobase.nl ook data ter beschikking waarmee een waterbeheerder voor de toetsing van zijn watersysteem aan de NBW-normen voor regionale wateroverlast de neerslagrandvoorwaarde kan invullen. Hierbij is data beschikbaar gesteld voor zowel de zogenaamde tijdreeksmethode als stochastenmethode. Met deze data kan hoogwaterstatistiek worden bepaald.

De hiervoor opgenomen data in meteobase.nl is samengevat in Tabel 2-3. In § 2.3.2 zijn de beschikbare data en methodes en de overwegingen met betrekking tot het gebruik hiervan beschreven. In § 2.3.3 en 2.3.4 is de toetsingsdata voor de tijdreeksmethode verder toegelicht, in § 2.3.5 en 2.3.6 zijn de neerslagstatistiek en de neerslagpatronen, zoals benodigd voor de stochastenmethode, beschreven.

Nr	Parameter	Periode	Tijdstap	Referentie	Typen
Toetsingsdata (Tijdreeks)					
7	Neerslag (20 reeksen)	1906 t/m 2010	Uur	De Bilt	NR ¹ (L, G, H, H+) X KL ² (H, G, G+, W, W+)
8	Verdamping Makkink (5 reeksen)	1906 t/m 2010	Uur	De Bilt	KL (H, G, G+, W, W+)
Toetsingsdata (Stochasten)					
9	Neerslaghoeveelheden (80 tabellen)	-	-	-	NR (L, G, H, H+) X KL (H, G, G+, W, W+) X 4 perioden ³
10	Neerslagpatronen (15x7= 105 in totaal)	-	Uur	-	3 perioden ⁴ X 5 duren ⁵ X 7 patronen
Toelichting bij de tabel: ¹ NR=Neerslagregime ² KL= Klimaatscenario voor 2050 ³ Perioden: heel jaar, maart – oktober, november- februari, september-oktober ⁴ Perioden: heel jaar, zomerhalfjaar (15 april–15 oktober), winterhalfjaar (15 oktober–15 april) ⁵ Duren: 1, 2, 4, 8 en 9 dagen.					

Tabel 2-3: *Overzicht van gegevens ten behoeve van toetsing aan de NBW normen voor regionale wateroverlast in Meteobase.nl*

2.3.2 Overwegingen m.b.t. beschikbare data en methodes

Voor de bepaling van de regionalisatie en gevolgen van klimaatverandering wordt enkel gebruik gemaakt van beschikbare data en kennis. Dit heeft sterk bijgedragen aan de keuze van de ter beschikking te stellen data en de wijze waarop de data is afgeleid. Daarom beginnen we door de belangrijkste overwegingen toe te lichten.

De belangrijkste overwegingen zijn:

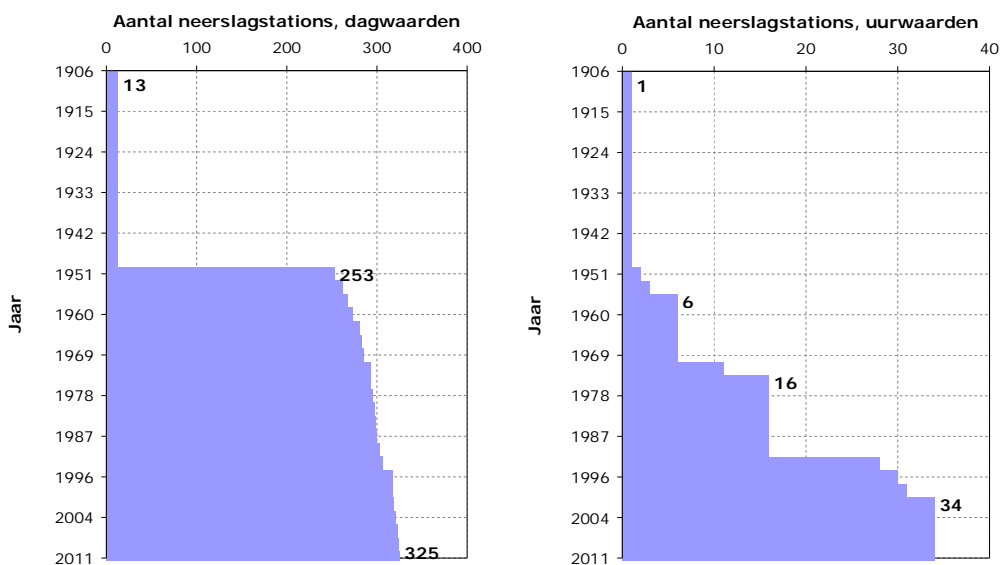
- Beperkte databeschikbaarheid van lange tijdreeksen:
Voor statistische analyses van hoge waterstanden zijn neerslagreeksen van orde 100 jaar op uurbasis nodig. De enige reeks die voor een dergelijk lange periode beschikbaar is (althans bij aanvang van dit onderzoek), is de reeks van De Bilt. Deze is daarom gebruikt als basis voor de neerslagreeksen.
- Gebruik transformatieprogramma klimaatverandering.
De transformatie van neerslagreeksen is gebaseerd op effecten van klimaatverandering op dagneerslag.

Deze zijn hieronder verder toegelicht.

Beperkte databeschikbaarheid

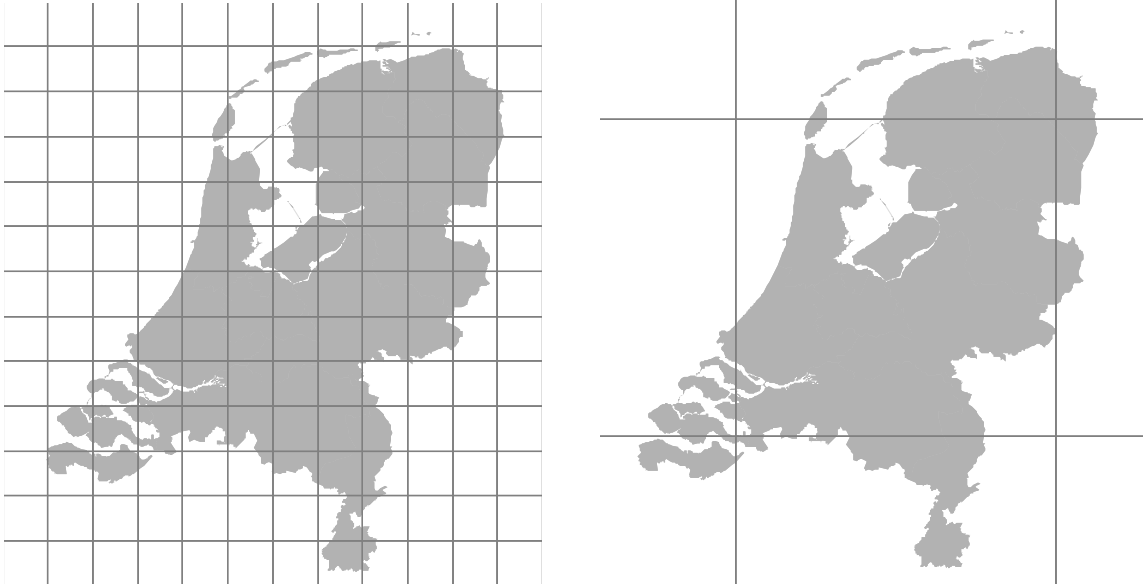
In Figuur 2-4 is het aantal neerslagstations weergegeven waarvoor dagwaarden en uurwaarden beschikbaar zijn. Daarbij gelden de volgende aanvullingen:

- Het KNMI werkt aan het digitaliseren van oude waarnemingsresultaten. Daarmee zullen niet gevalideerde en/of gehomogeniseerde continue neerslagreeksen op dagbasis van enkele tientallen grondstations beschikbaar komen vanaf begin 20^{ste} eeuw. Dit betekent een toename van het aantal neerslagstations in het linkerdeel van Figuur 2-4 voor de periode van 1906 tot 1951 met enkele tientallen.
- Vanaf 1998 zijn radarbeelden met daaruit afgeleide neerslagvelden beschikbaar.



Figuur 2-4: *Aantal neerslagstations waarvoor neerslaggegevens beschikbaar zijn*

Dit betekent dat voor dit onderzoek in bijvoorbeeld de periode 1906 tot 1951 één uurstation en orde 50 dagstations (inclusief de aanvulling van mei 2011) beschikbaar zijn. Als vingeroefening: als deze evenredig over het landoppervlak verdeeld zijn komt dit neer op één uurstation voor een oppervlak van circa 185x185 km en één dagstation voor een oppervlak van 25x25 km (62.500 ha). Deze dekking is gevisualiseerd in Figuur 2-5.



Figuur 2-5: Visualisatie van de gemiddelde dekking van neerslagstations over Nederland voor de periode 1906 tot 1951, links dagstations (25x25 km), rechts uurstations (185x185 km)

Voor de periode 1906-1951 betekent dat een zeer beperkte dekking van met name stations met urengegevens. De dekking van urengegevens neemt na 1951 relatief sterk toe en is van circa 1951 tot 1970 75x75 km, van 1970 tot 1990 50x50 km en vanaf 1990 30x30 km. Het aantal stations met daggegevens neemt in 1951 sterk toe en is vanaf dan orde 10x10 km. Vanaf 1998 zijn radarbeelden beschikbaar met een resolutie van 2,5x2,5 km of 1x1 km.

