
Meteobase: online neerslag- en referentie- gewasverdampingsdatabase voor het Nederlandse waterbeheer

H. Hakvoort¹, S. Bosch², R. Versteeg¹, J. Heijkers³,
E. Wolters¹, M. Talsma⁴ en K. Peerdeman⁵

Waterbeheerders hebben in toenemende mate behoefte aan gedetailleerde neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens: voor modelbouw & -kalibratie, voor toetsing van watersystemen waterkeringen aan normen, maar ook voor GGOR-vraagstukken en zoet-watervoorziening. STOWA heeft HKV LIJN IN WATER en Siebe Bosch Hydroconsult in 2012 opdracht gegeven om beschikbare neerslag- en verdampingsgegevens te actualiseren, te bewerken en te ontsluiten voor alle waterbeheerders in Nederland. Dit heeft geresulteerd in www.meteobase.nl, hét online archief voor neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens en bijbehorende statistiek voor waterbeheerders. www.meteobase.nl bevat vlakdekkende rasters van historische neerslag en referentiegewasverdamping voor heel Nederland, neerslag- en verdampingstijdreeksen (ook met klimaateffect) en actuele neerslagstatistieken die door waterbeheerders direct kan worden gebruikt voor toetsen van watersystemen via de zogenaamde stochastenmethode en de tijdreeksmethode.

Inleiding

De wateroverlastgebeurtenissen van september en oktober 1998 hebben duidelijk gemaakt dat regionale watersystemen kwetsbaar zijn voor overvloedige regenval. Naar aanleiding hiervan is een discussie op gang gekomen over het vaststellen van de mate van gevoeligheid van de waterhuishouding voor wateroverlast. Dit heeft geresulteerd in de afspraak in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) om de regionale waterhuishouding te toetsen op wateroverlast. Thans zijn deze in belangrijke mate gedecentraliseerd en vastgelegd als werk- of gebiedsnormen binnen de provinciale waterverordeningen. Om de waterhuishouding te kunnen toetsen is het voor de waterbeheerders wenselijk te kunnen beschikken over actuele extremenstatistiek van neerslag voor duren van 1 uur tot 10 dagen. Gegevens van (de statistiek van) neerslag

¹ HKV Lijn in Water B.V., Lelystad (h.hakvoort@hkv.nl)

² Siebe Bosch Hydroconsult B.V., Den Haag (siebe@hydroconsult.nl)

³ Hoogheemraadschap "de Stichtse Rijnlanden", Houten, (heijkers.wjm@hdsr.nl)

⁴ STOWA, Amersfoort, (m.talsma@stowa.nl)

⁵ Waterschap Brabantse Delta, Breda, (k.peerdeman@brabantsedelta.nl)

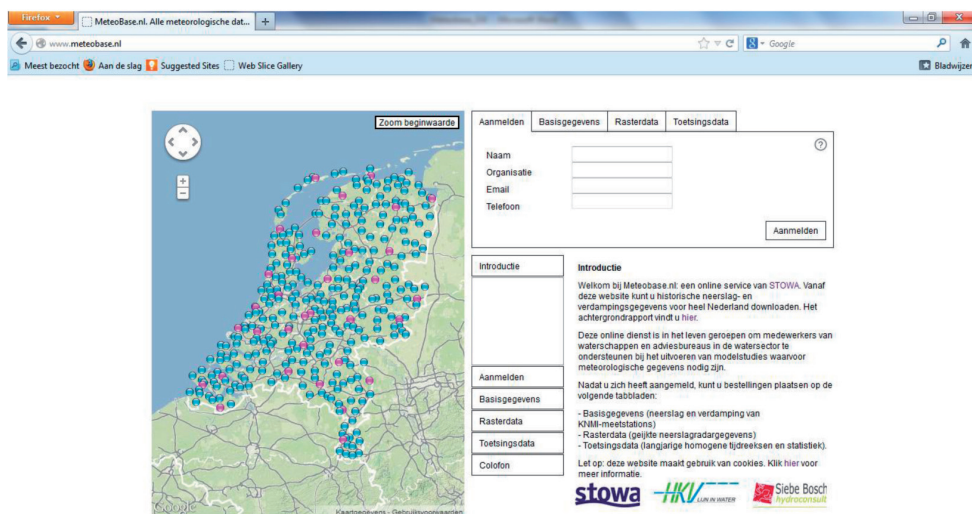
en verdamping zijn tevens nodig voor de parametrisatie (in de vorm van de bovenrandvoorwaarden) en kalibratie van hydrologische modellen, het GGOR vraagstuk en toepassingen voor zoetwatervoorzieningsvraagstukken met bijvoorbeeld het NHI of de regionale modellen (AMIGO, HYDROMEDAH, IBRAHYM, MIPWA, MORIA, et cetera). STOWA (in zeer nauwe samenwerking met de NBW-Werkgroep) heeft HKV LIJN IN WATER en Siebe Bosch Hydroconsult de opdracht gegeven om de (statistiek van) neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens te actualiseren. Dit heeft geresulteerd in www.meteobase.nl. Het KNMI is bij dit project betrokken geweest in een wetenschappelijk adviserende rol.

