Wageningen Universiteit
Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer

Wubbo Boiten

Oktober 2008

Water in *beweging*

Het meten van afvoeren

Water in beweging

Het meten van afvoeren

Wubbo Boiten

Wageningen Universiteit
Centrum voor Water en Klimaat
Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer
Postbus 47
6700 AA Wageningen

Inhoud

1. Inleiding
2. Water in de Bijbel
3. Beschikbaarheid en verbruik van water, wereldwijd
4. De gebiedswaterbalans
5. Het meten van afvoeren
6. Het ijken van een debietmeetmethode
7. Hydrometrie
8. Uitgevoerd onderzoek 1971 – 2004
9. Kanttekeningen
10. Naschrift

Literatuur

Bijlagen

1. Rapporten speurwerkonderzoek aan meetstuwen en vispassages
2. Overzicht door de auteur uitgevoerde opdrachten in Nederland
3. Overzicht door de auteur uitgevoerde opdrachten vóór of ín het buitenland
4. Artikelen in tijdschriften en presentaties op bijeenkomsten
5. Overzicht door collega's uitgevoerd onderzoek aan meetstuwen in Nederland

1. Inleiding

"Een klein beetje kan veel betekenen", een Egyptische wijsheid van circa 2200 v. Chr.
Maar, waar slaat het op? Met een beetje fantasie kun je al gauw denken aan de afvoer van de Nijl, 's werelds langste rivier, waarvan de benedenloop door het droge Egypte stroomt. Vóór de bouw van de Aswan Dam waren de minimum afvoeren van de Nijl lager dan nu, vaak slechts een klein beetje, maar van veel belang voor de landbouw. Aan de andere kant waren in die tijden de maximum afvoeren fors hoger dan nu, en werd er veel slib afgezet. Daarvan profiteerden de baksteen industrie en de landbouw. Aan de zuidkant van Cairo vindt men nog steeds de "Roda Gauge" langs de rechter oever van de Nijl. Hier werden sinds 641 v. Chr. de waterstanden gemeten. Elk jaar aan het eind van de hoogwaterperiode bepaalde de Egyptische minister van financiën de inkomstenbelasting van de boeren. De hoogte van de aanslag was evenredig met de hoogst gemeten waterstand.

In het derde leerjaar van mijn studie aan de HTS afdeling Weg- en Waterbouw van de Academie Minerva in Groningen heb ik als praktikant gewerkt in het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst" in de Noordoostpolder. Daar begon mijn liefde met water professionele vormen te krijgen, en dan vooral met water, zoals zich dat door een rivierbedding beweegt. Een jaar daarna, in 1960, keerde ik terug als gediplomeerd HTS-er in "De Voorst" om op twee riviermodellen te werken: de splitsing van het Pannerdens kanaal op de IJsselkop, M395, én het te bouwen sluis- en stuwcomplex op de Neder Rijn bij Driel, M398. In beide modellen ging het om het meten van afvoeren en sedimenttransport. Figuur 1 geeft een beeld van het eerste model. De beweeglijke bodem van de riviertakken (grof zand in de werkelijkheid) werd in het model gesimuleerd met gemalen bakeliet, dat door zijn lichter soortelijk gewicht goed transportabel was. Waar het om ging in dit model, was de vraag hoe een gewijzigd waterregime – als gevolg van de geplande Rijnkanalisatie – doorwerkt op het zandregime rond de IJsselkop.

Fig. 1
WL "de Voorst"
Model van de splitsing van het Pannerdens Kanaal op de IJsselkop bij Westervoort: links de Neder-Rijn, rechts de IJssel, 1960

In de periode 1966 – 1971 was er de uitzending naar Colombia voor twee DITH (Directie Internationale Technische Hulp) projecten:

- het ontwerp, de inrichting en het op gang brengen van het hydraulica laboratorium aan de "Universidad de los Andes" te Bogotá,
- het uitvoeren van metingen – waterstanden, afvoeren en sedimenttransport – op het Canal del Dique, een afsplitsing van de Rio Magdalena, richting Cartagena.

In het laatst genoemde project heb ik ervaren – mits de 'survey' goed is voorbereid – hoe ontspannend en vaak ook verrassend het uitvoeren van veldmetingen kan zijn in de sfeer van hydrometrie.

Vanaf 1971 vond ik mijn werkplek in de Vestiging Wageningen van het Waterloopkundig Laboratorium, aanvankelijk op Duivendaal, vanaf 1973 in het gebouw De Nieuwlanden (fig. 2). Het WL was een samenwerking begonnen met de vakgroep "Hydraulica en afvoerhydrologie" van de toenmalige Landbouwhogeschool. Het werkterrein was: advisering aan waterbeheerders – vooral de waterschappen – met betrekking tot het meten van afvoeren met behulp van meetstuwen.
In september 1985 kwam ik parttime in dienst van de Landbouwhogeschool, met name om het vak Hydrometrie - dat door de vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie werd verzorgd - een nieuwe en brede opzet te geven. Vanaf 1987 doceerde ik dit vak aan de inmiddels Landbouwuniversiteit, en vanaf 1988 eveneens aan UNESCO/IHE in Delft. Hoewel in 1999 gepensioneerd, heb ik het advieswerk afgesloten in 2004, en het doceren in 2008.
Dit boekje is bedoeld als afscheid van het actieve werk in de hydrometrie en ook om de lezer een overzicht te geven van wat er in de afgelopen jaren aan onderzoeksrapporten en publicaties is verschenen.
Hierna laat ik nog de volgende onderwerpen de revue passeren:

- water in de Bijbel
- beschikbaarheid en verbruik van water, wereldwijd
- de gebiedswaterbalans
- het meten van afvoeren
- het ijken van een debietmeetmethode
- hydrometrie
- uitgevoerd onderzoek 1971 – 2004

Fig. 2 De Nieuwlanden, rondvlucht met mijn oudste zoon, circa 1993.

2. Water in de Bijbel

Er zullen niet veel boeken zijn, waarin zo'n variëteit aan 'water'-verhalen staat dan in de Bijbel. Om er slechts een paar te noemen: het verhaal van de schepping, de grote vloed en Noach's ark, de doortocht door de Rode Zee, Jona in de walvis, het stillen van de storm, het dopen in de Jordaan, en nog vele andere verhalen, elk met z'n eigen betekenis. En vermoedelijk zijn er weinig boeken, waarin het begrip water zó dikwijls aan de orde is: ruim zeshonderd keer in allerlei betekenissen. Lang niet altijd in concrete zin, maar ook vaak overdrachtelijk:

- *al naar de vorm, waarin het voorkomt*: oppervlaktewater (beken, rivieren en zeeën), neerslag (wolken die druipen van water), dauw, verdamping (hij schept druppels uit de zee), bodemvocht (aarde die nooit van water verzadigd raakt) en grondwater (putten, wellen, oases en water uit de harde rots). Kortom, alle elementen uit een gebiedswaterbalans passeren de revue.
- *al naar de functie*: drinkwater, water om het lichaam te reinigen, irrigatie (land dat water drinkt), water voor de vis, water als een spiegel (zoals water het gelaat weerspiegelt) en water om mensen te dopen als teken van nieuw leven.

De beleving van water was in de Bijbelverhalen niet veel anders dan nu: heel divers, nu eens een bron tot leven, dan weer als een gevaar.

Nu in onze tijd is de waterverdeling tussen Israel, Jordanië en de Palestijnse gebieden een uiterst discutabele. Jammer, gewoon zonde, zo'n strijd om het water dat onontbeerlijk is om te leven.

3. Beschikbaarheid en verbruik van water, wereldwijd

Beschikbaar water

Het merendeel van de oppervlakte van onze planeet bestaat uit water. Een enorme hoeveelheid. In zijn afscheidscollege van Wageningen Universiteit "Onzichtbaar Water" geeft prof. Feddes (Feddes, 2004) daarover de volgende informatie. Van al het water op aarde is 97,4 % zout water. Slechts 2,6 % is zoet water, opgeslagen in het land als zichtbaar oppervlaktewater, en als bodemvocht en grondwater. Van dit zoete water is het grootste gedeelte vast in de vorm van sneeuw en ijs, een kleiner gedeelte is grondwater, en het restant – nog slechts 0,015 % van al het water op aarde – is beschikbaar voor mens, plant en dier. Bruikbaar zoet water is dus schaars.

Gelukkig is water in beweging. Dankzij de hydrologische cyclus worden grond- en oppervlaktewater steeds weer aangevuld door de nuttige neerslag (werkelijke neerslag verminderd met de verdamping). Wereldwijd bedraagt deze aanvulling op het landoppervlak circa 40.000 km^3 (kubieke kilometers) per jaar. Een duurzame bron, waarvan wordt aangenomen dat circa 14.000 km^3 per jaar technisch winbaar is voor gebruik door de mens (Feddes, 2004). Bij een wereldbevolking van 6,5 miljard mensen is de beschikbare hoeveelheid water circa 2200 m^3 per jaar en per hoofd van de bevolking.

Verbruik van water

Voor een doorsnee Nederlander zal het dagelijks waterverbruik in huis schommelen tussen 150 en 250 liter, nogal afhankelijk van de vraag hoe vaak en hoe lang we onder de douche staan (circa 6 liter per minuut voor een doorsnee douchekop). Omgerekend komt daarmee het waterverbruik thuis op gemiddeld 75 m^3 per jaar per persoon.

Daarnaast verbruiken we een nog veel grotere hoeveelheid zogenaamd virtueel water, een ongemerkt waterverbruik, dat verscholen ligt in de alledaagse consumptie van artikelen en vooral voedsel. De teelten van rijst en katoen vragen erg veel irrigatiewater en voor de productie van 1 kilogram rundvlees is circa 16 m^3 water nodig geweest.

De Universiteit van Twente heeft in opdracht van het Wereld Natuur Fonds onderzoek uitgevoerd naar het waterverbruik door Nederlanders (Trouw, 2007). Hierin komt het verbruik van virtueel water op circa 1200 m^3 per jaar per Nederlander. Het totaal waterverbruik in ons land bedraagt dan 1275 m^3 per jaar per hoofd van de bevolking (volgens het WNF vindt 80% hiervan plaats buiten onze nationale grens).

Als we aannemen dat het waterverbruik in de westerse samenleving vergelijkbaar is met die in Nederland, dan wordt in deze landen 60% verbruikt van wat er wereldwijd beschikbaar is aan schoon zoet water, per hoofd van de wereldbevolking.

Op wereldschaal zal water een nog schaarser artikel worden:

- het consumptieniveau blijft stijgen;
- de wereldbevolking neemt toe;
- per regio loopt de vraag naar water niet parallel met de beschikbaarheid ervan (er zijn waterrijke en waterarme gebieden).

Om betrouwbare informatie te hebben over zowel de beschikbaarheid als het verbruik van zoet water, is het van belang de waterbalansen van stroomgebieden op orde te hebben.

4. De gebiedswaterbalans

De waterbalans voor een stroomgebied is opgebouwd uit een aantal termen die de hoeveelheden inkomend water kwantificeren, een aantal termen die de hoeveelheden uitgaand water aangeven en een term, die de verandering aangeeft in de berging van water gedurende de balansperiode.
Er is onderscheid tussen de meestal vlakke bemalen gebieden (polders) en de doorgaans licht hellende vrij afstromende gebieden in Nederland.
De vergelijking van de waterbalans is gegeven in de volgende formule. Alle termen zijn uitgedrukt in millimeters waterschijf (waar van toepassing, met behulp van de oppervlakte van het stroomgebied).

$$\left(P+Q_{\text{in}}+G_{\text{in}}\right)-\left(ET+Q_{\text{uit}}+G_{\text{uit}}\right)-\Delta S=R$$

waarin:

P gebiedsneerslag, bepaald uit één of meerdere puntneerslagreeksen van nabijgelegen regenmeters

Q_{in} inlaat van oppervlaktewater
- bemalen gebied: vanuit de boezem via een regelbare constructie (afsluiter, schuif met onderstroom of stuw)
- afstromend gebied: via open waterlopen al of niet voorzien van een regelbare constructie (schuif of stuw)

G_{in} binnenkomend grondwater
- bemalen gebied: de som van dijkkwel (randstroming) vanuit de boezem en verticale kwel uit dieper gelegen watervoerende pakketten
- afstromend gebied: horizontaal gerichte stroming uit hoger gelegen gebied en verticale kwel

ET werkelijke verdamping, die niet direct te bepalen is. Bij een optimaal van vocht voorzien gewas wordt de werkelijke verdamping ET benaderd door de potentiële verdamping ET_{p}. Deze wordt berekend uit de referentie gewasverdamping en een seizoensafhankelijke gewasfactor. Er zijn ook Remote Sensing technieken waarmee een schatting van de actuele verdamping kan worden gemaakt.

Q_{uit} afvoer van oppervlaktewater
- bemalen gebied: naar de boezem met behulp van een gemaal (pomp of vijzel)
- afstromend gebied: via open waterlopen al of niet voorzien van een regelbare constructie (schuif of stuw)

G_{uit} uitgaand grondwater
- bemalen gebied: wegzijging naar dieper gelegen watervoerende lagen (komt weinig voor in polders)
- afstromend gebied: wegzijging en horizontaal gerichte stroming naar lager gelegen gebied

ΔS verandering in de berging van hoofdzakelijk bodemvocht en grondwater (en in de winterperiode ook sneeuw)

R restterm (in een ideale gebiedsbalans is $R = 0$)

Aangezien de waterbalans is opgebouwd uit een aantal individuele termen, is de betrouwbaarheid ervan sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid van de afzonderlijke termen. Als één of meer onnauwkeurig zijn bepaald, dan zal vaak de restterm groot zijn en sterk variëren. Als echter de onnauwkeurigheden van afzonderlijke termen elkaar compenseren, dan kan een kleine restterm een schijnnauwkeurigheid opleveren.