Uit bovenstaande beschouwing blijkt dat de beschikbaarheid van gegevens beperkt is in de periode 1906 tot halverwege de jaren '80 en met name in de periode tot 1951. Voor de periode 1906 tot 1951 is maar 1 neerslagstation met urengegevens beschikbaar en een beperkt aantal neerslagstations met daggegevens.

Dit heeft de volgende consequenties:

- De neerslagspreiding op basis van dagstations tot 1951 zal enkel een gespreid beeld geven over vlakken van 25x25 km, oftewel 62.500 ha. Dit is dezelfde orde grootte als de meeste Nederlandse watersystemen, en daarom niet voldoende om de ruimtelijke spreiding van neerslag in extreme situaties weer te geven. Voor de periode 1906 tot 1951 achten wij de ruimtelijke spreiding op basis van de dagstations daarom te beperkt om hoogwatersituaties met gebiedspreiding door te rekenen.
- De vertaling van dagneerslag naar urenneerslag geeft een onjuist beeld en mogelijk niet-realistische urenintensiteiten bij toenemende afstand van station de Bilt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de gebeurtenissen in september 1998 (wateroverlast Delfland), waar de verdeling van de neerslag over de tijd in de Bilt heel anders was dan in het Westland. Een ander voorbeeld is de hoogwatergebeurtenis van augustus 2010 in de Achterhoek.

Het KNMI geeft dit ook aan in haar conceptrapportage voor de reeks van Haaglanden waar deze methode is toegepast (Bessembinder & Jilderda, 2011).

- Voor hoogwatersituaties zijn ook de uurintensiteiten binnen een stroomgebied van belang. Doordat voor de periode van 1906 tot 1951 maar 1 uurstation beschikbaar is zal de neerslag in een gebeurtenis in die periode zich gedurende de dag niet 'verplaatsen'. Dit kan zorgen voor te hoge neerslagintensiteiten in een stroomgebied en daardoor een onjuiste inschatting van de voor hoogwatersituaties van belang zijnde spreiding van neerslagintensiteiten binnen een gebied.
- De beschikbare stations in Nederland zijn niet evenredig ruimtelijk gespreid. Een extreem voorbeeld hiervan is Flevoland: de reeks voor de periode 1906 tot in ieder geval 1951 zal een zeer onbetrouwbaar beeld geven door een gebrek aan dagstations in het gebied zelf. Voor de omgeving van De Bilt zijn bovenstaande bezwaren beperkt. Hoe verder verwijderd van De Bilt hoe minder de neerslagintensiteiten realistische waarden geven.
- Als de periode 1906 tot 1951 wordt verlengd met de periode vanaf 1951 (waarvoor meer data beschikbaar is en bovenstaande bezwaren minder gelden) ontstaan sterk inhomogene reeksen van uurneerslagen met daarin grote onzekerheden voor de bepaling van de statistiek van hoogwaterstanden.

Hierbij wordt opgemerkt dat de genoemde onnauwkeurigheden minder tot geen invloed hebben op het berekenen van GGOR en het doorrekenen van het NHI. Beiden zijn niet gericht op het doorrekenen van extreem natte situaties. De gebiedsspreiding in extreem natte situaties heeft bij die berekeningen en de wijze waarop de resultaten toegepast worden een beperkte invloed. De reeksen die nodig zijn voor GGOR en het NHI worden doorgaans gebaseerd op dagwaarden. Vóór 1951 is de dichtheid van de dagwaarnemingen overigens ook voor dergelijke studies een beperkende factor.

Voor de verdere uitwerking zijn de volgende methoden overwogen:

- Uitgaan van de KNMI aanpak voor Haaglanden en deze toepassen op heel Nederland. In deze aanpak wordt een regionale neerslagreeks op dagbasis vertaald naar een reeks op uurbasis op basis van de neerslagverdeling over de dag volgens de uurreeks van De Bilt. Dit heeft een grote vereenvoudiging in zich, immers, de verdeling over de dag zal op grotere afstand van De Bilt heel anders zijn dan in De Bilt zelf (zie ook bij de bovengenoemde consequenties onder nummer 2). Het KNMI geeft dat in Bessembinder & Jilderda (2011) ook aan; toch is om moverende redenen in Haaglanden voor die aanpak gekozen. Het KNMI geeft aan dat de methode niet toepasbaar is voor geheel Nederland door gebrek aan data in de periode van 1906 t/m 1951. Zij geven daarnaast aan dat de door hen toegepaste methode experimenteel is en beter uitgewerkt en getoetst moet worden, alvorens verder te worden gebruikt. We hebben op hoofdlijnen kennis genomen van het werk van het KNMI voor Haaglanden en hebben op basis daarvan geconcludeerd dat de redenen voor de gekozen aanpak voor Haaglanden minder relevant zijn voor dit onderzoek. Deze aanpak wordt daarom niet gebruikt.
- Uitgaan van de uurreeks van De Bilt en daarop de extremen corrigeren voor de regionale verschillen in de statistiek van extreme neerslag volgens Buishand et al. (2009).
- Andere methoden, zoals bijvoorbeeld het vóór 1951 verlengen van regionale uurreeksen met een ander wel beschikbaar station (De Bilt). Dit levert echter inhomogene reeksen

op waardoor de hoogwaterstatistiek een hoge mate van onbetrouwbaarheid zou kennen. Een ander voorbeeld is het construeren van synthetische langjarige reeksen met behulp van resamplingstechnieken (zoals genoemd in Bessembinder & Jilderda, 2011). Binnen de scope van dit onderzoek, gericht op het gebruik maken van beschikbare data en kennis, is echter geen ruimte voor dergelijk uitvoerig onderzoek.

In overleg met de begeleidingsgroep is gekozen voor een methode waarbij wordt uitgegaan van de uurreeks van De Bilt, waarvan de extremen worden gecorrigeerd voor de regionale verschillen in extreme neerslag volgens Buishand et al. (2009). De uitwerking hiervan voor tijdreeksen is beschreven in § 2.3.3 en § 2.3.4.

Overigens kan ook gebruik worden gemaakt van de zogenaamde stochastische methode. De hiervoor benodigde neerslagstatistiek en neerslagpatronen zijn beschreven in respectievelijk § 2.3.5 en § 2.3.6.

Klimaatverandering en extreme neerslag

Door het KNMI wordt gesteld dat: *'Op basis van de analyses voor de KNMI'06 scenario's is het niet mogelijk aan te geven hoe bijv. dagneerslagsommen die eens in de 100 jaar voorkomen zullen veranderen in de toekomst. Om te grote overschattingen van extreme dagneerslag te voorkomen is de maximale verandering in dagneerslag gelijkgesteld aan de verandering voor Q99,'* (bron: http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/transtoelichting.cgi#wijzigingen d.d. 26 februari 2011). Er is door het KNMI aangegeven dat er momenteel maar beperkt inzicht is in de verandering van de neerslagextremen in de toekomst. Ook zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de uurextremen van neerslag onbekend en niet nader gekwantificeerd. Voor voorliggend onderzoek is geen aanvullende informatie van het KNMI beschikbaar. Daarom is voor dit onderzoek gebruik gemaakt van het beschikbare transformatieprogramma. Daarmee gaan we er impliciet van uit dat de uurextremen op eenzelfde manier wijzigen als de dagextremen.

Wij bevelen aan om nader onderzoek te doen naar de mogelijke wijzigingen in de extreme neerslaghoeveelheden ten gevolge van klimaatverandering. We zijn daarbij met name geïnteresseerd in de extreme neerslaghoeveelheden die leiden tot waterstanden die eens per 50 tot eens per 100 jaar worden overschreden.

2.3.3 Gegevens en bewerkingen voor neerslagreeksen

De toetsingsdata betreft een langjarige tijdreeks ten behoeve van hydrologische analyses voor de bepaling van de statistiek van hoge waterstanden.

De volgende gegevens zijn gebruikt:

- De uurwaarden van De Bilt zoals gebruikt voor het onderzoek *Statistiek van Extreme neerslag in Nederland* (Smits et al., 2004). De reeks bevat de uurwaarden van de neerslag voor de periode 1 januari 1906 tot en met 31 december 2003. Deze gegevens gebruiken we omdat deze zijn gekalibreerd met de handregenmeter (dagsommen) en daarmee een betere inschatting geven van de gevallen neerslag dan de ruwe uurdatta. Voor achtergronden hierbij, zie Smits et al. (2004).
- De reeks is aangevuld met uurwaarden van 1 januari 2004 tot en met 31 december 2010. Hiervoor zijn gebruikt:
 - Uurwaarden van De Bilt voor de periode 1 januari 2004 tot en met 31 december 2010, gedownload van de website van het KNMI.

- Dagwaarden van De Bilt voor de periode 1 januari 2004 tot en met 31 december 2010, gedownload van de website van het KNMI. Deze reeks is gebruikt om ook dit deel van de reeks te kalibreren aan de handregenmeter.