Methodiek Meteobase

De website www.meteobase.nl werd in mei 2012 gelanceerd. Meteobase is een online archief voor waterbeheerders dat alle historische neerslag- en referentiegewasverdampingsgegevens van Nederland ontsluit. In dit artikel zetten we uiteen welke gegevens via Meteobase beschikbaar worden gesteld en hoe ze tot stand zijn gekomen. Ook geven we aan wat het toepassingsbereik van de gegevens is.

Meteobase maakt onderscheid tussen drie soorten gegevens:

- **Basisgegevens:** de historische puntmetingen van het KNMI.
- **Rasterdata:** landsdekkende rasters met neerslag- en verdampingshoeveelheden.
- **Toetsingsdata:** langjarige neerslag- en verdampingsreeksen plus statistische kentallen en kansverdelingen ten behoeve van extreme-waarden-analyses zoals hoogwatertoetsingen.



Afbeelding 1: Welkomsscherm van Meteobase.

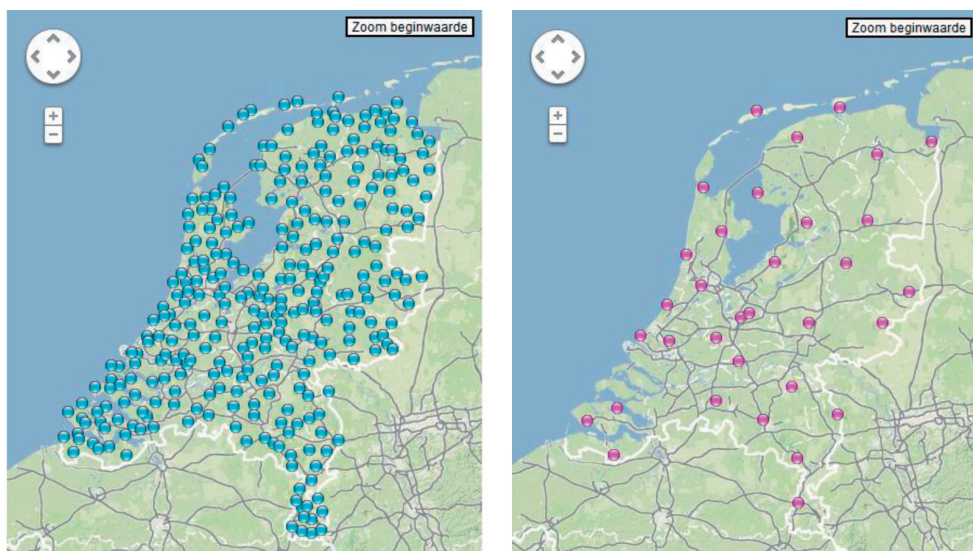
Basisgegevens

De basisgegevens neerslag bestaan uit de gemeten hoeveelheden van alle KNMI-uur- en etmaalstations tussen 1906 en 2010. Het aantal uurstations is in de periode 1906-2010 toegenomen van 1 naar 32, terwijl het aantal meetstations waarop eens per dag gemeten wordt in deze periode is toegenomen van 13 naar 325.

De basisgegevens voor de referentiegewasverdamping bestaan uit de berekende Makkinkreeksen vanaf 1957. Tot en met 1986 waren deze reeksen alleen beschikbaar voor een zestal stations, daarna was er een sterke stijging naar 33 verdampingsstations in 2010. De Makkink gewas verdamping wordt berekend op basis van gemeten meteorologische variabelen (Droogers, 2009).

