



De relatie tussen neerslag en afvoer voor de Attert

MAURITS VOOGT, TU DELFT
IR. WILLEM LUXEMBURG, TU DELFT

In het stroomgebied van de Rijn stroomt in Luxemburg van west naar oost het riviertje de Attert. In de wintermaanden stijgt de waterstand in dit riviertje regelmatig zo hoog dat overlast ontstaat. Om die overlast te kunnen voorspellen en beperken is het zinvol de relatie tussen de neerslag in het stroomgebied van de Attert en de afvoer te kennen. Deze relatie wordt bepaald op een locatie bij Bissen.

Het stroomgebied van de Attert tussen de oorsprong en Bissen bedraagt ongeveer 280 km^2. Afbeelding 1 geeft het stroomgebied van de Attert weer. Tevens zijn de zes plaatsen aangegeven waar de neerslag op dagbasis gemeten wordt. Voor deze zes meetstations is een Thiessen-net geconstrueerd dat ook is afgebeeld. Te Reichlange wordt de neerslag op kwartierbasis gemeten. In Bissen wordt elk kwartier de waterstand gemeten en met behulp van de Q-h-relatie naar een debiet vertaald. Dit indirect gemeten debiet bestaat uit een basisafvoer die gevoed wordt door het grondwater en een afvoer die veroorzaakt wordt door de directe afvloeiing van de neerslag. Van de periode van 30 oktober 1998 tot en met 31 maart 2003 zijn de neerslag- en debietgegevens van voornoemde meetstations bekend. Tevens is van die periode de temperatuur op uurbasis bekend.

Maurits Voogt ontving in juni van dit jaar de afstudeerprijs BSc-Watermanagement voor het onderzoek naar de toepassing van de methode van de zogeheten eenheidsafvoergolf voor een deel van het stroomgebied van de Attert in Luxemburg. De prijs is ingesteld door de afdeling Watermanagement van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft met als tweeledig doel het stimuleren van studenten tot het leveren van prestaties van hoog academisch niveau én het bevorderen van de toepassing van de resultaten van de eindwerken in de beroepspraktijk.



Maurits Voogt ontving de bij de afstudeerprijs horende oorkonde uit handen van de voorzitter van de afdeling Watermanagement, prof.ir. Hans van Dijk.

Modelkeuze

Het modelleren van de relatie tussen neerslag en afvoer kan op vele manieren. De keuze is gevallen op de eenheidsafvoergolf ('unit hydrograph' of UH), omdat deze neerslag en afvoer direct aan elkaar relateert. Daardoor hoeft de heterogeniteit van het fysische stroomgebied niet expliciet te worden beschreven. De UH-methode gaat ervan uit dat een gestandaardiseerde neerslag een specifiek afvoergedrag in de tijd geeft. Verder gaat deze methode ervan uit dat op basis van lineaire relaties en superpositie het afvoergedrag van een complexe bui kan worden samengesteld uit de UH. In het algemeen wordt de eenheidsafvoergolf uit de waarnemingen van een complexe bui en het bijbehorende afvoergedrag bepaald. De UH-methode beschrijft alleen het afvoergedrag van de effectieve neerslag die snel tot afstroming komt, dus niet van de neerslag die via het grondwater als basisafvoer in de rivier komt.