Daarnaast is gebruik gemaakt van:

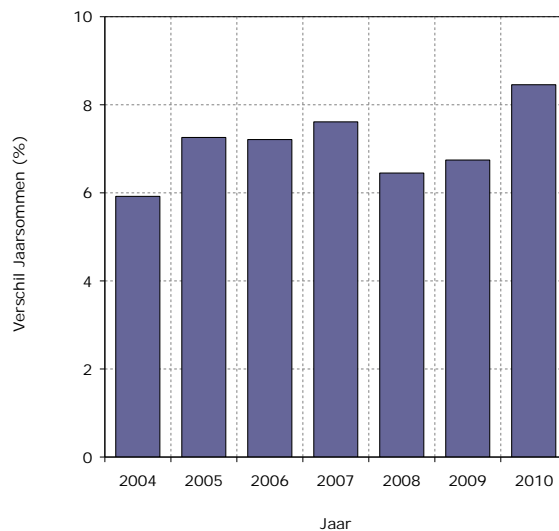
- De kansverdelingen uit *Statistiek van extreme neerslag in Nederland* (Smits et al., 2004).
- De kansverdelingen uit *Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren* (Buishand & Wijngaard, 2007).
- De informatie uit *Regionale verschillen in extreme neerslagfrequentie* (Buishand et al., 2009).
- Voor de klimaattransformatie is gebruik gemaakt van het programma dat ook wordt gebruikt in de Climate Explorer van het KNMI: rrTrans2.exe (versie 10 april 2008). Voor de achtergronden hierbij wordt verwezen naar de toelichting en documenten op: http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/transtoeelichting.cgi#wijzigingen.

De volgende bewerkingen zijn uitgevoerd:

1. Constructie basisneerslagreeks:

a. Kalibratie uurgegevens 2004-2010 op dagwaarden:

De uurwaarden hebben we gecorrigeerd met de dagwaarnemingen zodat de gesommeerde uurgegevens (van 08:00 tot 08:00 UTC) overeen komen met de dagwaarneming van de betreffende dag. Ter indicatie van de verschillen is in Figuur 2-6 weergegeven wat de verschillen zijn tussen de jaarsommen van de uurlijkse waarnemingen en de handregenmeter. Gemiddeld zijn de jaarsommen van de handregenmeter ongeveer 7% hoger dan die van de uurlijkse waarnemingen.



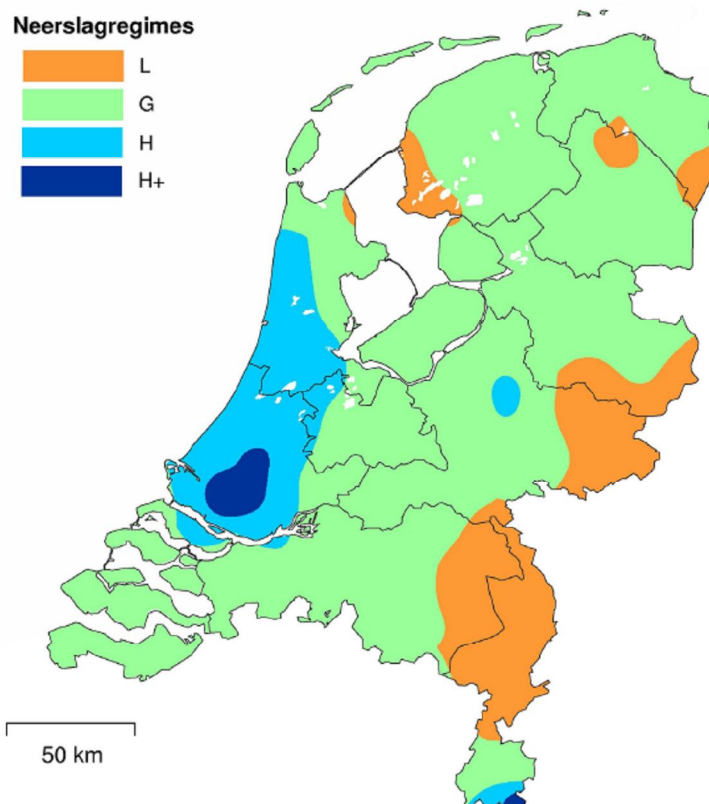
Figuur 2-6: Verschillen in jaarneerslag tussen de handregenmeter en de uurlijkse waarnemingen

b. Verlengen neerslagreeks:

De reeks uurwaarden van De Bilt zoals gebruikt voor het onderzoek *Statistiek van Extreme neerslag in Nederland* (Smits et al., 2004) is aangevuld met de gekalibreerde reeks van 2004-2010.

2. Regionalisatie neerslag:

In Buishand et al. (2009) is beschreven dat de statistiek van extreme neerslag in Nederland in vier neerslagregimes kan worden gekarakteriseerd (zie Figuur 2-7).



Figuur 2-7: Vier te onderscheiden neerslagregimes L, G, H en H+ met elk een eigen extreme waarden statistiek (Bron: Buishand et al., 2009)

Per regime is in Buishand et al. (2009) een factor voor de statistiek gegeven, aangeduid als de relatieve locatieparameter. Deze factoren zijn afgeleid op basis van daggegevens en daarmee niet direct bruikbaar voor duren korter dan één dag. Omdat er geen vergelijkbare kwantificering van de ruimtelijke spreiding van de statistiek voor duren korter dan één dag beschikbaar is, passen we de kortere duren met dezelfde factor aan.

De factoren voor de neerslagregimes L, G, H en H+ zijn weergegeven als 'regimegemiddelde' in Tabel 2-4.

Definitie van vier neerslagregimes op basis van de relatieve locatieparameter $\hat{\xi}_{rel}$. In de laatste kolom is het rekenkundige regimegemiddelde van de relatieve locatieparameter vermeld.

Regime	$\hat{\xi}_{rel}$	regimegemiddelde
L	< 0.95	0.93
G	0.95 ... 1.05	1.00
H	1.05 ... 1.10	1.08
H+	≥ 1.10	1.14

Tabel 2-4: Factoren voor de aanpassing van de neerslag per regime (Bron: Buishand et al., 2009)

Omdat we geïnteresseerd zijn in de extremen hebben we in de basisreeks enkel de extremen aangepast aan de regionale statistiek. Alleen de neerslag die eens per jaar of minder vaak voorkomt is aangepast. Dit is als volgt uitgevoerd:

- a. We lopen met een venster van 1 uur tot 9 dagen, met stappen van 1 uur, door de neerslagreeks en bepalen voor elke duur of het volume binnen het venster eens per jaar of minder vaak voorkomt volgens de statistiek van extreme neerslag. Voor de statistiek is gebruik gemaakt van Smits et al. (2004) voor de duren van vier uur en langer en Buishand & Wijngaard (2007) voor de korte duren.
- b. Als het volume binnen een venster eens per jaar of minder vaak voorkomt vermenigvuldigen we de neerslag binnen het venster met de betreffende regimefactor. Er ontstaan zo vier reeksen: L, G, H en H+.

2.3.4 Gegevens en bewerkingen voor verdampingsreeksen

Voor de toetsingsreeks zijn niet voor de gehele periode data voor de referentie gewasverdamping beschikbaar. In deze paragraaf is beschreven welke gegevens gebruikt zijn voor de bepaling van de volledige verdampingsreeks.

De volgende gegevens zijn gebruikt:

- Verdampingsgegevens voor de toetsingsreeks zijn beschikbaar vanaf 1/7/1957 voor station De Bilt. De gegevens zijn beschikbaar als de referentie gewasverdamping (Makkink) per dag.
- In de periode vóór 1957 zijn geen verdampingsgegevens beschikbaar omdat in die periode de voor de bepaling van de verdamping noodzakelijke globale straling niet is bemeaten. Om in de periode 1/1/1906 tot 1/7/1957 een schatting te maken van de verdamping is gebruik gemaakt van de volgende beschikbare gegevens:
 - De inkomende kortgolvlige straling aan de rand van de atmosfeer per dag op 52° NB, beschikbaar per dag van de maand.
 - Zonneschijnduur als percentage van de maximaal mogelijke zonneschijnduur per dag, beschikbaar als reeks vanaf 1/1/1906.
 - De etmaalgemiddelde temperatuur, beschikbaar als reeks vanaf 1/1/1906.
- Naast de reeks voor het huidig klimaat zijn reeksen geconstrueerd ten behoeve van het doorrekenen van klimaatscenario's. Hiervoor zijn de procentuele veranderingen gebruikt die ook zijn gebruikt voor de Climate Explorer van het KNMI. De waarden zijn gegeven op: http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/transtoelichting.cgi#wijzigingen.

De volgende bewerkingen zijn uitgevoerd ter verlenging van de beschikbare reeks met de periode 1/1/1906 tot 1/7/1957:

1. Basisvergelijkingen: De Makkink referentieverdamping (E_M) wordt afgeleid met de volgende formule (Cultuurtechnisch Vademecum, 2000):

$$E_M = 0.65 \cdot \frac{s}{s + \gamma} \cdot \frac{K \downarrow}{\lambda}$$

waarin:

s	afgeleide van de verzadigingsdampdruk es naar de temperatuur	[hPa/K]
γ	psychrometerconstante (0.67)	[hPa/K]
λ	verdampingswarmte van water (2451000)	[J/kg]

$K\downarrow$ globale straling per dag [W/m²]

Zoals vermeld is de $K\downarrow$ niet beschikbaar voor de gehele reeks. Daarom gebruiken we voor de bepaling van $K\downarrow$ voor de gehele reeks de volgende schatting uit Cultuurtechnisch Vademecum (2000):

$$K\downarrow = K_0\downarrow \cdot \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right)$$

waarin

$K_0\downarrow$	inkomende straling aan de rand van de atmosfeer	[W/m ²]
a en b	empirische constanten	[-]
n	zonneshijnduur	[uur]
N	maximaal mogelijke zonneshijnduur	[uur]

De verhouding n/N is beschikbaar in de KNMI-gegevens in de vorm van de zonneshijnduur als percentage van de maximaal mogelijke zonneshijnduur per dag. De variabele $K_0\downarrow$ is bepaald uit de tabel op pagina 152 van het Cultuurtechnisch Vademecum (2000), waarin per dag van de maand de straling is gegeven. De constanten a en b hebben we geschat op een drietal jaren (een zeer droog jaar: 1976, een gemiddeld droog jaar: 1994 en een nat jaar: 1998) uit een beschikbare Makkink verdampingsreeks van het KNMI die is gebaseerd op een gemeten $K\downarrow$ ($a=0,200$ en $b=0,562$).