De waterbalans kan in principe worden opgesteld voor elke gewenste periode (looptijd). In de praktijk blijkt echter dat de restterm (in relatie tot de som van de in-termen of de uit-termen) kleiner wordt naarmate de balansperiode langer is.
Vaak voorkomende fouten zijn:

- overschatten van Q_{in} en Q_{uit} als deze debieten worden gemeten met een – niet goed functionerende - meetstuw. Er zijn twee mogelijke oorzaken: de kruin is vervuild (opgehoogd) én ongemerkte gestuwde afvoer
- overschatten van Q_{uit} in bemalen gebied. Twee mogelijke oorzaken: veroudering (slijtage) van de pomp of de vijzel, en het negeren van leidingverliezen bij een schroefpomp en een axiaalpomp, zie Hydrometry, fig. 4.78 (Boiten, 2008).
- overschatten van de verdamping *ET* tijdens een lange zomerse droogte
- systematisch overschatten of onderschatten van de wat kleinere termen *G*, die vaak moeilijk te kwantificeren zijn. Aangezien deze termen doorgaans niet erg seizoensafhankelijk zijn kan de grootte van de resultante $G_{in} - G_{uit}$ mogelijk worden afgeleid uit de waterbalans van een zo lang mogelijke winterperiode waarin de verdamping nagenoeg nihil is.

In het onderzoeksrapport 111 van de Sectie Waterhuishouding wordt verslag gedaan van de waterbalansen voor vier Friese polders, en wordt een foutenanalyse gegeven van de metingen in een waterbalans (Boiten, 2002).

In "Water in the Netherlands" (Huisman, 2004) wordt de waterbalans gegeven van Nederland (het zoetwater landgebied, 36750 km^2) voor een gemiddeld jaar (periode 1971 – 2000) en voor het droge jaar 1976.

	gemiddeld jaar (mm)	droog jaar 1976 (mm)
inkomend water		
neerslag	795	535
de Rijn bij Lobith	1915	1130
de Maas bij Eysden	200	95
overige kleine rivieren	90	40
totaal	3000	1800
uitgaand water		
verdamping	565	528
diversen soorten	60	163
naar zee	2375	1109
totaal	3000	1800

De waterbalans van Nederlands zoetwater landgebied.

Van alle doorgaans grote termen in de waterbalans zijn de termen voor de afvoer van oppervlaktewater *Q* en die van de neerslag *P* goed meetbaar. Vandaar dat er in de hydrometrie zeer veel aandacht is voor het meten van afvoeren.

5. Het meten van afvoeren

Neerslagpatroon en afvoerregime
Veranderingen in het afvoerregime van onze grote rivieren – en als gevolg een toename van de wateroverlast – wordt algemeen en primair toegeschreven aan een veranderd neerslagpatroon, en dat weer als gevolg van veranderingen in het klimaat.
Voor onze grote rivieren worden de maatgevende waterstanden (basis voor de gewenste dijkhoogte) afgeleid uit de maatgevende afvoer. Dat is de afvoer die hoort bij een bepaalde herhalingstijd (return period). De herhalingstijd wordt door de overheid vastgesteld en is in Nederland voor het bovenrivierengebied 1250 jaar. Momenteel zijn de maatgevende afvoeren Q = 16000 m^3/s voor de Rijn te Lobith en Q = 3800 m^3/s voor de Maas te Borgharen. Deze afvoeren zijn gebaseerd op afvoermetingen sinds 1911. In Stromingen 12 (De Laat, 2006), lezen we dat vijf van de zeven grootste afvoerpieken op de Maas zich voordeden in het laatste decennium van de periode 1911 – 2003. In Stromingen 14 (De Wit, 2008), wordt geschreven: "De gemeten afvoerreeks voor Rijn en Maas omvat slechts honderd jaar en dat is te kort om een nauwkeurige schatting te maken van de afvoer die eens in de 1250 jaar voorkomt". En verder: "Zou je alleen de laatste 25 jaar van de meetreeks gebruiken, dan zou je op een veel hogere maatgevende afvoer uitkomen".
Wat hier is geschetst over een veranderd afvoerregime voor onze grote rivieren, geldt in vergelijkbare zin ook voor de kleinere, meestal grensoverschrijdende rivieren. De Nederlandse watersector zal meer dan ooit tevoren belang hechten aan betrouwbare informatie over de afvoeren in de komende jaren. Met name voor het beleid tot circa 2050 met betrekking tot allerlei plannen om " ruimte voor de rivier" te creëren.

Diverse belangen om afvoeren te meten
Voor het meten van afvoeren in open waterlopen zijn diverse doelen te noemen:
- informatie over met name de hoge afvoeren in het kader van " ruimte voor de rivier";
- informatie over het gehele bereik aan rivierafvoeren ten behoeve van het ontwerp van bruggen, dammen, etc. Wat zijn de hoogste en laagste afvoeren en in welke periode komen ze voor?;
- informatie over de beschikbaarheid van water o.a. voor de drinkwatervoorziening;
- dagelijks waterbeheer op nationaal niveau (in Nederland de Rijkswaterstaat) en op regionaal niveau (in Nederland de 26 waterschappen);
- bilaterale contracten over de waterverdeling van rivieren die meerdere landen passeren. Er zijn meer contracten nog niet dan reeds wel. Wereldwijd een bron van toenemende zorg naarmate de vraag naar water groeit;
- verdeling van water in een irrigatiesysteem;
- de waterbalans van een stroomgebied, tevens basis voor de stoffenbalans;
- het opstellen, maar ook het kalibreren van mathematische modellen, zoals ondermeer neerslag-afvoermodellen (rainfall-runoff).

Diverse technieken en instrumenten om afvoeren te meten
In de hydrometrie worden de uitdrukkingen afvoermeting en debietmeting door elkaar gebruikt (een debiet is het aantal m^3 water dat een bepaalde dwarsdoorsnede per seconde passeert). Eigenlijk is de kennis die je hebt over een afvoer, het resultaat van een debietmeting. Anders gezegd: een gemeten debiet is zelden een eindproduct. Pas als je weet wat je er mee doet - of hebt gedaan - levert het informatie.

Bij het kiezen van de meest geschikte methode om een debiet te meten, spelen de volgende factoren een rol:

- willen we slechts af en toe een meting (incidenteel) of willen we continu meten (hetgeen in de praktijk vaak neerkomt op één meting elk kwartier);
- de hydraulische eigenschappen van de waterloop, zoals bijvoorbeeld de breedte, de waterdiepte, het sedimentgehalte, het verhang, enz.;
- gewenste meetnauwkeurigheid;
- de kosten van installatie en exploitatie;
- is de methode gestandaardiseerd in een ISO Standard of een CEN Standard.

Het volgende overzicht is een samenvatting van de debietmeetmethodes en de toepassingsgebieden (niet voor alle methodes is er een passende vertaling in het Nederlands).

debietmeetmethode	**incid. cont.**	**opmerking**
1. velocity-area methode		oudste wereldwijd bekende methode
- propellor of cuptype stroomsnelheidsmeter	I	basisgegevens voor methode 5
- electromagnetische sensor (EMS)	I	beperkte waterdiepte
- oppervlakte drijvers	I	ruwe schatting van debiet
2. slope-area methode		niet de meest nauwkeurige methode
- conventioneel volgens Manning of Chézy	I/C	verhang tot $S = 0{,}002$
- steile bergbeken volgens Jarret	I/C	verhang vanaf $S = 0{,}002$
3. dillution method (zout)verdunningsmethode		bergbeken, onregelmatige profielen
- constant rate injection	I/C	meting van concentraties
- simplified constant rate (imitatie in een emmer)	I	meting van geleidbaarheden
4. Acoustic Doppler Current Profiler		enig zwevend sediment nodig
- downward looking (vanaf boot of catamaran)	I	geschikt in brede rivieren
- side looking (sensoren langs de oevers)	C	beperkingen aan de breedte
- upward looking (sensor op de bodem)	C	breedte en diepte max. 5 m
5. stage-discharge methode	C	wereldwijd bekend
vaste relatie tussen waterstand en debiet		geen opstuwing
6. slope-stage-discharge-methode	C	niet operationeel in Nederland
wisselende relatie waterstand en debiet		opgestuwde waterstand
7. akoestische of ultrasonore methode	C	beperkingen aan de breedte
(ook looptijdverschil methode genoemd)		meet ook 'negatieve' debieten
8. elektromagnetische methode	C	niet operationeel in Nederland
(gebaseerd op de Wet van Faraday)		geschikt bij veel vegetatie
9. opvoerwerktuigen		bemalen gebieden
- centrifugaal- en axiaalpompen	C	met zuig- en persleidingen
- vijzel	C	open water
10. meetstuwen		behoeven enig verval
- stuwen met overstort	C	zeer veel verschillende types
- verticale schuiven met onderstort	C	in sluizen en afsluitingswerken
- vispassages	C	mits gekalibreerd als meetstuw

Al deze methodes zijn ISO gestandaardiseerd, en worden uitvoerig behandeld in het boek Hydrometry.

6. Het ijken van een debietmeetmethode

Er zijn diverse technieken en instrumenten om een debiet te meten in een open waterloop: de velocity-area methode, de ultrasonore looptijdverschil methode, verschillende ADCP opstellingen, pompen en vijzels, en een groot aantal meetstuwen.
Hoe betrouwbaar is het debiet dat de meetopstelling aan de gebruiker meldt? Hoeveel wijkt het vermelde debiet af van het echte debiet?
In veel gevallen zal de debietmeetmethode gestandaardiseerd zijn in een ISO Standard, die meestal eindigt met een paragraaf over "uncertainties". Als de meetopstelling voldoet aan de opstellingsvoorwaarden van de Standard, dan kunnen de onbetrouwbaarheidspercentages voor een gewenst meetbereik worden berekend. Als er echter voor de gekozen meetmethode geen ISO Standard is of de meetopstelling voldoet niet (volledig) aan de voorwaarden van de Standard, dan zal de gebruiker wensen dat de methode wordt geijkt. Maar ook als een gekozen meetopstelling wel geheel voldoet aan de voorwaarden van de Standard, kunnen de gebruiker en de leverancier/installateur overeenkomen, dat de meetopstelling wordt geijkt. De vraag rijst dan: wat ijk je aan wat?
Als een meetopstelling wordt geijkt, dan wordt er geijkt aan een zogenaamde referentie methode. Dat is een meetmethode waarvan we zeker weten dat de betrouwbaarheid ervan hoog is. Universeel – in kringen van ISO/TC113, Hydrometry – is er overeenstemming over het toepassen van de volgende twee referentiemeetmethodes:

- bij kalibratie in een hydraulica laboratorium en in testgoten van fabrikanten zal "volumetrisch" worden geijkt: de stroming in de testgoot wordt gedurende een nauwkeurig gemeten tijd t opgevangen in een ijktank, waarvan het volume V nauwkeurig wordt bepaald. Het debiet $Q = V/t$ is dan bekend met een onbetrouwbaarheid $X_Q < 1\%$. Deze referentiemethode kan in principe worden toegepast voor het kalibreren van vrijwel alle debietmeetmethodes.
- bij kalibratie in het veld is de velocity-area methode de referentiemethode. De stroomsnelheden worden gemeten met een geijkte propellor stroomsnelheidsmeter in een groot aantal verticalen binnen het dwarsprofiel, en in een groot aantal punten in elke verticaal. Het debiet wordt hieruit berekend met de meansection- of de midsection-methode. Het debiet is dan bekend met een onbetrouwbaarheid $X_Q < 5\%$. Deze referentiemethode vindt toepassing als "volumetrisch ijken" om praktische redenen moeilijk uitvoerbaar is, of buitensporig duur is, of als de eisen aan de onbetrouwbaarheid niet zo streng zijn.

Nauwkeurigheid of onnauwkeurigheid?
Leveranciers van meetapparatuur geven in hun folders en in hun offertes informatie over hoe precies de gevraagde parameter wordt gemeten. Sommige van hen doen dat met verkeerde bewoordingen. Een paar voorbeelden:

- het debiet wordt vastgesteld met de hoogst mogelijke nauwkeurigheid, circa 0,5%;
- de nauwkeurigheid van de gemeten waterstand bedraagt 1% van de meetwaarde;
- an accuracy of 2% or better can be achieved.

In ISO Standards wordt gezegd: "the result of a measurement is only an estimate of the true value of the measured parameter and therefore is complete only when accompanied by a statement of its uncertainty. The discrepancy between the true and measured values is the measurement error". De meetfout wordt dus aangegeven door vermelding van de onbetrouwbaarheid. Met behulp van de Standard kan het onbetrouwbaarheidpercentage worden berekend, meestal op een waarschijnlijkheidsniveau van 95%. Voor een debiet betekent dit dat in 19 van de 20 gevallen de fout in de meting niet groter zal zijn dan bijvoorbeeld $X_Q = 5\%$. In de Engelse taal staat er dan: percentage uncertainty $X_Q \leq 5\%$. In de Nederlandse taal: procentuele meetfout in het debiet $X_Q \leq 5\%$.

7. Hydrometrie

Hydrometrie wordt omschreven als de techniek voor het meten van debieten in open waterlopen, ondersteund en aangevuld door het meten van waterstanden, onderwaterbodems, sedimenttransport en neerslag.
Hydrometrie is bedoeld voor hydrologen, rivierbeheerders en irrigatie ingenieurs. Het vak wordt in Nederland gedoceerd aan Wageningen Universiteit in de Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer en aan UNESCO-IHE te Delft voor "post-graduate professionals". Enige voorkennis van hydraulica is gewenst.
In het collegedictaat Hydrometry wordt het werkgebied als volgt afgebakend:

- waterlopen op het landgebied (rivieren en kanalen), geen kustgebieden;
- het gaat om waterkwantiteit, geen waterkwaliteit;
- centraal staan de technieken om te meten, in principe geen statistische bewerkingen.

