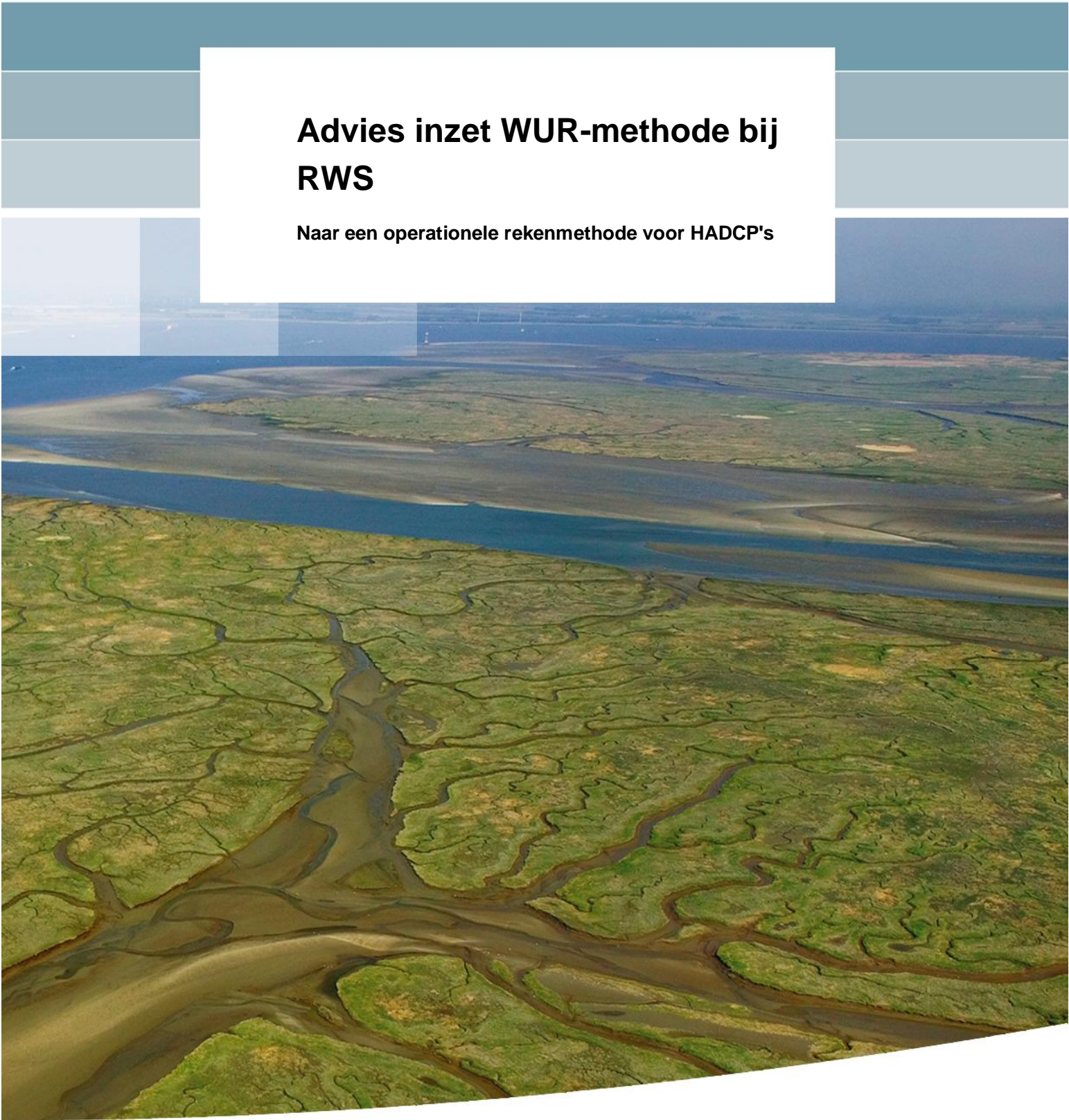


Advies inzet WUR-methode bij RWS

Naar een operationele rekenmethode voor HADCP's



Titel
Advies inzet WUR-methode bij RWS

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Gerard Blom KPP 2013	1207729-004	1207729-004-ZKS-0001	41

Trefwoorden
HADCP, WUR-methode, Index Velocity Method, debiet, monitoring.

Samenvatting
Om uit stroomsnelheidsmetingen met HADCP's het debiet te kunnen bepalen heeft RWS gekozen voor een rekenmethode die is ontwikkeld door de groep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer groep van de Universiteit Wageningen. De methode staat ook bekend als de WUR-methode. Bij toepassing van de methode voor de eerste RWS HADCP voor debiet in Lobith, kwamen er een aantal vragen, verbeteringen en knelpunten naar voren en bleek dat de methode verkeerd in het Landelijk Meetnet Water is geïmplementeerd. Omdat de WUR-methode toch opnieuw geïmplementeerd moet worden in het Landelijk Meetnet Water wil RWS ook meteen bekijken welke verbeteringen nog meer kunnen worden meegenomen.

De methode zoals beschreven voor RWS is inzetbaar op locaties met voldoende stroomsnelheid ($>0,4$ m/s) en weinig verandering in breedte met het veranderen van de waterstand ($<10\%$ verandering in breedte). Daarmee is de methode helaas niet inzetbaar op alle locaties waar anders een ADM (met een k-factor berekening) geplaatst zou worden, waaronder Lobith en de IJssel.

In potentie kan de WUR-methode met aanpassingen wel verder ontwikkeld worden en breder inzetbaar worden, waaronder bij Lobith. De bottleneck zit nu vooral in de aanname van een vaste breedte. Voor het nut en de noodzaak van andere aanpassingen ontbreekt de benodigde informatie, al is er een aanwijzing dat het fitten met andere stromingsprofielen verbeteringen kan opleveren.

Als RWS door wil gaan met het implementeren van de WUR-methode adviseert Deltares om de methode eerst te laten aanpassen zodat de breedtebeperking wordt opgeheven. Vervolgens zou de aangepaste methode toegepast en gevalideerd moeten worden op al bestaande gegevens van de huidige HADCP locaties bij Lobith en de IJssel. In een later stadium kan de methode verder geoptimaliseerd worden.

Tevens wordt aangeraden om parallel een Index Velocity analyse volgens de procedures van de USGS uit te voeren. Dit niet alleen om een alternatief achter de hand te hebben, maar ook om te leren van de data kwaliteitsprocedures van de USGS.

Het uitvoeren van nieuwe berekeningen en validatie kan op korte termijn aangezien alle benodigde data beschikbaar is.

Referenties
KPP 2013, 1207729.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	4-4-2013	Drs. M.Schroevers		Dr. M. Hijma		Ir. T. Schilperoort	

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding: vragen rondom de operationalisering van de WUR-methode	1
2	Aanpak	1
3	Korte uitleg van drie beschikbare rekenmethoden	3
3.1	Velocity profiling method - VPM	4
3.1.1	Voorbeeld van een VPM berekening: Akoestische Debietmeters (ADM) van RWS.	4
3.1.2	VPM inzetten voor de HADCP	5
3.2	Index velocity method - IVM	5
3.3	WUR-methode	7
3.4	Geldigheid van aannames van stromingsprofielen en eisen aan de kalibratie metingen	9
3.4.1	Waterstands- en afvoerafhankelijkheid van parameters in de WUR-methode en andere methoden voor toepassing bij RWS.	10
3.4.2	Eisen aan de kalibratiemetingen	11
3.5	WUR-methode versus IVM	12
4	Casus Lobith	15
4.1	Analyse van aangeleverde metingen	18
4.2	Analyse van de implementatie van de WUR-methode in meetnet.	21
4.3	Toepassen Index Velocity Methode	24
4.4	Conclusies van de casus	27
5	Conclusies	29
5.1	Advies	31
5.1.1	Operationele adviezen	32
6	Gebruikte literatuur en achtergrond materiaal	33
Bijlage(n)		
A	Plus en minpunten van verschillende methoden	35
B	Vragen en deelvragen van RWS met korte antwoorden	37
C	Bringing stream gauging to the next level	41

1 Inleiding: vragen rondom de operationalisering van de WUR-methode

Om uit stroomsnelheidsmetingen met HADCP's het debiet te kunnen bepalen heeft RWS de WUR-methode gekozen. Deze methode is door de Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer groep van de Universiteit Wageningen (UW) ontwikkeld.

Voor de toepassing op de Rijkswateren heeft RWS de methode, die was beschreven in een paper naar aanleiding van onderzoek in Indonesië, laten uitwerken in twee rapporten:

- Debietbepaling uit HADCP metingen met de WUR-methode, Frans Buschman, februari 2011;
- Nauwkeurigheid en meetprotocol van HADCP debietbepaling met de WUR-methode¹, Frans Buschman, augustus 2011.

Daarna heeft RWS de formule in het meetnet laten implementeren. Bij toepassing van de methode voor de eerste HADCP voor debiet, in Lobith, kwamen er een aantal vragen, verbeteringen en knelpunten naar voren en bleek dat de methode verkeerd in het Landelijk Meetnet Water (LMW) is geïmplementeerd. Omdat de WUR-methode toch opnieuw geïmplementeerd moet worden in het LMW wil RWS ook meteen bekijken welke verbeteringen nog meer kunnen worden meegenomen. Tevens wil RWS enig inzicht in hoe de methode presteert ten opzichte van andere methoden zoals de Index Velocity methode van de USGS.

Om de vragen en voorgestelde verbeteringen beter te kunnen duiden heeft RWS aan Deltares gevraagd om op te treden als haar adviseur.

Vragen waar RWS antwoord op wil

Om te bepalen op welke manier RWS efficiënt en betrouwbaar invulling kan geven aan debietbepaling met HADCP's moeten de volgende vragen beantwoord worden:

1. Wat is de juiste toepassingswijze van de WUR-methode?
2. Wat is het toepassingsbereik?
3. Wat zal de prestatie van de WUR-methode zijn?

Deze drie hoofdvragen zijn door RWS nader toegelicht door per hoofdvraag een aantal deelvragen te formuleren. Zie appendix B.

RWS verwacht geen antwoord op elke deelvraag, maar de deelvragen geven de denkrichting aan waarin RWS nu problemen/knelpunten ziet met betrekking tot de WUR-methode.

Afbakening

Het expert advies moet gelden voor de inzet van de HADCP op locaties waar in het verleden gekozen zou worden voor een akoestische looptijdmeting.

Aanbevelingen voor operationele zaken ten behoeve van verbetering van de inzet van HADCP's zijn welkom, maar niet noodzakelijk.

Het advies is bij voorkeur niet slechts kwalitatief, maar (waar mogelijk) kwantitatief van aard. Dit in acht nemend is een aanpak opgesteld zoals beschreven in de volgende paragrafen.

¹ De naam WUR-methode suggereert dat de methode is ontwikkeld door het grotere geheel van onderzoeksinstituten dat is geschaard onder WUR (Wageningen University & Research) waaronder ook Alterra en IMARES, maar de methode is bedacht door Wageningen Universiteit..

Mocht er onverhoopt geen helder antwoord mogelijk zijn op de gestelde vragen dan zal Deltares beschrijven wat de kortste stap lijkt naar een onderbouwd antwoord. Dit document gaat uit van grondige kennis van minstens één van de debietrekenmethoden en bekendheid met de andere methoden.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de aanpak beschreven, in hoofdstuk 3 een overzicht van beschikbare rekenmethoden om debiet te berekenen uit HADCP gegevens. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van een korte analyse van gegevens van de HADCP meetlocatie Lobith gerapporteerd, en in hoofdstuk 5 zijn de conclusies en een advies opgenomen. In Appendix A zijn nog eens kort de plus- en minpunten van verschillende methoden genoemd. In Appendix B is de vragenlijst van RWS behandeld. In de figuren is gebruik gemaakt van Engelse termen om communicatie met andere experts te vereenvoudigen.

Bij het advies is een Excelbestand meegeleverd met de gegevens van de validatiemetingen van Lobith en de Index Velocity berekeningen en een Excelbestand met de implementatie van de WUR berekening voor Lobith op basis van door Alterra berekende parameters.

2 Aanpak

De artikelen en rapportages van (WU) en een aantal van de artikelen van andere bronnen zijn doorgenomen (zie literatuurlijst). Er is een gesprek geweest met Ton Hoitink (Universiteit Wageningen) over de voors en tegens van een aantal methoden en nieuwe ideeën. Tevens is er contact geweest met Amerikaanse collega's Kevin Oberg (USGS) en Marian Muste (University Iowa) over de Index Velocity Method die door de USGS wordt gehanteerd op meer dan 500 meetlocaties.

Er is met de DID nog een tussentijds gesprek geweest om ervaringen tot dat moment te delen en te toetsen.

Een beperking op de resultaten van de gesprekken is dat er nog steeds weinig ervaring is met de methode WUR-methode en ook weinig Nederlandse ervaring met de USGS methode. Daarnaast zijn er nog maar heel beperkte analyses beschikbaar van de huidige HADCP's in de Nederlandse Rijkswateren.

Daarom is de methode waar mogelijk vergeleken met de methode die nu voor looptijd meters wordt gehanteerd. De prestatie van die methode is redelijk bekend voor een scala aan meetlocaties.

Om meer inzicht te krijgen en te voorkomen dat het advies puur kwalitatief van aard zou blijven is een "quick and dirty" analyse gedaan van HADCP data en varende validatie metingen van Lobith. De rekenmethode die zich het best leende voor een snelle analyse is de index velocity methode. Ter vergelijking zijn de debieten berekend met de Qf methode. Daarnaast is gekeken of de door de DID gemaakte Excel-sheet voor het implementeren van de WUR-methode WUR-methode in het meetnet bruikbaar was voor analyse [DID 2012]. Na implementatie was een onderschatting van de debietwaarden van 25% geconstateerd ten opzichte van de Qf berekening en het zou inzichtelijk zijn als de oorzaak te herleiden zou zijn.

Al hoewel de door RWS meegeleverde vragen en deelvragen alleen zijn meegegeven als denkrichting is er toch voor gekozen om op basis van de literatuur, bestaande kennis en korte analyse de deelvragen van RWS te beantwoorden en als appendix op te nemen in dit document.

Ton Hoitink, Stephany de Maaijer (RWS), Bert Go (RWS) en Martijn Andernach (RWS) hebben commentaar geleverd op de conceptversie van het document, evenals Patrick Bogaart (voormalig medewerker van Alterra, nu verbonden aan de Universiteit Utrecht).

