

## **Methode-Willems voor toetsing aan wateroverlastnormen NBW**

*Herman Mondeel (Witteveen+Bos), Kees Peerdeman (waterschap Brabantse Delta), Jos Moorman (waterschap Aa en Maas), Wim Mantje (Witteveen+Bos)*

Waterschap Brabantse Delta en waterschap Aa en Maas hebben in 2014 een nieuwe ronde van toetsing aan de NBW-inundatienormen afgerond. Bij de toetsing hebben beide waterschappen gebruik gemaakt van een voor Nederland nieuwe methode, die uitgaat van maatgevende afvoeren op basis van compositiehydrogrammen, ook wel methode-Willems genoemd. Deze methode bestaat uit een aantal (statistische) analysestappen om te komen tot een afvoerduurlijn of samengesteld hydrogram voor de afvoer bij verschillende herhalingstijden. De methode leidt tot goede resultaten, met name in vrij afwaterend gebied. Voor poldergebieden zijn de resultaten wisselend en afhankelijk van beschikbare debietmetingen en sturing in het systeem.

Waterschap Brabantse Delta en waterschap Aa en Maas hebben in 2014 de derde ronde van de NBW-toetsing op regionale wateroverlast afgerond. Naast de voorbereiding op de nieuwe plantermijn voor het waterbeheerplan waren ontwikkelingen in basisgegevens en methoden daarvoor een belangrijke aanleiding. Zowel beleidsmatig als inhoudelijk moesten nog wel de nodige keuzes worden gemaakt. In twee artikelen gaan wij in op de ervaringen met de toetsing. In dit eerste artikel komt de toegepaste methode, de methode-Willems, aan de orde en in het tweede artikel de beleidsmatige aspecten.

### **Methode-Willems**

De Brabantse waterschappen hebben sinds 2009 ervaring opgedaan met de Methode-Willems. Bij de stochasten- en tijdreeksmethode die traditioneel worden toegepast bij de NBW-toetsing, wordt de overschrijdingskans bepaald op grond van piekwaterstanden. Bij de methode-Willems wordt de kans op overstroming bepaald op grond van piekafvoeren. De essentie van de methode-Willems is dat op basis van (gemeten of met een neerslag-afvoer-model berekende) langjarige afvoerreksen compositiehydrogrammen worden afgeleid. Een compositiehydrogram is een afvoerduurlijn behorende bij een bepaalde herhalingstijd. Na het afleiden van compositiehydrogrammen voor verschillende herhalingstijden hoeft met het hydraulisch model slechts één berekening per herhalingstijd te worden gemaakt.

Het voordeel van deze werkwijze is dat de inundatiekans voor elk deel van een stroomgebied bij de relevante duur (de concentratietijd van het betreffende deel) wordt bepaald. Alleen voor heel lokale toepassingen binnen en rondom stedelijk gebied gaat dit niet op, omdat de afvoerpieken op stroomgebiedsschaal worden geselecteerd.

Het bijzondere van de methode is dat deze uitgaat van de zuivere afvoer. Dit is de niet afgevlakte en niet vertraagde afvoer zonder de invloed van overstromingen, routing en sturing. De zuivere afvoer is een eigenschap van een hydrologisch systeem die in principe niet wordt

beïnvloed door technische ingrepen en sturing. Dit voorkomt dat extreme afvoerpieken worden over- of onderschat, wat van groot belang is bij het ontwerp van maatregelen.

Bij de NBW-toetsing volgens de methode-Willems zijn 14 werkstappen uitgevoerd, die in afbeelding 1 zijn weergegeven. Op hoofdlijnen zijn deze stappen in 3 trappen te groeperen:

