

---

# Onzekere Debietschattingen

Martin Mulder & Peter Schipper<sup>1</sup>  
Edwin Jongman & Joost Heijkers<sup>2</sup>

---

## Samenvatting

De meest fundamentele en daarmee belangrijkste activiteit van hydrologen is het opstellen van waterbalansen. Immers, waterbalansen vormen het hart van elke water-systeemanalyse, inclusief het ontwikkelen, kalibreren en valideren van modellen. Naast de neerslag en verdamping vormen de aan- en afvoer van oppervlaktewater de belangrijkste componenten van de Nederlandse waterbalans. Die worden indirect afgeleid uit metingen bij klepstuwen, afsluiters, pompgemalen e.d. In dit artikel gaan wij in op de vraag hoe accuraat met zulke meetmethodes de debieten aan- en afvoeren in de praktijk kunnen worden geschat en hoe dit verbeterd kan worden. Wij concluderen dat de onzekerheden groot zijn en dat er veel te verbeteren is over het gehele traject: het uitvoeren van de metingen, het ijken van de formules van de meetopstellingen met alternatieve meetmethodes, de opslag en verwerking van de ruwe meetdata naar debieten en het kwantificeren van onzekerheden daarin.

## Inleiding

Inzicht in de aan- en afvoer van oppervlaktewater is essentieel voor het opstellen van water- en stofbalansen, de analyse van het watersysteem in droge, natte en gemiddelde tijden, en voor het kalibreren van grond- en oppervlaktewatermodellen.

Verkeerd ingeschatte debieten kunnen op vele wijzen hun weerslag hebben op projecten en trajecten, die niet alleen inhoudelijk-onderzoeksmatig van aard zijn, maar ook beleidsmatig en operationeel:

1. Onvoldoende inzicht in de watervraag, van belang voor de regionale en landelijke watertekortstudies;
2. Onvoldoende inzicht op de wateraanvoer, lekverliezen, illegale onttrekkingen en dergelijke ten behoeve van het operationele beheer;
3. Geen goed zicht op piekafvoeren en dus ook niet op benodigde berging, hetgeen belangrijk is voor de uitwerking van het NBW beleid.

Het bepalen van de debieten op basis van metingen is een vak apart, genaamd hydrometrie (Boiten (2008a), Boiten (2008b), Heijkers (2009)). In dit artikel proberen we op inzichtelijke wijze informatie te verschaffen over de foutenbronnen binnen het schattingsproces en de wijze waarop die leiden tot onzekere debietschattingen.

---

<sup>1</sup> WUR-Alterra

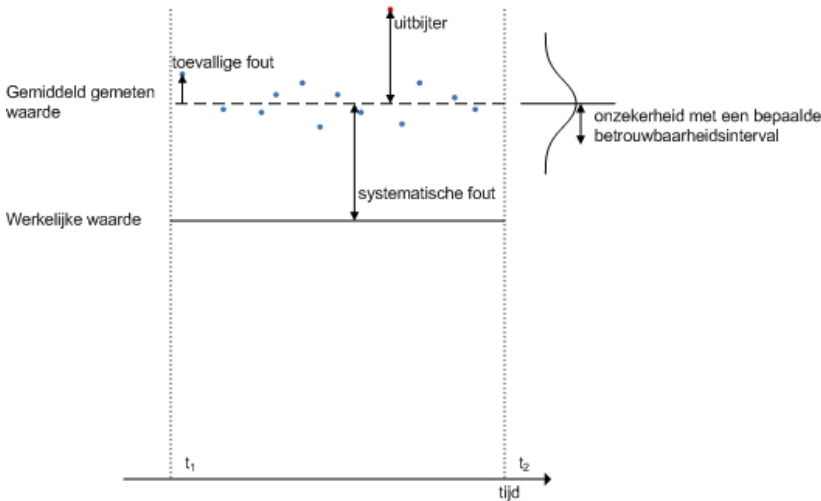
<sup>2</sup> Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

We zullen geen poging doen om alle methoden en technieken te behandelen waarmee debieten in open waterlopen worden geschat een dergelijk overzicht wordt namelijk al gegeven in (Hartong e.a., 2009). Wel verschaffen we cijfermatige inzichten in de nauwkeurigheden die kunnen worden gehaald bij enkele door ons geanalyseerde kunstwerken en daar gemeten tijdsreeksen en trekken op basis daarvan onze conclusies. Dit artikel is voor een belangrijk deel gebaseerd op enkele studies die door Alterra (Mulder e.a., 2009, Walvoort e.a., 2010) recent zijn uitgevoerd en Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) die deze kennis benut in hun meetmethodes en de verwerking en interpretatie van de data.