Rasterdata neerslag

De rastergegevens vanaf 2000 zijn afgeleid door de beelden van de twee Nederlandse neerslagradarstations (De Bilt en Den Helder, voor een verklaring van de werking van de neerslagradar zie verderop in de tekst) met elkaar te combineren en te corrigeren en kalibreren aan meetwaarden van de grondstations, conform de aanpak beschreven in Heijkers e.a. (2011). Op die manier is de nauwkeurigheid van grondmetingen gecombineerd met de ruimtelijke dekking van radarbeelden. Het resultaat is beschikbaar in rasters met een resolutie van 1 km². De neerslagrasters worden aangeboden in RD-coördinaten in Network Common Data Form (NetCDF), een wereldwijde standaard op het gebied van wetenschappelijke data. Ieder bestand bevat een etmaal aan uurlijkse neerslagsommen en daarmee 24 banden met neerslaghoeveelheden. Met GIS-programma's als ArcGIS en QGIS kan de inhoud van de bestanden worden bekeken. Ook programma's als Delft FEWS en Hydronet kunnen de NetCDF-bestanden importeren. Deze pakketten bevatten vaak tevens tools om bestanden te converteren naar modelinvoerbestanden.



Afbeelding 2: Verdeling van neerslagstations in Nederland met metingen op dag- (links) en uurbasis (rechts).

De radardata die in Meteobase worden gebruikt zijn afkomstig van de neerslagradars in De Bilt en Den Helder. Een radar (Radio Detection and Ranging) zendt elektromagnetische pulsen uit in het microgolfbereik. De meeste weerradars hebben een zendfrequentie van 4-12 GHz (C- en X-band). Neerslagradars zijn ontworpen om een optimale gevoeligheid te hebben voor neerslagdruppels. Neerslagdruppels kaatsen het uitgezonden radarsignaal terug, waarbij de ontvangen intensiteit een maat is voor de grootte en hoeveelheid druppels en de verstreken tijd tussen zenden en ontvangen van het radarsignaal een maat is voor de tijd. De intensiteit van de teruggekaatste radarpuls is ruwweg evenredig met D^6 , waarbij D in dit geval de (gemiddelde) diameter van een verzameling regendruppels is. De teruggekaatste hoeveelheid energie wordt doorgaans weergegeven als Z [$\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}$]. Conversie van reflectiviteit naar neerslaghoeveelheid wordt bepaald middels de Z-R-relatie, welke als volgt is geformuleerd:

$$Z = aR^b$$

Waarbij: a,b: constanten [-]

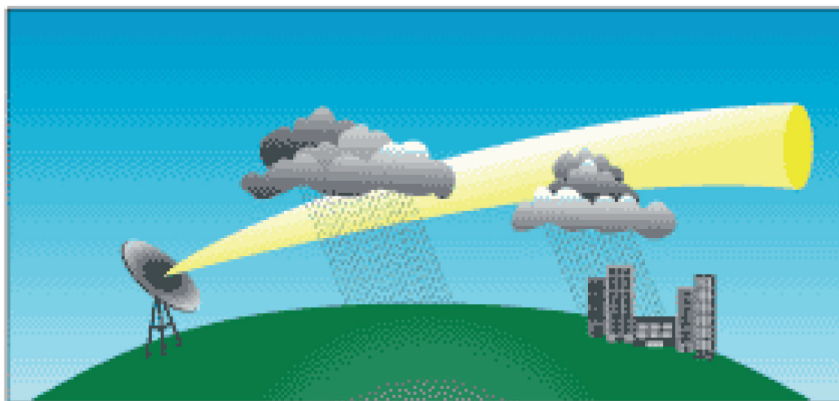
Z: gemeten teruggekaatst radarsignaal [$\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}$]

R: regenintensiteit [mm h^{-1}]

De constanten a en b worden empirisch bepaald en zijn afhankelijk van het type, seizoen en locatie. Een veelgebruikte conversie is de Marshall-Palmer-relatie (Marshall e.a., 1955):

$$Z = 200R^{1.6}$$

Om verstrooiing en terugkaatsing door onder andere grondobjecten te voorkomen, zenden weerradars hun pulsen in een kleine hoek ten opzichte van de horizontaal uit (doorgaans $\sim 1^\circ$). Dit heeft, in combinatie met de kromming van de aarde, tot gevolg dat met toenemende horizontale afstand van de weerradar het teruggekaatste signaal uit een steeds hoger deel van de wolk komt (zie Afbeelding 3).