Persoonlijke noot van de auteur:

In dit advies heb ik geprobeerd me zo veel mogelijk te richten op feitelijke bevindingen en wat in de praktijk werkt. Maar door gebrek aan "hands on" ervaring met de Index Velocity methode of de WUR-methode WUR-methode en de beperkt beschikbare literatuur, heb ik meerdere malen moeten terugvallen op indrukken in plaats van feiten. Dat weerspiegelt zich in een aantal van de conclusies.

Als de lezer de indruk heeft dat ik zaken gemist heb of tot verkeerde conclusies kom door voldoende overzicht over bestaande literatuur of vooringenomenheid kan die indruk geheel juist zijn, waarvoor bij voorbaat mijn excuus.

Het advies geeft op een deel van de vragen van RWS geen goed onderbouwde antwoorden. Het lukte niet om de vragen over aanpassingen van de bestaande WUR-methode te beantwoorden, omdat de methode op nog geen enkele locatie in Nederland is geïmplementeerd zoals voorgeschreven. Ik hoop de vragen wel voldoende beantwoord te hebben om te komen tot een vervolgstap.

Rinus Schroevers

3 Korte uitleg van drie beschikbare rekenmethoden

Sterk gesimplificeerd is de rekenmethode voor het berekenen van een debiet uit een stroomsnelheidsmeting en een waterstand hetzelfde voor meerdere rekenmethoden: Het debiet wordt berekend uit het doorstroomde oppervlak; A (m^2) en de gemiddelde stroomsnelheid; v_{mean} (m/s) volgens:

$$Q = A \cdot v_{mean}$$

met: Q debiet (m^3/s)
 A doorstroomde oppervlak (m^2)
 v_{mean} gemiddelde stroomsnelheid over het totale doorstroomde oppervlak A (m/s)

Het doorstroomde oppervlak A wordt bepaald uit de gemeten waterstand en een gemeten bodemprofiel.

Omdat de gemiddelde stroomsnelheid over het gehele doorstroomoppervlak niet direct gemeten kan worden valt men terug op een meting in een deel van dat oppervlak a (v_a). Door middel van een functie, die de gemeten stroomsnelheid relateert aan de gemiddelde stroomsnelheid, kan Q berekend worden:

$$Q = A \cdot v_m = A(h) \cdot F(v_a, h)$$

a deeloppervlak waarin de snelheidsmetingen gedaan wordt
 v_a stroomsnelheid in een deelgebied a van A
 F functie die stroomsnelheid in a relateert aan v_{mean}
 h heersende waterstand

In de Verenigde Staten gebruikte de USGS voor de berekening van debieten uit looptijdmeters meestal een lineaire relatie tussen de gemeten snelheid en gemiddelde snelheid v_m . Maar indien noodzakelijk werd de functie complexer gemaakt. Dit staat bekend als de Index Velocity Method [Rantz 1982].

Rijkswaterstaat en organisaties zoals de Bundesanstalt Für Gewässerkunde (BFG) kozen er voor om te werken met aannames van (logaritmische) stromingsprofielen in de verticaal. De bijbehorende rekenmethode staat bij RWS bekend als het k-factor model, maar is breder bekend als een Velocity Profiling Method.

Door USGS en RWS is bij de introductie van de HADCP als stromingsmeter het door hen ingeslagen pad voor de looptijdmeters vervolgd: Index Velocity Method (IVM) versus de Velocity Profiling Method (VPM).

De groep Hydrologie en kwantitatief watermanagement van de Universiteit Wageningen (WU) heeft een methode ontwikkeld die zowel een VPM als een indexing methode in zich heeft. Er wordt aan de methode gerefereerd als de WUR-methode WUR-methode UW noemt het zelf de Deterministisch - Stochastische methode (DSM).

De kern van de methoden is in de paragrafen hierna kort beschreven.

Naast deze methoden bestaan er ook nog een aantal methoden waarbij gebruik gemaakt wordt van een hydrodynamisch model voor het bepalen van de relatie tussen de gemiddelde stroomsnelheid en de gemeten stroomsnelheid. Onder deze methoden valt onder anderen de SIMK methode [Kölling 2005]. Een korte capability statement van Deltares voor het gebruik

van modellen en metingen is opgenomen in bijlage C. Deze modelgerelateerde methoden worden in dit advies niet nader belicht. Dit is een tekortkoming van dit document, maar een beperking ingegeven door de beschikbare tijd voor dit advies.

3.1 Velocity profiling method - VPM

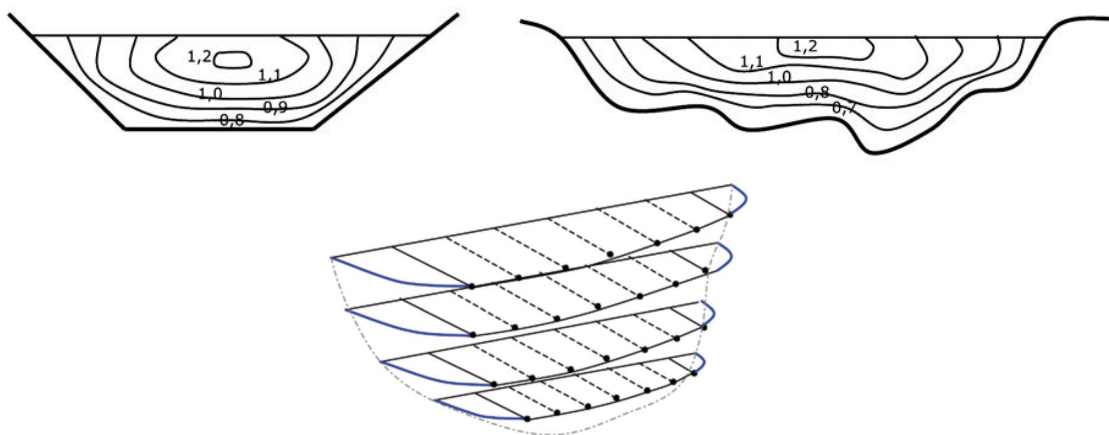
De VPM gaat er van uit dat het mogelijk is om een verticaal stromingsprofiel en horizontaal stromingsprofiel te bepalen uit theorie dan wel metingen.

In de meest eenvoudige vorm is de aanname een machtsprofiel of een log-profiel voor het verticale stromingsprofiel en een parabolische functie voor het horizontale stromingsprofiel. In de meest eenvoudige aanname wordt tevens aangenomen dat de vorm van stromingsprofielen over het hele waterstand- en afvoerbereik hetzelfde zijn. In werkelijkheid zijn de stromingspatronen complexer (zie Figuur 3.1).

Voor de benadering van de stromingspatronen worden stromingsprofielen gebruikt zoals gemeten in laboratoria of gemeten in het veld, al doen gesimuleerde stromingspatronen in een mathematisch model inmiddels ook hun intrede.

Voor de Velocity Profile methode kunnen relatief complexe stromingspatronen ingezet worden voor het berekenen van de afvoer, mits men weet wanneer (bij welke waterstand, welke afvoer, welke stuwstand) deze optreden.

Figuur 3.1 Voorbeelden van stroomsnelheidsverdeling in een kanaal en rivier. Bron Stowa: handboek debietmeten.



3.1.1 Voorbeeld van een VPM berekening: Akoestische Debietmeters (ADM) van RWS.

De berekeningsmethode zoals gehanteerd door RWS voor hun akoestische looptijdmeters (ADM) is een VPM en is gebaseerd op een logaritmischesromings. De gebruikte logaritmische factor wordt vastgesteld op basis van de bodemruwheid en de vorm van de waterloop. De factoren zijn gebaseerd op metingen in windtunnelmodellen van TNO in de jaren 1980 [Bultjes 1986].

De opstelling met looptijdmeters van RWS gaat uit van een meting over de hele horizontaal op één of twee diepten (meetlijnen). Bij voorkeur wordt gemeten op 0,37 maal de waterdiepte waarbij wordt aangenomen dat de snelheid op die diepte de gemiddelde snelheid is van het logaritmischesromings. Omdat de waterstand varieert en de meting is gefixeerd op een hoogte, wordt niet altijd exact gemeten op deze diepte en wordt een waterstandsafhankelijke correctie factor k geïntroduceerd. De berekening voor het debiet wordt uiteindelijk:

$$Q = k(h) \cdot A(h) \cdot v_{line}$$

met: $k(z/h)$ waterstandsafhankelijke factor (dimensieloos)
 z meethoogte t.o.v. bodem
 v_{line} gemiddelde stroomsnelheid gemeten over de lijn op één hoogte

De onzekerheid in de berekening ten gevolge van een verkeerde aanname in het stromingsprofiel wordt geschat door van tevoren een bandbreedte om dit profiel te nemen en te bepalen wat de effecten zijn. Die effecten komen vooral tot uiting in de hoge en lage waterstanden. Als de mogelijke afwijking meer dan een bepaalde waarde is (bijvoorbeeld 5%) worden boven en onder deze grenswaterstanden geen debietwaarden meer uitgegeven of er wordt een 2^{de} meethoogte toegevoegd.

3.1.2 VPM inzetten voor de HADCP

De Velocity Profile methode is ook inzetbaar voor de HADCP [Le Coz et. al. 2008]. Voor het verticale stromingsprofiel kan bijvoorbeeld vergelijkbaar met de looptijdmeters een logaritmischesstromingsprofiel op basis van bodemruwheid worden aangenomen. Daarnaast moet een aanname gedaan worden over het horizontale stromingsprofiel over het deel van de waterloop dat de HADCP niet meet. Datstromingsprofiel kan een parabolisch profiel zijn of worden afgeleid uit validatiemetingen.

Opmerking

De huidige ISO documentatie over Hydrometrie geeft de te verwachten onzekerheid in het debiet ten gevolge van een beperkt aantal snelheidsmetingen in de horizontaal en verticaal. De juistheid van de beschreven onzekerheden staat binnen de ISO werkgroep Hydrometrie ter discussie (persoonlijke communicatie Oberg). De indruk is dat de huidige documentatie de onzekerheden overschat voor een meting op één hoogte en beperkt deel van de waterloop, zoals het geval is bij inzet van een HADCP.

3.2 Index velocity method - IVM

De IVM voor een looptijdmeter heeft als basis dezelfde formule als in de vorige paragraaf

$$Q = v_{mean} \cdot A(h) = k \cdot v_{measured} \cdot A(h)$$

in dit geval wordt k echter direct bepaald uit een relatie tussen metingen v_{mean} en $v_{measured}$. Daarbij wordt v_{mean} bepaald uit varende ADCP-metingen. Allereerst wordt een eenvoudige lineaire relatie tussen v_{mean} en $v_{measured}$ genomen en wordt gekeken hoe die voldoet over het hele bereik.

$$v_{mean} = c_1 + c_2 v_{measured} \quad \text{lineaire relatie}$$

Voldoet die niet binnen de gewenste onzekerheid dan wordt de relatie complexer gemaakt (kwadratische relatie) of uitgebreid met een andere parameter, zoals waterstand of dwarscomponent in de snelheid.

$$v_{mean} = c_1 + c_2 v_{measured} + c_3 v_{measured}^2 \quad \text{kwadratische relatie}$$

$$v_{mean} = c_1 + (c_2 + c_3 \cdot h) \cdot v_{measured} \quad \text{waterstand meegenomen in de relatie}$$

De kracht van de methode is dat er geen aanname gedaan hoeft te worden over het verticale dan wel het horizontale stromingsprofiel.

De zwakte van de methode is dat het beste resultaat tot stand moet komen door iteratief proberen van afhankelijkheden als de lineaire relatie niet voldoet. Ook is het fysische verband in de opgestelde relatie niet altijd goed te duiden.

Voor inzet met een HADCP wordt dezelfde aanpak gebruikt en is v_{measured} de door de HADCP gemeten snelheid. In de onderstaande figuren [uit Ruhl 2005] zijn een aantal van deze relaties tussen de door de HADCP en ADCP gemeten resultaten weergegeven. Het aantal benodigde meetpunten voor het opstellen van een Index varieert van 10 tot enkele tientallen afhankelijk van de complexiteit van de stroming over het meetbereik.

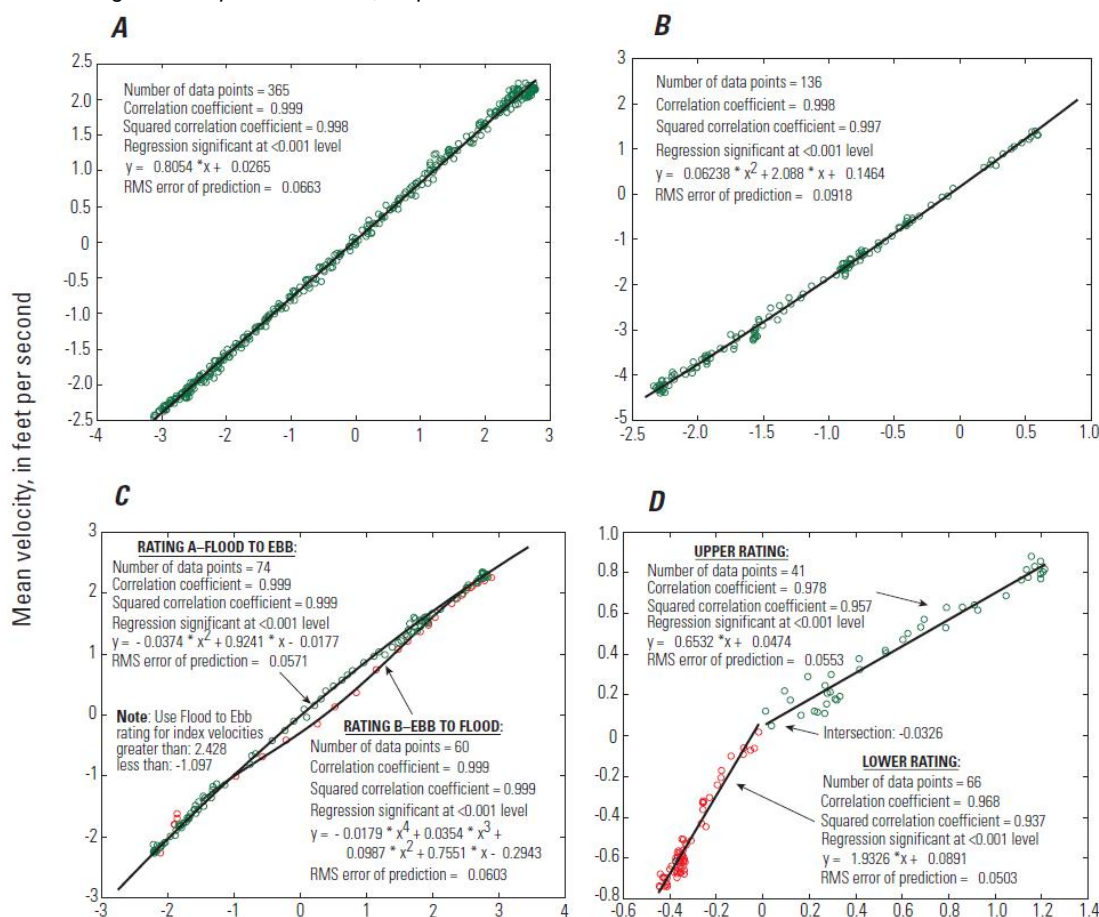
De methode is op honderden zo niet duizenden locaties in de wereld in gebruik en daarmee de standaard. De indruk is dat de inzet vooral kleine waterlopen betreft, maar er zijn ook voorbeelden in grotere rivieren. Analyses van de prestaties van de methode zijn beperkt beschikbaar. De documentatie bestaat wel, maar in de vorm van interne, ongepubliceerde werkdocumenten. USGS heeft twee voorbeelden aangeleverd van rivieren met een afvoer vergelijkbaar met de Rijn, de Detroit River en St. Clair River. Op deze locaties waren de RMSE van de met de IVM geproduceerde afvoerwaarden respectievelijk 4,0 en 1,3 %. Deze relaties werden opgesteld op basis van 20 validatiemetingen en worden jaarlijks gecontroleerd op basis van 10 metingen. De relaties worden opgesteld door het USGS regio kantoor en gecontroleerd door een nationale coördinator die de berekening en de achterliggende meetgegevens valideert. De onderliggende documenten zijn opvraagbaar bij Kevin Oberg. De USGS bestempelt de prestatie van een IVM berekening als "good" bij een onzekerheid kleiner of gelijk aan 5%.