### Fouten bij het afleiden van debieten

Het is van belang om te beseffen dat alle debieten, zowel bepaald met incidentele als continue methoden, indirecte meetmethoden zijn. Dit is tegenstelling tot het meten van b.v. waterstanden. Een debietbepaling geeft een schatting van het werkelijke debiet dat heeft plaatsgevonden op een bepaalde locatie en tijd. De meetfout die gemaakt wordt bij een afzonderlijke debietmeting is het verschil tussen de schatting en het werkelijke debiet. De meetfout ontstaat doordat de meetwaarde niet goed wordt gemeten of doorgegeven (b.v. waterstand bij een klepstuw) of doordat de vertaling van de meetwaarde naar het debiet niet ideaal is. In het algemeen is de totale meetfout opgebouwd uit drie typen fouten (zie ook afbeelding 1):

- Toevallige fouten;
- Systematische fouten;
- Uitbijters.

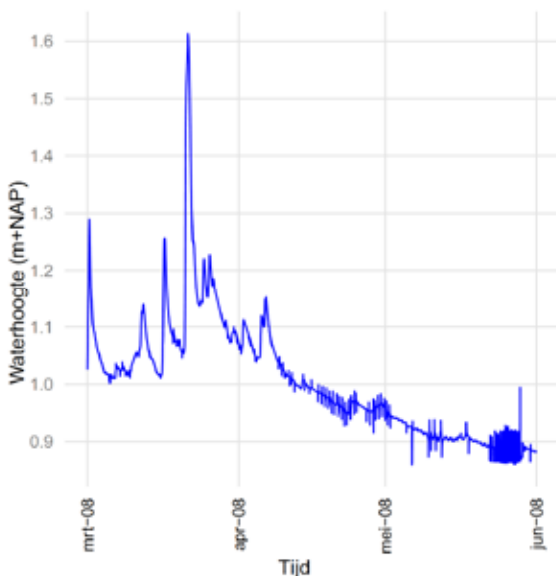


**Afbeelding 1:** Illustratie van typen fouten (Bos, 1989).

### Toevallige fouten

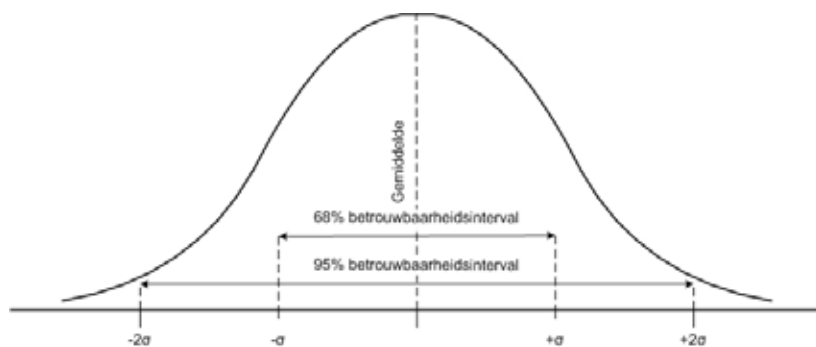
Toevallige fouten zijn fouten die iets zeggen over de reproduceerbaarheid van de meting. Een toevallige fout is altijd aanwezig. Bij herhaling van een experiment is de

fout over het algemeen anders van grootte en/of richting. Die verandering wordt in dit geval geheel door het toeval bepaald. Een toevallige fout kan veroorzaakt worden door bijvoorbeeld ongevoeligheden van meetapparatuur bij het bepalen van de waterhoogte. Afbeelding 2 illustreert, vanaf half april, een toenemende meetfout die optreedt als gevolg van slijtage. Doordat de toenemende meetfout als gevolg van de toevallige fout in beide richtingen doorwerkt is de invloed van de toevallige fout beperkt op het gemiddelde van de meting over een bepaalde periode. Dit in tegenstelling tot de systematische fout.



**Afbeelding 2:** Toenemende meetfout (onzekerheid) van de waterhoogte als gevolg van slijtage (bron: meetgegevens V-vormige lange overlaat Schuitenbeek, waterschap Veluwe).