Afbeelding 3: Schematische weergave meetprincipe weerradar (van: kagsweather.blogspot.nl).

Dit leidt ertoe dat de bepaling van de neerslaghoeveelheid aan het aardoppervlak onnauwkeuriger wordt met toenemende afstand, omdat regendruppels worden gemeten die nog niet volgroeid zijn (onderschatting) of omdat vallende neerslag wordt gemeten die op weg naar het aardoppervlak nog (voor een deel) kan verdampen (overschatting).

Vóór 2000 waren er geen of onvoldoende neerslagradardata beschikbaar voor het afleiden van neerslaghoeveelheden. Om toch landsdekkende rasters te kunnen opleveren voor de periode 1990 t/m 1999 is een ruimtelijke interpolatie van de uurgegevens uitgevoerd en gecombineerd met informatie uit 24-uursmetingen, welke zijn uitgevoerd door 325 vrijwillige waarnemers.

Rasterdata verdamping

De referentiegewasverdamping voor Nederland wordt door het KNMI geleverd en is bepaald met de Makkinkformule. 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 zijn (zie Droogers, 2009 en Schuurmans en Droogers, 2010). Meteobase stelt daarom zowel verdampingsrasters op basis van de Makkink- als de Penman-Monteith-methode beschikbaar. Aangezien de verdampingsgegevens minder data-intensief zijn, worden deze aangeboden in de vorm van eenvoudiger ASCII-rasterbestanden. De verdampingsrasters gebaseerd op de Makkink-methode zijn beschikbaar voor de periode 1990 t/m 2010.

Verdampingsrasters gebaseerd op de Penman-Monteith-methode zijn berekend uit verdampingsgegevens per station. Op basis van wind-, temperatuur-, vocht- en stralingsgegevens is dagelijks de verdamping bepaald. Het aantal stations waarvoor deze bepalingen zijn uitgevoerd steeg van 15 in 1990 naar 32 in 2010. Voor de ruimtelijke interpolatie is ordinary kriging toegepast. De verdampingsrasters gebaseerd op de Penman-Monteith-methode zijn beschikbaar voor de periode 1990 t/m 2010. De methodieken om de neerslaggegevens te verrasteren staan hieronder beschreven.

Verrastering neerslagdata 1990 t/m 1999

De berekening van de rasterdata tot en met 1999 is gebaseerd op een combinatie van uurlijkse metingen van 35 automatische weerstations en 24-uurshoeveelheden gemeten door een netwerk van vrijwillige waarnemers (325 stations, zie Afbeelding 2, links). Hiervoor is gekozen omdat, gegeven de heterogeniteit van neerslag, een ruimtelijke interpolatie van alleen de uurmetingen tot onnauwkeurige resultaten zou leiden. De verrastering op basis van de grondmetingen geschiedt in drie stappen. Eerst worden de uurwaarden van de KNMI-stations op een raster gezet door middel van Inverse Distance Weighting (IDW) interpolatie. Hierbij wordt het gewicht voor de ruimtelijke interpolatie bepaald door de onderlinge afstand en de power, welke voor deze toepassing op 2 is gezet. Het gewicht neemt dus af met het kwadraat van de afstand:

$$w = \frac{1}{D^2}$$

Waarbij: w : wegingscoëfficiënt [-]

D : afstand [m]

De tweede stap is het omrekenen van dag- naar uurlijkse waarden. Hiervoor wordt de uurlijkse neerslagverdeling op basis van de automatische weerstations gebruikt. Als laatste worden de urengegevens van alle neerslagstations naar een 1×1 km² grid geïnterpoleerd door middel van *ordinary kriging*.

Verrastering neerslagdata vanaf 2000

Voor de periode vanaf 2000 zijn voldoende radardata van De Bilt en Den Helder beschikbaar, waardoor deze gebruikt kunnen worden in de rasters. Voor de berekening van de uurlijkse rasterdata wordt derhalve gebruik gemaakt van de volgende neerslagdata:

- Uurwaarden van de automatische weerstations.
- Composietwaarden van de neerslagradars van De Bilt en Den Helder.
- Dagwaarden van de neerslagstations.