Voor de reeks van 1957 tot en met 2010 levert de schatting een gemiddelde fout van – 0.4% op in de verdamping met een standaardafwijking van 2.9%. De nauwkeurigheid van de toegepaste schatting wordt als voldoende beoordeeld voor het gebruik ten behoeve van de bepaling van hoogwaterstatistiek.

2. Verlengen reeks

Met behulp van de gevonden constanten a en b en de beschikbare data is de reeks verlengd. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende vergelijkingen voor afleiding van de variabelen in de eerder genoemde Makkink vergelijking. De vergelijkingen zijn beschreven in Schuurmans & Droogers (2010) (NB: hierbij wordt zo veel mogelijk aangesloten bij de afleidingen die door het KNMI worden gebruikt):

$$\lambda = (2501 - 2,375 \cdot T) \cdot 1000$$

$$\gamma = 0.0646 + 0,00006 \cdot T$$

$$s = \frac{7,5 \cdot 237,3}{(237,3 + T)^2} \cdot \ln 10 \cdot e_s \quad \text{en} \quad e_s = 0,6107 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T}}$$

waarin:

T	Daggemiddelde temperatuur	[K]
---	---------------------------	-----

De reeks van het KNMI met zonneshijnduren en temperatuur heeft geen data in april 1945. Voor deze maand is de gemiddelde verdamping van alle overige aprilmaanden in de periode 1906 tot en met 2010 aangehouden.

De referentieverdamping in de zo bepaalde reeks voor 1906 tot 1957 is afgerond op $1/_{100}$ mm en gekoppeld aan de beschikbare reeks vanaf 1957.

3. Inbrengen klimaatverandering in de reeks:

Het KNMI heeft per maand en per klimaatscenario aangegeven met welk percentage de potentiële verdamping toeneemt. De onder 2. afgeleide reeks is voor de klimaatscenario's aangepast met de betreffende percentages.

2.3.5 Gegevens en bewerkingen voor neerslagstatistiek

Om gebruik te maken van de stochastische methode ten behoeve van toetsing aan de NBW-normen voor wateroverlast is neerslagstatistiek nodig. Voor de huidige situatie is statistiek beschikbaar uit Smits et al. (2004), Buishand & Wijngaard (2007) en Buishand et al. (2009). Voor de klimaatscenario's is geen neerslagstatistiek beschikbaar.

Voor de afleiding van de statistiek voor klimaatscenario's zijn de volgende gegevens beschikbaar en gebruikt:

- Kansverdelingen uit Smits et al. (2004): statistiek voor uren van 4 uur tot 9 dagen, beschikbaar als jaarstatistiek en seizoensstatistiek.
NB: geanalyseerd is of de verlenging van de meetreeks aanleiding geeft tot het heroverwegen van de basisstatistiek voor De Bilt. Dat is niet het geval.
- Kansverdelingen uit Buishand en Wijngaard (2007): statistiek voor uren korter dan 4 uur, beschikbaar als jaarstatistiek.
- Kansverdelingen uit Buishand et al. (2009): regionale statistiek voor uren van 1 dag tot 9 dagen, beschikbaar als jaarstatistiek.
- Naar klimaatgetransformeerde neerslagreeksen uit punt 8.

Een overzicht van de beschikbare neerslagstatistiek is gegeven in Tabel 2-5.

	Jaar	Seizoen	Regio	Regio + Seizoen	Klimaat
Duur < 4 uur	+	-	-	-	-
Duur > 4 uur en < 24 uur	+	+	-	-	-
Duur >24 uur	+	+	+	-	-

Tabel 2-5: Overzicht van beschikbare neerslagstatistiek: + betekent beschikbaar uit de literatuur, - betekent niet beschikbaar uit de literatuur

De volgende bewerkingen zijn uitgevoerd:

1. Regionalisatie seizoensstatistiek voor uren langer dan 24 uur:

De seizoensstatistiek is niet beschikbaar voor de neerslagregimes L, G, H en H+. Omdat geen aanvullende informatie voor geheel Nederland beschikbaar is, nemen we aan dat de seizoensstatistiek voor de regimes L, H en H+ eenzelfde relatieve verandering kent ten opzichte van regime G als de jaarstatistiek (zie Tabel 2-4).

Dit is verwerkt door de waarden in de tabellen met seizoensstatistiek te vermenigvuldigen met de regimegemiddelde relatieve locatieparameter uit Tabel 2-4. Het resultaat is de tabellen met jaarstatistiek en seizoensstatistiek voor uren van 1 dag tot en met 9 dagen voor de 4 neerslagregimes L, G, H en H+ in het huidige klimaat.

2. Regionalisatie jaarstatistiek en seizoensstatistiek voor uren van 4 uur tot 24 uur:

De regionale statistiek is niet beschikbaar voor de korte duren. In Overeem (2009) is aangegeven dat de regionale statistiek van duren korter dan 24 uur zich anders gedraagt dan de statistiek voor duren langer dan 24 uur. Uit Overeem (2009) is echter geen direct bruikbare regionale statistiek beschikbaar voor alle duren korter dan 24 uur. Vooral nog passen we daarom de statistiek voor de duren korter dan 24 uur voor de regimes L, H en H+ met eenzelfde relatieve verandering aan ten opzichte van regime G als de statistiek voor de langere duren.

Dit is verwerkt door de waarden in de tabellen met de statistiek voor duren van 4 uur tot 24 uur te vermenigvuldigen met de regimegemiddelde relatieve locatieparameter uit Tabel 2-4. Het resultaat is de tabellen met jaarstatistiek en seizoensstatistiek voor duren van 4 uur tot 24 uur voor de 4 neerslagregimes L, G, H en H+ in het huidige klimaat.

Gezien het geconstateerd in Overeem (2009) kan de gebruiker er voor kiezen voor de korte duren (tot bijvoorbeeld 12 uur) enkel de statistiek van regio G te gebruiken, of een zelf te kiezen glijdende schaal te gebruiken tussen duren van 4 (geen regionale verschillen) en 24 uur (wel regionale verschillen). Wij adviseren om dit in de toekomst nader te kwantificeren (zie ook hoofdstuk 3).

3. Regionalisatie jaarstatistiek en seizoensstatistiek voor duren korter dan 4 uur:

De regionale statistiek is niet beschikbaar voor de korte duren. In Overeem (2009) is aangegeven dat de regionale statistiek van duren korter dan 24 uur zich anders gedraagt dan de statistiek voor duren langer dan 24 uur. Uit Overeem is echter geen direct bruikbare regionale statistiek beschikbaar voor alle duren korter dan 24 uur. Vooral nog passen we daarom de statistiek voor de duren korter dan 24 uur voor de regimes L, H en H+ met eenzelfde relatieve verandering aan ten opzichte van regime G als de statistiek voor de langere duren. Voor het gebruik van deze statistiek geldt hetzelfde als bij de bovengenoemde duren van 4 tot 24 uur.

De regionale verschillen zijn verwerkt door de waarden in de tabellen met de statistiek voor duren korter dan 4 uur te vermenigvuldigen met de regimegemiddelde relatieve locatieparameter uit Tabel 2-4. Het resultaat is de tabellen met jaarstatistiek voor duren korter dan 4 uur voor de 4 neerslagregimes L, G, H en H+ in het huidige klimaat. Omdat voor de duren korter dan 4 uur geen seizoensstatistiek beschikbaar is, is deze in dit onderzoek niet bepaald.

4. Vertaling naar klimaatscenario's (G, W, G+ en W+):

Omdat geen aangepaste statistiek voor klimaatscenario's beschikbaar is, leiden we deze in het onderhavige onderzoek af op basis van de reeksen zoals gegenereerd met het transformatieprogramma (zie § 2.3.3). Hierbij gaan we uit van het volgende:

- Omdat dit programma met name geschikt is voor de transformatie van dagwaarden gebruiken we de getransformeerde dagwaarden.
- Voor de bepaling van de statistiek na klimaatverandering gebruiken we een benadering waarbij we, net als bij de regionalisatie van de reeksen, uitgaan van de bepaling van een relatieve locatieparameter. Omdat we geïnteresseerd zijn in de neerslag die in ieder geval minder vaak voorkomt dan eens per jaar bepalen we de relatieve parameter enkel op basis van de neerslag die eens per jaar en minder vaak voorkomt.
- Omdat voor de kortere duren (korter dan 24 uur) geen verandering ten gevolge van klimaatverandering bekend is, passen we voor de kortere duren dezelfde factor toe als voor de langere duren.