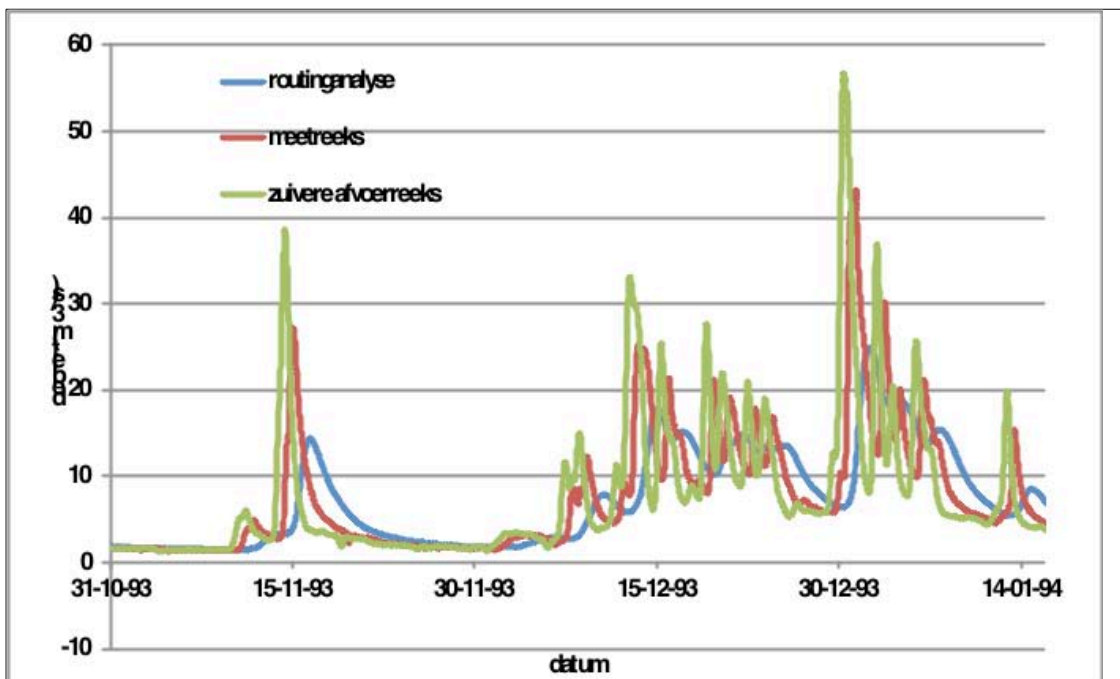
1. bepalen zuivere afvoer van het stroomgebied (1-4)
2. opstellen compositiehydrogrammen die de afvoer in relatie tot de duur aangeven voor verschillende herhalingstijden (5-7)
3. doorrekenen hydraulisch model met compositiehydrogrammen en uitvoeren NBW-toetsing (8-14)



Afbeelding 1. Werkstappen NBW-toetsing volgens de methode-Willems

### Ad 1. Bepalen zuivere afvoer van het stroomgebied

De eerste stap is het bepalen van de zuivere afvoer van de verschillende stroomgebieden. De zuivere afvoer (door Willems 'equivalente reeks van afstromingsdebieten' genoemd) is de afvoer die op natuurlijke wijze tot afstroming komt in het afwateringsstelsel. Om de zuivere afvoer af te leiden worden debietmetingen en een hydraulisch model gebruikt. De debietreeksen zijn hierbij geanalyseerd op consistentie en betrouwbaarheid. De gemeten debietreeks is de registratie van de afvoer van de neerslag in het stroomgebied, zoals die door sturing, lozingen, kwel en infiltratie en hydraulische effecten (routing, opstuwung en overstroming) in het watersysteem veranderd is. Daarom is een routinganalyse uitgevoerd om de routing in het systeem te bepalen. Afbeelding 2 geeft een voorbeeld. De routinganalyse is uitgevoerd door een winterhalfjaar uit de meetreeks (rode lijn) ruimtelijk verdeeld aan het hydraulische model in Sobek op te leggen en de afvoer bij het meetpunt te berekenen (blauwe lijn). Het verschil tussen de twee lijnen is het effect van de routing. Het effect is dat pieken uitdempen en er een vertraging optreedt van de piekenafvoeren.



Afbeelding 2. Voorbeeld routinganalyse Aa of Weerij

De routing die berekend is, is gebruikt om de zuivere afvoerreeksen op te stellen. Immers, de gemeten afvoerreeks dient gecorrigeerd te worden voor de routing en hydraulische effecten. Hiervoor is een conceptueel model opgesteld, bestaande uit één of meerdere lineaire reservoirs. Uit het conceptuele model is een transferfunctie afgeleid [1]. Deze transferfunctie geeft de routing weer. De inverse van de transferfunctie opgelegd aan de debietmeetreeks levert de zuivere afvoerreeks op (groene lijn in afbeelding 2).