Hydrometrie is een boeiende buitenbezigheid, altijd afhankelijk van weer en wind. Niet alleen bezig met water in beweging, óók met de mensen die ervan afhankelijk zijn.

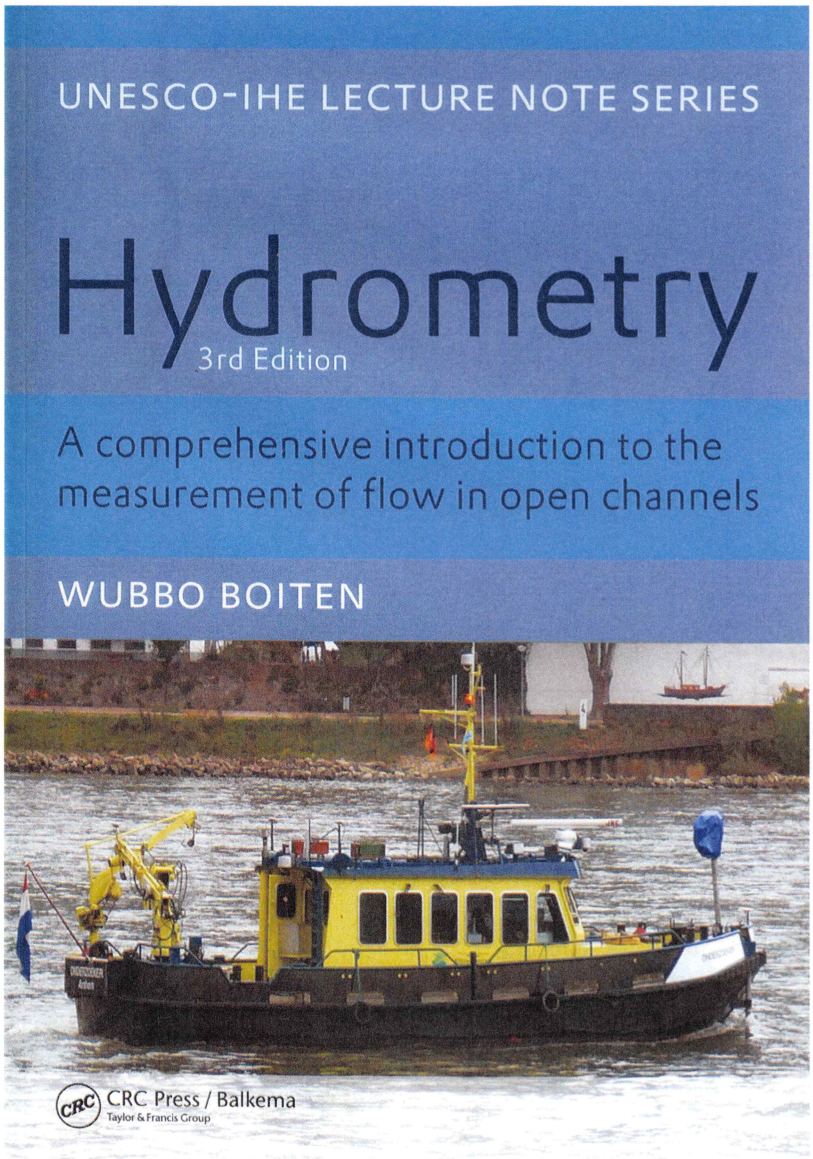

Fig. 3 Het collegedictaat

Eén van de meest verrassende gebeurtenissen – ook voor mij als auteur - is wat er zich tijdens een hoogwaterperiode afspeelt op een zanderige bodem van een rivier.
Ter introductie: waar twee verschillende media over elkaar bewegen, daar ontstaan golven:

- lucht in beweging boven water geeft golven te zien, en hoe sterker de wind, des te groter de golven;
- lucht in beweging boven droog zand, toont wat je ziet op het strand, in de duinen en in een zandwoestijn, kleine of grote zandgolven;
- water in beweging boven het zand op de bodem van een rivier, resulteert eveneens in zandgolven, en ook hier: hoe sterker de stroming (hogere stroomsnelheden), des te groter de golven.

Figuur 4 (pagina 158 in Hydrometry) laat zien hoe de rivierbedding van de Rijn te Lobith van vorm veranderde tijdens de hoogwaterperiode van begin 1995. Zes lengtepeilingen, opgenomen met een echosounder in het midden van de rivier over een lengte van 300 m. Op 2 februari, daags na de piek, zijn de zandgolven op zijn grootst: golflengte circa 35 m en golfhoogte circa 1,70 m.

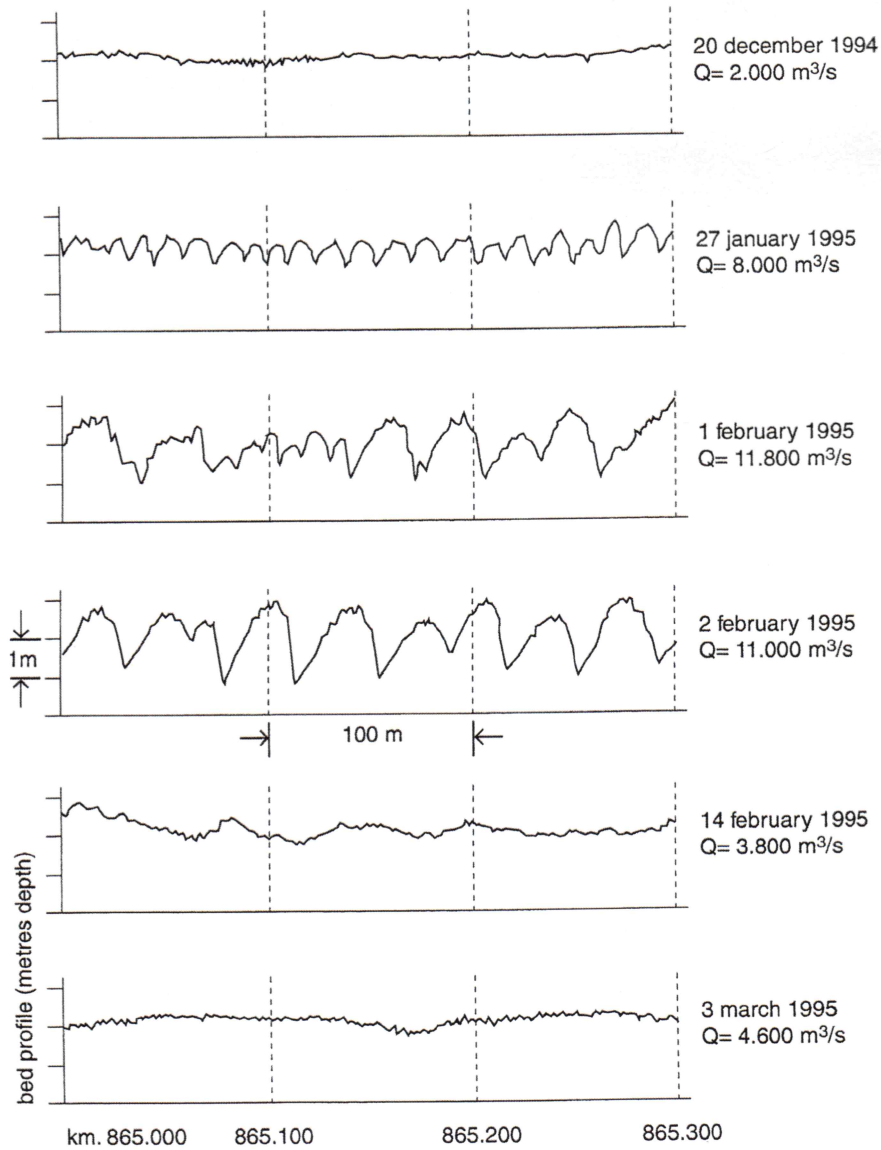

Fig. 4
Verandering in bodemprofiel tijdens een hoogwaterperiode in 1995

De inhoudsopgave van het boek Hydrometry , derde druk 2008, staat op pagina 13.

Fig. 5 Practicum Hydrometrie met de post-graduates van UNESCO/IHE.

Inhoudsopgave Hydrometry

HYDROMETRY
THIRD EDITION

●●● highly important
●● important
● less important

PREFACE

●●● 1 INTRODUCTION

2 WATER LEVELS
●● 2.1 Purpose
●● 2.2 The water level gauging station
●● 2.3 Selection of gauge sites
2.4 Different types of gauges
●● 2.4.1 Overview of water level gauges
●● 2.4.2 The staff gauge
●● 2.4.3 The float operated gauge
● 2.4.4 Pressure transducers
2.4.5 Bubble gauges
● 2.4.6 Ultrasonic sensor
2.4.7 Peak level indicators
2.5 Automatic recording systems
2.5.1 Introduction
2.5.2 Analogue mechanical recorders
2.5.3 Digital mechanical recorders
2.5.4 Electronic recorders
2.5.5 Shaft Encoders
●● 2.6 Function and design of a stilling well for float operated gauges
●● 2.6.1 Description of the float system
2.6.2 Example of the design of a float operated system
●● 2.6.3 Errors with float-operated systems
●● 2.6.4 Chimney effect with a protruding intake pipe
2.7 Accuracy of water level measurements
2.8 Presentation of results of water level measurements
2.9 International standards

3 MEASUREMENT OF BED LEVELS
3.1 Introduction
3.2 Position fixing
●●● 3.3 Global Positioning System, GPS
3.4 Instruments for traditional position fixing
3.5 Examples of traditional position fixing in a straight range line
3.6 Examples of traditional position fixing in a free system
●● 3.7 Sounding and sounding instruments
3.8 Data processing
3.9 International standards

4 DISCHARGE MEASUREMENTS
●●● 4.1 Introduction
●●● 4.1.1 Purpose
●●● 4.1.2 Relation discharge – bed roughness
●●● 4.2 Various methods of discharge measurements
●●● 4.3 Velocity area method
●●● 4.3.1 Introduction
●●● 4.3.2 Velocity distribution in the cross-section
●●● 4.3.3 Selection of site
●●● 4.3.4 Instruments to measure point flow velocities
●●● 4.3.5 Velocity measurements
●●● 4.3.6 Determination mean velocity in the vertical
●●● 4.3.7 Determination of the total discharge in the cross-section
●● 4.3.8 Uncertainties in the velocity area method
4.3.9 Limited number of verticals (the $d^{1/2}$ method)
4.3.10 The moving boat method
●● 4.3.11 Float measurements
●●● 4.3.12 The Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP
●●● 4.4. Slope area method
●●● 4.5 Dilution methods
●●● 4.6 Stage discharge method
●●● 4.6.1 Introduction
● 4.6.2 Controls
●● 4.6.3 Determination of the unique rating curve
●● 4.6.4 Extrapolation of rating curves
●●● 4.6.5 Non-unique rating curves
4.6.6 Processing of stage discharge data
4.6.7 Statistical evaluation of discharge data
4.7 Slope stage discharge method
●●● 4.8 Acoustic method
4.9 The electromagnetic method
●● 4.10 Pumping stations
●● 4.10.1 Introduction
●● 4.10.2 The Archimedean-type screw pump
●● 4.10.3 Centrifugal pumps
4.11 Flow measurement structures
●●● 4.12 Selection of discharge measurement methods
4.13 International standards

5 MEASUREMENT OF SEDIMENT TRANSPORT
●● 5.1 Introduction
●● 5.2 Sediment yield
●● 5.3 Bed forms
●● 5.4 Classification of sediment transport
●● 5.4.1 Introduction
5.4.2 Bed load
5.4.3 Suspended load
5.4.4 Wash load
5.5 Sediment transport measurements
●● 5.5.1 Introduction
● 5.5.2 Bed load Transport Meter Arnhem
● 5.5.3 Dune tracking method
● 5.5.4 Delft Bottle
5.5.5 Optical and acoustic sampling methods
5.5.6 Water sampler
● 5.6 Bottom grab and bottom sampling
●● 5.7 Grain sizes
5.8 Intake structures on a meandering river
5.9 International standards

6 FLOW MEASUREMENT STRUCTURES
●●● 6.1 Introduction
6.2 Functions of structures
6.3 Structures in irrigation schemes
6.3.1 Introduction
6.3.2 Brief description of structures
6.3.3 Flow control systems
●●● 6.4 Classification of flow measurement structures
●●● 6.4.1 Broad-crested weirs
●●● 6.4.2 Sharp-crested weirs
●●● 6.4.3 Short-crested weirs
6.4.4 End depth methods
●●● 6.4.5 Flumes
●●● 6.4.6 Gates
●● 6.5 Fields of application
●● 6.5.1 Irrigation and drainage projects (agriculture)
●● 6.5.2 Sanitary engineering and industry
●● 6.5.3 Hydrological studies
●● 6.5.4 Laboratory measurements
●●● 6.6 Definition of weir flow
● 6.7 Head-discharge equations
●● 6.8 Selection of the most suitable flow measurement structure
●● 6.8.1 Characteristics
●● 6.8.2 Field conditions
●● 6.8.3 Human requirements
●● 6.9 Design of a flow measurement structure
●● 6.9.1 Introduction
●● 6.9.2 Selection of the most appropriate type
●● 6.9.3 Description of the round-nose horizontal broad-crested weir
● 6.9.4 Hydraulic design
6.9.5 Set up of the rating curve
6.10 Calibration of flow measurement structures using scale models
●● 6.11 Fishways
●● 6.11.1 Classification of fishways
●● 6.11.2 Rating curves of fishways
●●● 6.12 Accuracy of discharge measurements
●● 6.13 Standardization of flow measurement structures

7 HYDROLOGICAL NETWORKS
●● 7.1 Introduction
● 7.2 The dynamics of a water system
●● 7.3 Purpose and first setting up of a hydrological network
7.4 Optimization of monitoring networks

8 ORGANIZATION OF A SURVEY

ANNEX I
●● INTERNATIONAL STANDARDS

REFERENCES

8. Uitgevoerd onderzoek 1971 – 2004

In 1971 tekenden het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en de vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie een samenwerkingsovereenkomst. Eén van de doelen was om een nieuwe impuls te geven aan het advieswerk bij het meten van afvoeren met behulp van meetstuwen. Aanvankelijk was daarbij RWS de belangrijkste opdrachtgever. Maar naarmate RWS gaandeweg steeds meer debietmeetstations overdroeg aan de regionale waterbeheerders, werden de waterschappen – in aantal toen nog een veelvoud van de huidige 26 – de belangrijkste opdrachtgevers.
Van 1971 tot 1985 verleende ik adviezen namens het Waterloopkundig Laboratorium.
Van 1985 tot 1995 (in 1985 trad ik parttime in dienst van de Landbouwhogeschool) werd er nu eens door het WL en dan weer namens de LH, later LU, geadviseerd.
Van 1995 tot 2004 (in 1995 eindigde mijn dienstverband met het WL) was de LU, later WUR, de adviesverlener.