De neerslaggegevens van de radar worden eens per uur verstrekt en bevatten de gecumuleerde neerslag over de voorgaande drie uur. Deze drie-uurlijkse gegevens worden daarom eerst naar uurlijkse waarden geconverteerd (zie Versteeg e.a. 2012), waarna de nieuwe uurlijkse radarneerslagwaarden worden gebruikt om de neerslaghoeveelheden afkomstig van de dagstations te converteren naar uurwaarden. Na deze stap hebben de drie datasets een uurlijkse resolutie en kunnen de data geïnterpoleerd worden met behulp van *kriging with external drift* (zie o.a. Cressie 1991).

Toetsingsdata neerslag

Een belangrijke praktische toepassing van historische neerslag- en verdampingsgegevens in het waterbeheer is het uitvoeren van extreme-waarden-analyses. Dit type analyse wordt onder andere uitgevoerd om uitspraken te kunnen doen over de kans op wateroverlast. De twee meest gebruikte technieken hiervoor staan bekend als de *tijdreeksmethode* en de *stochastenmethode*.

Bij de tijdreeksmethode wordt gebruik gemaakt van een zo lang mogelijke reeks met gemeten neerslag- en verdampingsvolumes. De betreffende reeks wordt opgelegd aan een model dat het gedrag van het watersysteem simuleert en aan de resulterende afvoeren of waterstanden worden één of meerdere kansverdelingen gefit.

Bij de stochastenmethode vindt de statistische bewerking in een eerder stadium plaats: op basis van de meerjarige neerslagstatistiek wordt een groot aantal kunstmatige neerslaggebeurtenissen gegenereerd waarvan de kans op optreden vooraf bekend is. Ook wordt vooraf de kansverdeling bepaald van andere factoren die bepalend zijn voor hoogwater. Het simulatiemodel wordt vervolgens gevoed met deze gebeurtenissen, waarna uit de maximum waterstanden de herhalingstijden worden afgeleid.

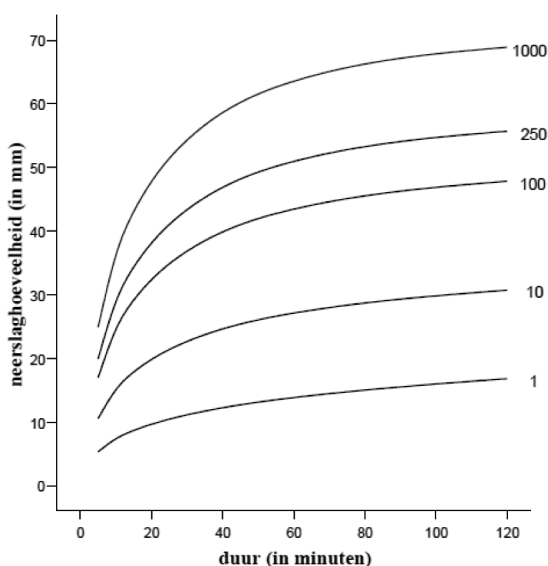
Om gebruikers van beide methodes van dienst te zijn, biedt Meteobase in het tabblad toetsingsdata zowel langjarige reeksen als neerslagstatistiek aan.

Toetsingsreeksen

Station De Bilt bezit de langst beschikbare reeks aan uurmetingen van neerslag, deze dateert terug tot 1906. De meetreeks van dit station is daarom het meest geschikt om gebruikt te worden in extreme-waarden-analyses volgens de tijdreeksmethode. Hier zitten echter beperkingen aan. Niet overal in Nederland is het neerslagklimaat vergelijkbaar met De Bilt. Zo is bekend dat in de kustregio in het najaar meer neerslag valt als gevolg van de dan hoge zeewatertemperatuur en dat neerslagjaarhoeveelheden in het oosten en zuiden van het land structureel kleiner zijn (Bosatlas van het Klimaat, 2011).

Statistiek

Voor de gebruikers van de stochastenmethode zijn regenduurlijnen en kansverdelingen afgeleid voor de vier klimaatregio's. Voor veertien herhalingstijden maal negen neerslagduren is onderzocht wat de bijbehorende neerslaghoeveelheden zijn. Daarnaast onderzochten we hoe die betreffende neerslag is verdeeld over de zeven neerslagpatronen die gepubliceerd zijn in Smits e.a. (2004). Met deze kansverdelingen kunnen hydrologen $14 \times 9 \times 7 = 882$ unieke neerslaggebeurtenissen genereren waarvan de kans op voorkomen bekend is. Met behulp van deze gebeurtenissen kan vervolgens een watersysteem worden getoetst.