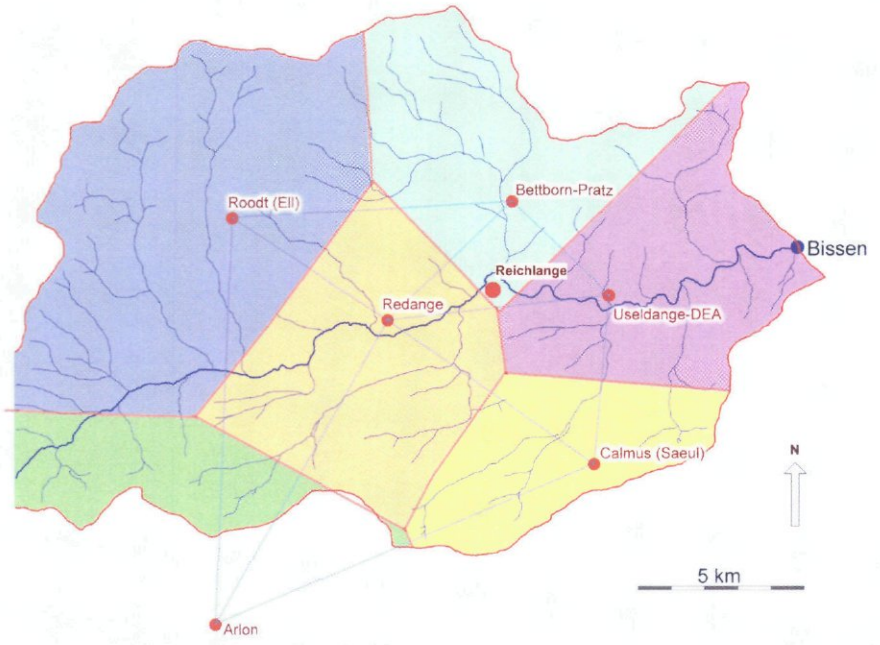
Aannamen

De run-off-coëfficiënt is de verhouding tussen de effectieve neerslag en de totale neerslag. In dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat deze coëfficiënt te allen tijde een vast percentage is. Deze aanname wordt gedaan, omdat dit in eerste instantie de eenvoudigste manier is om uit de neerslag- en afvoergegevens een eenheidsafvoergolf te modelleren. In werkelijkheid is de run-off-coëfficiënt onder meer afhankelijk van het vochtgehalte in de bodem. Bij aanhoudende neerslag zal de run-off-coëfficiënt toenemen.

Theorie en werkwijze

De effectieve neerslag die in het stroomgebied valt en direct afstroomt, geeft een afvoergolf die zich ongeveer binnen 24 uur afspeelt. Het is dus zinloos om neerslaggegevens op dagbasis te gebruiken voor de afleiding van de UH. Voor deze afleiding kan alleen een beroep gedaan worden op de metingen op kwartierbasis die te Reichlange gedaan zijn. Om tot een goede UH te komen wordt gerekend met neerslaggegevens uit Reichlange die representatief zijn voor de neerslag in het gehele gebied. Hiertoe worden de neerslaggegevens van Reichlange naar daggegevens geconverteerd en vergeleken met de gebiedsgemiddelde neerslag die met behulp van een Thiessen-net uit de overige zes meetstations is bepaald.

Het doel van het onderzoek is te komen tot een model dat de hoogwaters goed voorspelt. Hoogwaters komen normaliter voor in het voorjaar en najaar. In deze periode is het vocht-



Afb. 1: Het stroomgebied van de Attert met de plaatsen waar meetstations staan.

gehalte in de bodem hoog. Dat wordt veroorzaakt door de overvloedige neerslag. De te bepalen UH zal dan ook in het voorjaar bepaald worden. Verder is het van belang dat de temperatuur boven het vriespunt is, om uit te sluiten dat de neerslag in vaste vorm blijft liggen.

De eenheidsafvoergolf is te beschrijven met de volgende relatie: $Q = R * U$ waarin Q een vector is met de afvoer ten gevolge van directe run-off, R een matrix met de neerslag en U een vector met de UH.

Bij gegeven Q en R moet er een U bepaald worden. Deze kan worden bepaald volgens:

$$U = (R^T * R)^{-1} * R^T * Q$$

De neerslag- en afvoergegevens zijn in tijdstappen van verschillende duur geclusterd, waarna voor elke clusterduur een UH is afgeleid. De maximale waarde van de UH, ofwel de afvoerpiek, bleek acht uur na het begin van de bui voor te komen. Het is belangrijk dat deze in het model op de juiste plaats valt. Daarom is er voor eenheden van vier uur gekozen. Tevens is de aanname gedaan dat er 24 uur lang een verhoging van de afvoer is ten gevolge van de directe afstroming van de neerslag.