In de periode 1971 – 2004 is veel werk verricht aan meetstuwen.
Een meetstuw is een waterbouwkundige constructie, waarbij – in principe – uit de gemeten bovenwaterstand het debiet wordt afgeleid.
Het werk aan meetstuwen omvatte de volgende activiteiten:
- speurwerk, waarvoor aanvankelijk nog royale budgetten waren gereserveerd. Het ging daarbij doorgaans om systematisch onderzoek naar de stroming over meetstuwen, meestal met behulp van fysische schaalmodellen;
- het ijken/kalibreren van bestaande meetstuwen – waarvan de afvoerrelatie niet (voldoende goed) bekend was – met behulp van fysische schaalmodellen;
- het opstellen van de afvoerrelaties van meetstuwen met behulp van informatie uit de literatuur of gebruik makend van de resultaten van eigen speurwerkonderzoek;
- het ontwerp van nieuw te bouwen meetstuwen.

Tenslotte zijn in de periode 1971 – 2004 diverse 'short-term' Hydrometrie-projecten uitgevoerd in een aantal warme landen.
De bijlagen 1 t/m 5 geven een overzicht van uitgevoerd onderzoek.

Bijlage 1 vermeldt alle rapporten speurwerkonderzoek aan meetstuwen en vispassages.
Bijlage 2 geeft een overzicht van alle door de auteur uitgevoerde opdrachten in Nederland. Het grote merendeel betreft meetstuwen. De meetstuwen, die behandeld zijn in de periode 1971 – 2004 kunnen als volgt worden ingedeeld:

soort advies	aantal meetstuwen behandeld	waarvan in 2008 nog operationeel
bestaande meetstuwen		
- ijking met behulp van een schaalmodel	55	28
- veldkalibratie (velocity-area methode)	4	3
- ijking op basis van literatuurgegevens	55	30
ontwerp nieuwbouw meetstuwen	48	30
totaal	162	91

Niet alle meetstuwen zijn nog operationeel.
- sommige zijn ontworpen voor tijdelijk gebruik, bijvoorbeeld voor het meten van de effecten van een ruilverkaveling of een grondwateronttrekking;
- andere zijn verwijderd ter wille van vismigratie.

Hoe langer een meetstuw in functie is – en dit geldt ook voor andere debietmeetstations – des te langer de meetreeks, waardoor het meetpunt buitengewoon waardevol wordt.
Bijlage 3 is het overzicht van door de auteur uitgevoerde opdrachten vóór of ín het buitenland.
Bijlage 4 is een verzameling van artikelen in tijdschriften en presentaties op bijeenkomsten.
Bijlage 5 geeft een overzicht van door collega's uitgevoerd onderzoek aan meetstuwen in Nederland. Deze bijlage completeert het overzicht van bijlage 2.

De lezer die belangstelling heeft voor onderzoeksrapporten, kan dit laten weten bij één van de volgende instituten:

- Deltares, waarvan sinds 1 januari 2008 ook WL/Delft Hydraulics deel uitmaakt.
  Deltares tel. 015 – 2858585
  Postbus 177 email: info@deltares.nl
  2600 MH Delft

- Wageningen Universiteit tel. 0317-482778
  Centrum voor Water en Klimaat
  Secretariaat Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer
  Postbus 47
  6700 AA Wageningen

Op de hierna volgende tien pagina's geven de foto's een beeld van een aantal hydrometrie activiteiten tijdens het uitgevoerd onderzoek in de periode 1971 – 2004.
De volgende onderwerpen - alle met betrekking tot meetstuwen - worden getoond:
- Hobrad overlaat in het Duinwaterwingebied Vogelenzang;
- V-vormige bekkenvispassage in een bypass van de Geul te Mechelen;
- Rossum overlaat, geschikt voor het meten van lage afvoeren;
- Parshall flume op Java in een irrigatiesysteem;
- Hydraulica Laboratorium in De Nieuwlanden;
- Overleg bij de inbouw van een te ijken Khafagi venturi;
- Stroming via een onderwater opening in een testgoot;
- Twee Crump overlaten in Zuid Limburg tot voor kort belangrijke debietmeetstations, maar enkele jaren geleden verwijderd terwille van vispassage;
- Bouw van het model Tsjerk Hiddes Sluizen te Harlingen, lengte schaal n_ℓ = 15, én stroming via de deels geopende sluisdeur in Harlingen en in Wageningen;
- Achterstallig onderhoud bij een meetstuw leidt tot systematische meetfouten;
- Trapeziumvormige meetgoot in de Geleenbeek bij Munstergeleen;
- Hobrad overlaat in het Valleikanaal bij de Grebbesluis, inlaat van Rijnwater.

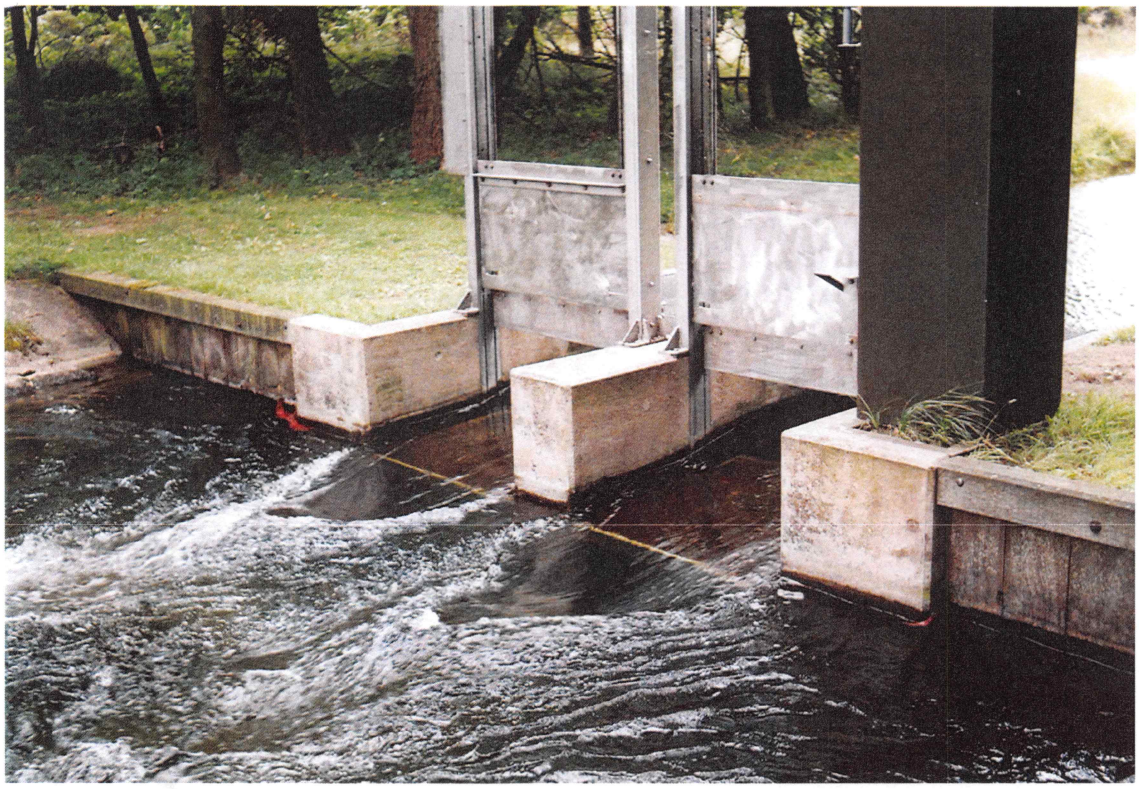

Fig. 6 Hobrad overlaat in het Duinwaterwingebied Vogelenzang ontworpen in opdracht van Gemeente Waterleiding Amsterdam, 1976.

Fig. 7 V-vormige bekkenvispassage in een bypass van de Geul bij de Commandeursmolen te Mechelen, 1980.

Fig. 8 Rossum overlaat, zeer geschikt voor het meten van lage afvoeren, 1983.

Fig. 9 Rossum overlaat, voor het eerst toegepast in Rossum-oost om de effecten te meten van een ruilverkaveling, 1985.

Fig. 10 Parshall flume op Java in een irrigatiesysteem, 1984.

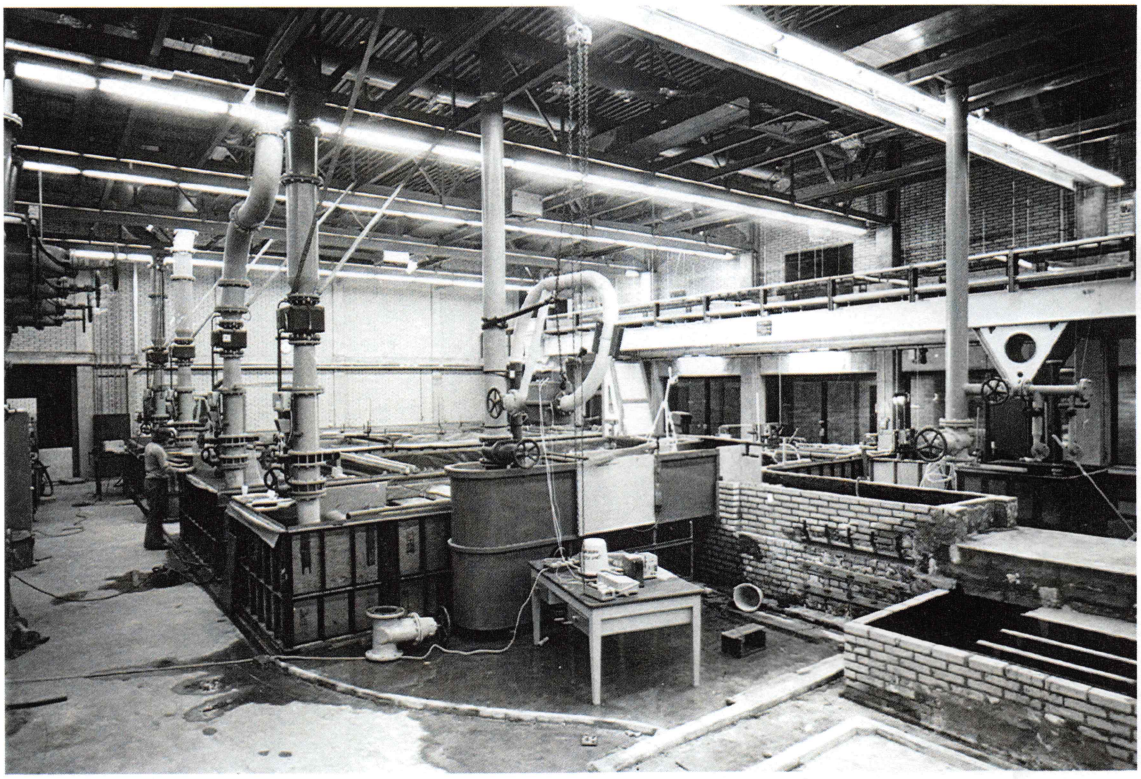

Fig. 11 Hydraulica Laboratorium in De Nieuwlanden 1973-2008.

Fig. 12 Inbouw Khafagi venturi ten behoeve van een ijking, 1985.