Er is ongeveer 1 debietmeetpunt per stroomgebied (met een oppervlak van ongeveer 5.000 ha); dit betekent dat er ook alleen per stroomgebied een zuivere afvoerreeks opgesteld is.

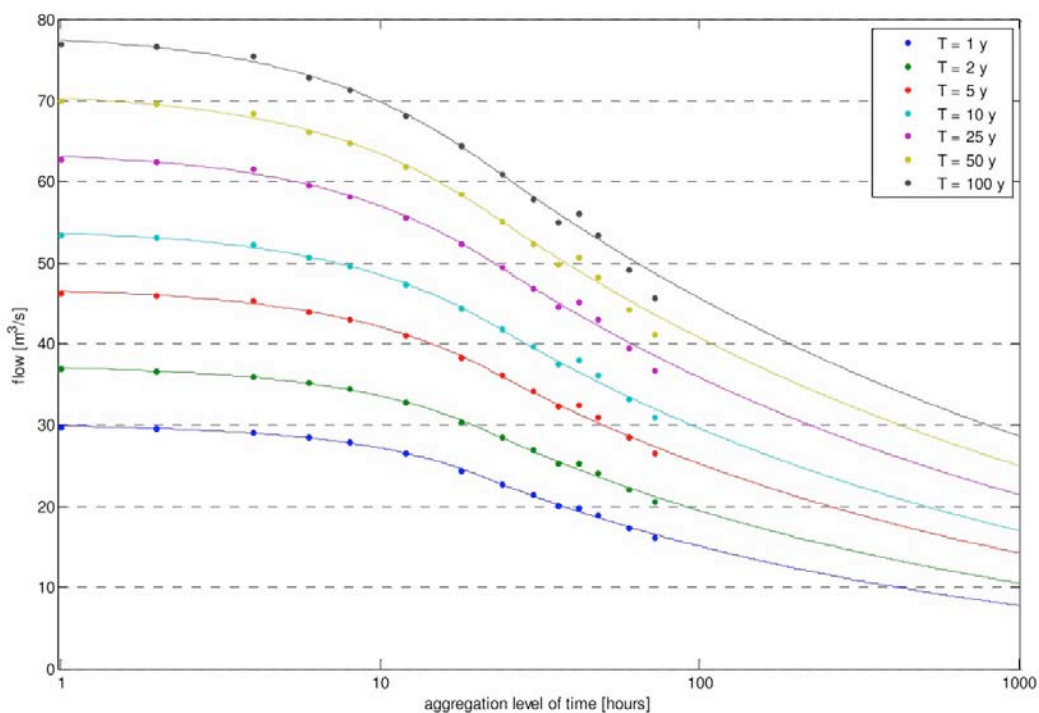
## Ad 2. Opstellen compositiehydrogrammen

Vervolgens is per stroomgebied een neerslag-afvoer-model opgesteld voor vrij afwaterend gebied (Sacramento) en voor de polders (Ernst+CAPSIM). Hierbij is het gehele stroomgebied als 1 bakje gemodelleerd, aangezien er maar 1 meetpunt is per stroomgebied. Dit model is vervolgens gekalibreerd en gevalideerd op de zuivere afvoerreeks. Bij de kalibratie en validatie ging bijzondere aandacht uit naar alle onafhankelijke extreme afvoergebeurtenissen.

Vervolgens is het neerslag-afvoer-model doorgerekend met de 100-jarige neerslagreeks van De Bilt (voor Noord-Brabant hoeft geen gebiedscorrectiefactor toegepast te worden), resulterend in een 100-jarige afvoerreeks. Op deze berekende 100-jarige afvoerreeks is vervolgens een extreme-waarden-analyse (EWA) uitgevoerd. Deze is vergeleken met de EWA van de zuivere afvoerreeks (bewerking van de meetreeks). Dit vormt daarmee na de validatie van het neerslagafvoermodel de tweede controle.