Bij een debietmeting is het niet bekend welke waarde de toevallige fout heeft. Met behulp van een statistische analyse kan echter wel worden berekend welke waarden een toevallige fout kan aannemen en met welke kans deze waarden kunnen voorkomen (Bierkens, 1996), zie ook kader 1. Dit kan met een kansdichtheidsfunctie worden beschreven, zie afbeelding 3.



**Afbeelding 3:** Grafische weergave van kansdichtheidsfunctie met normale verdeling.

## Kader 1: Statische analyse van de toevallige fout

De kansdichtheidsfunctie van een toevallige fout is vaak normaal verdeeld. In deze situaties is het gemiddelde en de variatie voldoende om te berekenen wat de kans is dat het werkelijke debiet tussen bepaalde grenzen (betrouwbaarheidsinterval) ligt. Zo geldt dan dat het werkelijke debiet met een kans van 95% ligt tussen de grenzen  $-2\sigma$  en  $+2\sigma$  t.o.v. de meting. Dit wordt ook wel het 95% betrouwbaarheidsinterval genoemd.

In het algemeen kunnen bronnen van onzekerheden geïdentificeerd worden door naar de vorm van de afvoerrelatie te kijken. Binnen deze afvoerrelatie zijn nagenoeg alle termen onzeker. Om een goede inschatting te kunnen maken van de onzekerheid die speelt bij een afzonderlijke debietmeting zullen alle mogelijke foutenbronnen geïdentificeerd en gekwantificeerd moeten worden (Bos, 1989). Hierbij kunnen fouten die ontstaan bij het bepalen van termen in de afvoerrelatie, fouten betreffen die t.o.v. de andere bronnen van onzekerheden wellicht verwaarloosbaar zijn. Dit kan bijvoorbeeld een fout zijn die ontstaat bij het bepalen van de breedte van een overstort. Fouten die ontstaan bij het bepalen van de waterhoogte zijn zeer zeker niet verwaarloosbaar. En doordat de waterhoogte in veel afvoerrelaties tot een bepaalde macht (groter dan een) worden verheven telt de onzekerheid van het bepalen van de waterhoogte zwaarder mee dan onzekerheden in de overige componenten.

De totale meetfout die wordt gemaakt bij een debietmeting is de combinatie van de fouten die optreden in de verschillende componenten van de afvoerrelatie. De onzekerheid (XQ) als gevolg van de toevallige fout valt te kwantificeren aan de hand van de volgende vergelijking (waarbij de onzekerheden worden uitgedrukt t.o.v. het 95% betrouwbaarheidsinterval):

$$X_Q = \pm \sqrt{X_b^2 + X_c^2 + (u \cdot X_h)^2 + X_f^2}$$

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Waarbij: XQ : | onzekerheid in debiet                   | (%) |
| Xb :          | onzekerheid in breedte van de overstort | (%) |
| Xc :          | onzekerheid in coëfficiënten            | (%) |
| Xh :          | onzekerheid in bovenstrooms waterpeil   | (%) |
| Xf :          | onzekerheid in reductiefactor           | (%) |
| u :           | constante                               | (-) |

Indien één van de componenten uit de afvoerrelatie is samengesteld uit meerdere kwantitatieve componenten, dan is de meetfout (van deze component) een combinatie van die fouten in de verschillende kwantitatieve componenten. De onzekerheid van zo'n samengestelde component kan als volgt gekwantificeerd worden:

$$X_x = \pm \sqrt{{}_1X_x^2 + {}_2X_x^2 + \dots + {}_nX_x^2}$$

Bij het toepassen van de bovenstaande vergelijkingen wordt aangenomen dat de schattingsfouten van de individuele termen onafhankelijk van elkaar zijn. Indien de individuele termen niet onafhankelijk van elkaar zijn, dient rekening gehouden te worden met covarianties tussen de termen.

De statistische analyse van de toevallige fout kan naast de analytische methode beschreven in kader 1 ook worden bepaald met een methodiek die uitgaat van Monte Carlo (MC) simulaties. Ook bij deze methode is het uitgangspunt de afvoerrelatie met daarin de termen die in de vorm van stochastische variabelen beschreven kunnen worden. Door al deze stochastische variabelen te beschrijven kan de vergelijking van de afvoerrelatie stochastisch worden doorgerekend met een resultaat in de vorm van n realisaties van het debiet per tijdseenheid. Doordat de MC simulatie rekening houdt met eventuele correlatie tussen verschillende termen in de afvoerrelatie is deze methode ook geschikt voor die gevallen waarbij bepaalde termen wel gecorreleerd zijn. Tevens hoeft bij deze methodiek er de stochastische variabele niet normaal verdeeld te zijn.