Toch zijn er ook wel minder positieve geluiden over de methode. Stewart Child, zeer ervaren hydrometrist en voorzitter van de Europese standaardisatiecommissie Hydrometrie meldt het volgende over inzet van HADCPs in combinatie met de IVM:

In many UK rivers where variable back water occurs it has been found that ratings must be used where the mean velocity is a function of both stage and velocity. The author has found that even though these devices are relatively cheap and easy to install, at some more difficult sites, developing a stable, reliable velocity index rating can prove problematic and time consuming. As for all hydrometric measurements, good site selection is essential.

Waar bij gebruik van een ADM slechts één snelheidsgetal ter beschikking was, kan men bij de HADCP kiezen om één, meerdere, of alle bins te gebruiken. Het grote aantal opties dat men daarmee heeft verklaart de hierboven genoemde opmerking "time consuming". De ervaringen van Stewart Child betreffen overigens kleine rivieren, en geen rivieren op de schaal van de Rijn of Maas.

Figuur 3.2 Relaties tussen gemeten en gemiddelde snelheid voor een aantal HADCP locaties. A is een simpele lineaire relatie, in B is een tweede orde gebruikt om de relatie te beschrijven, in C is de situatie in een gebied met eb en vloed weergegeven en in D een locatie waarbij de verhouding veranderd bij hogere afvoeren (typisch voor een rivier met winterbed). Bron: Ruhl, C.A., and Simpson, M.R., 2005, *Computation of discharge using the index-velocity method in tidally affected areas: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5004*, 31 p



3.3 WUR-methodeWUR-methode

De WUR-methodeWUR-methode is een hybride methode tussen een VPM en een Index methode die speciaal is ontwikkeld voor gebruik met HADCP's. De methode probeert het goede van beide methoden te combineren.

De methode is helder beschreven voor RWS in de in de inleiding genoemde documenten en meest recent in [Hidayat et. al. 2011].

De WUR-methodeWUR-methode maakt gebruik van een aanname voor het verticale stroomprofiel net als de VPM.

Voor dit verticale stroomprofiel wordt een log-profiel aangenomen gebaseerd op een z_0 (ruwheidslengte) die aangepast kan worden met een factor, α (dip), voor het effect van secundaire stroming (de terugknik bovenin het profiel nabij de oevers zoals te zien in Figuur 3.1). De ruwheidslengte en dip-factor worden bepaald uit metingen ter plaatse.

In de WUR-methodeWUR-methode zoals ontwikkeld voor RWS wordt uitgegaan van een rivier met een bijna vaste breedte bij een veranderende waterstand.

Verder wordt uitgegaan van één bodemruwheid en één dip-factor per segment (HADCP meetcel) over het gehele afvoermeetbereik.

De methode is door WUR ook gebruikt met variabele parameters in een getijrivier (eb vloed afhankelijke z_0) [Sassi et. al. 2011].

Om te corrigeren voor het feit dat de HADCP niet meet over de hele breedte van de rivier, wordt een indexmethode gehanteerd:

Uit de in de verticaal bepaalde profielen wordt per segment een debiet berekend over de hele diepte. Deze debieten per segment worden gerelateerd (index) aan het door de varende ADCP gemeten totale debiet met een factor f_i (representiviteitscorrectie). Wederom neemt de methode zoals beschreven voor RWS een vaste waarde aan voor deze parameter f_i over het afvoermeetbereik. Het debiet wordt vervolgens bepaald door de debieten over de segmenten te middelen. De rekenstappen zijn eveneens weergegeven in de flowchart in Figuur 3.3.

$$Q(t) = \frac{1}{i} \sum_1^i f_i \cdot q_i(t)$$

Voor het meetnet van RWS resulteert de rekenmethode in de volgende formule:

$$Q_{HADCP}(t) = \frac{1}{i} \sum_1^i f_i \cdot W \cdot q_i(t) = \frac{1}{i} \sum_1^i f_i \cdot W \cdot h_i \cdot v_{HADCP_i} \cdot \frac{\ln\left(\frac{h_i}{\exp(1 + \alpha_i)}\right) - \ln(z_{0_i})}{\ln(z_{HADCP_i}) + \ln\left(1 - \frac{z_{HADCP_i}}{h_i}\right) - \ln(z_{0_i})}$$

Waarbij

h_i	hoogte van de waterkolom op de locatie van meetcel i
z_{HADCP_i}	meethoogte in de waterkolom van meetcel i
W	breedte van de waterloop (vast voor alle waterstanden)
f_i	representativiteitsfactor voor meetsegment i
z_{0_i}	bodemruwheid op de locatie van meetcel i
α_i	dipfactor op de locatie van meetcel i

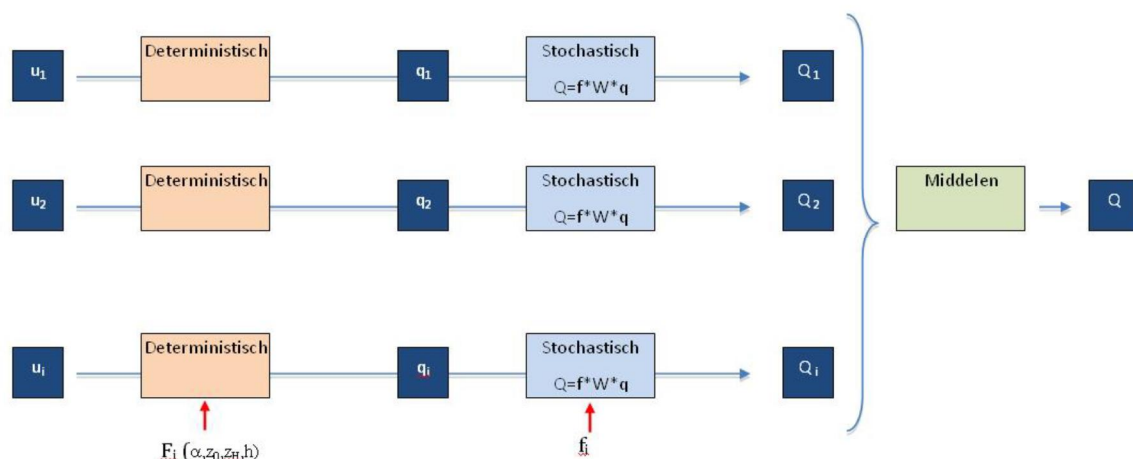
Volgens het huidige protocol dat de WUR heeft opgesteld voor RWS wordt de methode niet aangeraden voor locaties waar de breedte meer dan 10% varieert met de waterstand (binnen het gewenste meet bereik). Dit heeft te maken met het feit dat de breedte W nu is opgenomen als niet variabele parameter.

Tevens wordt de methode niet aangeraden op locaties waar de stroomsnelheid lager is dan 0,4 m/s, als men de onzekerheid in de resulterende debietwaarde (gemiddeld over 10 minuten) kleiner of gelijk aan 5% wil houden. Bij lagere stroomsnelheden werkt de methode nog wel, maar stijgt de onzekerheid.

De randvoorwaarde aan de WUR-methode voor een nagenoeg vaste breedte over het debietbereik beperkt de inzet drastisch. Bredere inzet van de methode lijkt zeker mogelijk, als de beperking van de vaste breedte wordt aangepast.

Het VPM deel uit de methode waarbij de verticale stroomsnelheidsprofielen bepaald worden uit ADCP metingen is ook toepasbaar voor de ADM's.

Figuur 3.3 Flowchart van de bepaling van debiet volgens de WUR-methode uit stroomsnelheidsmetingen met een HADCP. De snelheden links in de flowchart zijn al gefilterd en gemiddeld over een even aantal transecten voor bins waarvoor de calibratie betrouwbaar was. Uit [Buschman 2011].



3.4 Geldigheid van aanname van stromingsprofielen en eisen aan de kalibratie metingen

Alle methoden doen aannames over het gebruik van *vaste* parameters over een deel van het meetbereik. Alles hangt dus samen met het stabiel zijn van de vorm van stromingspatronen over een groter bereik. In deze paragraaf zijn situaties geschetst waarin patronen niet stabiel zijn en waarmee dus rekening gehouden zou moeten worden in de berekeningen.

Stroomsnelheidsprofielen variëren onder wisselende omstandigheden. Denk daarbij dan aan:

- Wel of niet meestromen van uiterwaarden bij hogere waterstanden.
- Wel of niet in gebruik zijn van stuwen.
- Eb of vloed stroming

Voor deze verschillende situaties is het gebruikelijk (en noodzakelijk) om andere parameters te hanteren, zie ook de voorbeelden in Figuur 3.2 en [Sassi et. al. 2008].

Maar er zijn ook andere subtielere wijzigingen:

- Variërende bodemruwheid als gevolg van verandering van de duinen op de bodem. Over het algemeen groeien de zandgolven bij hogere afvoer, maar daar is een grens aan. Bij extreme afvoer slaan de zandgolven weer plat (de auteur is niet goed bekend met dit laatste fenomeen en de achterliggende fysica).
- variatie in stuwstanden stroomafwaarts (stuwefecten of back-water effect, ook geïmplementeerd in Q_f)
- verschillen in waterstandsverval (opgaande of neergaande flank van een afvoergolf)
- verandering van verdeling van de stroming bij verschillende waterstanden bij een stroomafwaarts gelegen splitsing (veranderen van stuwefecten)
- Veranderende verdeling van stroming en neren door veranderende instroming van zijtakken bovenstrooms.

Op dit moment is niet helder hoe groot de laatstgenoemde effecten zijn en of alle effecten van belang zijn bij een gewenste maximale onzekerheid van 5%. Van de laatstgenoemde effecten zijn de bodemruwheid en variërende stuwefecten het grootst.

3.4.1 Waterstands- en afvoerafhankelijkheid van parameters in de WUR-methode en andere methoden voor toepassing bij RWS.

Op basis van de beschikbare theoretische kennis en veldgegevens kan worden gesteld dat de vorm van de verticale stroomprofielen afhankelijk is van waar men in de waterloop het stroomprofiel bepaalt. Tevens kan, zoals hiervoor genoemd, de vorm van zowel de verticale als horizontale stroomprofielen veranderen met de omstandigheden en dus ook met variërende waterstand dan wel afvoer.

De effecten van stuwen en eb en vloed en wel of niet meestromen van uiterwaarden worden normaal meegenomen door het aanpassen van parameters. Deze zijn in het geval van eb en vloed getijafhankelijk, in geval van de stuwen en uiterwaarden waterstandsafhankelijk.

Beperken we ons tot het afvoerbereik waarbinnen nu ADM's worden ingezet voor debietmetingen, dan is dat zonder meestromende uiterwaarden en zonder eb en vloed. Alleen de stuweffecten zijn aanwezig.

Op de huidige ADM locaties wordt niet gecorrigeerd voor een effect van wel of niet gestuwde situatie. Voor subtiele effecten, zoals verandering van de stuweffecten, wordt dus ook niet gecorrigeerd.

Het andere meer subtiele effect van verandering van de zandgolven op de bodem bij variërende afvoer is bij de ADM's altijd verwaarloosbaar klein geacht (binnen het beperkte afvoerbereik waar de ADM's worden ingezet). Deze aanpak, die al meer dan 30 jaar succesvol gebruikt wordt, gaat uit van één waarde voor de bodemruwheid/bodemschuifspanning per locatie. Deze werd voor hogere waterstanden alleen aangepast als de ruwheid bovenin het bodemprofiel erg afweek van onderin (bijvoorbeeld damwand versus steenbestorting of zandige bodem).

De WUR-methode hanteert dezelfde strategie van een vaste ruwheidslengte (per segment) over een beperkt meetbereik. En er is op basis van de WUR onderzoeken, het Alterra rapport, en ADM ervaring geen reden om daarvan af te stappen.

Voor de dip-factor α is dat anders. De plaats van de terugknik verandert in een rivier met de waterstand als de breedte verandert. Bij hogere waterstanden verschuift die mee naar buiten. Alle HADCP metingen vallen binnen het gebied waar theoretisch de terugknik het sterkst is en een verschuiving zou dus merkbaar moeten zijn. Een vaste waarde voor de terugknik toepassen op een vaste bin van de HADCP kan alleen als de breedte niet (te veel) verandert met de waterstand. Dit is nu een voorwaarde voor toepassing van de WUR-methode voor RWS. Voor de factor f gelden gelijke overwegingen: wordt de methode ingezet met de beperkingen die WUR daar nu aan oplegt dan is waterstandsafhankelijkheid waarschijnlijk niet nodig.