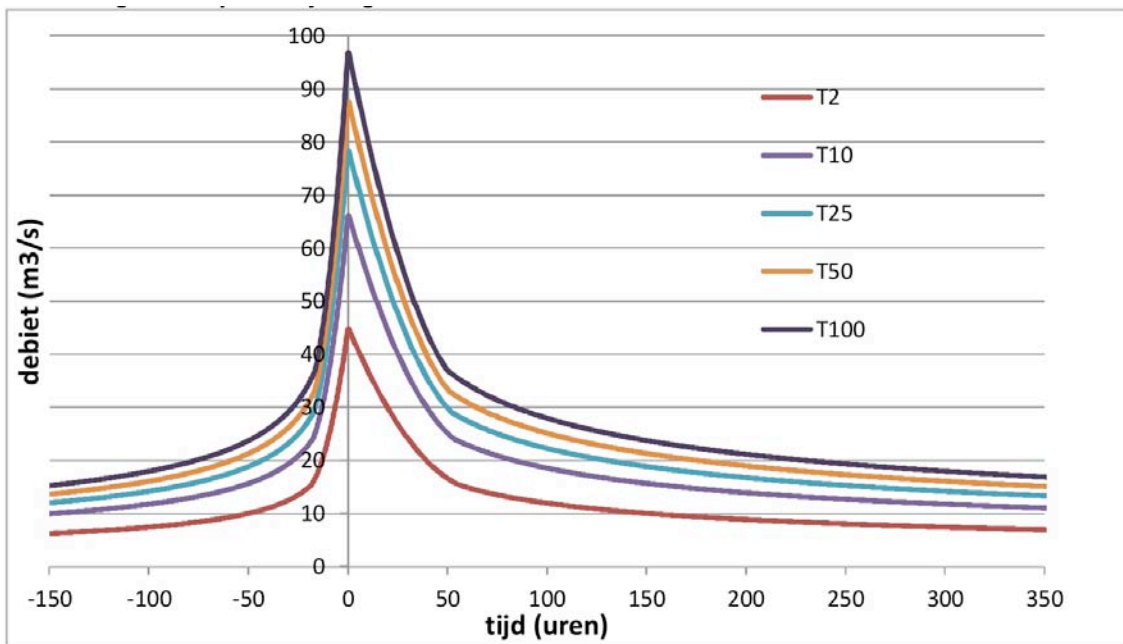
Belangrijk bij EWA is dat alleen pieken meegenomen worden die hydrologisch onafhankelijk zijn. Hiervoor geldt het criterium dat tussen twee opeenvolgende pieken het laagste debiet is gedaald tot nagenoeg de basisafvoer.

Op basis van de EWA zijn de piekdebieten voor verschillende herhalingstijden bepaald en voor verschillende tijdsduren (aggregatieniveaus) uitgevoerd. Dit resulteert in Discharge Duration Frequency (QDF)-verbanden. Hierdoor is niet alleen het piekdebet voor bijvoorbeeld de T5 berekend (47 m<sup>3</sup>/s in afbeelding 3), maar dus ook de gemiddelde afvoer voor een periode van bijvoorbeeld 10 uur voor T5 (42 m<sup>3</sup>/s in afbeelding 3).



Afbeelding 3. QDF-verbanden voor de Aa of Weerij

Op basis van de piekdebieten en de QDF-verbanden worden de compositiehydrogrammen opgesteld. Het compositiehydrogram is een afvoer-duurrelatie, waarvan de herhalingstijd gelijk is voor elke tijdsduur van het compositiehydrogram (zie afbeelding 4). Dit betekent dat het compositiehydrogram van bijvoorbeeld de T100 gebruikt kan worden voor het doorrekenen van zowel een T100 van een korte periode (bijvoorbeeld 1 dag) als voor een langere periode, bijvoorbeeld 10 dagen.



**Afbeelding 4. Compositiehydrogrammen voor de Bovenmark**

De compositiehydrogrammen worden afgeleid per deelstroomgebied, waarvoor verondersteld kan worden dat de neerslagafstroming bij benadering uniform is. Aangezien de compositiehydrogrammen kunstmatig en per deelstroomgebied opgesteld zijn, dient een juiste tijdsverschuiving toegepast te worden bij de samenkomst van stroomgebieden. Op zo'n punt van samenkomst kunnen de afvoerpieken van twee of meer stroomgebieden meer of minder samenvallen. De tijdsverschuiving wordt in eerste instantie gebaseerd op het verschil in afstromingstijd tussen de verschillende deelstroomgebieden. Het kan nodig zijn om een bijkomende tijdsverschuiving toe te passen, om rekening te houden met neerslagafstroming uit nabijgelegen deelstroomgebieden.