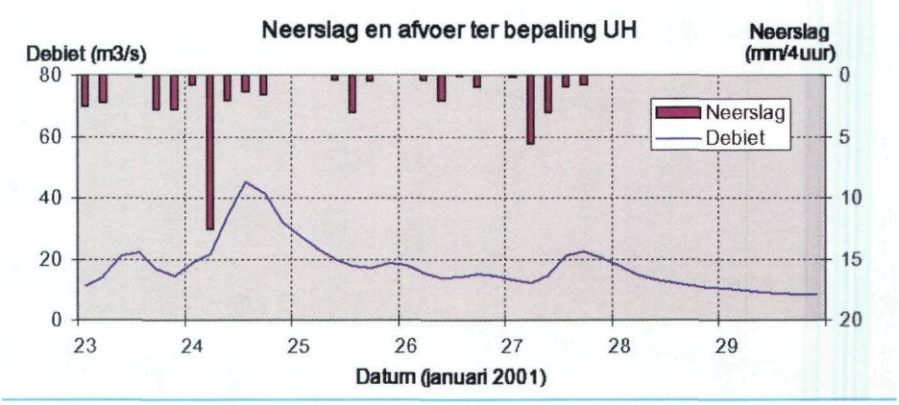
Gevonden model

Twee afvoergolven zijn geselecteerd, waarvoor geverifieerd is dat de voorafgaande neerslag in Reichlange representatief is voor de gebiedsgemiddelde neerslag. Hierbij is ook gelet op de temperatuur. Voor de twee afvoergolven is een UH bepaald. Aangezien het bestudeerde stroomgebied redelijk homogeen is, is de verwachting dat de UH snel stijgt naar een maximum waarna eerst een vrij snelle en later een langzamere afname plaatsvindt. De UH die uit berekening van de neerslag- en afvoergegevens van 23 tot 29 januari 2001 volgde, voldoet het beste aan deze verwachte vorm. In afbeelding 2 is de gebiedsneerslag en de afvoer in die tijdsspanne weergegeven. In afbeelding 3 is de gevonden UH die de afvoergolf voorstelt bij een gestandaardiseerde neerslag van één millimeter in vier uur geplot.

Validatie

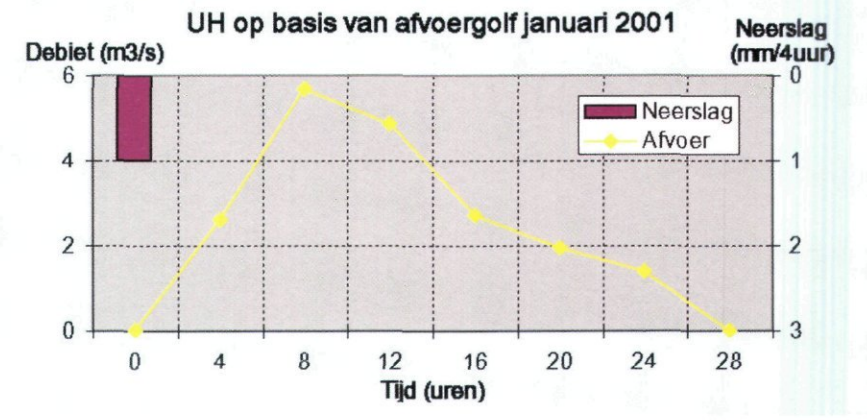
De gevonden UH is gevalideerd door deze toe te passen op de neerslaggegevens van 1999 en het berekende debiet visueel te vergelijken met het gemeten debiet. Het berekende debiet is het debiet dat veroorzaakt wordt door de directe afvloeiing van de neerslag. Het gemeten debiet behelst daarnaast ook de basisafvoer. Het gemeten debiet zal dus altijd hoger moeten zijn dan het berekende debiet. Uit de validatie volgt een aantal interessante plaatjes. Enkele daarvan worden getoond. Allereerst blijkt uit afbeelding 4 dat naarmate de neerslag aanhoudt, de afvoergolf ten gevolge van buien van nagenoeg gelijk volume hoger ligt. Dit betekent dat de hoeveelheid effectieve neerslag geen vast percentage van de totale neerslag is, maar dat de run-off-coëfficiënt bij aanhoudende neerslag toeneemt. Het bestaan van dit verschijnsel was op voorhand verwacht.