Inzet van de methode op locaties met een sterk variërende breedte vraagt in theorie om waterstandsafhakelijke dip factor, maar hoe groot het effect is en of de noodzaak aanwezig is, is onbekend.

Zoals opgemerkt: indien buiten het reguliere inzetbereik van de ADM-inzet wordt gewerkt, dan zullen parameters wel degelijk aangepast moeten worden met de waterstand en of afvoer. Maar het kan zijn dat er dan twee regimes te onderscheiden zijn: bijvoorbeeld afvoeren zonder en met meestromende uiterwaarden (zoals bij een Q h relatie).

3.4.2 Eisen aan de kalibratiemetingen

De wijzigingen in stroomprofielen kunnen bepaald worden uit nauwkeurige metingen met ADCP's. Om de wijzigingen te kunnen zien moeten de varende metingen (of metingen met een op de bodem geplaatst frame), zo lang zijn dat turbulentie, neren en andere variaties zoals opgewekt door scheepvaart zijn weggemiddeld. Arjen Sieben (RWS) heeft uitgerekend dat de benodigde meetduur tussen de 1 ½ uur en 3 uur ligt. Maar dat is alleen nuttig als de afvoer tijdens die meetperiode niet significant wijzigt. De huidige metingen beslaan meestal 10 oversteken en duren bij elkaar een half uur. Door middeling over meerdere metingen van meerdere dagen zou ook een stabielstromings afgeleid kunnen worden, mits zeker is dat de situatie hetzelfde is, maar dat is meestal niet zeker.

Voor een nauwkeurig stromingsprofiel zijn ook metingen dicht aan het oppervlak nodig. Dat vergt metingen met een ADCP met een minimale insteekdiepte vanaf een object dat de stroming minimaal verstoort, zoals een surfplank, kajak of trimaran (al dan niet radiografisch bestuurd of gesleept).

Als de metingen in de meetraai van de HADCP plaatsvinden met een regulier meetschip van RWS is er een aanzienlijke kans dat dit HADCP metingen verstoort. De stromingspatronen worden verstoord door aanwezigheid van het schip, en door het schroefwater.

Daardoor zijn deze metingen niet bruikbaar voor het bepalen van de relatie tussen debiet per segment en totaal debiet. Daarvoor moeten extra metingen, bij voorkeur net benedenstrooms van de HADCP meetlocatie, uitgevoerd worden.

Een andere oplossing is om de HADCP data te gebruiken van net voor en na het uitvoeren van de scheepmetingen. In de protocollen van de USGS wordt dit afgeraden, maar het mogelijke verlies aan nauwkeurigheid is niet gekwantificeerd.

Terzijde

De onzekerheden in de debietbepaling met een HADCP hangen sterk samen met de nauwkeurigheid van de kalibratie metingen met schepen.

In het rapport [[Pothof en Van der Klis 2004] worden waarden voor onzekerheden van debietmetingen met ADCPs gegeven van 4 tot 6 % en een onzekerheid van meer dan 10% als er geen rekening gehouden wordt met een moving bottom. Die berekening geldt voor één enkele oversteek. In werkelijkheid vinden er meestal 10 oversteken plaats en dit reduceert de onzekerheid naar enkele procenten.

De RWS scheepsmetingen vertonen (bijvoorbeeld bij Lobith) een standaarddeviatie van minder dan 1,5% over de 10 metingen in een half uur (standaard procedure voor het bepalen van een afvoerwaarde) met uitschieters naar 2,5% bij veel scheepvaart. Optimistisch beschouwd is de stochastische onzekerheid in het gemiddelde dan: $1,5/\sqrt{10} = 0,5\%$. Maar dan is er nog sprake van systematische onzekerheden. Een aantal van die systematische onzekerheden is afhankelijk van het schip, ADCP configuratie, instelfouten en de vaste werkwijze van individuele surveyors en schippers. Worden de afvoeren met voldoende verschillende combinaties van schepen, ADCP, schippers en surveyors uitgevoerd dan worden deze systematische onzekerheden weer stochastisch. Bij de meetploegen van RWS Oost met 4 verschillende meetschepen zal dit het geval zijn. Deze verwachting wordt ondersteund door resultaten uit vergelijkende tetst in Koblenz waar ook de RWS schepen aan deelnemen. Dan zit er uiteindelijk nog één belangrijke systematisch onzekerheid in de berekening, een mogelijk verkeerde extrapolatie naar bovenlaag en oever die door iedereen hetzelfde wordt gedaan. Deze onzekerheid bepaalt eigenlijk het resultaat van HADCP, QH en Qf relaties.

Het meetschip als bron verstoring van de metingen niet meegenomen door Pothof en van der Klis en nog redelijk onontgonnen terrein.

3.5 WUR-methode versus IVM

Er is maar beperkt literatuur beschikbaar waarin de IVM, de VPM en de WUR-methode naast elkaar zijn onderzocht op locaties die vergelijkbaar zijn met Nederlandse rivierlocaties.

De WUR en Le Coz [Le Coz et al., 2008] laten beiden zien dat de IVM in een eenvoudige vorm niet onder doet voor de WUR-methode en superieur is aan de VPM. In het geval dat de IVM wel onderdoet voor de WUR-methode [Hidayat et. al. 2011] heeft men niet de mogelijkheden van IVM ten volle benut.

Ondanks dat spreken Le Coz et al. toch hun voorkeur uit voor de VPM en gebruikt de WUR-methode een deel van de VPM aanpak, omdat deze conceptueel meer fysica in zich heeft. De velocity profile methode is opgesteld aan de hand van geaccepteerde benaderingen en terminologie uit de rivierkunde. Dat zou bijvoorbeeld foutenbronnen makkelijker identificeerbaar maken dan bij een indexmethode. Maar aangezien de primaire bron van alle methoden de metingen zijn en daarmee ook de primaire bron van de onzekerheden, is deze uitspraak niet overtuigend. De voorkeur van Le Coz et al. en de UW is tot op dit moment een kwestie van overtuiging die nog wordt tegengesproken door de huidige bewijzen. Maar al met al is de indruk van de auteur dat IVM en de WUR-methode elkaar uiteindelijk niet veel zullen ontlopen.

Hier worden een aantal punten genoemd die aan de orde zijn gekomen in verschillende gesprekken.

- Uitspraken van de UW dat de IVM niet meer is dan een lineaire fit die geen rekening houdt met de variërende meethoogte als gevolg van waterstandsverschillen is niet juist. Waar men naar verwijst is de meest eenvoudige benadering, maar de IVM heeft meer opties, waaronder een correctie voor de waterstand. In de meeste gevallen blijkt de lineaire fit echter goed te voldoen over een groot bereik.
- Op de getijlocatie die is onderzocht door de UW voldoet de methode goed vanwege het gebruik van een tijdsafhankelijke component en een getij afhankelijk bodemruwheid. Ook de IVM heeft die opties, zowel voor het invoeren van een opsplitsing tussen eb en vloed [Ruhl 2005] als voor het identificeren van de kenteringssituatie uit de dwarscomponent [Rantz 1982].
- UW concludeert dat er in totaal minder metingen nodig zijn (orde grote 5) voor het bepalen van de juiste parameters dan bijvoorbeeld bij de IVM. Deze aanname is echter nog op een te beperkt aantal onderzoeken gebaseerd en dus nog niet hard genoeg gemaakt.
- Deze conclusie kan waar zijn, maar is nog gebaseerd op een, naar de mening van de auteur, te beperkt aantal onderzoeken om al als feit weergegeven te kunnen worden.
- De IVM is arbeidsintensief, doordat metingen grondig gecontroleerd dienen te worden en er meerdere varianten van correlatie en parameters doorgenomen moeten worden voor het beste resultaat. Dit vergt veel inzicht in de locatie en de daar optredende situaties. De WUR-methode is eveneens arbeidsintensief doordat metingen grondig gecontroleerd dienen te worden en berekende parameters onafhankelijk geverifieerd dienen te worden over het hele bereik voor het beste resultaat. Ook dit vergt inzicht in de locatie en de daar optredende situaties. Toch kan een surveyor, na het volgen van een cursus, de IVM zelf uitvoeren, wat met de WUR-methode voorlopig niet en wellicht nooit haalbaar zal zijn.
- De WUR-methode is deels geautomatiseerd op basis van matlabscripts. Dat is voor de IVM niet het geval. Beiden kunnen (verder) geautomatiseerd worden, maar automatisering kan ten koste gaan van inzicht en daarmee de juiste keuze voor parameters.

- De inzet van de WUR-methode is beperkt gedefinieerd en dekt daarmee niet het gebied waar vroeger een ADM overwogen zou worden. De indruk is dat de methode wel opgerekt kan worden, zij het dan met het loslaten van de aanpak met genormaliseerde breedte en diepte. De IVM methode wordt ingezet over een groot bereik en vele situaties.
- de WUR-methode kan theoretisch opgerekt worden naar het nog ongemeten bereik, maar in principe gaat de methode dan over in een Velocity Profile Method aanpak, omdat zowel voor het verticale als horizontale stromingsprofiel ongevalideerde aannamen gedaan moeten worden. Er kan dan echter teruggevallen worden op stromingsprofielen uit literatuur. Oprekken naar een nog ongemeten bereik is theoretisch ook mogelijk met de IVM, door het doortrekken van de relatie naar hogere afvoeren. Maar ook daar geldt dat de relatie dan ongevalideerd is en er kan (bij weten van de auteur) niet gesteund worden op literatuur.

4 Casus Lobith

De HADCP bij Lobith is geplaatst in op km raai 863.900 en is actief sinds de zomer van 2012.

De opstelling staat beschreven in [Observator 1 en 2 2011].

Het bodemprofiel en de locatie van de HADCP zijn weergegeven in Figuur 4.2. In de figuur is te zien dat tot NAP + 12m de uiterwaarden in ieder geval nog niet mee stromen. Bij waterstanden boven NAP + 13,60 m overstroomt de zuidelijke zomerdijk. Bij tussenliggende waterstanden stromen de uiterwaarden niet significant mee (persoonlijke communicatie Stephany de Maaijer). Het bodemprofiel is opgesteld door een aantal lijnen te halen uit de onderliggende bodemdata. Deze lijnen liggen zijn niet voldoende representatief voor de locatie.

De opstelhoogte van de HADCP is 7,95 m NAP, dit is vrij hoog in het profiel. Dit is hoger dan in het initiële ontwerp [Observator 1 2011] waar de HADCP op 6 m gepland. Deze aanpassing is gedaan vanwege een zandduin die het signaal van de HADCP blokkeerde. Op basis van de herhaaltijden van waterstanden bij Lobith [RWS Oost 2012] zal de HADCP nu ongeveer 60 dagen per jaar droog staan.

Het meetbereik is ingesteld op 50 meter met 10 meetcellen van 5 meter. De meethoogte ten opzichte van de bodem varieert van 2,6 m bij de paal tot 4,2 m in de 10^{de} cel.

Op basis van de beschrijving van Observator worden de HADCP metingen minder betrouwbaar als de waterstand onder de 9,5 m NAP komt. Dit is meer dan 170 dagen per jaar.

Volgens het theoretische bundelprofiel (Figuur 4.2) zou in cel 10 de bundel het oppervlak raken bij een waterstand lager dan 9,2 mNAP. Volgens de beschrijvingen van de WUR-methode heeft enige reflectie van de oppervlak geen negatieve invloed op de resultaten, maar dat zal per locatie geverifieerd moeten worden.

Op de locatie treden scheepsgolven op in de orde van 50 cm (top dal), maar groter komt ook voor. Hierdoor ligt de absolute ondergrens voor de metingen rond 8,2 m NAP.

Uit voorgaande informatie wordt het meetbereik geschat van 9,2 m NAP tot maximaal 13,6 m NAP, wat ongeveer 200 dagen per jaar het geval is. Na verificatie bij waterstanden in een lager bereik zou dit groter kunnen blijken.

De aannemer Observator heeft de HADCP aangeleverd met de interne berekening van het debiet. Dit debiet wordt berekend op basis van de waterstandsmeting door het apparaat zelf, een oppervlakte tabel, de snelheidsmetingen van de HADCP en een Index Velocity rating.

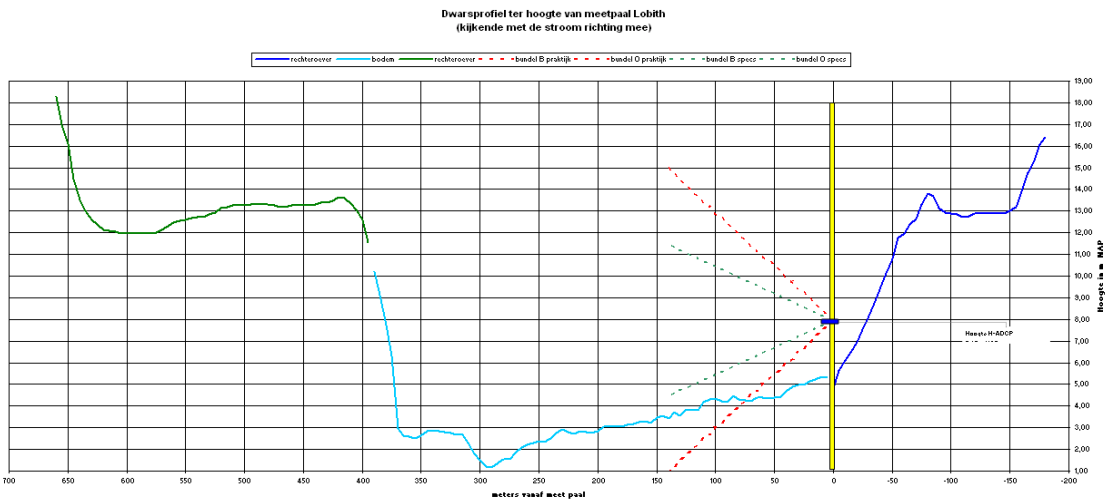
Die index rating is bepaald na installatie van de HADCP aan de hand van 10 metingen met een bootje [Observator 1 2011]. Het resultaat is de onderstaande relatie, maar de documenten over hoe die tot stand is gekomen zijn niet in bezit van RWS CIV.