### **Ad 3. Doorrekenen hydraulisch model met compositiehydrogrammen en uitvoeren NBW-toetsing**

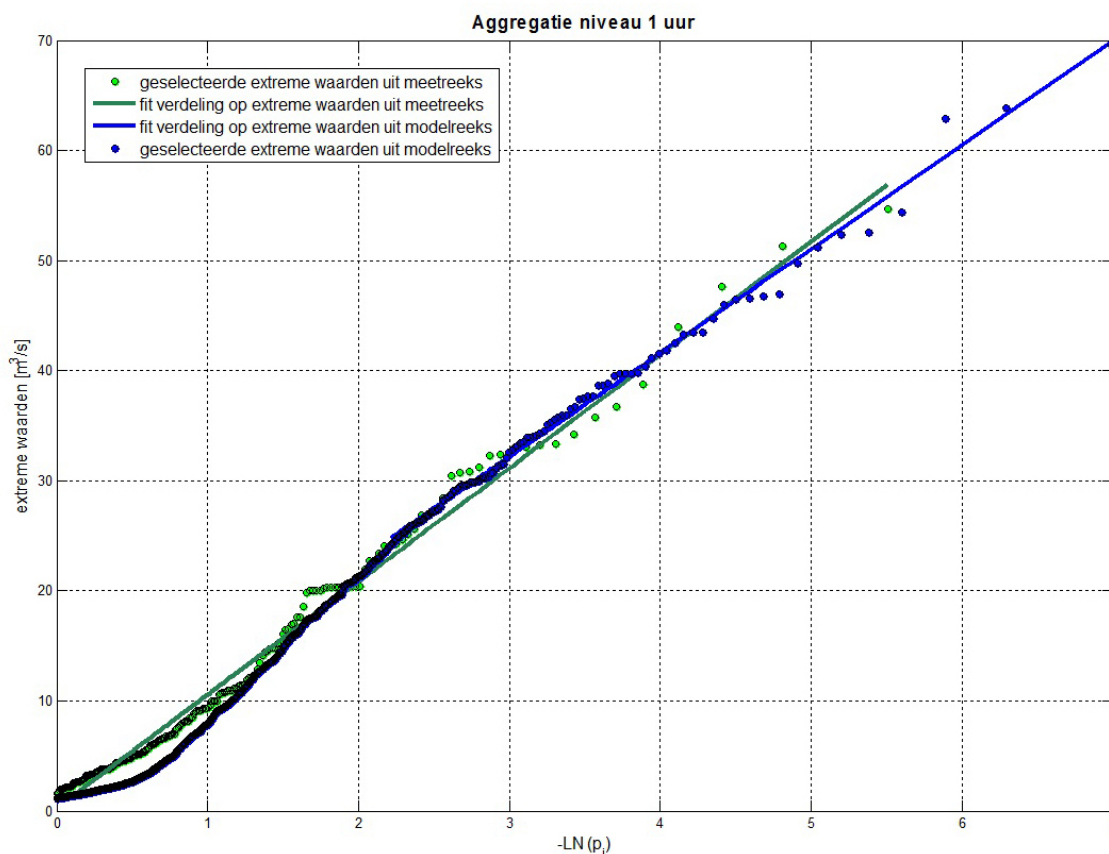
De compositiehydrogrammen zijn vervolgens ruimtelijk verdeeld aan het hydraulische model opgelegd. Hierbij is het compositiehydrogram van het stroomgebied niet alleen verdeeld naar rato van oppervlak, maar ook op basis van de afvoerfactoren, afgeleid door Alterra bij het opstellen van de grondwaterdynamiekaart. De hiervoor bij waterschap Aa en Maas

ontwikkelde verdeelsleutel zorgt ervoor dat lokale verschillen in afwatering expliciet worden meegenomen. Hierdoor heeft bijvoorbeeld een gebied van 100 ha met een hoge grondwatertrap een hogere afvoer dan 100 ha met een lage grondwatertrap. Daarna is het model doorgerekend voor verschillende herhalingstijden en de bodemruwheid gekalibreerd op basis van waterstandsmetingen. Met de uiteindelijke modellen is de NBW-toetsing uitgevoerd.