Uit de literatuur is redelijk goed bekend wat de omvang is van toevallige fouten bij de verschillende debietschattingsmethoden. Tabel 1 geeft een overzicht van de grootte van de toevallige fout voor de diverse meetmethodes. Deze ligt voor de meeste methodes tussen de 5 en 10% bij een 95% betrouwbaarheidsinterval.

**Tabel 1:** Ondergrens toevallige fout in debietbepaling per methode (%) (Boiten e.a., 1995, Hartong e.a., 2009).

| Methodiek                           | ± Toevallige fout (%) |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Velocity-area                       | 3 à 6                 |
| Stage-discharge                     | 5 à 10                |
| Gestandaardiseerde meetstuw*        | < 5                   |
| Klepstuw en drempels*               |                       |
| – kalibratie hydraulisch model      | < 5                   |
| – kalibratie in het veld            | 5 à 10                |
| – kalibratie m.b.v. literatuur      | 5 à 10                |
| Afsluiter                           | > 10                  |
| Akoestisch                          | 10 à 12               |
| Vijzelgemaal                        | 3 à 6                 |
| Pompgemaal                          |                       |
| – pompkarakteristiek                | 3 à 5                 |
| – gemaalkarakteristiek              | 4 à 10                |
| – a.h.v. kalibratie (velocity-area) | 4 à 8                 |

\* Dit geldt voor ongestuwde situaties; bij een gestuwde situatie waarbij door hoge waterstanden de stuw nagenoeg of geheel is verdronken, is de toevallige fout grofweg 2 keer zo groot.

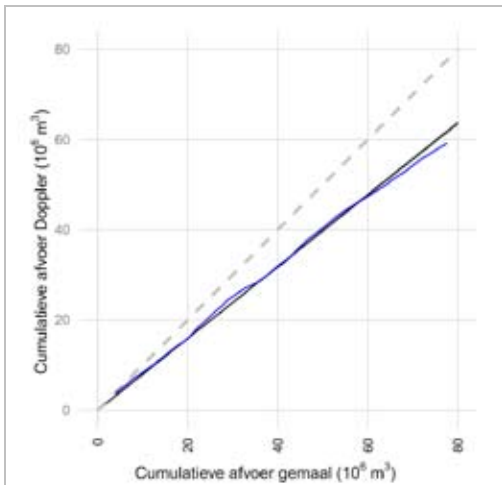
De foutmarges in tabel 1 beschrijven de ondergrens. De toevallige fout blijft alleen binnen deze marge indien de nodige zorgvuldigheid wordt gehanteerd bij de totstandkoming van een nieuw monitoringpunt en bij kalibratie van een bestaande monitoringpunt. Ook dient regelmatig onderhoud en controle van de referentieniveaus plaats te vinden. Of deze controle in de praktijk ook daadwerkelijk plaatsvindt valt te betwijfelen. In het kader van het project Monitoring Stroomgebieden zijn in 4 verschillende deelstroomgebieden de debietschattingen in detail bestudeerd (Mulder e.a., 2009). Uit de gedetailleerde bestudering van de debietschattingen voor de vier stroomgebieden blijkt dat het aantal monitoringslocaties dat systematisch gecontroleerd worden zeer beperkt is.

## Systematische fout

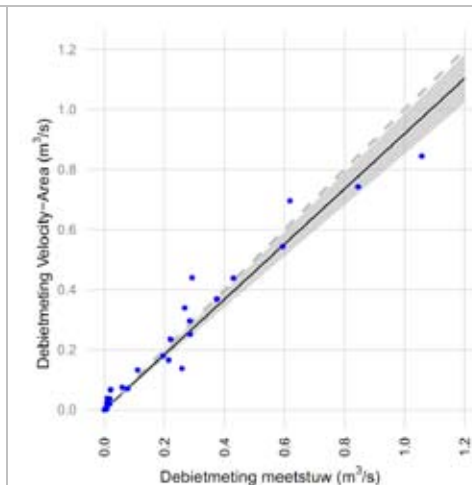
Bij een meting kan het voorkomen dat een fout gemaakt wordt, die bij herhaling van de meting weer aanwezig is met dezelfde grootte en werkend in dezelfde richting. Dit noemt men een systematische fout. Voorbeelden van systematische fouten zijn: een niet gecorrigeerd nulpunt van een meter, een verkeerde ijklijn, het gebruik van een verkeerde formule bij de uitwerking van de meetresultaten of het verdrinken van een stuw. Als de grootte en de richting van de systematische fout bekend is, kan de meting, en aldus de schatting, hiervoor gecorrigeerd worden. Voor de vierdeelstroomgebieden die in het kader van het project Monitoring Stroomgebieden zijn bestudeerd worden de referentieniveaus van de monitoringslocaties zelden gecontroleerd of "alleen als er aanleiding toe is".