De werkwijze is dan als volgt:

- We bepalen de jaar- en seizoensmaxima van de basisreeksen voor de neerslagregimes L, G, H en H+ en de getransformeerde reeksen (G, G+, W en W+) voor duren van 1, 2, 4, 8 en 9 dagen.
- We sorteren de zo gevonden maxima en bepalen de plotposities (conform Smits et al., 2004).
- Voor de plotposities die eens per jaar en minder vaak voorkomen bepalen we per klimaatscenario de gemiddelde relatieve verandering ten opzichte van het huidige klimaat. Deze gemiddelde relatieve verandering is vergelijkbaar met die zoals genoemd in Tabel 2-4.
- De verandering in de statistiek verwerken we in de tabellen door de waarden in de tabellen met de statistiek van de huidige situatie te vermenigvuldigen met de gemiddelde relatieve verandering uit de vorige stap. Voor duren korter dan 1 dag is de gemiddelde relatieve verandering voor duren van 1 dag gebruikt. Het resultaat is de tabellen met jaarstatistiek en seizoenstatistiek voor duren van 4 uur tot en met 9 dagen voor de 4 neerslagregimes L, G, H en H+ in de klimaatscenario's G, G+, W en W+. Omdat voor de duren korter dan 4 uur geen seizoenstatistiek beschikbaar is, is deze in dit onderzoek niet vertaald naar de klimaatscenario's.

Een overzicht van de zo afgeleide statistiek is weergegeven in Tabel 2-6. Hierbij wordt opgemerkt dat voor het toepassen van de stochastenmethode doorgaans gebeurtenissen worden doorgerekend met een lengte gelijk aan of langer dan 24 uur. Het ontbreken van seizoenstatistiek voor de korte duren is daarom minder relevant.

	Jaar	Seizoen	Regio	Regio + Seizoen	Klimaat
Duur < 4 uur	+	-	+'	-	+'
Duur > 4 uur en < 24 uur	+	+	+'	+'	+'
Duur >24 uur	+	+	+	+'	+'

Tabel 2-6: Overzicht van beschikbare (+), afgeleide (+') en niet beschikbare (-) neerslagstatistiek

2.3.6 Neerslagpatronen

Neerslagpatronen zijn afgeleid in Smits et al. (2004). De patronen zijn beschikbaar voor duren van 1, 2, 4, 8 en 9 dagen.

Omdat in dit onderzoek gebruik is gemaakt van reeds beschikbare data en geen ruimte beschikbaar is voor nader onderzoek zijn geen nieuwe neerslagpatronen voor de klimaatreeksen en de neerslagregimes vastgesteld. We gaan er dan van uit dat de neerslagpatronen niet veranderen ten gevolge van klimaatverandering. Dit is in principe een bediscussieerbare aanname omdat een onderdeel van de toekomstscenario's onder andere het wegvallen van regendagen en het meer geconcentreerd vallen van neerslag in een korte periode is. Door het KNMI is aangegeven dat de gevolgen van klimaatverandering op de neerslagextremen nog onzeker zijn. Dat klimaatverandering veel invloed heeft op de patronen van extreme gebeurtenissen wordt weliswaar verwacht, maar de impact is niet bekend en gekwantificeerd.

2.3.7 Aanwijzingen bij gebruik

Bij de in § 2.3.3 afgeleide neerslagreeksen plaatsen wij onderstaande kanttekeningen:

- Overeem (2009) laat op basis van de statistiek uit radardata zien dat de regionale verschillen in de locatieparameter voor korte duren minder uitgesproken zijn dan voor

de dagsommen. Zo is bij de uursommen niet langer sprake van een relatief lage waarde van de locatieparameter in het zuidoosten van Nederland en is het maximum in Zuid-Holland minder duidelijk. We kunnen daarmee stellen dat de afgeleide reeksen voor duren korter dan één dag globaal gezien in het H+ regime een overschatting zijn en in het L regime een onderschatting. Voor de duren die naderen naar 24 uur zal de over- of onderschatting beperkt zijn, bij de duur van 1 uur zal deze groter zijn. Er is echter niet gekwantificeerd hoe deze regioafhankelijke over- of onderschatting zich gedraagt voor de duren tussen 1 uur en 24 uur. Deze informatie is daarom niet verwerkt in de reeksen.

Bij het gebruik van de regionale reeksen dient er derhalve rekening mee te worden gehouden dat dit voor de watersystemen die vooral gevoelig zijn voor de uurextremen in de regio H+ en H een overschatting van de wateroverlast kan betekenen en in de regio L een onderschatting. De gebruiker wordt aanbevolen de gevoeligheid van het watersysteem hiervoor te toetsen en bij de bepaling van de statistiek rekening te houden met deze onzekerheid.

- De reeksen representeren een puntneerslag. Voor grote stroomgebieden zal de puntneerslag een niet voldoende representatie geven van de kans op wateroverlast. Over een groot gebied is de kans op extreme neerslag kleiner dan voor de puntneerslag en zal de puntneerslag een overschatting geven van de (kans op) wateroverlast. Zoals in § 2.3.2 is geschetst, is de dichtheid van het neerslagmeetnet daarin de beperkende factor. Met de grootte van het stroomgebied en de invloed daarvan op de extremiteit van neerslag kan rekening worden gehouden door toepassing van de in § 2.4 beschreven gebiedsreductiefactor.
- De reeksen zijn geschikt gemaakt voor toetsing van watersystemen aan de NBW-normen voor regionale wateroverlast. Voor bijvoorbeeld droogtestudies en analyses van gemiddelde grondwaterstanden zijn de reeksen minder geschikt. In die gevallen spelen de regionale verschillen in de gemiddelde zomer- en winterneerslag een belangrijke rol. Deze zijn echter niet verwerkt in de reeksen.

3. Klimaatverandering neerslagreeksen

Voor de transformatie van de neerslagreeksen naar klimaatscenario's is gebruik gemaakt van het programma dat ook wordt gebruikt in de Climate Explorer van het KNMI: rrTrans2.exe (versie 10 april 2008). Het gebruikte zichtjaar is 2050.

- a. Omdat het transformatieprogramma enkel kan rekenen met dagwaarden hebben we de uurreeksen van de regio's L, G, H en H+ omgezet naar dagwaarden door sommatie van de urengegevens van 08:00 tot 08:00 UTC.
- b. De dagreeksen zijn getransformeerd met behulp van het transformatieprogramma. Het resultaat is per neerslagregime (L, G, H en H+) vier reeksen met dagwaarden na klimaatverandering (G, G+, W en W+).
- c. De uurwaarden van de vier reeksen vóór klimaatverandering (L, G, H en H+) hebben we vervolgens voor elk klimaatscenario (G, G+, W en W+) gecorrigeerd zodat de gesommeerde urengegevens (van 08:00 tot 08:00 UTC) na klimaatverandering overeen komen met de dagwaarden van de betreffende dag na klimaatverandering. Het resultaat is per neerslagregime (L, G, H en H+) vier reeksen met uurwaarden na klimaatverandering (G, G+, W en W+).

We gaan er met bovenstaande methode van uit dat de uurwaarden op dezelfde manier wijzigen ten gevolge van klimaatverandering als de dagwaarden. Zoals aangegeven in § 2.3.2 zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de uurextremen van neerslag echter nog onbekend en niet nader gekwantificeerd.

2.4 Gebiedsreductiefactor

2.4.1 Inleiding

Zoals in § 2.3 is beschreven, is een landsdekkend ruimtelijk langjarig beeld van de neerslag en de extremen in de neerslag ten behoeve van het afleiden van de kansverdeling van hoge waterstanden (en inundaties) niet beschikbaar. In de praktijk wordt daarom voor de afleiding van de kansverdeling van hoge waterstanden gebruik gemaakt van een langjarige neerslagreeks of, als een meer probabilistische benadering wordt toegepast, de statistiek van de neerslag. De hiervoor gebruikte extreme waarden van neerslag hebben (of, - de neerslagstatistiek heeft -) in de meeste gevallen betrekking op de neerslagsom op één punt. Bij niet te kleine herhalingstijden zijn extremen van gebiedsgemiddelde neerslag echter kleiner dan die van de puntneerslag. Voor gebieden met een grotere omvang wordt daardoor met gebruik van de puntneerslag een overschatting van de wateroverlastproblematiek berekend.

Om voor grotere gebieden een betere inschatting te krijgen van de wateroverlastproblematiek kunnen beter extremen van gebiedsgemiddelde neerslag worden gebruikt. De extremen van gebiedsgemiddelden worden doorgaans afgeleid van extremen van puntneerslagen met behulp van de gebiedsreductiefactor.

De bepaling van de hoogte van de gebiedsreductiefactor en een methode om daarmee gebiedsgemiddelde extreme neerslaggebeurtenissen af te leiden zijn beschreven in respectievelijk § 2.4.3 en § 2.4.4. In § 2.4.5 is een aanwijzing gegeven voor het gebruik van de gebiedsneerslag.

2.4.2 Informatie in meteobase.nl

Meteobase.nl ontsluit informatie om een extreme neerslaggebeurtenis uit een puntneerslagreeks te transformeren naar gebiedsneerslag.

Nr	Parameter	Onderdelen
11	Gebiedsreductiefactor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vergelijking voor de gebiedsreductiefactor als functie van duur van de neerslag, oppervlak van het te beschouwen gebied en herhalingstijd van de neerslag. 2. Methode voor de vertaling van een extreme gebeurtenis in puntneerslag naar een extreme gebeurtenis in gebiedsneerslag.

2.4.3 Bepaling gebiedsreductiefactoren

De gebiedsreductiefactor wordt over het algemeen afhankelijk gesteld van de volgende factoren: 1) duur van de neerslag, 2) oppervlak van het beschouwde gebied en 3) herhalingstijd van het neerslagvolume. Daarbij is de relatie als volgt (NB. een lage gebiedsreductiefactor betekent een hoge reductie van de neerslag):

- Korte duren (convectieve neerslaggebeurtenissen in de zomer) kennen een lage gebiedsreductiefactor, lange duren (neerslagfronten in het najaar en de winter) kennen een hoge gebiedsreductiefactor.