### Ervaringen met methode-Willems

De methode-Willems kent veel werkstappen. Een aantal werkstappen is echter geautomatiseerd, waardoor deze snel doorlopen kunnen worden. Groot voordeel is de analyse van de zuivere afvoerreeks. Dit maakt het mogelijk om het hydraulische model los te koppelen van het neerslag-afvoer-model. Hierdoor kan snel en eenvoudig het neerslag-afvoer-model (1 bakje per stroomgebied) opgesteld en gekalibreerd worden. Ook kan zo snel en eenvoudig een 100-jarige reeks doorgerekend worden.

De methode biedt extra zekerheid, doordat er op drie momenten gevalideerd wordt aan de meetreeks. Naast de gebruikelijke validatie van het neerslag-afvoer-model, wordt de extreme-waarden-analyse (EWA) van een berekende afvoerreeks vergeleken met de EWA van de meetreeks. Afbeelding 5 laat hiervan een voorbeeld zien. In het voorbeeld is te zien dat voor de grotere herhalingstijden de gemeten en berekende afvoeren goed met elkaar overeenkomen. De derde validatie betreft de vergelijking van berekende en gemeten waterstanden: de berekende waarden voor extreme waterstanden en inundatie komen overeen met metingen en worden herkend door de gebiedskenners.

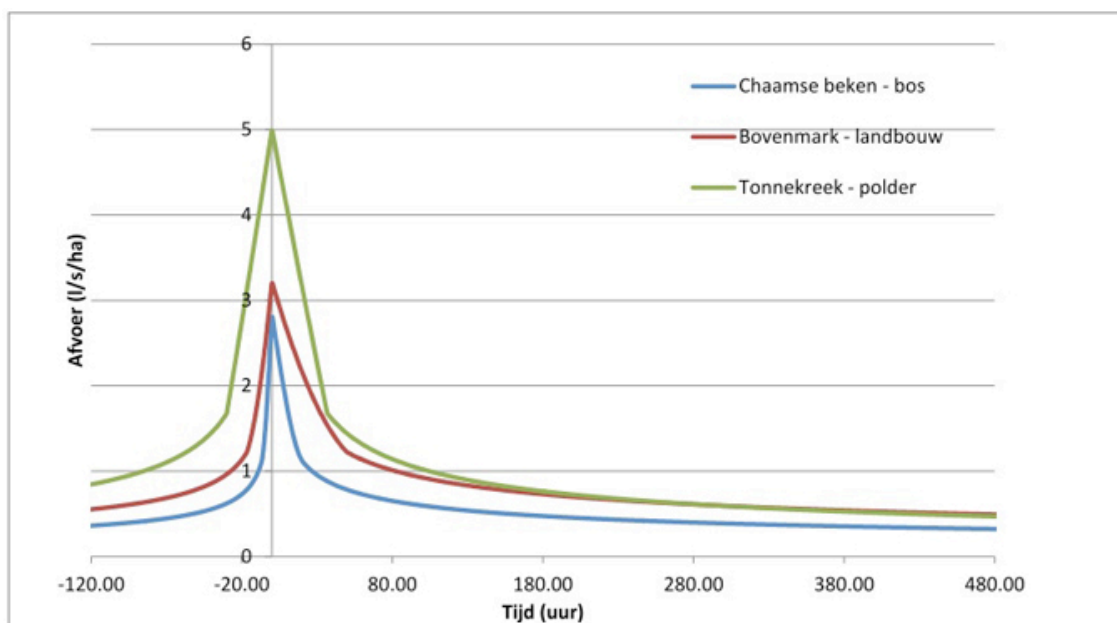


**Afbeelding 5. Voorbeeld vergelijking EWA meting (groen) en berekening (blauw)**

Een ander voordeel is dat de zuivere afvoer een zeer constante gebiedskarakteristiek is. Relevant hierbij is dat het gaat om de natuurlijke afstroming van een gebied, in dit artikel zuivere afvoer genoemd. Pas wanneer grootschalig de ontwatering van een gebied wordt aangepast verandert de afvoer karakteristiek van een gebied substantieel. De composiethydrogrammen zullen dus voor lange tijd toepasbaar zijn. Voor het berekenen van de piekwaterstanden bij een bepaalde herhalingstijd kan voor verschillende (maat-regel)varianten hetzelfde composiethydrogram worden doorgerekend. Bij de stochasten- en tijdreeksmethode moet bij elke variant de overschrijdingskans opnieuw worden afgeleid.