Afbeelding 5 geeft de berekende en gemeten afvoer in een periode van neerslag bij vorst. De neerslag vloeit niet direct af, maar blijft liggen in vaste vorm. De verhoging in het gemeten debiet nadat de dooi is ingetreden, verloopt



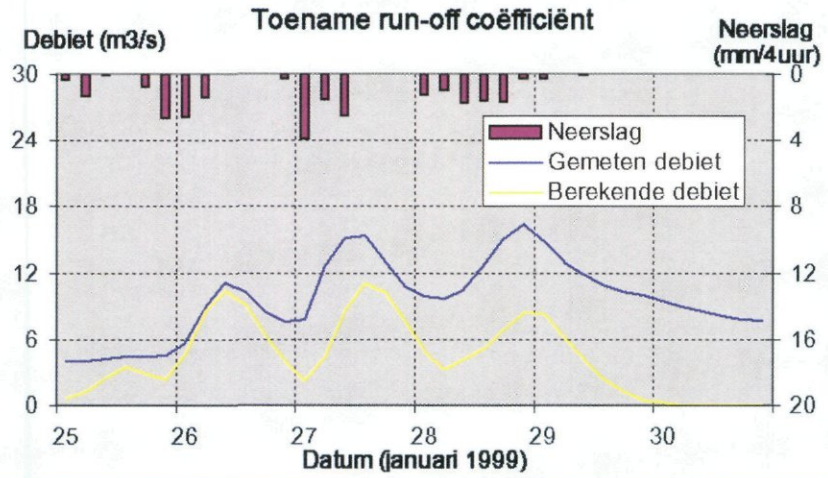
Afb. 2: Gebiedsneerslag en afvoer waaruit de eenheidsafvoergolf is bepaald.

Afb. 3: De UH op basis van een afvoergolf in januari 2001.

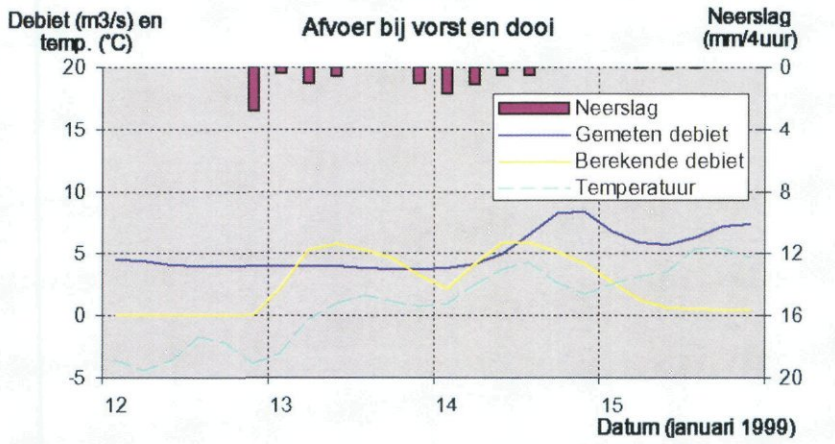


veel geleidelijker en is veel minder hoog dan bij de afvoer ten gevolge van directe run-off. Als tegelijkertijd neerslag valt en dooi intreedt, kunnen veel hogere afvoeren voorkomen dan uit de relatie tussen neerslag en afvoer bepaald is. Dit wordt veroorzaakt doordat de invloed van de temperatuur op de directe afvloeiing niet in het model is opgenomen.