$$V_{mean} = 0,28 + 0,73 V_{hadcp}$$

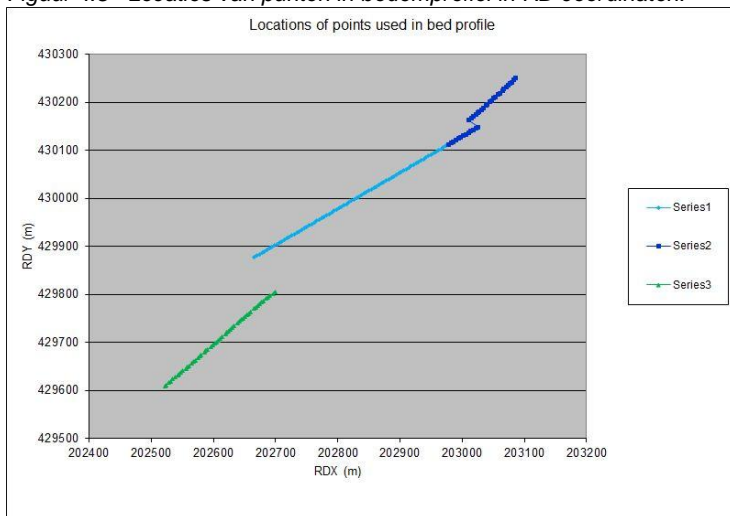
Figuur 4.1 Meetpaal bij Lobith



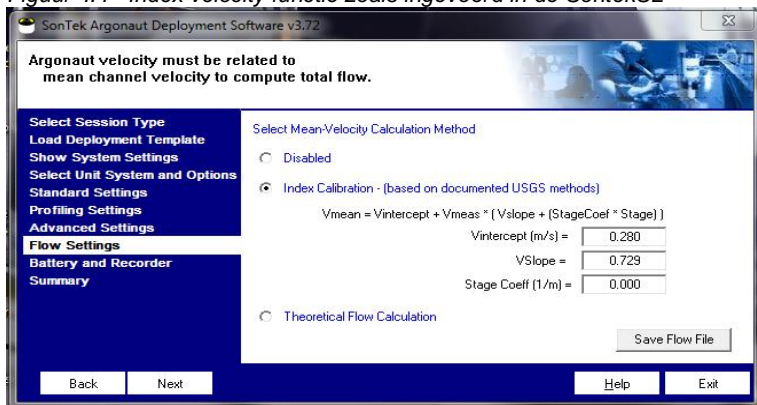
Figuur 4.2 Bodemprofiel bij de meetlocatie met daarin de opstelhoogte van de HADCP. De groene stippellijn is de theoretische bundelbreedte van de Sontek SL. De rode stippellijn is de bundelbreedte in de praktijk (bron RWS).



Figuur 4.3 Locaties van punten in bodemprofiel in RD coördinaten.



Figuur 4.4 Index velocity functie zoals ingevoerd in de SontekSL



Beschikbare data

De data die aan Deltares ter beschikking gesteld is van de HADCP begint op 22 oktober 2012 en eindigt op 13 januari 2013, maar er is al voor die tijd gemeten. Een aantal van de debietwaarden waren opgenomen in de Excel tabellen van RWS en zijn overgenomen in de tabellen. Tevens zijn de waarden van de Qf relatie, de waterstanden en een bodemprofiel aangeleverd. Sinds september 2012 heeft RWS Oost bij de locatie 17 debietmetingen uitgevoerd met een schip, waarvan 15 binnen de genoemde periode.

De data is aangeleverd in losse bestanden per dag per parameter. In kader van de korte analyse is alleen de data van de dagen waarop een varende meting aanwezig was bekeken. Opvallend is dat de breedten (en ook oppervlakken) van de waterloop zoals die in de ADCP metingen is geregistreerd bij de bijbehorende waterstand niet overeenkomen met die uit het bodemprofiel af te lezen zijn. De oorzaak zit in het niet correcte bodemprofiel. Een ander markant punt is dat de HADCP ook data levert als er weinig water boven staat. (zie meting 27 september). Ten slotte zijn de validatie metingen niet mooi evenredig verspreid over het debietbereik.

De waterstand in de meetdagen varieerde van 8,34 m NAP tot 13,45 m NAP. Dit komt overeen met een waterkolom van 3,5 m tot 8,6 m in het in het meetbereik van de HADCP. Dit resulteert in een relatieve meethoogte z/h van de HADCP van 0,89 tot 0,36.

Tabel 4.1: overzicht meetgegevens en berekende debietwaarden tijdens dagen met kalibratie/validatiemetingen. De rode waarden zijn als onbetrouwbaar gemarkeerd door RWS, de oranje als onbetrouwbaar door Deltares (zie analyse).

	H	h	z/h	Breedte ADCP	Q_ADCP	Q_f	Q_ Observator
	(mNAP)	(m)		(m)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
2012-09-27	8,34	3,50	0,89	n	1591	1542	1679
2012-10-10	8,46	3,62	0,86	n	1607	1590	1499
2012-11-12	9,78	4,94	0,63	380	2532	2512	2403
2012-11-14	9,71	4,87	0,64	379	2577	2511	2631
2012-11-27	8,55	3,71	0,84	376	1579	1641	1499
2012-11-29	8,39	3,55	0,88	377	1509	1552	1203
2012-12-03	9,57	4,73	0,66	406	2586	2430	2613
2012-12-06	9,20	4,36	0,71	406	2232	2083	2121
2012-12-11	9,57	4,73	0,66	405	2530	2373	2423
2012-12-17	9,66	4,82	0,64	380	2699	2581	2724
2012-12-18	10,84	6,00	0,52	406	3883	3465	3865
2012-12-20	12,46	7,62	0,41	408	4998	4927	5197
2012-12-21	12,76	7,92	0,39	414	5241	x	5558
2013-01-02	13,45	8,61	0,36	n	5587	x	5978
2013-01-03	13,01	8,17	0,38	400	5186	5356	5355
2013-01-17	9,70	4,86	0,64	395	2463	2474	2532
2013-01-21	9,17	4,33	0,72	397	2083	2075	2182

n= waarde niet beschikbaar door ontbreken ruwe ADCP metingen

4.1 Analyse van aangeleverde metingen

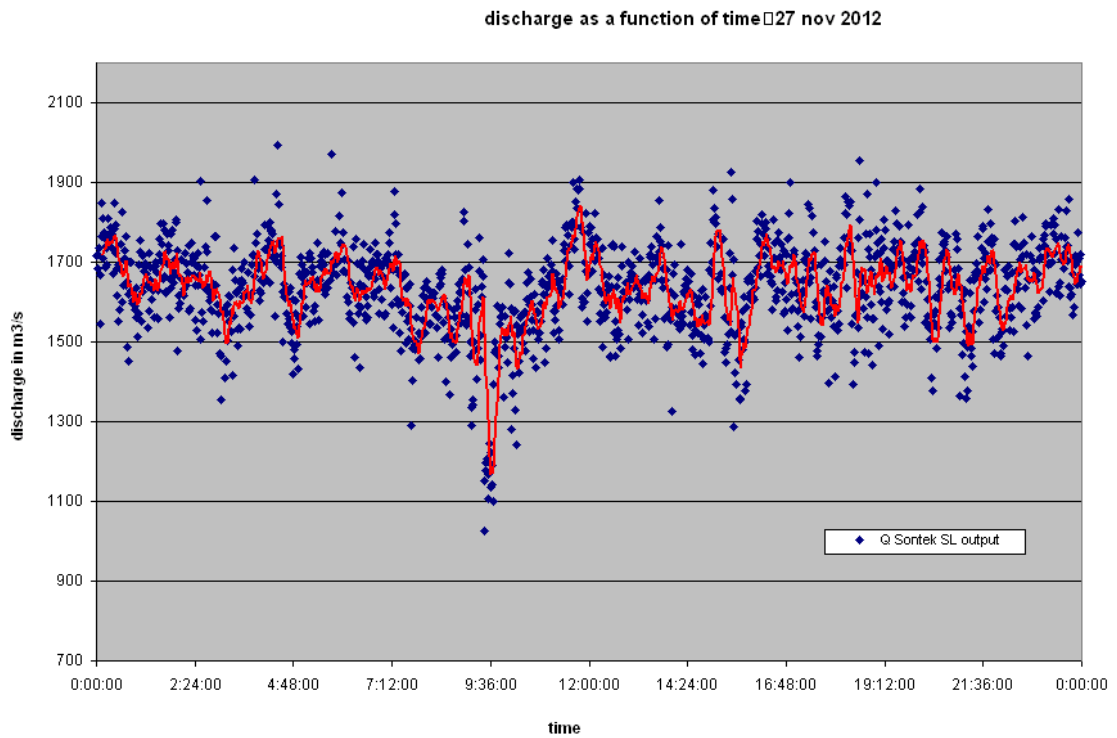
Bij analyse van de aangeleverde metingen bleek dat in sommige gevallen het meetvaartuig de HADCP metingen heeft verstoord. Dit was soms af te leiden uit de variabiliteit van het HADCP signaal over enkele minuten, of uit vreemde horizontale stromingsen, maar het best te bepalen door het debiet in de tijd uit te zetten. In Figuur 4.5 zijn de debieten per minuut (directe uitvoer van de Sontek HADCP) weergegeven van 27 november 2012. Daarin is duidelijk een piek te zien rond half tien. Dit valt samen met de meetperiode van de varende meting op die dag. In Figuur 4.6 zijn de snelheden zoals gemeten door de HADCP tijdens de varende meting weergegeven.

Voor de analyse zijn 4 metingen van de 15 om deze reden niet bruikbaar voor het bepalen van een Index Velocity. Het meetprotocol zal aangepast moeten worden om dit soort verstoring te voorkomen. Het is niet duidelijk of de andere metingen verstoord zijn, maar interne consistentie van de metingen wijst niet op verstoring. In Figuur 4.7 is een aantal van de (onverstoorde) horizontale snelheidsprofielen van de HADCP weergegeven tijdens de kalibratie metingen met de varende ADCP.

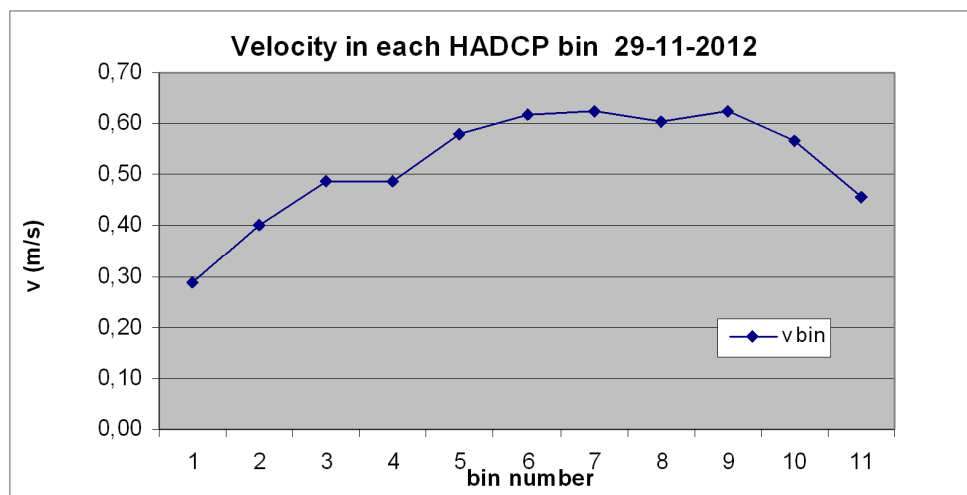
Analyse van de HADCP metingen voor periodes waar geen meetschip aanwezig was is sterk aan te raden. Bestuderen van de variabiliteit op de tijdschaal van zowel dagen als de tijdschaal van de kalibratiemetingen (half uur per meting) kan informatie leveren over de geldigheid van de horizontale indexing die in de WUR-methode gebruikt wordt (en ook verborgen zit in de IVM). Deze analyse is hier niet uitgevoerd.

Eerdere analyse van Alterra van varende metingen op deze locatie laten zien dat het stromingsprofiel het beste benaderd wordt door een log-wake law functie [Alterra 2012]. Maar de analyse van Alterra was beperkt en metingen in de bovenlaag ontbreken om deze uitspraak heel hard te laten zijn.

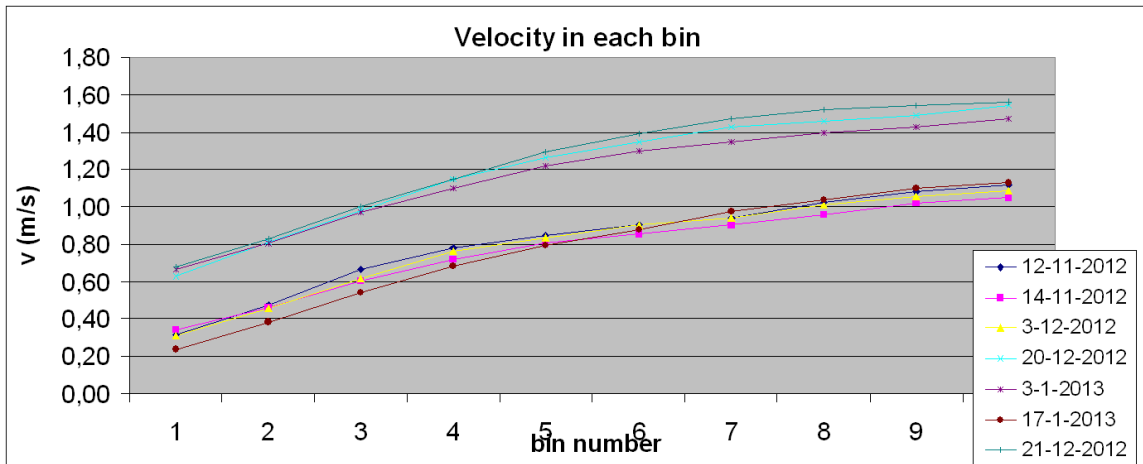
Het profiel dat in de metingen is te zien is typisch het profiel dat de auteur herkent uit 10 jaar analyseren van ADCP metingen van de boven Rivieren.