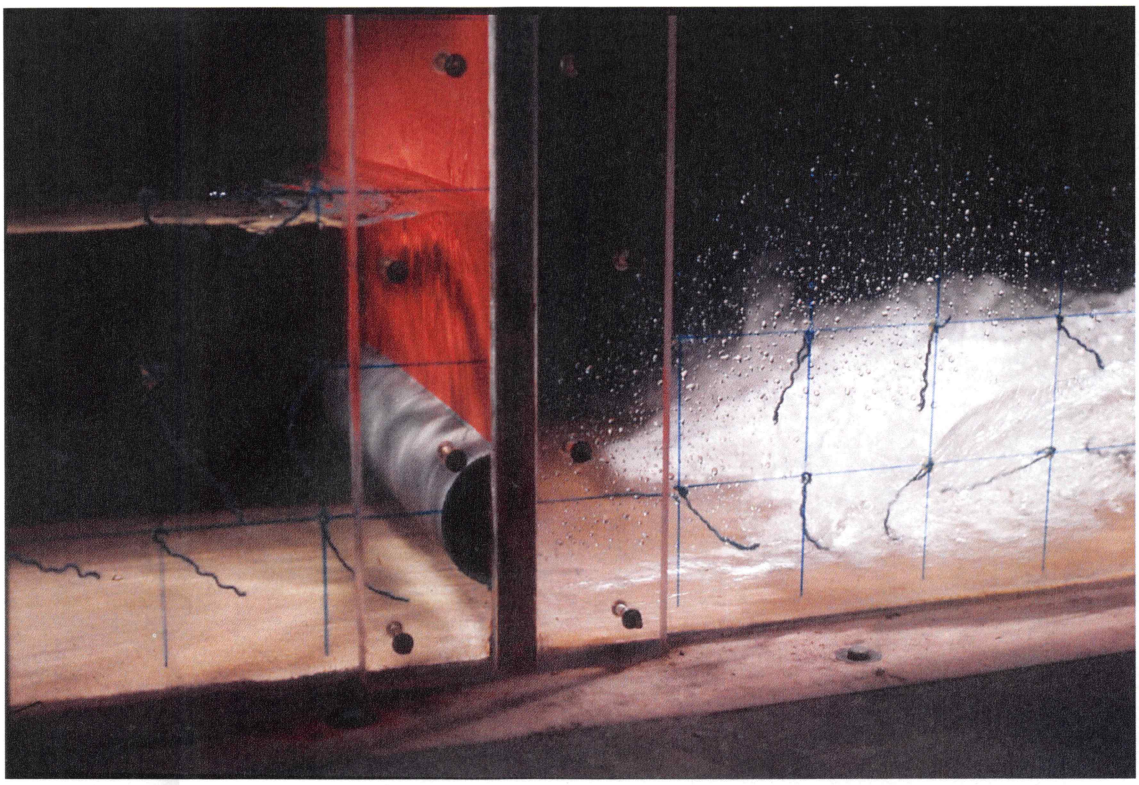

Fig. 13 Onderwateropening met ongestuwde afvoer, 1991.

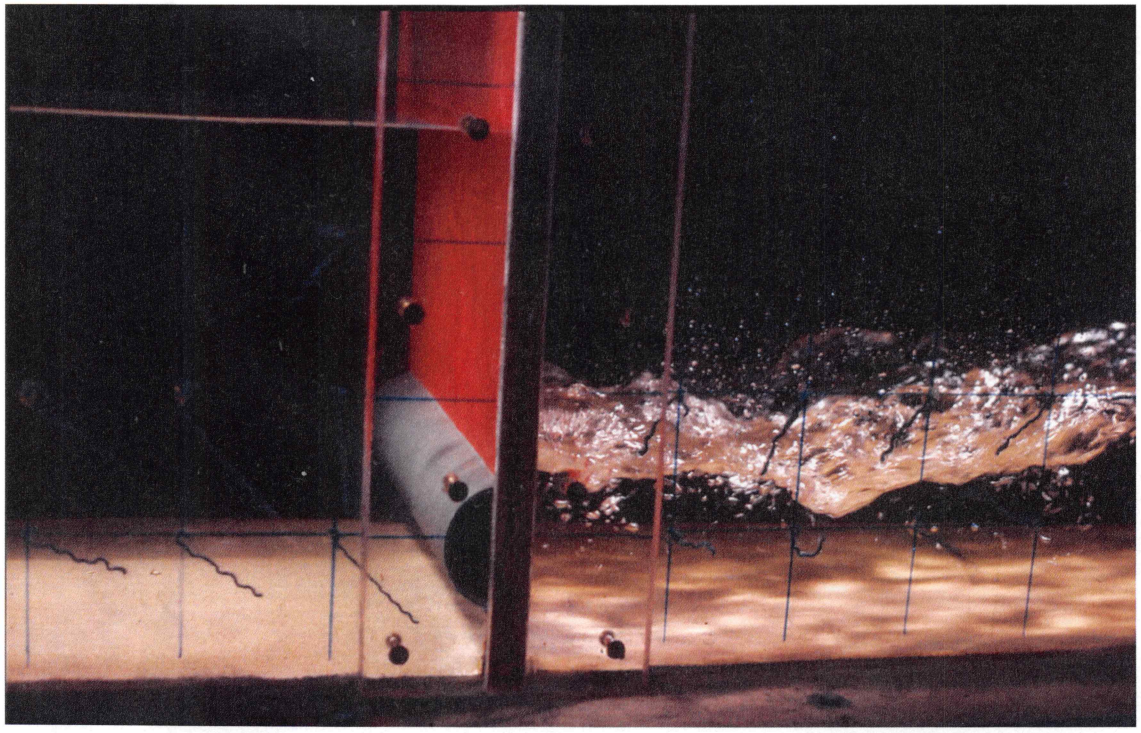

Fig. 14 En nu met gestuwde afvoer.

Fig. 15 Crump overlaat in de Gulp te Gulpen, enkele jaren geleden verwijderd terwille van de vispassage, 1991.

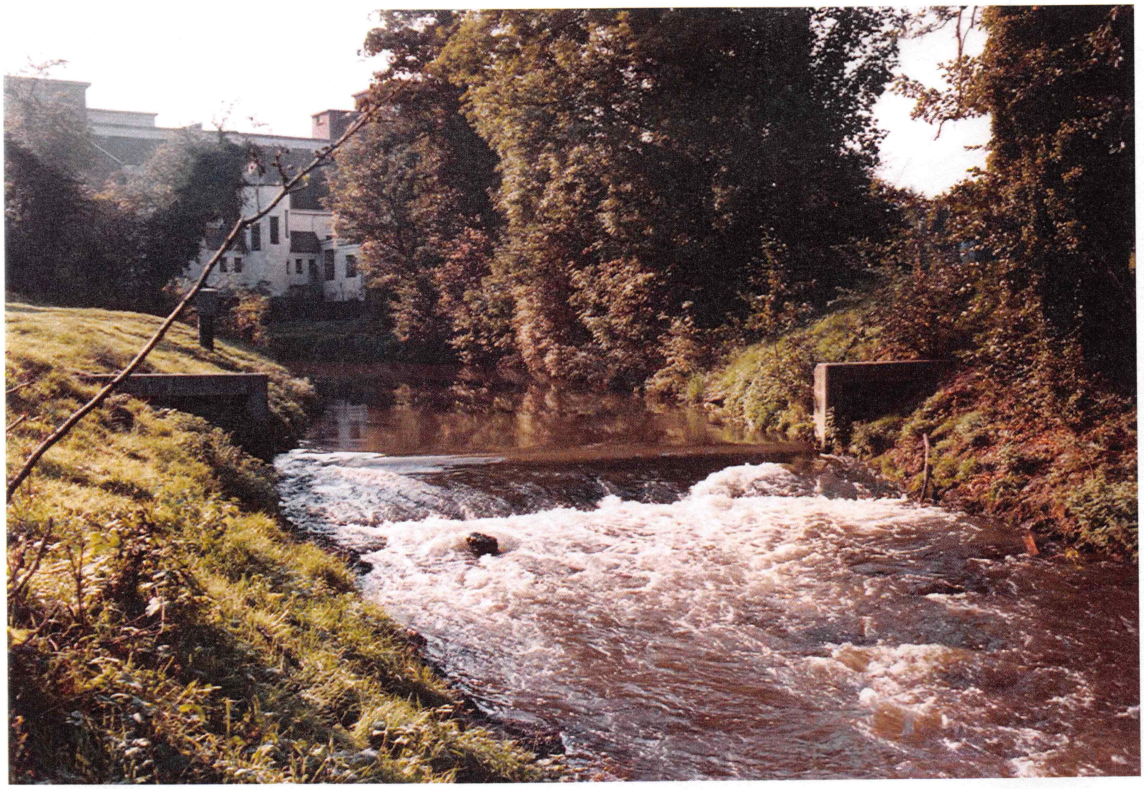

Fig. 16 Soortgelijke meetstuw in de Geul bij Meerssen, eveneens verwijderd om vismigratie stroomopwaarts beter mogelijk te maken, 1991.

Fig. 17 De bouw van het model Tsjerk Hiddes Sluizen te Harlingen, ijking in opdracht van de Provincie Friesland, 1992.

Fig. 18 Overzicht model Tsjerk Hiddes Sluizen in de tunnel achter de Nieuwlanden

Fig. 19 Stroming via de deels geopende sluisdeur, Tsjerk Hiddes Sluizen, in Harlingen.

Fig. 20 Vergelijkbaar stroombeeld in het model, Wageningen.

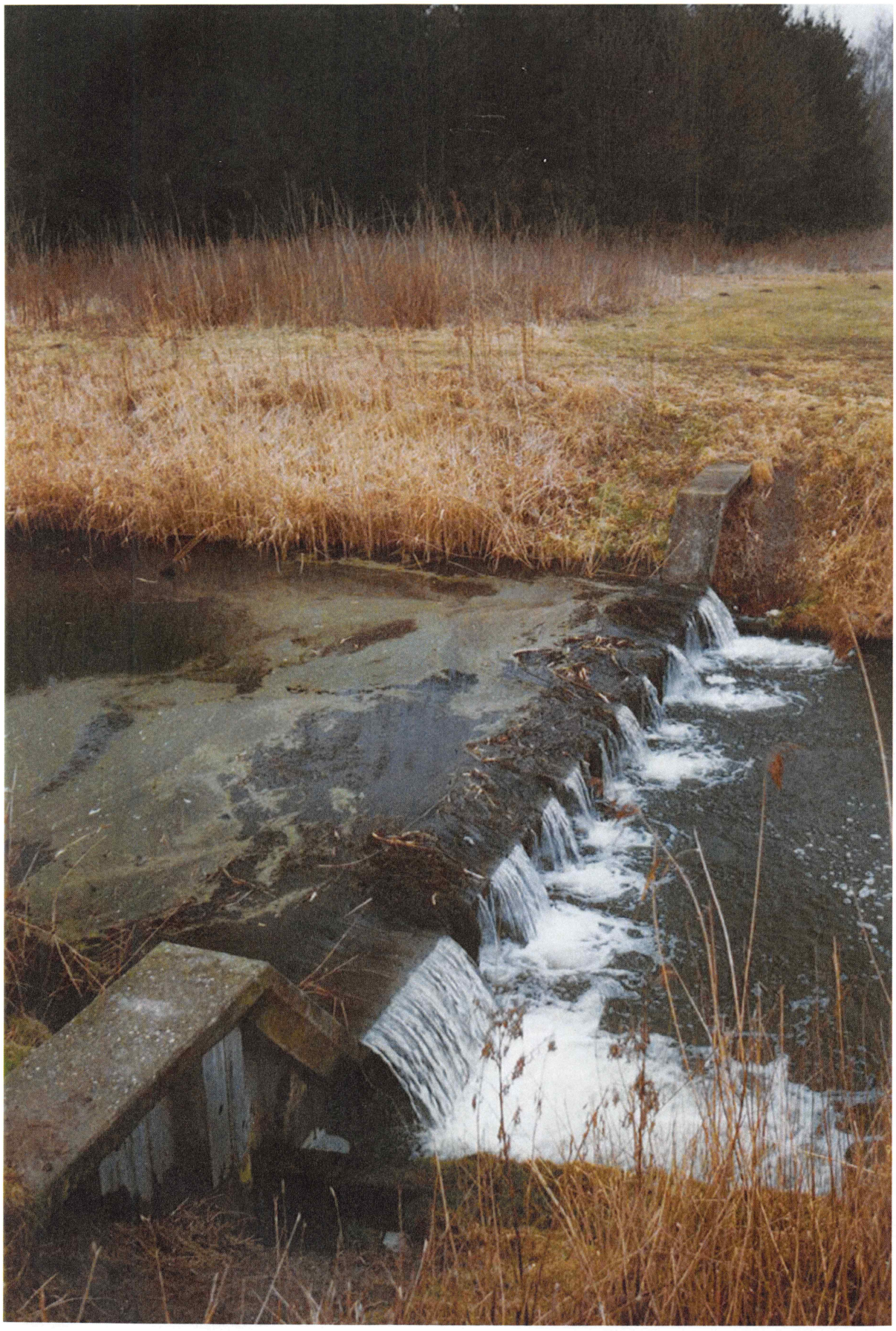

Fig. 21 Jammer, hier wordt de afvoer systematisch overschat.

Fig. 22 Trapeziumvormige meetgoot in de Geleenbeek bij Munstergeleen, ontworpen in opdracht van het waterschap Roer en Overmaas, 1989.

Fig. 23 Hobrad overlaat in het Valleikanaal bij de Grebbesluis ontworpen in opdracht van het waterschap Vallei en Eem, 2001.

9. Kanttekeningen

Informatie uit hydrologische meetnetten
Hierover in de krant de volgende citaten gelezen:
- de rapporten, zoals de jaarlijkse gezaghebbende waterbalans, geven een bedachte werkelijkheid weer: er wordt te veel gerekend en geschat, te weinig gemeten;
- kort gezegd: het probleem is dat de waterbeheerder bij het maken van de waterbalans te weinig buiten gaat kijken, en iets te veel binnen zit;
- en misschien moeten we af en toe vermelden dat we het niet exact weten.

Hydrologische voorspellingen
"Prediction in Ungauged Basins", PUB, een initiatief van de IAHS, biedt een mogelijkheid om voorspellingen te doen in gebieden waar slechts beperkte hydrologische informatie voorhanden is. Een logische vervolgstap is het opstarten van een hydrologisch meetnet: de hydrometrie kent zóveel gestandaardiseerde technieken en wereldwijd zóveel goed opgeleide mensen, dat je vrijwel overal kunt meten, wat je wilt weten.