### **Niet bemeten stroomgebieden**

Bij enkele stroomgebieden zijn geen (goede) debietmetingen beschikbaar. Hiervoor zijn composiethydrogrammen van gebieden toegepast met vergelijkbare hydrologische karakteristieken, zoals landgebruik, bodemeigenschappen en maaiveldverloop. In afbeelding 6 zijn 3 composiethydrogrammen van verschillende gebieden vergeleken. De polder heeft zoals verwacht een grotere afvoerintensiteit dan de twee vrij afwaterende gebieden (Chaamse beken en Bovenmark). Van deze laatste twee heeft de Bovenmark, een omvangrijk stroomgebied met meer landbouw, een grotere en meer afgevlakte afvoerintensiteit dan Chaamse beken, een compact stroomgebied waar de helling groter is en leemlagen aanwezig zijn.

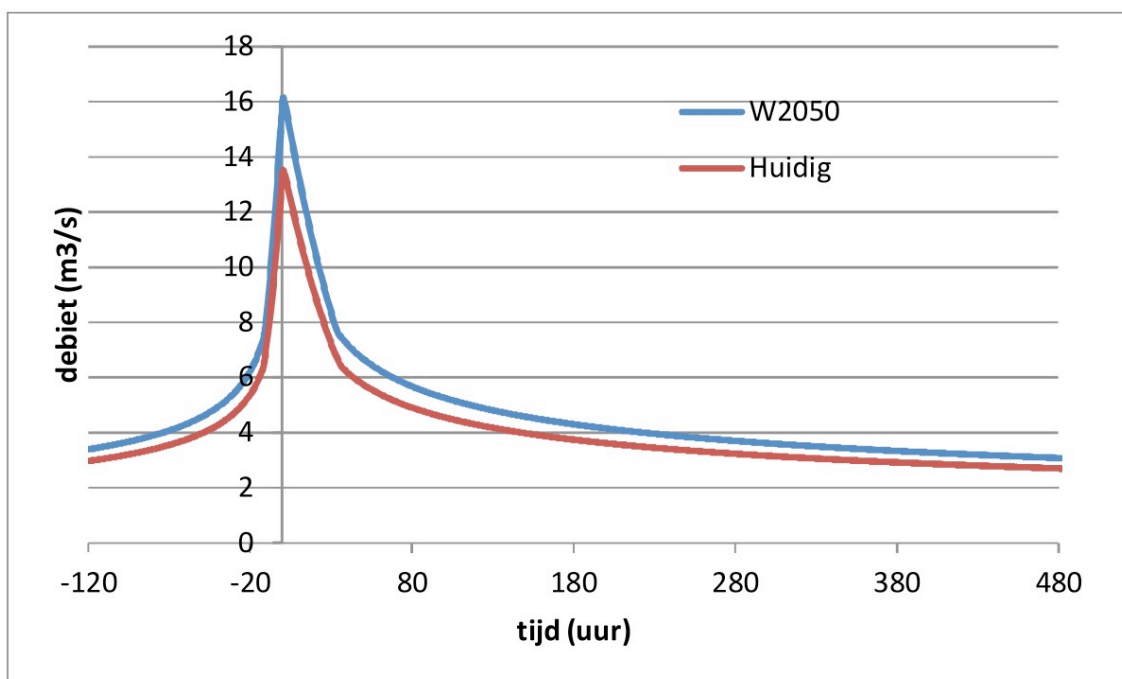


**Afbeelding 6. Composiethydrogrammen T100**

Composiethydrogrammen van andere gebieden bleken redelijk goed toepasbaar in onbemeten gebieden. Dit bleek uit de vergelijking van de berekende waterstanden bij T2 en T10 met de gemeten waterstanden bij dezelfde herhalingstijden, alsmede de herkenning van inundatiepatronen door gebiedskenners. Voor enkele gebieden is wel het composiethydrogram aangepast (met een factor vermenigvuldigd) op basis van vergelijking met waterstandsmetingen en berekende inundaties.

### **Klimaatverandering en generieke maatregelen**

Om de effecten van klimaatverandering en generieke maatregelen – zoals water vasthouden – door te rekenen, zijn de compositiehydrogrammen verschaald. Zo zijn voor alle gebieden voor alle herhalingstijden de compositiehydrogrammen voor klimaatscenario W2050 opgesteld. Voor een aantal vrij afwaterende gebieden zijn ook compositiehydrogrammen opgesteld die water vasthouden in de haarvaten simuleren.