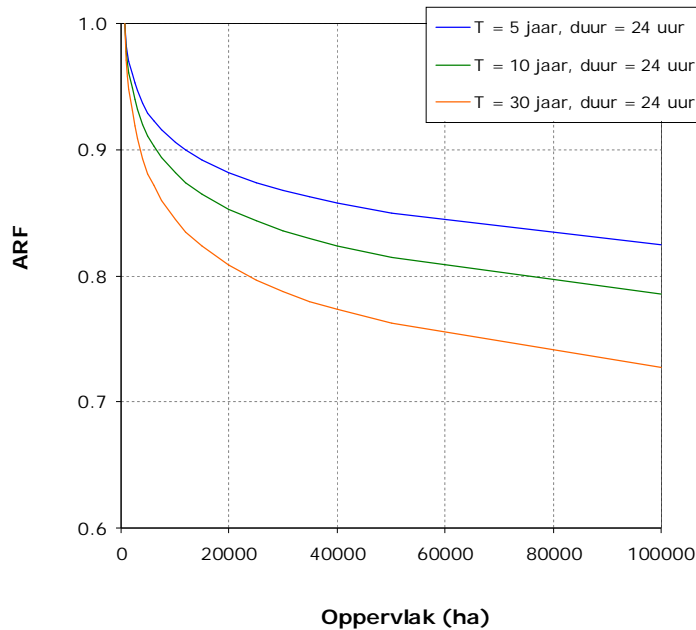
- Een relatief groot gebied kent een lagere gebiedsreductiefactor dan een klein gebied. Hoe groter het gebied hoe kleiner immers de kans dat de extreme puntneerslag op het gehele gebied valt.
- De gebiedsreductiefactor neemt af bij toenemende herhalingstijd van de neerslaggebeurtenis. Hoe zeldzamer een neerslaggebeurtenis is, hoe groter de kans dat die neerslag niet over een groot gebied is gevallen.

Gebiedsreductiefactoren voor Nederland zijn onderzocht door Overeem (2009), en later verfijnd in Overeem et al. (2010). Hij beschrijft daarin de gebiedsreductiefactor als functie van de drie hierboven beschreven afhankelijkheden.

Overeem (2009) heeft de gebiedsreductiefactor als volgt gekwantificeerd. Allereerst zijn jaarlijkse maxima uit de radardata gehaald voor duren van 15 minuten tot 24 uur en gebiedsgroottes van 2,5x2,5 km (de grootte van 1 radarcel op het moment dat hij zijn analyses uitvoerde) tot 40x40 km. Deze data is de data na kalibratie op basis van grondregenmeters. Door deze kalibratie is de puntstatistiek vergelijkbaar met de statistiek van één radarcel. Voor elke duur en elk oppervlak heeft hij de extreme waarden statistiek bepaald op basis van de GEV verdeling. De parameters van de GEV verdeling zijn vervolgens gemodelleerd (en gefit) als functie van duur en gebiedsgrootte. Later zijn de parameters verder verfijnd (Overeem, 2010). De gebruikte methode is analoog aan die voor de bepaling van de neerslagstatistiek in Smits et al. (2004). Op basis van de zo berekende statistiek per duur en gebiedsgrootte zijn de gebiedsreductiefactoren uitgerekend.

In Figuur 2-8 is als voorbeeld de gebiedsreductiefactor (in het engels ARF: areal reduction factor) weergegeven bij een oplopend gebiedsoppervlak, een duur van 24 uur en herhalingstijden van 5, 10 en 30 jaar. Voor een vergelijking van deze gebiedsreductiefactoren met factoren in eerder Nederlands onderzoek wordt verwezen naar Versteeg en Roelevink (2011). Meer over de grootte van de gebiedsreductie en de statistiek van gebiedsneerslag is beschreven in het concept KNMI rapport van Overeem & Buishand (2012).

Met behulp van de door Overeem gegeven functies kan voor elke herhalingstijd, duur en oppervlak de gebiedsreductiefactor worden bepaald. Deze kunnen vervolgens worden gebruikt om de puntstatistiek of de op een punt geregistreeerde neerslag, te vertalen naar gebiedsstatistiek of gebiedsneerslag.



Figuur 2-8: Gebiedsreductiefactor (ARF) bij oplopend oppervlak, een duur van 24 uur en herhalings tijden van 10, 50 en 100 jaar

Kwantificering gebiedsreductiefactoren

Overeem et al. (2010) beschrijft met onderstaande regressievergelijkingen en de daarvoor benodigde in Tabel 2-7 opgenomen regressiecoëfficiënten de parameters van de GEV verdeling als functie van duur (D, uur) en gebiedsgrootte (A, km²). De regressievergelijkingen voor de locatieparameter (μ), schaalparameter (α) en vormparameter (κ) van de GEV verdeling zijn:

$$\mu(D, A) = a_1 D^{a_2} + b_1 A^c + b_2 A^c \ln D$$

$$\gamma(D, A) = a_1 + a_2 \ln D + b_1 \ln A$$

$$\kappa(A) = a_1 + b_1 \ln A$$

met $\gamma = \frac{\alpha}{\mu}$

Met:

	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	c
μ	17.92	0.225	-3.57	0.427	0.128
γ	0.337	-0.018	-0.014	-	-
κ	-0.206	-	0.018	-	-

Tabel 2-7: Regressiecoëfficiënten voor de gebiedsreductiefactor

Met bovenbeschreven relaties en de cumulatieve verdelingsfunctie van de GEV verdeling (Overeem et al. 2010) is voor elke gebiedsgrootte (van 6 km² tot 1700 km²) en duur (van 15 minuten tot 24 uur) de relatie tussen neerslag en herhalings tijd bekend. De relatie tussen neerslag (x, mm) en overschrijdingskans (F, -), overschrijdingsfrequentie (F_{jaar}, /jaar) en herhalings tijd (T, jaar) is beschreven als:

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 - \frac{\kappa}{\alpha}(x - \mu)\right]^{\frac{1}{\kappa}}\right\} & \text{voor } \kappa \neq 0 \\ \exp\left\{-\exp\left[-\frac{1}{\alpha}(x - \mu)\right]\right\} & \text{voor } \kappa = 0 \end{cases}$$

met:

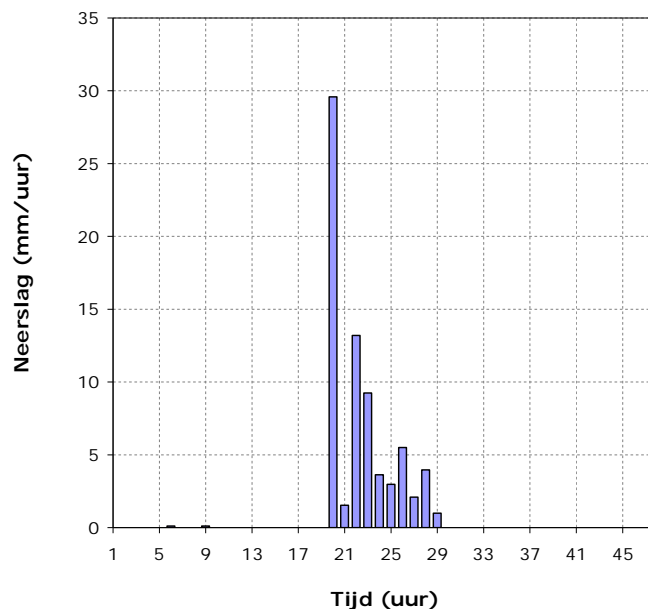
$$F_{\text{jaar}} = -\ln(1 - F) \text{ en } T = \frac{1}{F_{\text{jaar}}}$$

De gebiedsreductiefactor is vervolgens bepaald als de neerslag voor de te beschouwen gebiedsgrootte gedeeld door de neerslag voor de kleinste gebiedsgrootte (6 km²) bij een gegeven herhalingsdij. De gebiedsreductiefactor is daarmee continu beschikbaar voor elke gebiedsgrootte, duur en herhalingsdij.

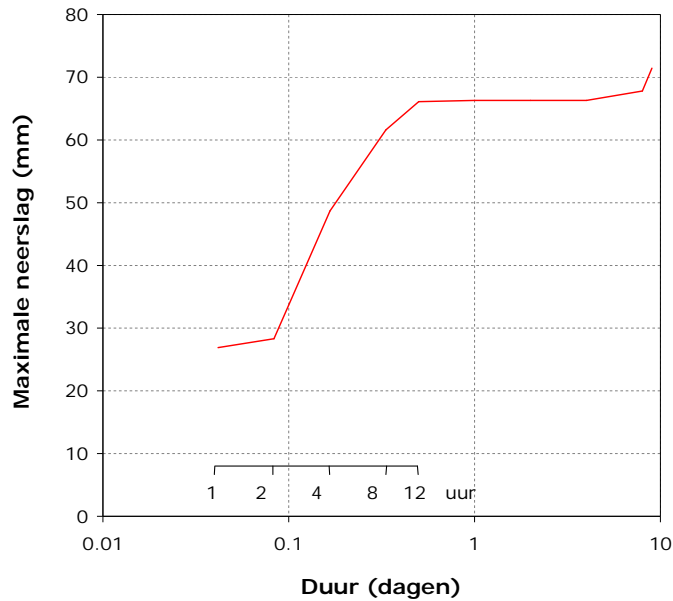
2.4.4 Toepassing gebiedsreductiefactoren

Voor de vertaling van puntneerslag naar gebiedsneerslag stellen we een methode voor die we hieronder toelichten op basis van een voorbeeldgebeurtenis.