Waterschappen
Met de oprichting in 2007 van het Platform Monitoring Waterkwantiteit hebben waterschapsmedewerkers, die zich bezighouden met hydrometrie aangelegenheden, een goed besluit genomen. Met het delen van kennis, het participeren in NEN (Hydrometrie standards) en het ontwerpen van een validatieplan, krijgen eindgebruikers een beter zicht op de betrouwbaarheid van hydrologische informatie.

Vismigratie
Lange tijd kampten trekkende vissoorten met twee problemen: fysieke obstakels, zoals stuwen (vaak ook meetstuwen), watermolens en gemalen, én een slechte waterkwaliteit. Aan het laatste is intussen veel verbeterd. Voor het omzeilen van fysieke obstakels zijn er twee mogelijkheden:
- de aanleg van een vispassage (vistrap) in een relatief korte bypass;
- het maken van een relatief langere nevengeul.

Op sommige locaties is er echter geen ruimte om een meetstuw te omzeilen, en wordt besloten dit obstakel te verwijderen. Een goed functionerend debietmeetstation wordt dan met de grond gelijk gemaakt. Realiseert de ecoloog/visbioloog, die opkomt voor het lot van de trekkende onderwaterfauna, zich wat het voor collega hydroloog betekent, als een lange waardevolle meetreeks voortijdig wordt beëindigd?

Ruimte voor de rivier
Van alle tot nu toe geopperde technische mogelijkheden om ruimte voor de rivier te creëren, zou – los van het opruimen van in de stroming liggende obstakels in de uiterwaarden – het aanleggen van nevengeulen in deze uiterwaarden wel een heel goede oplossing kunnen bieden om de waterstanden te verlagen. Twee opmerkingen daarover:
- het meest efficiënte dwarsprofiel van een waterloop – ook van een nevengeul – is de halve hexagoon (de onderste helft van een regelmatige zeshoek). Voor een dwarsprofiel waarvan de oppervlakte vast staat, geldt dan: hoe meer de vorm afwijkt van die van een halve hexagoon, des te lager is de afvoercapaciteit;
- elke geplande mogelijkheid om ruimte te scheppen voor de rivier - en dat geldt ook voor de nevengeul – betekent een ingreep in een bestaand riviersysteem. En dan rijst – net als circa 50 jaar gelden bij de geplande Rijnkanalisatie – de vraag hoe een gewijzigd waterregime doorwerkt op het regime van het sedimenttransport.

10. Naschrift

Terugziend op mijn werk bij het Waterloopkundig Laboratorium – achtereenvolgens De Voorst, Colombia en de Vestiging Wageningen – en mijn werk bij Wageningen Universiteit, ga ik verder met heel positieve herinneringen. Herinneringen aan hoe ik "water in beweging" heb beleefd, maar vooral herinneringen aan al die mensen, die ik op mijn weg ontmoette:

- collega's / medewerkers van beide werkgevers;
- collega's in het buitenland, tijdens de ene lange missie, en diverse kortere, inclusief alle missies ISO/TC113;
- studenten in Wageningen en de post graduates en collega's van UNESCO/IHE;
- collega's van de waterschappen bij het adviseren over 'het meten van afvoeren';
- collega's van de normcommissie Hydrometrie van het Nederlands Normalisatie Instituut (NEN);

Mijn afscheid van het WL was in 1995, net op tijd vóór de reorganisatie van 1996, waarbij het laboratorium De Voorst werd opgeheven.
Mijn pensionering bij de Landbouwuniversiteit was in 1999, het definitief afscheid als gastmedewerker, nu in 2008, valt samen met het definitief sluiten van de deuren van 'De Nieuwlanden', waarin een goed geoutilleerd hydraulica laboratorium, inclusief werkplaats, een fijne werkomgeving bood.
Mijn dank aan alle collega's met wie ik heb samengewerkt. Aan drie van hen bijzondere dank: Anton Dommerholt voor de plezierige coöperatie bij het tot stand komen van veel advieswerk vanuit de Sectie Waterhuishouding en Henny van Werven voor de trouwe hulp bij het typen van rapporten, van het collegedictaat Hydrometry en het gereed maken van deze publicatie. Tenslotte Piet Warmerdam, die mij met m'n hydraulica achtergrond sinds mijn komst naar Wageningen wegwijs heeft gemaakt in de afvoerhydrologie.

Rutger Kopland heeft eens gezegd:
'Ieder mens zou een rivier moeten zijn,
komen zonder verlangen te blijven,
gaan zonder heimwee'.

Fig. 24 'De Nieuwlanden', geschilderd door mijn jongste zoon in 1990.

Literatuur

Boiten, W. 2002. Waterbalansen voor de polders Atsjetille, Edens, Rodenburg en Grouster Laagland. Wageningen Universiteit, Sectie Waterhuishouding, rapport 111.

Boiten, W. 2008. Hydrometry-IHE Lecture Note Series.
CRC Press/Balkema, Leiden, ISBN 978-0-415-46763-6.

Feddes, R.A. 2004. Onzichtbaar water. Wageningen Universiteit. Sectie Waterhuishouding.

Huisman, P. 2004. Water in the Netherlands
Secretariaat NHV. ISBN 90-803565-6-5.

Kerk, G. v.d. 2003. Lang leve de aarde en al haar bewoners
Uitg. De Vijver, Afferden. ISBN 9076224 188

Laat, P.J.M. de e.a. 2006. Toename hoogwater frequentie in de Maas.
Stromingen 12(2006), nummer 3.

Trouw, 2007. Nederland is ongemerkt dorstig, 12 december 2007.

Tuin, J. v.d. 1998. Werken aan water. Waterloopkundig Laboratorium Delft.

Wit, M. de e.a. 2008. Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas.
Stromingen 14 (2008), nummer 1. NHV, ISSN 1382-6069.

Bijlagen

1. Rapporten speurwerkonderzoek aan meetstuwen en vispassages
2. Overzicht door de auteur uitgevoerde opdrachten in Nederland
3. Overzicht door de auteur uitgevoerde opdrachten vóór of ín het buitenland
4. Artikelen in tijdschriften en presentaties op bijeenkomsten
5. Overzicht door collega's uitgevoerd onderzoek aan meetstuwen in Nederland

Bijlage 1

Rapporten speurwerkonderzoek aan meetstuwen en vispassages

Boiten, W. 1975. *Parshall flumes, ontwerp en debietmeting.* WL-rapport S170-I, oktober 1975.
- bijdrage aan samenstelling ILRI-publicatie 'Discharge measurement structures';
- ongestuwde én gestuwde afvoer Parshall flumes, conversie naar metrieke stelsel.

Boiten, W. 1976. *Enquête meet- en regelstuwen.* WL-rapport S170-III, februari 1976.
- marktonderzoek naar het gebruik van meetstuwen in Nederland.

Boiten, W. 1976. *Zijdelingse contractie bij niet ideaal afgeronde landhoofden.* WL-rapport S170-II, december 1976.
- modelonderzoek naar de grootte van de contractiecoëfficiënt.

Boiten, W. en Pitlo, R.H., 1977. *50 Jaar waterloopkundig onderzoek aan stuwen.* WL-rapport S170-IV, februari 1977.
- historisch overzicht van onderzoek, uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium en het Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie, Wageningen.

Boiten, W. 1979. *Debietmeting uit drainagebuizen.* WL-rapport S170-V, maart 1979.
- bijdrage aan Werkgroep 'Drainafvoermetingen' van een aantal Wageningse instituten.

Boiten, W. 1980. *The V-shaped broad-crested weir.* WL-rapport S170-VI, januari 1980.
- modelonderzoek als basis voor de internationale standard ISO 8333-1985;
- ongestuwde én gestuwde afvoer V-vormige lange overlaat.

Boiten, W. 1980. *Debietmeting in meetbakken met een V-vormige korte overlaat.* WL-rapport S170-VII, mei 1980.
- modelonderzoek halfcirkelvormige overstortrand en $\alpha = 90°$ (zie ook S170-XII);
- ongestuwde afvoer.

Boiten, W. 1981. *The rectangular broad-crested weir.* WL-rapport S170-VIII, mei 1981.
- modelonderzoek als basis voor revisie van de internationale standard ISO 3846;
- ongestuwde én gestuwde afvoer rechthoekige lange overlaat.

Boiten, W. 1982. *Broad-crested weirs with bevelled edge.* (vellingkant). WL-rapport S170-IX.
- modelonderzoek voor een veel voorkomende vaste stuw in Nederland;
- ongestuwde én gestuwde afvoer betonrand met vellingkanten.

Boiten, W.1982. *Loss of width by lateral contraction on compound weirs.* WL-rapport S170-X, mei 1982.
- modelonderzoek naar de verliezen in afvoerende breedte bij meetstuwen met een verlaagd middengedeelte.

Boiten, W. 1983. *The trapezoidal profile broad-crested weir.* WL-rapport S170-XI, april1983.
- modelonderzoek als basis voor revisie van de internationale standard ISO 4362;
- ongestuwde én gestuwde afvoer trapeziumvormige overlaat.

Boiten, W. 1983. *The V-shaped short-crested weir with semi-circular cross section.* WL-rapport S170-XII, december 1983.
- modelonderzoek t.b.v. het ontwerp van de Rossum-stuw;
- ongestuwde én gestuwde afvoer Rossum-stuw.

Boiten, W. 1985. *Additional experimental data on Hobrad weirs.* WL-rapport S801-XV.
- modelonderzoek als basis voor revisie van de internationale standard ISO 4374;
- ongestuwde afvoer Hobrad-overlaat voor $H_1/L \leq 1{,}2$.

Boiten, W. 1992. *Literature Survey on Fishways.* WL-rapport Q1507, december 1992.
- literatuurstudie vispassages naar aanleiding van Symposium on Fishways, Gifu, 1990.

Boiten, W. 1993. *Flow measurement structures.* LUW-rapport 42, november 1993.
- overzicht meetstuwen anno 1993.

Boiten, W. 1995. *Het opstellen van de afvoerkrommen van klepstuwen.* LUW-rapport 52, februari 1995. Tevens WL-rapport Q1993, mei 1995.
- literatuurstudie gebaseerd op diverse modelkalibraties klepstuwen;
- ongestuwde én gestuwde afvoer diverse types klepstuwen.

Bijlage 2

Overzicht door de auteur uitgevoerde opdrachten in Nederland

project	opdrachtgever	rapportage		jaar	meetstuwen			gebruik meet-stuwen
		WL	LU		ijking	lit.	ontw.	
Hoogwateronderzoek Stuwcomplex Driel	RWS dir. Bovenrivieren	M398		1959				
Scheef aangestroomde overlaten	RWS dir. Bovenrivieren	M579			x			-
Modderwaterleiding Hoogkerk - Waddenzee	FG Suikerfabriek	M656		1964				
Meetstuw Groenlosche Slinge	PW Gelderland	M1166		1972	x			niet
Meszschwelle im Merkenfritz Bach	Zweckverband OVB	M1154		1972	x			-
Klepstuw St. Michielsgestel	Ws. De Dommel	M1202		1973	x			operat.
Hammermolenstuw te Neer	PW Limburg	M1236		1973	x			operat.
Automatische bediening van een stuw	Jansen-Venneboer, Wijhe	M1229		1974				
Vaste stuw in de Berkel te Rekken	PW Gelderland	R911		1974		x		operat.
Meetstation Gelderns Nierskanaal	RWS dir. Waterhuishouding	R941		1974			x	operat.
Stuw 'De Pol' te Doetinchem	PW Gelderland	M1248		1974	x			operat.
Verdeelwerk BASF, regelbare overstortrand	DHV Amersfoort	M1266		1974				
Klepstuwen Veelerveen en Winschoterzijl	Ws. Reiderzijlvest	M1249		1974				
- klepstuw Veelerveen					x			operat.
- klepstuw Winschoterzijl / De Bult						x		operat.
IJsklep van de stuw Borgharen	RWS dir. Limburg	M1318		1975	x			niet
Klepstuwen Z-O Drenthe	RWS dir. Waterhuishouding	M1273		1975				
- klepstuw Wilhelmsoord					x			niet
- klepstuw Diphoorn					x			niet
Klepstuw in de Zandley bij Cromvoirt	RWS dir. Waterhuishouding	R1023		1975		x		operat.
Drempel in de Geul te Meerssen	PW Limburg	M1317		1975	x			niet
Debietmeting in effluentgoten Friesland	PW Friesland	R1108		1975				
- rwzi aan de Schipsloot te Wolvega						x		operat.
- rwzi Gorredijk						x		onb.
Duinwaterwinplaats Vogelenzang	Gem. Waterleidingen A'dam	R1018		1976				
- hobrad overlaat M1							x	operat.
- hobrad overlaat M2							x	operat.
- hobrad overlaat M3							x	operat.
- hobrad overlaat M4							x	operat.
Drempel in de Maasnielderbeek, Roermond	PW Limburg	M1414		1976	x			niet
Meetwagen Krachtwerktuigen	Krachtwerktuigen Amersfoort	M1443		1976				
Duinwaterwinplaats Vogelenzang	Gem. Waterleidingen A'dam	R1018		1976				
- hobrad overlaat M5							x	operat.
- hobrad overlaat M6							x	operat.
Aanpassing klepstuwen Z.O. Drenthe	RWS dir. Waterhuishouding	R1148		1976				
- klepstuw Jongbloedvaart						x		niet
- klepstuw Boerdijk						x		niet
- klepstuw Odoornerweide						x		niet
- klepstuw Stroomstukken						x		niet
Duinwaterwinplaats Vogelenzang	Gem. Waterleidingen A'dam	R1018		1977				
- hobrad overlaat dam 2							x	niet
- hobrad overlaat dam 4							x	operat.
Akoestische debietmeter TPD/TNO	TNO Delft	D466		1977				
Hydro-biosmeters KEMA	Kema, Arnhem	M1535		1978				
Hevelstuw Cultuurtechnische Dienst	Cult.techn. Dienst Utrecht	M1526		1978	x			-
Energiedemping gemaal van Sasse te Grave	Haskoning, Nijmegen	R1376		1978				