Afbeelding 4: Regenduurlijnen (uit Buishand en Wijngaard, 2007).

Klimaatscenario's

Behalve het huidige klimaat is het ook de gewoonte om watersystemen te toetsen aan het verwachte toekomstige klimaat. Om de Nederlandse watersector deze mogelijkheid te bieden, zijn de toetsingsreeksen voor de vier klimaatscenario's die het KNMI onderscheidt voor het zichtjaar 2050: G, G+, W en W+ (van den Hurk e.a., 2006) gecorrigeerd.

Uit deze gecorrigeerde reeksen zijn ook weer de statistische kentallen gehaald ten behoeve van de stochastenmethode.

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 met 2050 als gebruikt zichtjaar. Aangezien het transformatieprogramma enkel kan rekenen met dagwaarden zijn de uurreeksen van de regio's L, G, H en H+ omgezet naar dagwaarden door sommatie van de uurgegevens van 08:00 tot 08:00 UTC.

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+).

De uurwaarden van de vier reeksen vóór klimaatverandering (L, G, H en H+) zijn vervolgens voor elk klimaatscenario (G, G+, W en W+) gecorrigeerd, zodat de gesommeerde uurgegevens (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+).

Er wordt met bovenstaande methode van uit gegaan dat de uurwaarden van de neerslag op dezelfde manier wijzigen ten gevolge van klimaatverandering als de dagwaarden.

De gevolgen van klimaatverandering voor de uurextremen in de neerslag zijn momenteel nog onbekend en niet nader gekwantificeerd. In de nog te publiceren KNMI'13 klimaatscenario's komt een kwantificering voor de uurextremen beschikbaar en deze zullen op termijn in Meteobase worden doorgevoerd.

Gebiedsreductiefactor neerslag

Een extra service op Meteobase is de macro *gebiedsreductiefactor* voor neerslag. Met deze macro kan de gebruiker de hevige piekvolumes uit tijdreeksen corrigeren voor het gebiedsoppervlak waaraan de reeks wordt opgelegd.

Wanneer puntmetingen van neerslag moeten worden toegepast op een groter gebied, dan moeten de grote hoeveelheden van dat punt gereduceerd worden. De gemeten neerslagintensiteit zal nooit op hetzelfde moment in een groter gebied optreden. De mate waarin de gebiedsneerslag moet worden aangepast ten opzichte van de puntmeting is een functie van drie parameters:

- De herhalingstijd van de opgetreden neerslag
- De neerslagduur
- De gebiedsgrootte

In Overeem e.a. (2010) zijn voor neerslagduren van 15 min - 24 uur en gebiedsgroottes van 6 - 1700 km² wiskundige relaties afgeleid. De relatie tussen neerslag P en kans $F(P)$ is een kansdichtheidsfunctie en kan worden beschreven met een Generalized Extreme Value (GEV) verdeling. Hierin komen een locatie- (μ), schaal- (Y) en vormparameter (κ) voor, welke als volgt geformuleerd zijn:

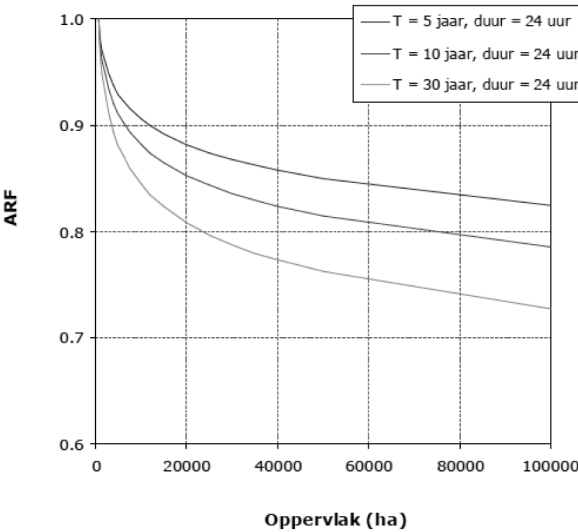
$$\begin{aligned}\mu &= a_1 D^{a_2} + b_1 A^c + b_2 A^c \ln D \\ \gamma &= a_1 + a_2 \ln D + b_1 \ln A + b_2 D \ln A \\ \kappa &= a_1 + b_1 \ln A + b_2 \ln D \ln A\end{aligned}$$