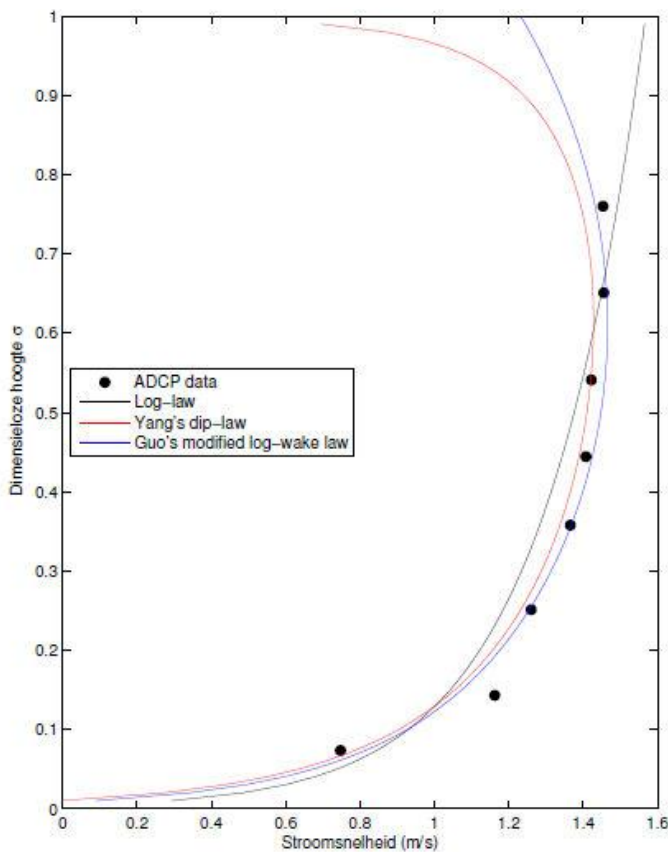
Figuur 4.5 Verstoring van de HADCP debieten op 27 november 2012.



Figuur 4.6 Verstoorde profiel op 29 november ten gevolge van meetschip.



Figuur 4.7 Strooming per bin op verschillende meetdagen (gemiddeld over de kalibratie tijd van gemiddeld 30 minuten)



Figuur 4.8 Stroomsnelheidsprofiel afgeleid uit ADCP data van 14 december 2011 in vergelijking met theoretische aannamen van het profiel. Overgenomen uit [Alterra 2012].

4.2 Analyse van de implementatie van de WUR-methode in meetnet.

Door Alterra zijn vooraf aan de installatie van de HADCP bij Lobith met de WUR-methode de alfa en z_0 coëfficiënten berekend die nodig zijn voor de debietberekening. Dit is gedaan op basis van één varende meting. Er waren wel meer metingen beschikbaar, maar niet exact op de juiste locatie. De specificaties van de metingen waren:

Datum	Locatie	Waterstand	Breedte W	Afvoer Q
5 jan 2012	863,90	13,97	514	6694

In Tabel 4.1 en Figuur 4.9 zijn de berekende parameters weergegeven, met en zonder toepassing van de Dip law. Er is een duidelijke wijziging van het profiel dichterbij bij de oever. Deze afwijking resulteert hetzij in een wijziging van z_0 (bij toepassing van de log law), of een variabele alfa. Dit variabele gebied is precies het gebied waarin de HADCP meet.

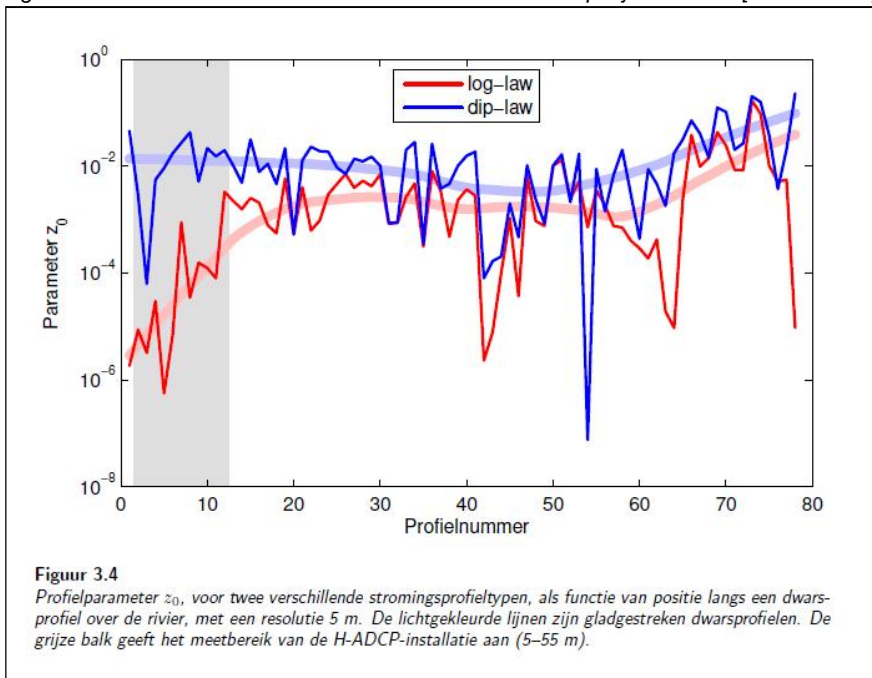
Een enkele meting is onvoldoende voor een kalibratie. Zoals Alterra aangeeft: "De onzekerheden in parameters zijn echter aanzienlijk." Dit is goed te zien in de figuur en tabel. De variabiliteit is aanzienlijk en zonder smoothing vallen er geen bruikbare waarden af te leiden. Die variabiliteit is niet fysisch en ook de reden waarom het afleiden van bodemschuifspanningen uit ADCP stromingsprofielen van varende metingen regelmatig ter discussie staat (eigen ervaring auteur). Het is wel mogelijk, maar vraagt om voldoende metingen in hetzelfde gebied.

De door Alterra berekende waarden zijn geïmplementeerd in het meetnet. Daarbij is gebruik gemaakt van de log law en vaste waarde over de het hele meetbereik van z_0 ($z_0 = 3,8 \cdot 10^{-5}$). Dit wijkt af de formule uit paragraaf 3.3. in die zin dat in plaats van een z_0 per segment (meetcel) van de HADCP een geometrisch gemiddelde waarde is gehanteerd en de alfa waarde op nul is gezet waardoor er geen sprake is van een dip.

Tabel 4.1 Berekende parameters voor de meetlocatie Lobith voor toepassing van de WUR-methode. Tabel overgenomen uit [Alterra 2012].

Afstand	Log-law		Dip-law		
	z_0	f	z_0	αf	
5.0	$4,5 \times 10^{-6}$	2,20	$1,4 \times 10^{-2}$	1,0	2,33
10.0	$7,0 \times 10^{-6}$	1,79	$1,4 \times 10^{-2}$	0,9	1,86
15.0	$1,1 \times 10^{-5}$	1,55	$1,4 \times 10^{-2}$	0,9	1,63
20.0	$1,7 \times 10^{-5}$	1,36	$1,4 \times 10^{-2}$	0,8	1,44
25.0	$2,6 \times 10^{-5}$	1,18	$1,3 \times 10^{-2}$	0,8	1,25
30.0	$3,9 \times 10^{-5}$	1,05	$1,3 \times 10^{-2}$	0,7	1,12
35.0	$5,9 \times 10^{-5}$	0,98	$1,3 \times 10^{-2}$	0,7	1,03
40.0	$8,9 \times 10^{-5}$	0,92	$1,3 \times 10^{-2}$	0,6	0,96
45.0	$1,3 \times 10^{-4}$	0,87	$1,3 \times 10^{-2}$	0,6	0,90
50.0	$2,0 \times 10^{-4}$	0,84	$1,3 \times 10^{-2}$	0,6	0,87
55.0	$3,0 \times 10^{-4}$	0,82	$1,3 \times 10^{-2}$	0,5	0,84
Gemiddeld	$3,8 \times 10^{-5}$	n.v.t.	$1,3 \times 10^{-2}$	0,74	n.v.t.

Figuur 4.9 Z_0 als functie van de afstand over de waterloop bij Lobith. Uit [Alterra 2012]



Voor deze analyse zijn ook de resultaten berekend voor enkele afvoeren uitgaande van de log law en dip law zonder middeling over het HADCP bereik (dus berekend per bin zoals beschreven in de WUR-methode). Daarbij is gebruik gemaakt van een tabel met z/h waarden van RWS [DID 2012] zoals die ook gebruikt wordt in het meetnet.

Na de implementatie in het meetnet was bij reguliere afvoerwaarden een onderschatting van de debietwaarden van 25% geconstateerd ten opzichte van de Q_f berekening (zie tabel 4.20). Dat kan zowel het gevolg zijn van de kalibratie bij de hogere waterstanden/afvoeren als het verschil in breedte bij variërende waterstand waar de WUR-methode niet op is ingesteld. Bij waterstanden die dicht in de buurt komen van de kalibratiesituatie (12,76 en 12,97 m NAP) geeft de berekening een overschatting van 15 tot 20 %. Dit is zowel het geval met gebruik van de log law als de dip law, waarbij de dip law iets betere resultaten levert. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat niet duidelijk is of voor de bodemligging, voor de bepaling van z/h , de foutieve bodemliggingstabel is gebruikt. Maar mocht de afwijking van 15 tot 20 % tussen vergelijkbare situaties, niet aan ten grondslag liggen aan de foutieve bodemligging, dan duidt dit er op dat het aantal benodigde kalibratiemetingen eerder in de orde van 10 dan van 5 zullen liggen om uiteindelijke afvoeren met een onzekerheid van minder dan 5% te kunnen leveren.

Tabel 4.2 Berekening van debieten op basis van de parameters uit [Alterra 2012].

	Voorbeeld uit [DID 2012] W= 435	Varende meting 21-12-2012 h = 12,78 m NAP W= 400 m A= 3630 m ²	Varende meting 3-01-2013 h= 12,96 m NAP W = 414 m A = 3676 m ²
Q varend	X	5241	5185
Q f	1954	5558	5356
Q WUR log law (met gem Z0 waarde)	1555	5833	6403
Q WUR log law	1554	5830	6399
Q WUR dip law	1564	5626	6140

Discussie

De WUR-methode is in Lobith ingezet op een locatie die niet binnen de specificaties van de methode valt. De breedte varieert met dan 10% over het meetbereik.

De hoeveelheid metingen data die gebruikt is voldoet niet aan de specificaties van de WUR-methode. Er is slechts één meting gebruikt waar er 5 worden voorgeschreven.

De WUR-methode gaat uit van gebruik van simultane HADCP metingen en validatie metingen, die waren niet aanwezig dus is gebruik gemaakt van een schatting.

De methode is geïmplementeerd met een gemiddelde waarde voor z_0 over de 10 meetsegmenten (50 m). Eveneens niet conform de specificaties van de procedure.

Bij Lobith kan dus niet gesproken worden van implementatie van de WUR-methode.

Er zijn wel aan aantal bruikbare conclusies te trekken uit de analyses.

In het Alterra rapport over de locatie Lobith [Alterra 2012] zijn meerdere varende metingen geanalyseerd en dit heeft geleid tot de volgende conclusies.

- Er is lichte aanwijzing dat de parameters z_0 en α veranderen met hogere afvoeren.
- Er is een aanwijzing dat het verticale stromingsprofiel in de Rijn het beter benaderd wordt door een log-wake law functie [Guo, Julien 2008]. Maar dat model heeft extra parameters, en zal alleen daardoor dus ook beter fitten. Met alle gevaren van overparameterisatie. Alterra heeft dit als test uitgevoerd en geeft aan dat meer onderzoek nodig is naar de juiste beschrijving van het verticale stromingsprofiel (persoonlijke communicatie P. Boogaart).
- Zolang er geen HADCP metingen beschikbaar zijn is de bijbehorende onzekerheid in Q een heel ruwe schatting.

Uit de analyse in dit advies blijken de volgende zaken

- De UW specificeert als randvoorwaarden voor het gebruik van haar methode door RWS een maximaal breedte verschil van 10% over het meetbereik. Bij die aanname zou het meetbereik in Lobith beperkt zijn tot waterstanden van ongeveer 9,2 tot 10,7 m NAP, waardoor de HADCP weinig nut zal hebben op deze locatie.
- Uit de berekende getallen uit de versie die is geïmplementeerd in het meetnet kunnen weinig conclusies getrokken worden over de WUR-methode behalve dat het opstellen van relaties op basis van één enkele meting met een meetschip en zonder kalibratie op HADCP gegevens niet werkt.

De gehele analyse en bepaling van de parameters z_0 (ruwheidslengte), α (dip) en f (representiviteitscorrectie) zullen opnieuw gedaan moeten worden, met simultane data van HADCP en varende metingen en de juiste bodemprofielen. Conform het protocol van de WUR-methode.

Maar dit kan pas als de methode zodanig wordt aangepast dat niet langer de breedte een vaste waarde hoeft te hebben.

De randvoorwaarde aan de WUR-methode voor een nagenoeg vaste breedte over het debietbereik beperken de inzet drastisch. Bredere inzet van de methode is zeker mogelijk, maar het vergt een aanpassing van de rekenmethode en er zal onderzocht moeten worden of de parameters moeten veranderen bij veranderende waterstanden. Dat is nu nog onvoldoende bekend.

Hoitink (WUR) adviseert om een verkenning van de toepasbaarheid voor waterlopen waarbij de breedte verandert met de waterstand uit te voeren in een hydraulisch lab. Daar is de afvoer bekend en kan systematisch onderzocht worden met welke mate van nauwkeurigheid de afvoer geschat kan worden uit stroommetingen zoals ingewonnen door de HADCP.