Een relatief eenvoudige wijze om de systematische fout te achterhalen is het vergelijken van de debietschattingsmethode met een onafhankelijke debietschattingsmethode die nauwkeuriger is. Zo'n onafhankelijke debietschatting wordt echter niet vaak uitgevoerd. Van de 45 bestudeerde monitoringslocaties konden slechts voor 2 monitoringslocaties de systematische fout worden afgeleid.

Een bij een pompgemaal, waar naast debieten die zijn afgeleid van draaiuren en pompcapaciteit ook debieten zijn bepaald aan de hand van een akoestische debietmeetmethode (Dopplermethode). Wanneer deze cumulatief tegen elkaar worden uitgezet bleek een systematische afwijking van circa 20% aanwezig (zie figuur 4a). De andere locatie betreft een meetstuw waar naast debieten die zijn afgeleid aan de hand van een  $Q(h)$  relaties ook incidentele debietschattingen zijn verricht met de propellerstroomsnelheidsmeter (Ott-molen). Wanneer deze metingen tegen elkaar worden uitgezet is een kleine systematische afwijking zichtbaar, echter door het geringe aantal incidentele metingen is de betrouwbaarheid van de systematische afwijking beperkt, zie figuur 4b.



**Afbeelding 4a:** Twee verschillende debietschattingsmethoden ter plaatse van een gemaal in de Krimpenerwaard cumulatief tegen elkaar uitgezet, met in het zwart de trendlijn en in het grijs het 95% betrouwbaarheidsinterval van de trendlijn.

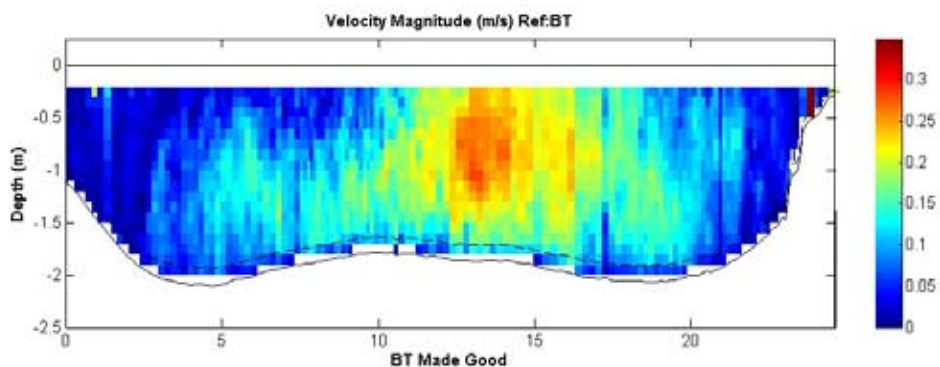


**Afbeelding 4b:** Twee verschillende debietschattingsmethoden ter plaatse van de V-vormige lange overlaat Schuitenbeek tegen elkaar uitgezet; zwart de trendlijn en grijs het 95% betrouwbaarheidsinterval van de trendlijn.

Tegenwoordig kunnen met actuele meettechnieken (vaak akoestische meetmethoden) relatief makkelijk onafhankelijke debietmetingen worden verricht. Een goed voorbeeld van zo'n actuele meettechniek is de debietmeetboot (zie kader 2) waarmee de  $Q(h)$  relaties en  $Q$ -draaiuur relaties kunnen worden gecontroleerd en zo nodig aangepast.