Waarbij: D : neerslagduur [h]
 A : gebiedsgrootte [km^2]

De regressiecoëfficiënten a_1 , a_2 , b_1 , b_2 en c zijn in Overeem e.a. (2010) als volgt bepaald:

Parameter	a_1	a_2	b_1	b_2	C
M	17.92	0.225	-3.57	0.427	0.128
Y	0.337	-0.018	-0.014	0	–
K	-0.206	–	0.018	0	–

Tabel 1: Regressiecoëfficiënten a_1 , a_2 , b_1 , b_2 en c zoals bepaald door Overeem e.a. (2010).



Afbeelding 5: Gebiedsreductiefactor neerslag (uit: Versteeg e.a. 2012).

Mogelijkheden voor verdere ontwikkeling

Meteobase is geen statische database, maar een database met ambitie. Op vele plekken in Nederland werken diverse consortia aan het verzamelen van data en informatie over de meteorologie en hydrologie. Te denken valt aan (1) het archiveren van data die het SAT-WATER consortium verzamelt over b.v. de actuele verdamping en het verdampingstekort en (2) de data die verzameld worden in het kader van de Nationale Regenradar.

Tevens staat ook de methode-ontwikkeling niet stil en komen ook meer en meer data over bijvoorbeeld neerslag gemeten vanuit de ruimte beschikbaar. De kwaliteit van neerslaginformatie kan worden verbeterd met bijvoorbeeld metingen uit geostationaire Meteosatmetingen, die elke 15 minuten beschikbaar zijn. Omdat Meteosat in een keer heel Europa ‘beschouwt’ kan op termijn veel beter op naderende extreme neerslaghoeveelheden worden geanticipeerd. In die zin kan Meteobase uitgroeien tot een platform voor onderzoek. Ideeën voor relevant onderzoek zijn welkom en kunnen naar de auteurs van dit stuk worden gemaild.

Beheer&Onderhoud

Tenslotte het Beheer&Onderhoud van Meteobase. Het is de ambitie om de binnen Meteobase beschikbare data jaarlijks te actualiseren. STOWA heeft daarvoor de samenwerking gezocht met Het Waterschapshuis en gezamenlijk wordt thans gewerkt aan de organisatie van het Beheer&Onderhoud.

Literatuur

- Buishand, T.A., R. Jilderda en J.B. Wijngaard** (2009) Regionale verschillen in extreme neerslag; KNMI Wetenschappelijk Rapport WR 2009-1, 19 p
- Buishand, T.A. en J.B. Wijngaard** (2007) Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren; KNMI Technisch Rapport TR-295, 24 p
- Cressie, N.** (1991) Statistics for spatial data, John Wiley & Sons, New York, 900 p
- Droogers P.** (2009) Defenitiestudie: Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer; STOWA-rapport 11-2009
- Heijkers, J., M. Kallen en R. de Crook** (2011) Bouw van de Neerslagdatabank Midden-Nederland; In: H2O / 02 – 2011
- Hurk, B. van den, A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, W. Hazeleger en S. Drijfhout** (2006) KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands; KNMI Wetenschappelijk Rapport WR 2006-1, 82 p
- Marshall, J.S., W. Hirschfeld en K. Gunn** (1955) Advances in radar weather; Adv. Geophys., vol 2, 1–56
- Overeem, A., T.A. Buishand, I. Holleman en R. Uijlenhoet** (2010) Extreme value modeling of rainfall from weather radar, Water Resources Res., vol 46, doi: 10.1029/2009WR008517
- Schuurman, J.M. en P. Droogers** (2010) Penman-Monteith referentieverdamping: inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie; STOWA 2010-37, Amersfoort, xx p
- Sluijter, R.** (eindred.) (2011): De Bosatlas van het klimaat, Noordhoff uitgevers
- Smits, A., R. Versteeg, J. Wijngaard en M. Kok** (2004) Statistiek van extreme neerslag in Nederland; STOWA Rapport 2004-26, 115 p
- Versteeg, R., H.Hakvoort, S. Bosch en M.-J. Kallen** (2012) www.meteobase.nl, online-archief van neerslag- en verdampingsgegevens voor het waterbeheer; HKV-rapport PR2197, 38 p