**Afbeelding 7. Compositiehydrogram T100 huidig en W2050**

### **Poldergebieden**

Aandachtspunt zijn de poldergebieden. De methode-Willems gaat uit van vrij afwaterende, natuurlijke systemen, waarbij de waterstand op de benedenstroomse begrenzing gecorreleerd is met de afvoer. In de meeste polders wordt de afvoer gelimiteerd door de gemaalafvoer. Dit is ondervangen door gebruik te maken van één debietmeetpunt bij een stuw in een poldergebied. Op basis van dit meetpunt zijn compositiehydrogrammen opgesteld, die toegepast zijn voor alle polders binnen het beheergebied, in enkele gevallen vermenigvuldigd met een factor om het beter in overeenstemming met waterstandsmetingen te krijgen. De generieke toepassing van het ‘polder-compositiehydrogram’ brengt uiteraard een onnauwkeurigheid met zich mee.

### **Stedelijk gebied**

In stedelijk gebied is een ander type buien maatgevend. Dit betekent dat voor stedelijk gebied er andere compositiehydrogrammen opgesteld moeten worden, die de zomerse piekbuien representeren. In de stedelijke gebieden waren er echter onvoldoende goede metingen beschikbaar om aparte compositiehydrogrammen op te stellen. Een alternatieve methode



bestaat erin de stedelijke neerslagafvoer via een model in te schatten (bijvoorbeeld rioleringsmodel), en daarmee compositiehydrogrammen voor stedelijk gebied af te leiden.

### ***Afleiden zuivere afvoerreeks***

De zuivere afvoerreeks is bepaald door middel van een routinganalyse. De routinganalyse is uitgevoerd voordat het model is gekalibreerd op de weerstand van waterlopen. Bij grote aanpassingen van het hydraulische model dient de routinganalyse opnieuw gedaan te worden, net als alle vervolgstappen. Het is daarom van belang voldoende aandacht aan de schematisatie van het hydraulisch model te besteden.

### **Conclusie**

De methode-Willems is met succes toegepast voor de beheergebieden van waterschap Brabantse Delta en waterschap Aa en Maas. Met name in de vrij afwaterende (natuurlijke) gebieden heeft de methode betrouwbare overstromingsberekeningen opgeleverd, die goed overeenkomen met metingen en herkend worden door beheerders. Dit komt onder meer doordat bij de methode de zuivere afvoer (de niet afgevlakte en niet vertraagde afvoer, zonder de invloed van routing) centraal staat. Het voordeel van de zuivere afvoer als uitgangspunt is dat het de kalibratie vereenvoudigt en de kans op over- of onderschatting van de afvoer vermindert.

Daarnaast wordt er expliciet en op meerdere momenten in het proces gebruikt gemaakt van de meetreeksen, namelijk bij de kalibratie van het neerslag-afvoer-model, de validatie van de extreme-waarden-analyse en de validatie van de berekende piekwaterstanden.

De methode is stapsgewijs en inzichtelijk. Na afronding van de statistische analyse kunnen eenvoudig hydraulische berekeningen met verschillende varianten worden uitgevoerd. Het grote voordeel van de methode is dat het watersysteem getoetst kan worden met één modelsimulatie per herhalings-tijd. De methode combineert daardoor optimaal de tijdreeks- en de stochastenmethode.

Het enige aandachtspunt van de methode is de toepasbaarheid op poldergebieden en stedelijk gebied. De methode-Willems gaat namelijk uit van een 'natuurlijk' systeem waar de zuivere afvoer niet beïnvloed wordt door de waterstand. In polders is hiervan geen sprake. Daarnaast ontbreken voor polders vaak geschikte afvoermetingen, onder meer omdat bij gemalen de maximale afvoer beperkt wordt door de gemaalcapaciteit.

***Wij bedanken Patrick Willems (KU Leuven) voor zijn adviezen bij de toepassing van de methode en zijn opmerkingen bij de conceptteksten van dit artikel.***

### **Literatuur**

1. Willems, P. (2013). Waterloopmodellering. Acco: Leuven.
2. Witteveen+Bos (2014). Toetsing Wateroverlast, inzicht in de kans op inundatie vanuit waterlopen en de effectiviteit van maatregelen - achtergrondrapport.