### Kader 2: Controle afvoermetingen met een debietmeetboot

De debietmeetboot functioneert met een H-ADCP (Doppler) meting die onder de boot de stroomsnelheid van het water meet en de bodemdiepte. De meetboot is uitgerust met een GPS RTK unit om het waterniveau te meten. Hierdoor kan voor de debietmeting de meetapparatuur van het kunstwerk gekalibreerd worden. In de computer van de debietmeetboot kunnen verscheidene parameters worden ingesteld. Met een goede combinatie van parameters is de debietmeetboot in een groot deel van het beheergebied van HDSR inzetbaar. De debietmeetboot wordt bij het kunstwerk ingezet door deze van de linker oever naar de rechter oever te laten varen. De debietmeetboot meet de NAP hoogte, het natte waterprofiel, de stroomsnelheid per cluster en als deze is aangekomen bij de andere oever is de afvoer berekend met een relatief geringe meetonnauwkeurigheid. Afbeelding 6 geeft een voorbeeld van de uitvoer van de debietmeetboot.



**Afbeelding 5:** 2-dimensionale uitvoer van de debietmeetboot.

Om de systematische fouten bij stuwen en gemalen te onderzoeken, controleert HDSR sinds enkele jaren de afvoerrelaties van stuwen en gemalen met een debietmeetboot. Met deze metingen zijn verrassende zaken naar voren gekomen.

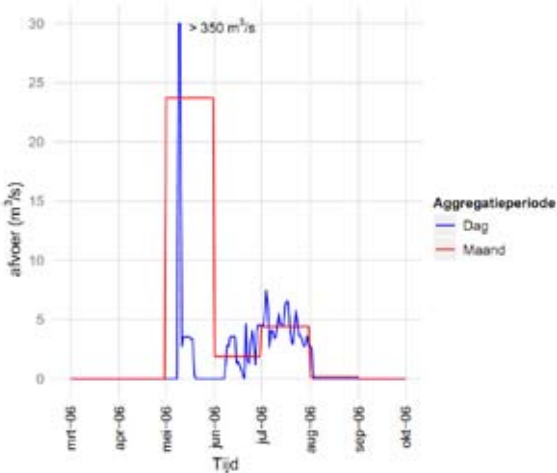
Bij stuwen is gebleken dat de sensoren niet altijd goed zijn geplaatst en de stuwstand niet altijd goed wordt gemeten. Daarnaast is HDSR tot de conclusie gekomen dat als een stuw een krooshek heeft, beter het krooshekpeil gebruikt kan worden dan het bovenpeil. Het krooshekpeil heeft een constante foute afwijking, die eenvoudig gecorrigeerd kan worden, door middel van het meten met de debietmeetboot en de debietformule hierop aan te passen. Het bovenpeil is echt minder geschikt (soms helemaal niet geschikt), want door drijfvuil in en voor het krooshek is er een variabele, niet te bepalen weerstand, waardoor er een foutieve debiet wordt berekend.

Bij de controles van de gemalen bleek dat het debiet bij circa 80% van de onderzochte gemalen wordt systematisch met circa 10 tot 20% wordt overschat in vergelijking met de debietschatting van de debietmeetboot. Bij enkele gemalen werd een afwijking tot circa 40% geconstateerd. Enkele verklaringen voor de afwijkingen zijn het niet adequaat meenemen van bijvoorbeeld overstorthoogtes en opvoerhoogtes in de berekeningen.

Al met al bewijst dit de grote waarde van de debietmeetboot en vormt dit voor het waterschap een belangrijke basis om tot verbeteringen te komen.

### Uitbijters

Uitbijters zijn meetwaarden die buiten de normale range van de meetwaardes liggen. Deze extreme meetwaarden kunnen veroorzaakt worden door menselijke handelingen of door het niet goed functioneren van de meetapparatuur. In principe kunnen en moeten zulke uitbijters met het screenen van de data geïdentificeerd worden. Idealiter worden ze uiteraard automatisch opgespoord en, wanneer duidelijk is waardoor de uitbijters zijn ontstaan, verwijderd uit de reeks.



**Afbeelding 6:** Uitbijter in meetreeks afvoer gemaal Krimpenerwaard. De uitbijter is fysisch gezien niet mogelijk.

In afbeelding 5 zijn zowel dag- als maandschattingen weergegeven waarbij het debiet is ingeschat met behulp van de draaiuren. De fout in de debietschatting op maand-basis werd pas zichtbaar toen de dagschattingen in beschouwing werden genomen, wat het belang aantoont om op verschillende temporele aggregatieniveaus schattingen te genereren als mogelijkheid om - al dan niet geautomatiseerd fouten op te sporen. Het verwijderen van uitbijters dient bij voorkeur op de kleinste temporele aggregatieniveaus te worden uitgevoerd. Het verwijderen van uitbijters is alleen legitiem wanneer deze onderbouwd is.