project	opdrachtgever	rapportage		jaar	meetstuwen			gebruik meet-stuwen
		WL	LU		ijking	lit.	ontw.	
Energiedemping gemaal Gewande, Lith	Haskoning, Nijmegen	R1379		1978				
Kafhagiventuri's Kath. Univ. Nijmegen	Zuiveringschap Rivierenland	R1406		1978				-
Akoestische debietmeter Rijnmond model	WL Delft	D466		1978				
Aanpassing Kafhagiventuri's K.U. Nijmegen	Planbureau K.U. Nijmegen	R1413		1978				
- diepriool tandheelkunde, QV 303							x	-
- diepriool klinieken, QV 304							x	-
Bronnering bouwput Philipsdamsluizen	RWS Deltadienst	R1445		1979				
Drentse stuw bij Coevorden	RWS dir. Waterhuishouding	R1380		1979		x		operat.
Reinwaterkelder 3 Pompstation Scheveningen	Duinwaterleiding Den Haag	R1430		1979		x		onb.
IJking Mc Crometer Philipsdamsluizen	RWS Deltadienst	M1630		1979				
Glasvangput Grolsche Bierbrouwerij, Groenlo	Bureau V.d. Heyden,Groenlo	R1494		1979				
Vrije lozing gemaal de Baanbreker te Wellseind	Duinwaterleiding Den Haag	R1496		1979		x		onb.
IJking currentmeter F 581 B	Limnologisch Inst. Oosterzee	M1669		1979				
Aangroeiing op een Thomson meetschot	RWS Deltadienst	M1674		1980				
Klepstuw de Blauwe Kamer in de Bovenmark	Rijksinst. Drinkwatervoorz.	M1675		1980	x			operat.
Meetstation spoorlijn in de Oude Vaart, Meppel	RWS dir. Waterhuishouding	R1453		1980		x		niet
Afvoermeetpunt in de Dinkel, Zoekerbrug,Losser	RWS dir. Waterhuishouding	R1388		1980		x		operat.
Meetschot rwzi Nieuwgraaf te Duiven	Zuiv.schap Oostelijk Gelderl.	M1742		1980	x			operat.
Signalering snelheden in een sluiskolk	Van Willigen, Haaften	R1601		1980				
Meetstuwen Linge project	PW Gelderland	M1784		1981				
- stuw Karbruggen bij Bemmel					x			operat.
- stuw Aftakking bij Hemmen					x			operat.
- stuw Opheusden bij NS Station					x			operat.
- stuw Pottum bij Ochten					x			operat.
Meetstuw Vrijenberger Spreng	PW Gelderland	R1683		1981			x	operat.
Meetstuwen in de Achterhoek	PW Gelderland	M1679		1981				
- klepstuw 'Grote Beek'						x		operat.
- klepstuw 'Het Roordink'						x		operat.
- vaste stuw 'Berenschotbrug'					x			operat.
- vaste stuw 'De Kip'					x			operat.
- vaste stuw 'Jonkersbrug'					x			niet
Stuw in kanaal van Hackfort te Vorden	PW Gelderland	M1679		1981		x		onb.
Afvoermeting met een V-schot, N.K.F. Kabel	NKF Kabel B.V.	R1772		1982		x		-
Meetpunt Waardenburg	Endress Hauser	R1784		1982				
Meetstuwen West-Brabant	Rijksinst. Drinkwatervoorz.	M1731		1982				
- stuw in de Turfvaart, Breda					x			operat.
- stuw Oranjeboombrug in de Aa of Weerijs					x			niet
- klepstuw in de Galderse Beek						x		niet
- schuifstuw Kleine Beek bij Zundert						x		operat.
- schuifstuw Aa of Weerijs te Wernhout						x		operat.
- schuifstuw Stuyvezand in de Aa of Weerijs						x		niet
- stuw Strijbeek in de Strijbeekse Beek					x			niet
- stuw Castelié in het Merkske					x			niet
- meetpunt Chaamse Beek te Ulvenhout					x			niet
- stuw Rijsbergen in de Bijloop					x			niet
- schotbalkstuw in de Molenley te Breda					x			niet
Inlaatdebiet Lagedrukpompstation Brakel	Duinwaterleiding Den Haag	M1874		1982	veld			-

project	opdrachtgever	rapportage		jaar	meetstuwen			gebruik meet-stuwen
		WL	LU		ijking	lit.	ontw.	
Controle snelheidsmeter	G.W. Apeldoorn	M1924		1982				
Overlaat in de Groene Rivier te Pannerden	RWS dir. Waterhuishouding	M1905		1983	x			operat.
Peilbeheer op de Kaswetering	Duinwaterleiding Den Haag	R1904		1983				
- klepstuw Blankenburg							x	niet
- kleptstuw Jagerslaan							x	niet
Afvoermeetpunten ruilverkaveling Rossum-Oost	Landinrichtingsdienst	M1922		1983				
- stuw I, verzamelpunt Nordhorn-kanaal							x	niet
- stuw II, oostelijke tak							x	niet
- stuw III, benedenloop westelijke tak							x	niet
- stuw IV, bovenloop westelijke tak							x	niet
- stuw V, benedenloop centrale tak							x	niet
- stuw VI, bovenloop centrale tak, west							x	niet
- stuw VII, bovenloop centrale tak, oost							x	niet
Bepaling afvoerrel. schotbalkstuwen, Barneveld	Provincie Gelderland	M1847		1983				
- stuw in de Esvelderbeek					x			niet
- stuw in de Barneveldse Beek					x			niet
Stuwen Aadijk en Midden Regge	P.W. Overijssel	R1891		1983				
- klepstuw Aadijk						x		operat.
- klepstuw Midden Regge						x		operat.
Meetput V-schot ATM, Moerdijk	A.T.M. Groot Ammers	R2077		1983				
Meetputten voor debietmeting van afvalwater	STORA, Den Haag	M1963		1985				
- standaardmeetput met scherpe overlaat					x			-
- standaardmeetput met Venturi meetgoot					x			-
Testen Flowsonic DMU 2160	Endress Hauser	M2125		1985				
Klepstuwen Noord-Limburg	Ws. Noord-Limburg	M2155		1985				
- klepstuw Oostrumse Beek						x		operat.
- klepstuw Lollebeek						x		operat.
- klepstuw Grenssloot						x		operat.
Hobrad overlaten Aquavia	Jansen-Venneboer, Wijhe	R2366		1985				
Calibration Khafagi Venturi's	RIZA	M2136		1985				
- QV 303					x			-
- QV 308					x			-
Meetput rwzi Holten	Zuiv.schap West-Overijssel	R2407		1985		x		operat.
IJking stuw Vossebeemd	RWS dir. Sluizen en Stuwen	Q70		1986	x			operat.
Debietmeting rwzi Steenwijk	Zuiv.schap West-Overijssel	Q527		1986			x	niet
Meetgoot in de Geleenbeek bij Brommelen	Ws. Roer en Overmaas	Q554		1986			x	operat.
Debietmeting meetplan Ws. Drentse Aa	Ws. Drentse Aa	Q555		1987				
- vaste stuw Amerdiep						x		operat.
- klepstuw Anreperdiep						x		operat.
- klepstuw Rolderdiep						x		operat.
- klepstuw Loon						x		operat.
- schuifstuw Loon					x			operat.
Ontwerp Khafagi Venturi AKZO, Delfzijl	AKZO Delfzijl	Q651					x	-
Evaluatie debietmeetstations 'Roer en Overmaas'	Ws. Roer en Overmaas	Q708		1988				
Trap. meetgoot in de Geul bij de Rijksgrens	Ws. Roer en Overmaas	Q739		1988			x	operat.
Trap. meetgoot in de Vloedgraaf bij Nieuwstadt	Ws. Roer en Overmaas	Q772		1988			x	niet
Dimensionering meetgoot rwzi Olst	Bureau de Gruyter	Q892		1988			x	operat.

project	opdrachtgever	rapportage		jaar	meetstuwen			gebruik meet-stuwen
		WL	LU		ijking	lit.	ontw.	
Hydrologisch meetplan 'Roer en Overmaas'	Ws. Roer en Overmaas		86	1988				
Klepstuw Opst. Comp. vaart, Gorredijk	Provincie Friesland	Q864		1988		x		operat.
Meetstuw St. Kruiskreek bij St. Kruis	Provincie Zeeland		91	1989			x	niet
Afvoermeting met HKS spindelafsluiters	Bergschenhoek B.V.	Q865		1989	x			-
Inrichting debietmeetstations Zuid Limburg	Ws. Roer en Overmaas	Q917		1989				
- trap. meetgoot in de Selzerbeek te Partij							x	operat.
- trap. meetgoot in de Eyserbeek te Eys							x	operat.
- trap. Meetgoot Geleenbeek te Munstergeleen							x	operat.
- trap. meetgoot in de Voer te Mesch							x	operat.
Hydraulisch ontwerp V-vormige vistrap	Ministerie van LNV	Q930		1989				
Aanpassing overstortschuiven	KWT	Q1213		1990		x		-
Afvoerrelatie V-vormige vistrap	Bureau Kragten, Herten		6	1990	x			-
Meetstation Oude Diep te Echten	Ws. Middenveld		8	1990		x		operat.
Afvoeren Nieuwe Ley te Goirle	Ws. De Dommel		12	1991		x		operat.
Literatuurstudie klepstuwen	Provincie Overijssel	Q1133		1991		x		-
Inrichting debietmeetstations Zuid Limburg	Ws. Roer en Overmaas	Q917		1991				
- trap. meetgoot in de Rode Beek te Jabeek							x	operat.
- Crump overlaat in de Gulp te Gulpen						x		niet
- Crump overlaat in de Geul te Meerssen					x			niet
- klepstuw in de Geleenbeek te Millen						x		operat.
Inlaatsluis Teroelsterkolk	Provincie Friesland	Q871		1991	x			operat.
Beoordeling meetgoot rwzi Olst	Bureau de Gruyter	Q1385		1991				
Afvoer twee suatiesluizen	Ws. Noord- en Zuid Beveland		14	1991				
Hydrologisch meetplan Ws. Lits en Lauwers	Ws. Lits en Lauwers		18	1991				
Inrichting debietmeetstations Zuid Limburg	Ws. Roer en Overmaas	Q917		1992				
- trap. meetgoot in de Rode Beek te Susteren							x	operat.
- trap. meetgoot in de Geleenbeek bij Millen							x	operat.
- Khafagi venturi in de Keutelbeek te Beek							x	operat.
IJking sluizen boezembeheer	Ws. De Brielse Dijkring	Q937		1992				
- inlaat Bernisse					x			operat.
- inlaat Spijkenisse					x			operat.
- inlaat Spijkenisse als spuisluis					x			operat.
- spuisluis Rozenburg					x			operat.
Inrichting debietmeetstations Zuid Limburg	Ws. Roer en Overmaas	Q917		1992				
- trap. meetgoot molentak Selzerbeek te Wittem							x	operat.
- meetlocatie in de Caumerbeek te Hoensbroek								niet
Meetstation in de Molenbeek te Houthuizen	Waterleiding Mij. Limburg	Q1581		1992		x	x	operat.
Inlaatsluis Tacozijl te Lemmer	Provincie Friesland	Q1475		1992	x			operat.
Tsjerk Hiddessluizen te Harlingen	Provincie Friesland	Q1502		1992	x			operat.
Evaluatie 24 meetstations West-Brabant	Hoogheemraads. West Brabant	Q1612		1992				
Effluent meetgoot rwzi Genemuiden	Bureau de Gruyter	Q1655		1993			x	operat.
Verdeelpunt Haarlo	Ws. De Berkel	Q1620		1994				
- schuifstuw in de Berkel					x			operat.
- klepstuw in de Bolksbeek							x	operat.
Debietmeting Waterwingebied Vogelenzang	Gem. Waterleidingen A'dam	Q1728		1994				
- hobrad stuw Breederode						x		operat.
- regelschuif in verticale schacht						x		operat.

project	opdrachtgever	rapportage		jaar	meetstuwen			gebruik meet-stuwen
		WL	LU		ijking	lit.	ontw.	
Aanpassing meetstuwen voor vispassage	Ws. Roer en Overmaas	Q1887		1994				
Akoestisch meetstation Drentse Aa bij de Punt	Gem. Waterbedrijf Groningen	Q1955		1994			x	
Handboek debietmeten in open waterlopen	STOWA		51	1995		x		
Samenvloeiing Veengoot + Van Heeckeren Beek	Ws. IJsselland - Baakse Beek		53	1995				
- klepstuw in de Veengoot						x		operat.
- klepstuw in de Van Heeckeren Beek						x		operat.
Meetnet Renkumse Beken	Nuon Apeldoorn		64	1995		x		-
Meetstuw Cadzand	Ws. De Drie Ambachten		-	1997		x		onb.
Drie Rossum stuwen Schouwen-West	Ws. Zeeuwse Eilanden		76	1998				
- stuw 1 Klein Poelland						x		niet
- stuw 2 Lage Zoom						x		niet
- stuw 3 sportveld Laone bij Renesse						x		niet
Rossum stuw Polder Noordplas	Ws. Meer en Woude		82	1998		x		niet
IJking Friese spuisluizen	Ws. Friesland		83	1998				
- Friese Sluis bij Zoutkamp					x			operat.
- suatiesluis bij Nes, Ameland					x			operat.
Project Evertse Koog, Texel	Ws. Hollands Kroon		86	1999				
- hobrad knooppunten 1090 en 1095						x		niet
- hobrad knooppunt 1000						x		niet
Debietmeetstations Halkenbroek	Ws. Hunze en Aa		93	2000				
- klepstuw Elperdiepje						x		niet
- Rossum stuw Halkenbroek							x	niet
Debietmeetstations op de Schipbeek	Ws. Rijn en IJssel		96	2000				
- kloosterstuw te Deventer					x			niet
- inlaatgemaal Twentekanaal te Markelo					veld			operat.
Debietmeetnet Vallei en Eem	Ws. Vallei en Eem		102	2001				
- lange overlaat achter de Grebbesluis							x	operat.
Inlaatduiker Oosterhout	Hoogheemraads. West-Brabant		108	2002	veld			operat.
Waterbalansen voor vier Friese Polders	Ws. Marne-Middelsee		111	2002				
- Rossum stuw voor vijf meetstations						x		operat.
- V-schot Visserwei						x		operat.
Visgeleiding Stedelijke Roer te Roermond	OVB Nieuwegein		113	2002				
Aflaat naar het Twentekanaal te Lochem	Ws. Rijn en IJssel		114	2003	x			operat.
Reinkstuw in de Buurserbeek	Ws. Rijn en IJssel		117	2003	x			operat.
Dubbelwerkende meetschuif Gietwaterplas	Dienst Landelijk Gebied		118	2004			x	operat.
Inlaat Burgvlietkade te Gouda	Ws. Wilck en Wiericke		119	2004	veld			operat.
Klepstuw gemaal Quarles van Ufford	Ws. Rivierenland		-	2004				
Meetschotten Bargerveen	Ws. Velt en Vecht		120	2004				
- ontwerp A							x	operat.
- ontwerp B							x	operat.
- ontwerp C							x	operat.
- ontwerp D							x	operat.
Aangepaste De Wit vispassage	consortium 20 waterschappen		123	2004	x			-
Hydrometry Lecture Notes 3e druk	WUR en IHE			2008				

Bijlage 3

Overzicht door de auteur uitgevoerde opdrachten vóór of ín het buitenland

Nedeco. 1965. Siltation Bangkok Port Channel. Volume I - Summary and Conclusions, Volume III - The model investigation.