De neerslagintensiteiten van die gebeurtenis zijn weergegeven in Figuur 2-9. Met een venster van 1, 2, 4, 8, 12 uur en 1, 2, 4, 8 en 9 dagen is de neerslaggebeurtenis doorlopen en is het maximale neerslagvolume per duur bepaald. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 2-10. Om later de gebiedsreductie toe te kunnen passen is ook per duur het begintijdstip van het venster waarbinnen het maximale volume valt bepaald. In dit geval is dat voor alle duren het twintigste uur.

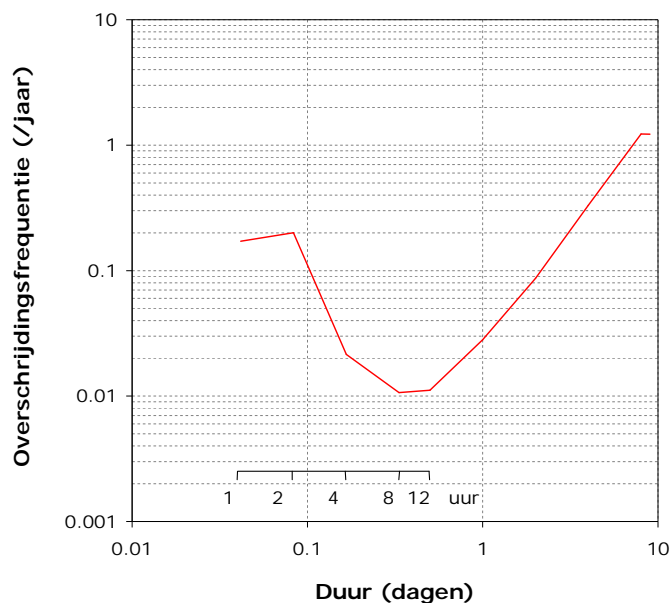


Figuur 2-9: Uurintensiteiten van de neerslag voor de gebeurtenis juli 1952



Figuur 2-10: Maximale neerslagvolumina voor oplopende duren voor de gebeurtenis juli 1952

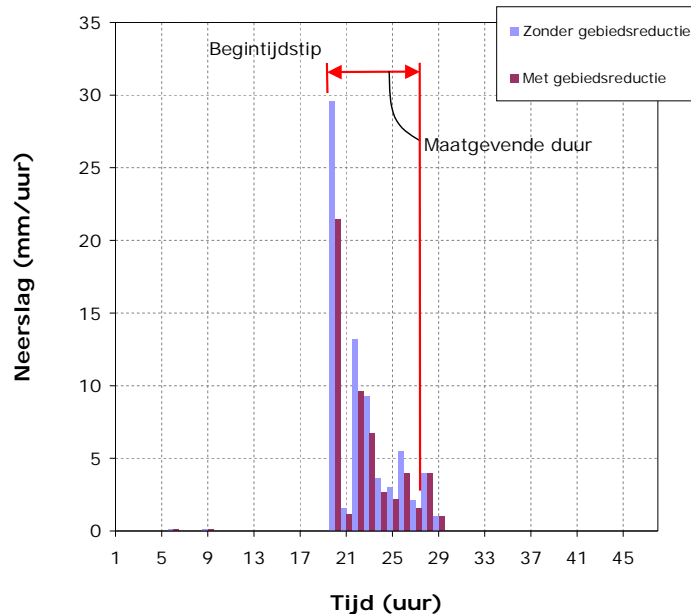
Voor elk van de duren en maximale neerslagvolumes in Figuur 2-10 is de herhalingsstijd bepaald. Dit levert Figuur 2-11. De maatgevende duur is gekozen als de laagste overschrijdingsfrequentie. Voor deze gebeurtenis is dat bij een duur - of beter gezegd: venster - van 8 uur. Voor deze duur ($D = 8$ uur) en overschrijdingsfrequentie ($F_{\text{jaar}} = 0,011/\text{jaar}$) en een oppervlak van bijvoorbeeld 35000 ha is de gebiedsreductiefactor bepaald op basis van Overeem (2009). De gebiedsreductiefactor is 0.73.



Figuur 2-11: Overschrijdingsfrequenties voor oplopende duren voor de gebeurtenis juli 1952

De gebiedsreductiefactor is vervolgens toegepast op het maatgevende deel van de gebeurtenis met de maatgevende duur van 8 uur en het begintijdstip 20:00 uur. De gebiedsreductie wordt niet toegepast op de gehele neerslaggebeurtenis maar enkel op het maatgevende deel van de gebeurtenis. De overige neerslag in de neerslaggebeurtenis is niet aangepast. De

gebiedsreductiefactor is immers enkel geldig voor de extreme waarden. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 2-12.



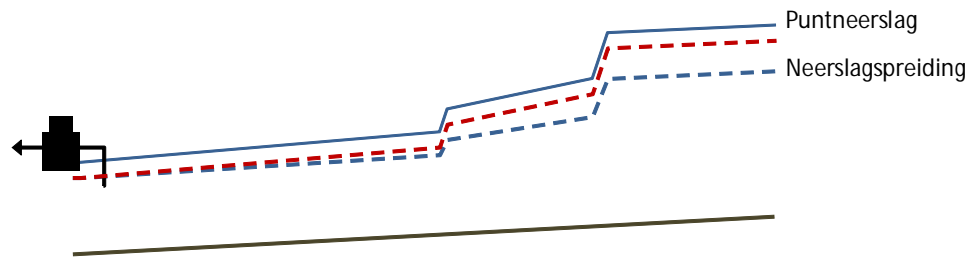
Figuur 2-12: Neerslagintensiteiten ten gevolge van gebiedsreductie voor de gebeurtenis juli 1952

Met deze methodiek kan elke neerslaggebeurtenis worden vertaald naar gebiedsneerslag, waarbij de gebruikte gebiedsreductiefactor afhankelijk is gesteld van duur en herhalingstijd van de neerslag. Dit geldt tevens voor de neerslaggebeurtenissen van de stochastenmethode.

2.4.5 Aanwijzing gebruik gebiedsneerslag

De manier waarop de neerslagspreiding kan worden opgenomen in de hoogwaterberekeningen is op voorhand niet evident. De neerslaggebeurtenissen die veelal worden gebruikt voor toetsing aan de NBW-normen voor regionale wateroverlast kan niet zonder meer worden vermenigvuldigd met gebiedsreductiefactoren, hetzij voor de afwateringseenheden of peilvakken, hetzij voor de benedenstroomse peilgebieden in grotere polders, hetzij voor boezemsystemen. In het eerste geval worden de waterstanden in benedenstroomse gebieden overschat (te weinig gebiedsreductie), in het tweede en derde geval worden de waterstanden in bovenstroomse gebieden onderschat (te veel gebiedsreductie). De gebiedsreductie van neerslag neemt immers toe met de grootte van het gebied.

Dit is geïllustreerd in het voorbeeld van Figuur 2-13. De (statistiek van de) waterstand vlakbij het gemaal wordt volledig beïnvloed door de gebiedsreductie en ligt daarom het dichtst bij de berekening met de gebiedsreductie. Verder bovenstrooms is de (statistiek van de) waterstand minder afhankelijk van de gebiedsneerslag en zal dichterbij komen van de met de puntneerslag berekende waterstand. Dit is geïllustreerd als de rode gestippelde lijn in de figuur. Als de waterstand in een gestuwd of bemalen bovenstroomse peilgebied niet wordt beïnvloed door de benedenstroomse waterstand zal de (statistiek van de) waterstand gelijk zijn aan die met gebruik van de puntneerslag.



Figuur 2-13: Berekende waterstanden zonder en met gebiedsreductie van de neerslag en in rood gestippeld de schatting van de 'werkelijke' situatie

Voor een geheel stroomgebied kan dus niet zonder meer één berekening worden gemaakt waarbij gebiedsreductie van neerslag op de juiste manier is verwerkt. Hoe hiermee kan worden omgegaan bij de bepaling van de kans op wateroverlast is op voorhand niet vast te stellen en is afhankelijk van de gebruikte berekeningsmethode, de kenmerken van het watersysteem en het interessegebied voor de bepaling van de hoge waterstanden. De gebruiker dient hiervoor zelf de gewenste methode vast te stellen.

3 Welke mogelijkheden tot doorontwikkeling zijn er?

www.meteobase.nl ontsluit neerslag- en verdampingsgegevens en –statistiek voor de waterbeheerder. De waterbeheerder heeft hiermee gegevens in handen waarmee hij of zij hydrologische modellen kan kalibreren en watersystemen kan toetsen.

Voor www.meteobase.nl is gebruik gemaakt van reeds beschikbare neerslaggegevens en onderzoeksresultaten. Ook is aangesloten bij de bij het KNMI gangbare onderzoeksmethoden voor het vaststellen van neerslagstatistiek. Het KNMI heeft in dit project een adviserende rol gespeeld.