### Validatie (ruwe) data

Uitbijters (en in mindere mate ook systematische fouten) zijn op verschillende manieren te detecteren in een bepaalde meetreeks. In 2008 is in opdracht van STOWA een validatieplan ontwikkeld dat aan de hand van verschillende technieken, zoals de dubbele sommatiekromme, helpt uitbijters en systematische fouten in de meetreeks te detecteren (Versteeg e.a., 2009). Iemand die het monitoringstation en het gebied goed kent kan wellicht een maximum debiet inschatten of een maximaal verschil tussen 2 opeenvolgende meetwaarden. Daarnaast is het voor de analyse van uitbijters van essentieel belang om de ruwe data ter beschikking te hebben voor nadere analyse. De ruwe data zijn ook belangrijk om te corrigeren voor systematische fouten en om gaten in de data zo goed mogelijk op te vullen.

### Gapfilling

Gaten in bijvoorbeeld waterstandsreeksen (door o.a. de uitval van apparatuur) kunnen leiden tot grote onzekerheid in debietschattingen. Het opvullen ervan is een relatief gezien belangrijk onderwerp binnen de hydrologische literatuur. Samen met KWR heeft HDSR in een project diverse methoden onder de loep genomen. In eerste instantie is gapfilling uitgevoerd met de standaard-Menyanthes functionaliteit, waarbij zowel de lineaire als niet-lineaire tijdsreeksanalyse functionaliteit op afvoerrekeningen bij zowel een stuw als een gemaal is toegepast. Het idee daarbij was dat met de beschikbare debietschattingen een tijdsreeksmodel zou kunnen worden afgeleid met (o.a.) de nuttige neerslag als verklarende variabele. Met dit model kan dan de meetperiode worden doorgerekend en kunnen de gaten in de dataset worden gevuld met de berekende afvoeren, inclusief de gekwantificeerde onzekerheid. Hoewel bij de stuw - logischerwijs - hogere verklarende varianties werden gevonden, waren de resultaten van het tijdsreeksmodel niet voldoende bevredigend om de gaten in de dataset mee op te vullen. Wel bevredigende modelresultaten werden bereikt door artificiële neurale netwerken in te zetten (een standaard functionaliteit binnen bepaalde MATLAB routines).

### Discussie

*By-passes zoals vistrappen:* Naast de genoemde foutenbronnen wordt door de aanleg van vis passages een by-pass gecreëerd die vaak niet wordt bemeeten en waar aldus het debiet niet kan worden geschat. Dit geeft een onderschatting van de afvoer van oppervlaktewater. Omdat het aantal vistrappen toeneemt, zal ook de onzekerheid over deze by-pass in de waterbalans toenemen. Op dit moment wordt door de WUR, in samenwerking met en in opdracht van waterschap Rijn en IJssel (Boersema e.a., 2011) in haar nieuwe hydraulische lab de hydraulische werking van een vistrap onderzocht en een  $Q(h)$  relatie afgeleid. Aansluitend wordt in SOBEK een rekenmethode geïmplementeerd om de opstuwing en het debiet te kwantificeren. Debeten over een stuw waarbij een vistrap is geplaatst kunnen dan met zo'n model worden geschat.

*Monitoring op de goede plek:* Het is beter om op een beperkt aantal locaties goed te monitoren, de data te valideren, gaten op te vullen en vervolgens debieten af te leiden, dan op een groot aantal locaties 'half werk' te leveren. Het verdient in onze optiek de aanbeveling dat waterschappen de komende jaren zich meer inzetten op het nauwgezet opstellen van de oppervlaktewaterbalans van afvoergebieden. Met afvoergebieden worden clusters van peilgebieden verstaan met een gemeenschappelijk lozingspunt op een hoofdsysteem (b.v. een boezem of Rijkswater). Het aantal afvoergebieden is in beheergebieden zoals die van HDSR klein ten opzichte van het aantal peilgebieden; HDSR heeft meer dan 900 peilgebieden en maar 'slechts' 74 afvoergebieden. Als de monitoring van debieten hierop wordt afgestemd, levert dit meer inzicht in de waterbalansen en kunnen hydrologische modellen beter worden gekalibreerd. Dit zal zijn vruchten afwerpen in het sturen op aan- en afvoeren, vooral in tijden van schaarste en hevige neerslag.