Interessant is het om de gevonden eenheidsafvoergolf in de zomer toe te passen. In afbeelding 6 is te zien dat de afvoer gedurende warme, droge zomermaanden veel lager is dan de berekende afvoer. Een groot deel van de neerslag infiltreert dan. Tevens is de invloed van interceptie, evaporatie en transpiratie in de zomer veel groter dan in de winter.

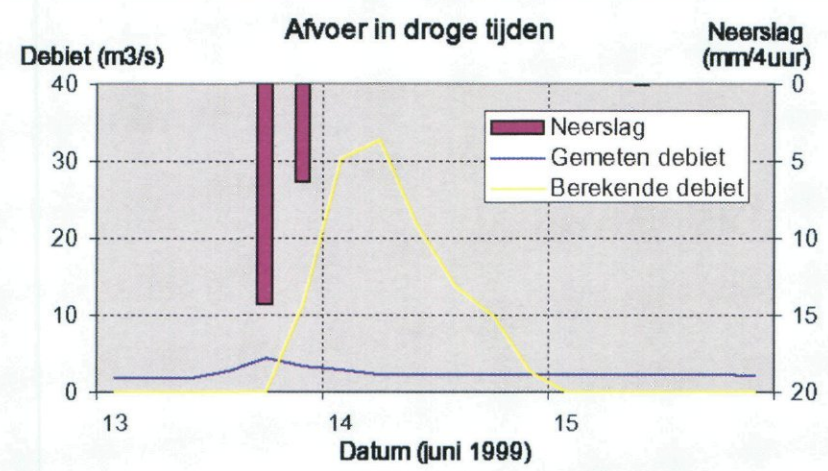


Afb. 4: Naarmate de bodem als gevolg van opeenvolgende buien meer verzadigd is, neemt de run-off-coëfficiënt toe.



Afb. 5: Neerslag die bij vorst valt, blijft in vaste vorm liggen en komt pas bij dooi tot afstroming.

Afb. 6: In de zomermaanden is de bodem uitgedroogd en is de run-off-coëfficiënt dus zeer laag. Het feit dat de gemeten afvoerpiek eerder plaatsvindt dan de berekende afvoerpiek, valt te verklaren uit de gebiedsheterogeniteit van de neerslag.



Conclusie en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek was een model voor de relatie tussen neerslag en afvoer te vinden dat in perioden van hoogwaters de afvoer voorspelt. Met de gevonden eenheidsafvoergolf kan in natte perioden de verhoging van de afvoer in de Attert bij Bissen als gevolg van de directe afvloeiing van de neerslag berekend worden. De run-off-coëfficiënt dient daartoe op 32 procent gesteld te worden. In drogere perioden stroomt er minder dan 32 procent af. Tevens is duidelijk geworden dat de run-off-coëfficiënt afhankelijk is van de hoeveelheid neerslag die recentelijk gevallen is en dat men rekening dient te houden met de effecten van vorst en dooi.

De volgende aanbevelingen worden gedaan om tot een beter model te komen en om meer inzicht in de relatie tussen neerslag en afvoer te krijgen:

- De verzadigingsgraad van de bodem bepaalt voor een groot deel de run-off-coëfficiënt. Door de verzadigingsgraad te meten en in het model te implementeren, kan een nauwkeuriger verwachting worden gegeven voor het debiet;
- De neerslag in Reichlange is niet altijd representatief voor de neerslag in het gehele stroomgebied. Door neerslagdata van de overige meetstations met een kleiner tijdsinterval te gebruiken kan de eenheidsafvoergolf uit de gebiedsgemiddelde neerslag en het bijbehorende afvoergedrag bepaald worden. Dit zal een nauwkeuriger model opleveren;
- Het kan nuttig zijn om de looptijd van de eenheidsafvoergolf beter te onderzoeken. De aanname dat de looptijd 24 uur bedraagt, is in dit onderzoek niet geverifieerd. Het is goed mogelijk dat de werkelijke looptijd korter of langer is.