4.3 Toepassen Index Velocity Methode

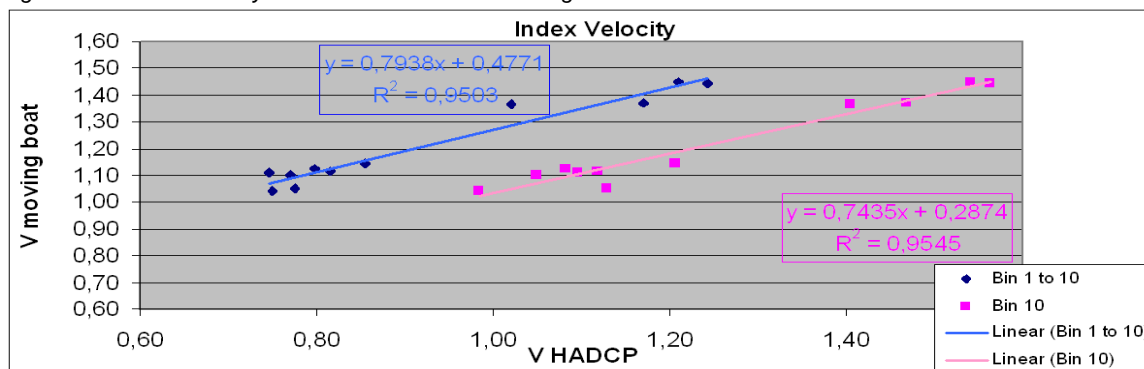
Op basis van de beschikbare goedgekeurde varende metingen en de gelijktijdige HADCP metingen is een Index Velocity relatie opgesteld. De bepaling van de IVM is in deze snelle analyse nog niet optimaal gedaan. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 4.10 en als volgt

Observer	$V_{mean} = 0,28 + 0,73 V_{hadcp}$
Deltares bin1-10	$V_{mean} = 0,47 + 0,79 V_{hadcp}$
Deltares bin 10	$V_{mean} = 0,29 + 0,74 V_{hadcp}$

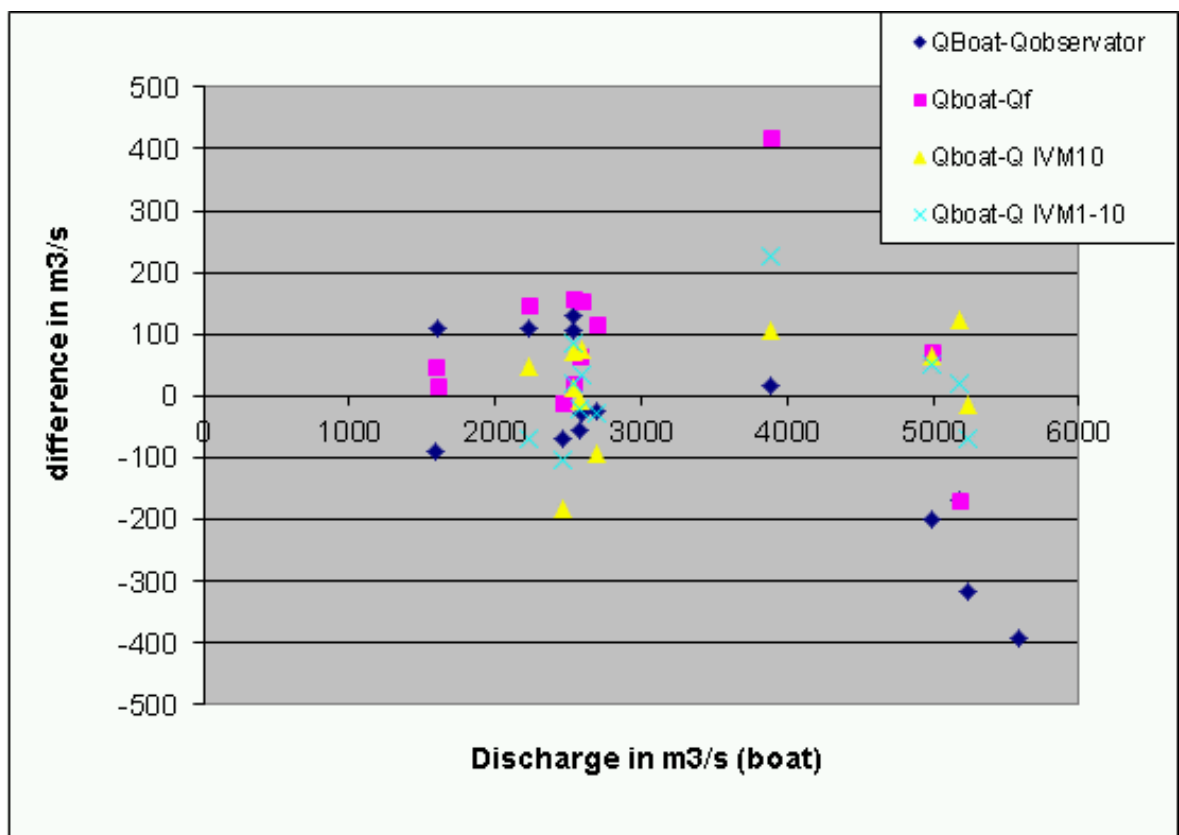
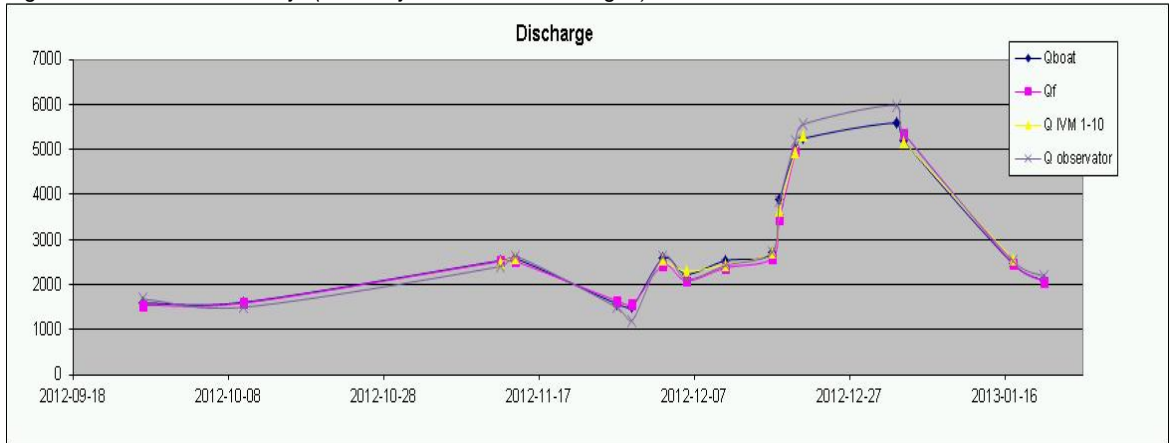
De relatie bij gebruik van alleen cel 10 is nagenoeg hetzelfde als die eerder werd afgeleid door Observer, maar de relatie is significant anders als alle cellen gebruikt worden. Een reden om de analyse van Observer in te kunnen zien.

Op basis van deze nieuwe relaties zijn de debieten berekend. De debieten bepaald uit de Qf relatie, Index Velocity berekening (Q_{IVM} , $Q_{Observer}$) en de varende metingen zijn weergegeven in Figuur 4.11 en tabel 4.1. In Figuur 4.12 zijn de verschillen van de berekende debieten ten opzichte van de varende metingen weergegeven. In de figuren is alle berekend data weergegeven, zonder de data die gelabeld is als foutief.

Figuur 4.10 Index Velocity uit HADCP en varende metingen



Figuur 4.11 Debieten in de tijd (alleen tijdens varende metingen)



Figuur 4.12 Verschillen van berekende debieten ten opzichte van varende metingen.

Tabel 4.1 Gemeten en berekende debieten op de meetdagen tijdens de varende metingen.

	H (meetpaal)	QADCP	Qf	Q Observator (m ³ /s)	Q bin 1-10	Q bin 10	Q WUR meetnet Dip Law
2012-09-27	8,34	1591	1542	1679	x	x	
2012-10-10	8,46	1607	1590	1499	x	x	
2012-11-12	9,78	2532	2512	2403	2511	2460	
2012-11-14	9,71	2577	2511	2631	2599	2584	
2012-11-27	8,55	1579	1641	1499	x	x	
2012-11-29	8,39	1509	1552	1203	x	x	
2012-12-03	9,57	2586	2430	2613	2553	2510	
2012-12-06	9,20	2232	2083	2121	2300	2185	
2012-12-11	9,57	2530	2373	2423	2444	2515	
2012-12-17	9,66	2699	2581	2724	2726	2791	
2012-12-18	10,84	3883	3465	3865	3655	3777	
2012-12-20	12,46	4998	4927	5197	4948	4933	
2012-12-21	12,76	5241		5558	5309	5255	5626
2013-01-02	13,45	5587		5978	x	x	
2013-01-03	13,01	5186	5356	5355	5165	5063	6140
2013-01-17	9,70	2463	2474	2532	2568	2646	
2013-01-21	9,17	2083	2075	2182	x	x	

Discussie

Op basis van de tien beschikbare metingen en een simpele lineaire relatie tussen stroomsnelheden gebaseerd op de Index Velocity Methode konden debieten worden berekend die gemiddeld binnen 3% van de varende metingen lagen met een uitschieter naar 7% (in blauw in de tabel). Op zich maakte het voor de prestatie niet veel uit of de cel met de hoogste snelheden (cel 10) of alle 10 de cellen gebruikt werden voor het bepalen van de index. De uitschieters zijn wellicht nog te wijten aan datakwaliteit of de quick and dirty aanpak die voor deze analyse is gebruikt bij de bepaling van de Index relatie.

De residuen van de Qf vertonen een lichte positieve offset. De offset buiten beschouwing gelaten zijn de residuen van de IVM vergelijkbaar met de waarden van de Qf methode.

De debietwaarde die nu uit de HADCP komt zoals berekend door Observator valt iets te hoog uit bij afvoeren boven 5000 m³/s. Dit bereik zou gecontroleerd moeten worden aan de hand van validatie metingen.

Omdat de achterliggende lineaire functie bijna hetzelfde is als uit de IVM met alleen bin 10 zal de oorzaak voor verschillen in de resultaten gezocht moeten worden in de oppervlaktetabel zoals die in de HADCP zit.

Gegevens om deze relaties te valideren, bij voorkeur met extra metingen in het midden bereik, ontbraken helaas nog. Daaruit zou mogelijk nog behoefte aan een complexere relatie kunnen volgen. Uit de beperkte set gegevens blijkt geen trend in de residuen. Dat is opvallend te noemen, omdat het inhoudt dat er geen relatie is met de waterstand. Dit houdt in dat de HADCP meet in een gebied waar over een groot debietbereik het snelheidsprofiel bijna niet afwijkt van een verticale functie.

Dit is te danken aan de hoge plaatsing van de HADCP in de verticaal waar dat deel van het profiel inderdaad goed benaderd kan worden met een verticale lijn (zie Figuur 4.8).

Een gedegen herberekening volgens het USGS protocol [Oberg Levesque] met meer kalibratie en validatie gegevens is zeker de moeite waard.

4.4 Conclusies van de casus

De bestaande kennis van de locatie Lobith, bestaande uit de voorstudies voor een debietmeetlocatie, de analyses voor het opstellen van een Qf relatie, Hydrodynamisch modelonderzoek en onderzoek naar bodemvormen is nog niet samengevoegd. Ook heeft nog geen analyse plaatsgevonden waarbij de gemeten stroomsnelheden van de HADCP zijn vergeleken met stroomsnelheden zoals gemeten met ADCP's van schepen. Er heeft ook nog geen analyse plaatsgevonden om de bestaande kennis in verband te brengen met HADCP metingen en daaruit conclusies te trekken over de rekenmethode. Dit is een tekortkoming en was niet te verhelpen binnen dit korte advies.

De WUR-methode is in Lobith niet geïmplementeerd volgens de voorschriften van de WUR-methode. De bepaling van de parameters was op een te kleine set gegevens gebaseerd, de parameter voor de dip factor is verwaarloosbaar geacht en de ruwheidslengte is gemiddeld over alle 10 meetsegmenten plaats van ingesteld te zijn per meetsegment. Daarnaast zijn de parameters vooraf berekend zonder HADCP gegevens. Daar is de methode niet voor ontwikkeld

Maar belangrijker is het feit dat de WUR-methode in haar huidige vorm niet toepasbaar is in Lobith vanwege de vast ingebouwde breedte.

De methode zou aangepast moeten worden zodat een variabele breedte door de methode ondersteund zou worden. Daarna zou de gehele analyse en bepaling van de parameters z_0 (ruwheidslengte), α (dip) en f (representiviteitscorrectie) met de WUR-methode opnieuw gedaan moeten worden. De metingen van zowel HADCP en varende metingen die daarvoor nodig zijn, zijn al aanwezig.

Het toepassen van het protocol (sterk versimpeld) voor IVM is nuttig geweest. De methode levert snel en simpel eerste resultaten in een analyse. Het is vrij arbeidsintensief om de IVM goed toe passen en te controleren. Dit geldt dus zowel voor de IVM als de WUR-methode. Het aantal benodigde metingen voor de IVM bij Lobith over het meetbereik van de HADCP is minimaal 10 maar moet vooral goed verdeeld zijn over het bereik.

De IVM methode is direct toepasbaar in Lobith, maar extra validatie metingen in het middenbereik zouden welkom zijn.

De IVM berekening zoals die nu al in de HADCP zit levert acceptabele resultaten al zijn er enige bedenkingen bij de hogere afvoeren.

Het protocol voor zowel de uitvoering van de metingen als het bepalen van het bodemprofiel moet aangescherpt worden.

5 Conclusies

In de conclusies wordt zo goed mogelijk antwoord gegeven op de originele vragen:

1. Wat is de juiste toepassingswijze van de WUR-methode?
2. Wat is het toepassingsbereik?
3. Wat zal de prestatie van de WUR-methode zijn?

Belangrijke onderliggende vragen zijn:

- Moeten de parameters die nu niet waterstandsafhankelijk zijn waterstandsafhankelijk worden?
- Moeten de aannamen over de vorm van profielen aangepast worden?

Andere, minder belangrijke, onderliggende vragen worden beantwoord in bijlage B.

Qua concept is de WUR-methode een hybride tussen de Velocity Profile methode en de Index Velocity methode. Bij de WUR-methode variëren de parameters niet met waterstand. Dit houdt de methode eenvoudig en in lijn met de andere methoden. In het algemeen worden parameters in debietrekenmethoden alleen gewijzigd bij effecten zoals eb en vloed, wel of niet meestromen van uiterwaarden en wel of niet stuwen. Meer subtiele aanpassingen worden normaal niet gedaan, omdat het enerzijds veel meer validatiegegevens vraagt en anderzijds het afleiden van de parameters compliceert, terwijl de uiteindelijke winst klein is.

Voor het fitten van het verticale stroomprofiel wordt in de WUR-methode gebruik gemaakt van de dip law en de log law. Deze fit-technieken zijn voldoende onderbouwd, al zijn de verschillen tussen de fit-resultaten niet verwaarloosbaar. Dit betekent dat de juiste fit pas kan plaatsvinden na grondig onderzoek van de validatiegegevens. De kracht van de methode, het invoeren van een stukje fysica in de fit van de stromingsprofielen, is daarmee tevens de zwakte.

Doorgaan op het ingeslagen pad van de WUR-methode is goed verdedigbaar, omdat het de kracht van de IVM en de VPM probeert te combineren. Anderzijds is de WUR-methode nu nog niet geschikt voor Lobith en de IJssellocatie.