Dit heeft geleid tot informatie die goed bruikbaar is voor de waterbeheerder, maar uiteraard niet volledig uitontwikkeld is. Er blijven altijd wensen tot verbetering en uitbreiding. We sluiten dit rapport daarom af met de meest in het oog springende verbeter- en uitbreidingsmogelijkheden:

- Verlengen van de datareeksen in meteobase.nl verder het verleden in (voor 1990) door o.m. het opnemen van de zogenaamde 'antieke waarnemingen' van het KNMI.
- Toepassen KNMI'13 scenario's.
In 2013 worden de KNMI'13 klimaatscenario's gepubliceerd. We adviseren om deze scenario's te verwerken in www.meteobase.nl.
- Homogenisatie langjarige neerslagreeks(en).
De langjarige neerslagreeksen (van begin vorige eeuw tot nu) laten veelal een stijgende trend in de neerslag zien. Deze trend kan zijn ontstaan door verandering van bijvoorbeeld meetmethoden/meetopstelling en klimaat. Deze reeksen zijn daarmee mogelijk niet homogeen, en geven daarmee mogelijk niet het 'huidige' klimaat weer. Aanbevolen wordt te onderzoeken welke oorzaken bijdragen aan de gevonden trend en hoe de reeksen kunnen worden gehomogeniseerd, en met name de langjarige uurreeks voor De Bilt.
- Onderzoek doen naar een andere methode voor het maken van urneerslagreeksen voor het huidige klimaat, specifiek voor de toetsingsdata. Hierbij kan worden gedacht aan resamplingstechnieken. Hiermee kunnen mogelijk de regionale verschillen in de neerslag beter worden gerepresenteerd, wat het toepassingsgebruik van de reeksen kan vergroten.
- Voor sommige modelcodes of toepassingen van modellen is een gedetailleerde verdeling van de potentiële verdamping over de dag belangrijk. Daarom worden aanbevolen de verdampingsrasters naar te schalen van dagbasis naar uurbasis en dit produkt toe te voegen aan meteobase.nl.
- Afleiden neerslagstatistiek klimaatscenario's.
De verandering van de extreme-waarden statistiek van de neerslag ten gevolge van klimaatverandering is nog onzeker. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar de

te verwachten wijzigingen in de extreme neerslaghoeveelheden na klimaatverandering op zowel dag- als uurbasis.

- Afleiden ontbrekende statistiek.
In het onderzoek zijn aannamen gedaan over de regionale verschillen en de seizoensverschillen in de extreme-waarden statistiek. Deze zijn echter niet direct afgeleid uit de neerslagdata. Aanbevolen wordt deze hiaten in de statistiek nader te onderzoeken. Het betreft:
 - Afleiden regionale statistiek voor korte durren:
Voor de korte durren (korter dan 1 dag) zijn er aanwijzingen dat de extreme-waarden statistiek van de neerslag zich anders gedraagt dan bij de lange durren. Dit is echter niet omgezet in een hanteerbaar landelijk gespreid beeld. Aanbevolen wordt deze statistiek op dezelfde manier te kwantificeren als de regionale statistiek voor durren van 1 dag en langer.
 - Afleiden seizoensstatistiek voor korte durren:
Voor de korte durren (korter dan 1 dag) is geen extreme-waarden statistiek afgeleid voor de verschillende seizoenen. Hierbij is overigens bekend dat de neerslaggebeurtenissen die deze statistiek bepalen in de zomer optreden. De statistiek voor de periode maart - oktober zal daarbij vrijwel gelijk zijn aan de jaarstatistiek. Voor waterbeheerders is echter ook de statistiek voor de periode november - februari en september - oktober voor de korte durren interessant. Aanbevolen wordt deze nader te kwantificeren.
 - Seizoensstatistiek voor regimes:
De regionale spreiding van de neerslagstatistiek is afgeleid op de jaarstatistiek. Het is mogelijk dat verschillen in statistiek met name in het zomer- of winterseizoen optreden. Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar de seizoensinvloed op de regionale spreiding in de statistiek.

Naast bovenstaande ontwikkelingsmogelijkheden adviseren wij:

- De data in www.meteobase.nl actueel te houden met
 - 1) de beschikbare basisgegevens (bijvoorbeeld elke maand of elk jaar actualiseren);
 - 2) de rasterdata ten behoeve van modelkalibratie (regelmatig actualiseren) en;
 - 3) ontwikkelingen in het kader van toenemende kennis over klimaatverandering.
- Een bijeenkomst te houden over mogelijkheden, beperkingen en het gebruik voor de beoogde gebruikers van www.meteobase.nl.

4 Referenties

- Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes en M. Smith, 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements*; 1998
- Besseminder, J. en R. Jilderda, 2011. *Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis*; KNMI Technical report TR-322, De Bilt, 2011.
- Buishand, T. A. en J.B. Wijngaard, 2007. *Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren*; KNMI Technical report - technisch rapport TR - 295, De Bilt, 2007.
- Buishand, T. A., R. Jilderda en J.B. Wijngaard, 2009. *Regionale verschillen in extreme neerslag*; KNMI scientific report - wetenschappelijk rapport WR 2009-01, De Bilt, 2009.
- Cultuurtechnisch vademecum, 2000. *Handboek voor inrichting en beheer van het landelijke gebied*. Elsevier bedrijfsinformatie bv. Doetinchem.
- Cressie, 1991. *Statistics for spatial data*, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- Droogers P., 2009. *Defenitiestudie: Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer*; STOWA rapport 11-2009.
- FAO, 2012: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm>
- Goudenhoodft, E. en L. Delobbe, 2009. *Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates*; Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 13, pp. 195-203, 2009.
- Heijkers, W.J.M., R. de Crook, T. Knippers L. en Reichard, 2008. *Neerslaginformatie uit radar nu ook geschikt voor stedelijk waterbeheer*; vakblad H₂O, nr. 6, pp. 38-39, 2008.
- Heijkers, W.J.M., M.J. Kallen en R. de Crook, 2011. *Bouw van de neerslagdatabank Midden-Nederland*; vakblad H₂O, nr. 2, pp. 47-49, 2011.
- Holleman, I, 2006. *Bias adjustment of radar-based 3-hour precipitation accumulations*; KNMI Technical Report TR-290, 2006.
- Homan, C., J. Beersma en J. Besseminder, 2011. *Meteorologische tijdreeksen voor het Deltamodel*. KNMI, 10 januari 2011.
- Kallen, M.J., 2009a. *Bouw neerslagdatabank Midden-Nederland. Deelrapport: validatie neerschalingmethode*; HKV [LJN IN WATER](#) in opdracht van de waterschappen Stichtse Rijnlanden, Waternet, Veluwe, Vallei en Eem en provincie Utrecht, rapport PR1516, maart 2009.
- Kallen, M.J., 2009b. *Bouw neerslagdatabank Midden-Nederland. Deelrapport: Kriging neerslaghoeveelheden*; HKV [LJN IN WATER](#) in opdracht van de waterschappen Stichtse Rijnlanden, Waternet, Veluwe, Vallei en Eem en provincie Utrecht, rapport PR1516/PR1679, Flood Control 2015 rapport 2009.06.02 en 2009.06.03, december 2009.
- KNMI, 2012, *Projectie van KNMI radarbeelden*, Iwan Holleman en Hans Beekhuis; Internetpagina KNMI, februari 2012: http://www.knmi.nl/~beekhuis/rad_proj_nl.html.
- Lam, 2003. *Comparison of geostatistical methods for predicting daily precipitation depth using radar and raingauge data*; Rapport NITG 04-003-A, TNO Utrecht, 2003.
- Lawson, C. J. en R. J. Hanson, 1974. *Solving Least Squares problems*; Prentice-Hall, Engelwood Cliffs, 1974.

- Overeem, A., 2009. *Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar*; Thesis Wageningen University, Wageningen 2009.
- Overeem, A., T.A. Buishand, I. Holleman, and R. Uijlenhoet, 2010. *Extreme value modeling of areal rainfall from weather radar*; Water Resources Research, vol 46, W09514, doi:10.1029/2009WR008517, 2010
- Overeem, A. en T.A. Buishand, 2012. *Statistiek van extreme gebiedsneerslag in Nederland*; concept KNMI rapport, De Bilt, 2012.
- Pebesma, E.J. and C.G. Wesseling, 1998. *Gstat: a program for geostatistical modelling, prediction and simulation*; Computers & Geosciences, Vol. 24, Nr. 1, pp. 17-31, 1998.
- Pebesma, E.J., 2004. *Multivariable geostatistics in S: the gstat package*; Computers & Geosciences, Vol. 30, pp.683-691, 2004.
- Schuurmans, J.M., M.F.P. Bierkens, E.J. Pebesma en R. Uijlenhoet, 2007. *Automatic prediction of high-resolution daily rainfall fields for multiple extents: the potential of operational radar*; Journal of Hydrometeorology, Vol. 8, pp. 1204-1224, 2007.
- Schuurman J.M. en P. Droogers, 2010. *Penman-monteith referentieverdamPing: inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie*; STOWA 2010-37, Amersfoort 2010.
- Sluiter, R., 2010. *Data Release Notes v0001*; KNMI, 20 augustus 2010.
- Smits, A., M. Kok, R.P. Versteeg en J.B. Wijngaard, 2004. *Statistiek van extreme neerslag in Nederland*; STOWA-rapport 2004-26, Utrecht 2004.
- Soenario, I. en R. Sluiter, 2010. *Optimization of Rainfall Interpolation*; KNMI Intern rapport IR 2010-01, maart 2010.
- Versteeg, R.P. en A. Roelevink, 2011. *Verbetering watersysteemmodellering: Neerslagspreiding*; HKV rapport PR2049.