## Concluderend

Debieten worden niet direct gemeten, maar op nader basis van diverse typen metingen geschat, vaak gebruikmakende van een op empirie gebaseerde relatie tussen de gemeten variabele(n) en het debiet.

De behandelde voorbeelden laten zien dat de onzekerheden als gevolg van de toevallige fout en de systematische afwijkingen van meetlocaties onnodig groot kunnen zijn. Dit omdat a) weinig aandacht wordt besteed aan controle van de meetopstellingen, b) ze weinig of niet gekalibreerd worden, c) de bewerking en opslag van ruwe data niet optimaal en/of reproduceerbaar is en d) de data niet altijd goed gecontroleerd wordt op uitbijters.

Afwijkingen in debietschattingen kunnen worden verkleind door tijdens een bezoek aan de meetlocatie de referentieniveaus te controleren. Daarnaast kan met incidentele meetcampagnes, bijvoorbeeld met behulp van de debietmeetboot, systematische afwijkingen in debietschattingen worden gesignaleerd. Verder is het aan te bevelen ruwe data te bewaren zodat bijvoorbeeld bij correctie van de afvoerrelatie de afgeleide debieten opnieuw kunnen worden berekend. Er zijn diverse technieken om uitbijters te signaleren en te controleren of deze realistisch zijn.

Gelet op de omvang van onzekerheden en systematische afwijkingen stellen wij dat er in waterbalans- en modelstudies onvoldoende rekening mee wordt gehouden. Het hoeft weinig betoog dat rekenparameters in hydrologische modellen veelal getuned worden op meetdata van debieten, zonder dat hierbij wordt gekeken naar de onzekerheden en afwijkingen in die debieten. Onzekerheden van debietschattingen kunnen worden meegenomen bij de automatische optimalisatie van rekenparameters. Een mogelijke aanpak wordt beschreven in het artikel in Stromingen over Bayesiaanse identificatie van gebiedsneerslag en modelparameters (Botterhuis e.a., 2009) en in het wetenschappelijk artikel "here are no hydrological monsters, just models and observations with large uncertainties!" (Kuczera e.a., 2010).

## Literatuur

- Bierkens, M.F.P (1996)** *Foutenanalyse in waterbalansstudies*. Wageningen, SC-DLO. Rapport 460
- Boersema, M., B. Vermeulen, P. Torfs, T. Hoitink, G. Roelofs en G. van den Houten (2011)** *Hydraulisch functioneren vispasseerbare cascades*. WUR-publicatie
- Boiten, W. (2008a)** *Hydrometry: A Comprehensive Introduction To The Measurement Of Flow In Open Channels*; Derde editie
- Boiten, W. (2008b)** *Water in beweging; het meten van afvoeren*.
- Bos (1989)** *Discharge measurement structures*. Wageningen, ILRI publication 20, third revised edition
- Botterhuis, A.A.J., G.A.P.H. van den Eertwegh & J. Heijkers (2009)** *Bayesiaanse identificatie van gebiedsneerslag en modelparameters*; In: *Stromingen*, Jaargang 15, Nummer 4.
- Hartong, H. & P. Termes (2009)** *Handboek debietmeten in open waterlopen*; Stowa-rapport 41 (2009)
- Heijkers, J. (2009)** *Water in Beweging; Een afscheidsinterview met Wubbo Boiten*; In: *Stromingen*, Jaargang 15, nummer 3
- Kuczera, G., B. Renard, M. Thyer & D. Kavetski (2010)** *There are no hydrological monsters, just models and observations with large uncertainties!* In: *Hydrological Sciences Journal*, Volume 55, Issue 6
- Mulder, H.M., T.P. van Tol-Leenders, C. Siderius, D.J.J. Walvoort & F.J.E. van der Bolt (2009)** *Onzekerheden in debietmetingen, analyse van debietgegevens voor Monitoring Stroomgebieden*; Alterra-rapport 1956
- Versteeg, R. & B. de graaff (2009)** *Validatieplan waterkwantiteitsmetingen*; STOWA-rapport 20 (2009)
- Walvoort, D.J.J. & T.P. van Tol-Leenders (2010)** *Database 'Monitoring Stroomgebieden': Een slimme database voor het beheren van monitorings-gegevens*; Alterra-rapport 1955