Boiten, W. 1966. Ontwerp Hydraulica Laboratorium. Centro de Estudios Técnicos e Investigaciónes Hidraulicas (CETIH), Universidad de Los Andes,, Bogotá, Colombia (Spaanse taal).

Boiten, W. 1968. Modelonderzoek nood-overlaat in de dam van het Sisga-reservoir. Colombia. (Spaanse taal).

Boiten, W. 1970. Ontwerp instructiemodel voor rivieren en havens. CETIH, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia. (Spaanse taal).

Nedeco. 1973. Rio Magdalena and Canal del Dique Survey Project. Misión Técnica Colombo-Holandesa.

Depeweg, H. and Boiten, W. 1977. Jonglei Structures. Report on hydraulic model investigations Tailregulator. WL-report M1449-I.

Boiten, W., Haas, L. and Oudshoorn, C.R.M. 1980. Jonglei Structures. Report on hydraulic model investigations, Sluice gate type Headregulator. WL-report M1449-II.

Boiten, W. 1980. Acquisitie Colombia. Reisverslag 20 juni - 9 juli 1980. (Nederlandse taal).

Boiten, W. 1981. Hydraulic design of a trapezoidal flume. Bowatenna Huruluwewa Canal, Sri Lanka, WL report R1689.

Boiten, W. 1982. Double Oblique Weir, cooling water outlet channel. Bintulu, Malaysia. WL-rapport R1848.

Boiten, W. 1986. Reisverslag bezoek aan Beying, China, april 1986. Contacten en informatie hydrometrie op de Yellow River.

Boiten, W. 1988. Hydrologisch onderzoek t.b.v. ontwerp autoweg Cotapata - Santa Bárbara. Studie Euroconsult/WL, november 1987, La Paz, Bolivia. WL-rapport Q743. (Spaanse taal).

Boiten, W. 1988. Hydraulisch ontwerp Venturi meetgoot, Cairo, Egypte. WL-rapport Q945.

Boiten, W. 1990. Fayoum Project. Basics of water distribution for the Fayoum. Euroconsult/WL, El Fayoum, Egypt. Technical Report 2, April 1990.

Boiten, W. and Heynert, K.V. 1990. Fayoum Project. Improvement of water distribution at Makassem, Euroconsult/WL, El Fayoum, Egypt. Technical Report 11, November 1991.

Boiten, W. 1991. Fayoum Training Course for Hydraulic Engineers in the Hydraulics and Sediment Research Institute HSRI, Delta Barrage, Egypt, November 1991.

Boiten, W. 1992. Northern Tunisia Water Resource Management Project, World Bank Mission, April/May 1992. LUW report 27.

Euroconsult. 1993. Fayoum Project. Completion Report Phase 1, Cairo, Egypt.

Wesseling, J.W., Boiten, W. et Van Meerendonk. 1993. Mise en valeur du système du Lac Faguibine. Studie Haskoning/WL, Goundam, Mali, oktober 1993. WL-rapport T1273 (Franse taal).

Boiten, W. 2000. Hydrology Project India. Report Overseas Study Tour Rhine Basin, November 1999. LUW report 92.

Boiten, W. 2001. Rehabilitation of the Busongo Reservoir, Sirigu, Bolgatanga, Ghana, May 2001, LUW report 99.

Boiten, W. 2001. Report of the visit to Höyük River, Iskenderun, Turkey. NMCP report 22106 MTR.

Bijlage 4

Artikelen in tijdschriften en presentaties op bijeenkomsten

Boiten, W. en Warmerdam, P.M.M. 1977. *De Waterbalans.* Landbouwkundig Tijdschrift/ pt (19775) 89-5.
Boiten, W. 1977. *Meetoverlaten.* Polytechnisch Tijdschrift, editie Wegen- en Waterbouw, no. 5, 6 en 7 (1977).
Boiten, W. en Warmerdam, P.M.M. 1977. *Debietmeting met behulp van stuwen.* Landbouwkundig Tijdschrift/pt (1977) 89-6.
Boiten, W. en Pitlo, R.H. 1977 *50 Jaar Waterloopkundig onderzoek aan stuwen.* Cultuurtechnisch Tijdschrift, juni/juli 1977.
Boiten, W. 1978. *Flow measurement in open channels with weirs and flumes.* Proceedings Flow measurement of fluids, Groningen, juli 1978.
Boiten, W. 1979. *Hydraulic structures in agriculture.* Hydro Delft, juli 1979.
Boiten, W. 1980. *Debietmeting met een V-vormige korte overlaat.* H_2O, december 1980.
Boiten, W. 1981. *De V-vormige lange overlaat.* Polytechnisch Tijdschrift, editie Wegen- en Waterbouw, no. 3 (1981).
Boiten, W. 1981. *Debietmeting met een rechthoekige scherpe overlaat.* H_2O, augustus 1981.
Boiten, W. 1981. *Hydrometrie en ISO.* H_2O, november 1981.
Boiten, W. and Pitlo, R.H. 1982. *The V-shaped broad-crested weir.* Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, June 1982.
Boiten, W. 1982. *Wageningen stelt zich voor.* WL Intern, oktober 1982.
Boiten, W. 1984. *V-shaped short-crested weir with semicircular cross section.* Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, December 1984.
Boiten, W. 1985. *De Rossum-stuw.* Polytechnisch Tijdschrift/c 1985 (40) 2.
Boiten, W. 1986. *Meetputten met rechthoekige scherpe overlaten voor de debietmeting van afvalwater.* H_2O, maart 1986
Boiten, W. 1987. *De Hobrad stuw.* Polytechnisch Tijdschrift/c 1987 (41) 1.
Boiten, W. 1987. *Debietmeting met klepstuwen.* Cultuurtechnisch Tijdschrift, augustus 1987.
Boiten, W. 1990. *Het meten van afvoeren met HKS spindelafsluiters.* Landinrichting, juli 1990.
Boiten, W. 1990. *Hydraulic design of the pool-type fishway with V-shaped overfalls.* Proceedings International Symposium on Fishways, Gifu, Japan, October 1990.
Boiten, W. 1991. *De bekken vistrap met V-vormige overlaten.* Landinrichting, juli 1991.
Boiten, W. 1992. *Vertical gates for distribution of irrigation water.* International Conference on Protection and Development of the Nile, Cairo, Egypt, February 3 - 5, 1992.
Boiten, W. 1993. *Flow measurement structures.* Flow Measurement and Instrumentation, January 1993.
Boiten, W. 1993. *Training course on discharge measurement techniques.* Sources for Sana'a Water Supply, Sawas III, Jemen, April 1993.
Boiten, W. 1993. *Hydraulische aspecten bij het ontwerp van vispassages.* Studiedag vismigratie OVB, Utrecht, december 1993.
Boiten, W. 1994. *Vertical gates as flow measurement structures.* 2nd International conference on hydraulic modelling, Stratford-upon-Avon, June 1994.
Boiten, W. 1994. *Flow measurement in open channels for hydrological networks.* Utilización y manejo sostenible de los recursos hidricos, San José, Costa Rica, November 1994.
Boiten, W. 1995. *Flow measurement structures.* 2nd International Conference on 'Hydrological Processes in the Catchment', Cracow, Poland, April 1995.
Boiten, W. 1997. *Opzet en inrichting van een hydrologisch meetnet voor het waterkwantiteits-beheer.* PHLO-cursus 'Watersysteeminformatie voor beleid en beheer', Wageningen.
Boiten, W. 2000. *Het meten van debieten in rioolsystemen.* Riolering, juni/juli 2000.

Boiten, W. 2001. *Informatie uit meetnetten.* PHLO-cursus 'Waternood: grondwater als leidraad', Wageningen, september 2001.
Boiten, W. 2002. *Flow measurement structures.* Flow Measurement and Instrumentation 13 (2002).
Boiten, W. 2003. *Afvoermeetstations, leveranciers van hydrologische gegevens.* WL-themadag 'Gegevens in de Hydrologie', Delft, oktober 2003.
Boiten, W. 2004. *The Dutch pool and orifice fishway.* IAHR International symposium on Ecohydraulics, Madrid, September 2004.
Boiten, W., Dommerholt, A. en de Wit, W. 2005. *Uniform ontwerp van de aangepaste De Wit vispassage.* H_2O, augustus 2005.
Boiten, W. and Dommerholt, A. 2006. *Standard design of the Dutch pool and orifice fishway.* International Journal River Basin Management, Volume 4, no. 3 (2006).

Bijlage 5

Overzicht door collega's uitgevoerd onderzoek aan meetstuwen in Nederland

project	opdrachtgever	rapportage		jaar	meetstuwen			Gebruik meet-stuwen
		WL	LU		ijking	lit.	ontw.	
Stuw in de Maas te Lith, schuif én ijsklep	RWS	M85		1935	x			niet
Stuw in de Maas te Borgharen, schuif én ijsklep	RWS dir. Limburg	M100		1938	x			niet
Stuw i/d Oude IJssel, uitmonding Gelderse IJssel	Van Hasselt en De Koning	M324		1949	x			niet
Romijn Vlugter meetoverlaat	Cultuurtechnische Dienst	M362		1950	x			-
Klepstuw in de Haelense Beek, kruin- én stoor-elementen.	Grontmij. N.V. de Bilt	M833		1963				
Meetstuwen Commissie Waterhuish. Gelderland	RWS dir. Waterhuishouding	M843		1965	x			onb.
Meetstuwen Leerinkbeekgebied	Cie. Waterbehoefte Gelderland		03	1965	x			onb.
Stuw in de Aastrang te Voorst	Cie. Waterbehoefte Gelderland		08	1967	x			niet
Trillingen in overstortende stralen	WL	S50		1968				
Stuw IV in de Esscher Stroom te Haaren	Ws. de Dommel	M964		1967	x			operat.
Klepstuw Marmelhorst in de Keizersbeek	P.W. Gelderland		10	1969	x			operat.
Nulpuntsbepaling bij meetstuwen	LU		15	1969				-
Stuw in de Groesbeek	P.W. Gelderland		17	1970	x			onb.
V-Romijn in afwatering van Slotboom			18	1970	x			niet
V-vormige overlaat in Bielheimerbeek bij Poelsbrug	P.W. Gelderland		19	1970	x			operat.
Getrapte overlaat in de Veengoot	P.W. Gelderland		21	1971	x			onb.
Klepstuw Beekvliet in de Groenlosche Slinge	P.W. Gelderland		24	1972	x			niet
Stuw in de Zandwetering bij Diepenveen	RWS		28	1973	x			onb.
Meetpunten Voerbron	Studiegroep Gulp		39	1977	x			onb.
Crump overlaat in de Gulp te Slenaken	RWS		40	1977	x			niet
Schuifstuw in de Peelrijt bij Beuven	Staatsbosbeheer		43	1979	x			onb.
Meetgoot Karsveld in de Gulp	Studiegroep Gulp		48	1980	x			niet
Meetgoot Amsterdamse Veld in een duiker	Ws. Bargerbeek		53	1982	x			niet
Afwijking in gemeten waterstanden, intake pipe	LU		29	1992				
Meetoverlaat Stemerdinkbrug i/d Boven Slinge	Ws. Oude IJssel		60	1995	x			niet
Meetopstelling Vlietpolder bij Hoogmade	Hoogheemraadschap Rijnland		95	2000	x		x	niet
Vispasseerbare Venturi-meetdoorlaat	Enrin, Wageningen		106	2002	x			-
Reinkstuw in de Buurserbeek	Ws. Rijn en IJssel		117	2003	x			operat.
Klepstuw gemaal Quarles van Ufford	Ws. Rivierenland		-	2004		x		operat.
Getrapte overlaat in de Berkel te Rekken	Ws. Rijn en IJssel		-	2006	x			operat.