De WUR-methode zoals die thans door de UW is beschreven voor toepassing in het meetnet is zonder aanpassing inzetbaar op locaties met voldoende stroomsnelheid ($> 0,4$ m/s) en weinig verandering in vorm van de natte doorsnede met het veranderen van de waterstand ($< 10\%$ verandering in breedte). De te verwachte behalen nauwkeurigheid ligt dan in de orde van 5% voor een debiet gemiddeld over tien minuten. De randvoorwaarde bij de WUR-methode dat de breedte nagenoeg gelijk moet blijven bij veranderende waterstanden beperkt de inzetmogelijkheden drastisch. Gebruik op de huidige HADCP locaties in de IJssel en bij Lobith is bijvoorbeeld dan nog niet mogelijk.

De methode kan aangepast worden, zodat ook met variabele breedtes gerekend kan worden, maar of dit met een quick fix kan is nog onduidelijk. Het aanpassen van de breedterandvoorwaarde betekent op basis van theorie ook een aanpassing naar een waterstandsafhankelijke dip factor. Maar of dit werkelijk noodzakelijk is om een betrouwbaar eindresultaat te krijgen vergt extra onderzoek (met de bestaande gegevens).

Er is een kleine aanwijzing dat de methode beter zou presteren als een ander snelheidsprofiel gefit zou worden. Maar deze fit is complexer en het bewijs is niet hard.

In de huidige analyse is er te weinig van het op dit moment beschikbare materiaal kwantitatief geanalyseerd om onderbouwde getallen te geven voor de prestaties van de WUR-methode buiten het voorgeschreven bereik of met andere fitparameters.

Hoitink (WUR) adviseert om een verkenning van de toepasbaarheid voor waterlopen waarbij de breedte verandert met de waterstand uit te voeren in een hydraulisch lab. Daar is de afvoer bekend en kan systematisch onderzocht worden met welke mate van nauwkeurigheid de afvoer geschat kan worden uit stroommetingen zoals ingewonnen door de HADCP.

Indien de methode aangepast wordt en ook inzetbaar wordt op locaties met variabele breedte, dan *lijkt* een onzekerheid kleiner of gelijk aan 5% voor de locaties waar vroeger een ADM ingezet zou worden haalbaar als de stroomsnelheden niet te laag zijn. Bij lagere snelheden is de methode ook inzetbaar maar zou een grotere procentuele onzekerheid geaccepteerd moeten worden.

Inzet van de methode in het geval van meestromende uiterwaarden zou verdere aanpassing vragen van de methode (o.a. een variabele f factor) en wordt nog niet aangeraden zonder verdere studie. Eveneens zal voor inzet op locaties in bijvoorbeeld het getijde gebied of met een complexere geometrie verdere aanpassing nodig zijn.

Er zijn een paar knelpunten bij de WUR-methode.

De methode schrijft een beperkt aantal metingen voor de kalibratie voor, terwijl het aantal te fitten parameters relatief hoog is (en dit wordt nog hoger bij het gebruik van een log wake functie). Achteraf worden de resultaten standaard gesmootht over meerdere segmenten om fysisch onwerkelijke variaties in de parameters weg te middelen. Het één lijkt het gevolg van het ander. Met voldoende validatiemetingen zouden de variabelen nauwkeuriger bepaald kunnen worden en is smoothing niet meer noodzakelijk. Een laag aantal validatiemetingen is niet aan te raden.

De methode gaat er verder impliciet van uit dat exact bekend is waar in de waterloop de metingen met de HADCP zijn uitgevoerd. De metingen worden behandeld alsof ze scherp afgebakend zijn, maar ze zijn een weging over de ruimte [RDI 1996, pag 17]. Als er mismatch zit in de aangenomen meetvolumes en de werkelijke meetvolumes, vertaalt dit zich in verkeerde waarden in de profielparameters en dat wordt dan recht getrokken met de debietindex f .

Gebruik van berekende parameters buiten het kalibratie/validatie bereik is op dit moment nog niet aan te raden. Net zo min als het van tevoren berekenen van de parameters (behalve als indicatie).

De WUR-methode is vooraf aan de inzet in Lobith, voor zover we kunnen nagaan, niet gevalideerd op data van een Nederlandse HADCP locatie. Zoals de voormalige HADCP test locaties bij Megen en Weesp of de operationele locaties bij de Haringvlietburg of één van de waterschappen (meer dan 10 HADCP [STOWA 2009]). Dat is achteraf bezien, in het zicht van de huidige vragen, een gemiste stap in de operationalisering van de methode voor RWS geweest.

De methode moet vaker toegepast worden (eventueel op basis van bureau studies) om vertrouwen te wekken. Zoals de Engelsen zeggen: "The proof of the pudding is in the eating!".

Een ander punt van zorg is het volgende: De UW is een universiteit gericht op onderzoek en opleiding niet op een operationeel meetnet. De WUR-methode is geen commercieel product van de WUR en er is ook niet de intentie om dat er van te maken. Dit houdt helaas in dat continuïteit van kennis, documentatie en ondersteuning van de methode niet gegarandeerd is. Overdracht aan een consultant, in dit geval Alterra, was de intentie, waarbij de WUR dan ingezet kon worden voor verdere ontwikkeling. Maar zolang RWS de enige gebruiker van de methode is zal RWS op moeten draaien voor alle kosten. De kans dat Alterra de methode op dit moment "verkocht" krijgt buiten RWS lijkt klein.

Een pluspuntje is dat in een onderzoekssamenwerking van de UW met Hohai Universiteit in Nanjing, metingen van een aantal H-ADCP stations in de Pearl Delta verwerkt worden met de WUR-methode.

WUR-methode in vergelijking met andere methoden

Op dit moment is niet aangetoond dat de WUR-methode beter is dan de Index Velocity Methode van de USGS. In de meest recente, maar zeer beperkte vergelijkingen presteert de methode gelijkwaardig aan de meest eenvoudige vorm van de Index Methode.

De IVM voldoet aan de eisen van RWS en is direct inzetbaar op alle locaties waar men vroeger een ADM zou plaatsen en zelfs breder. De IVM methode is voorzien van een handleiding en er worden cursussen gegeven door de USGS.

De WUR-methode is complexer en alleen door specialisten toe te passen.

5.1 Advies

Deltares adviseert om op korte termijn met de UW te bespreken of er een quick fix van het vaste-breedte-probleem mogelijk is. Deze quick fix kan direct getoetst worden op de gegevens van de huidige HADCP locaties Lobith en de IJssel. Alle HADCP data en validatie data die nodig zijn voor het opstellen van nieuwe relaties zijn beschikbaar en zeer waarschijnlijk al verder uitgebreid sinds het starten van dit advies.

Als de WUR-methode wordt aangepast met een quick fix en gevalideerd wordt, wordt aangeraden om parallel een Index Velocity analyse volgens de procedures van de USGS uit te voeren. Dit niet alleen om een alternatief achter de hand te hebben, maar ook om van de procedures van de USGS te leren en een kwaliteitsprotocol te ontwikkelen voor de HADCP inzet en de HADCP rekenmethode.

Mocht een quick fix niet mogelijk zijn dan zou direct over gestapt kunnen worden op een IVM. De IVM is direct inzetbaar in Lobith en de IJssel. Gebruik van de IVM methode vergt wel een leertraject en inzet of controle door een ervaren specialist.

De UW (persoonlijke communicatie Ton Hoitink) ziet mogelijkheden om de WUR-methode aan te passen en uit te breiden. Zij adviseren om de toepasbaarheid voor waterlopen waarbij de breedte verandert met de waterstand *eerst* te toetsen in een hydraulisch lab. Daar is de afvoer bekend en kan systematisch onderzocht worden met welke mate van nauwkeurigheid de afvoer geschat kan worden uit stroommetingen zoals ingewonnen door de HADCP.

Deltares ondersteunt de strategie van labonderzoek, maar adviseert vanwege de doorlooptijd en de urgentie van een rekenmethode, de methode ook zonder die validatie in het lab al aan te passen met een quick fix voor de breedte.

Het opstellen van de parameters voor zowel Lobith als IJssel met de WUR-methode en de IVM is een aanzienlijke inspanning en dient zorgvuldig en met voldoende achtergrondmateriaal uitgevoerd te worden. De hoeveelheid werk is vergelijkbaar met het opstellen van een Qf relatie. Deltares raadt dan ook aan om beschikbare beschrijvingen en analyses samen te brengen in één document per locatie.

Als een quick fix voor de WUR-methode mogelijk is en RWS hier voor kiest, adviseert Deltares tevens een vervolgonderzoek te laten opstarten om de methode te optimaliseren, zoals voorgesteld door Hoitink, waarbij ook de mogelijkheden en nut en noodzaak van het gebruik van andere vormen van stromingsprofielen worden onderzocht.

Bij toepassing van de WUR-methode voor HADCP's is het raadzaam de methode ook toepasbaar te maken voor ADM's. Dit is op zich een kleine stap. De methode krijgt daardoor meerwaarde en wordt mogelijk ook interessant voor partijen buiten RWS zoals de waterschappen of de BFG.

Ongeacht de gebruikte methode adviseert Deltares tevens om een aantal speciale metingen te laten uitvoeren bij de HADCP locaties voor het vaststellen van de stromingsprofielen, waarbij zoveel mogelijk van het verticale stromingsprofiel wordt gemeten, zie volgende paragraaf. Dit komt niet alleen het inzicht over de prestaties van de rekenmethoden ten goede, maar ook kunnen de varende metingen verbeterd worden.

5.1.1 Operationele adviezen

Per direct moet de dienst Oost ingelicht worden dat de metingen bij de meetpaal de metingen van de HADCP kunnen verstoren. Vervolgmetingen moeten bij voorkeur iets (50 m) stroomafwaarts van de meetlocatie plaatsvinden.

Voor alle methoden geldt dat het aantal metingen beperkt kan worden door de metingen zo goed mogelijk en zo passend mogelijk voor de toepassing uit te voeren door:

- metingen over een tijdsduur uit te voeren, waarbij variabele effecten zoveel mogelijk weggemiddeld kunnen worden, dit betekend ongeveer 1 ½ uur.
- metingen goed te verdelen over het afvoerbereik.
- metingen te doen in het stuk waar de HADCP meet of gaat meten.
- voldoende metingen te verrichten om zowel te kunnen kalibreren als valideren.
- metingen ook dicht aan het oppervlak te laten doen om een nauwkeurig stromingsprofielen te verkrijgen. Dit vergt een speciale aanpak. Dit zou per Nederlandse HADCP locatie minstens één keer gedaan moeten worden. Waarna nut en noodzaak in heroverweging genomen kan worden.

Het protocol voor de keuze van HADCP locaties van de USGS lijkt sterk op dat wat door RWS gehanteerd word voor de ADM. Maar het is uitgebreider en aangepast voor de HADCP en met beschrijving van controles voor en na operationalisering. WUR heeft daarvoor ook een protocol beschreven, het beste uit de protocollen kan worden gecombineerd voor toepassing in de Rijkswateren.

Een belangrijk punt uit het protocol is het vastleggen van het bodemprofiel. Het bodemprofiel moet niet bepaald worden uit een lijn, maar uit een gebied van minimaal enkele tientallen meters breed (minimaal de dekking van de twee bundels). Hiermee worden onder andere variaties ten gevolge van migratie van zandgolven weggemiddeld.

6 Gebruikte literatuur en achtergrond materiaal

Algemeen Hydrometrie en HADCP

- [Boiten]
W. Boiten, Hydrometry, IHE Delft, 2000.
- [Bultjes 1986]
P.J.H. Bultjes en A.M. Talmon, Evaluatie van het onderzoek betreffende snelheidsverdelingen in kanalen, periode 1980-1982, TNO
- [Le Coz et. al. 2008]
Le Coz, J., G. Pierrefeu, and A. Paquier (2008), Evaluation of river discharges monitored by a fixed side-looking Doppler profiler, Water Resources. Res., vol 44, W00D09, doi:10.1029/2008WR006967.
- [Guo, Julien 2008]
Guo, J., en Julien, P. Y. (2008). Application of the Modified Log-Wake Law in Open-Channels. Journal of Applied Fluid Mechanics, 1(2), 17{23.
- [ISO 6416]
ISO 6416 Hydrometry — Measurement of discharge by the ultrasonic (acoustic) method.
- [ISO 748]
ISO 748:1997, Measurement of liquid flow in open channels — Velocity-area methods
- [Kölling 2005]
SIMK® - Hochwasserkalibrierung der von der UBG Leipzig geplanten stationären H - ADCP -Durchflussmessanlage Leisnig / Freiburger Mulde1,: Dr. - Ing. C. Kölling, ISAR CONSULT GmbH, 2005.
- [Pothof Klis 2004]
I. Pothof, H vander Klis, Foutbronnen varend debiet-meten, WL rapport H4489, 2004.
- [Rantz 1982]
Rantz, S.E., and others, 1982b, Measurement and computation of streamflow— Volume 2. Computation of discharge: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, 284 p.
- [RDI 1996]
RDInstruments, Acoustic Doppler Current Profilers, Principles of Operation A practical Primer, 1996.
- [Schroevens 2004]
M. Schroevens, Afvoermetingen met horizontaal opgestelde akoestische stroomprofielmeeters evaluatie aan de hand van een testmeting ADDENDUM bij Rapport RIKZ/2003.031, 2004.
- [STOWA 2009]
STOWA handboek debietmeten in open waterlopen, rapport 41, 2009

Gegevens Lobith

- [Alterra 2012]
Kalibratie ten behoeve van continue debietmeting bij Lobith, Bepaling van parameters voor H-ADCP-metingen volgens de WUR-methode, Patrick Bogaart, Bart Makaske, Martin Mulder en Rinus Schroevens, Ongepubliceerd Alterra-rapport, 2012
- [DID 2012]
Excelsheet: HADCP corrected3 WUR berekening - LOBITH_new
- [Go 2012].
Excelsheet: Kopie van overzicht metingen meetpaal Lobith-vs-Qf-vs-Sontek

[Observator 1 2011]

Aanbieding voor het ontwerpen en realiseren van een debietmeetopstelling in de Rijn bij Lobith km 864

[Observator 2 2011]

Project Meetpaal Lobith Juli 2011 – Oktober 2011 Datainterface document

[RWS Oost 2012]

Excel bestand "Verhanglijn Lobith –Pannerdense kop met betrekkinglijnen.

Index Velocity Method

[Jackson et.al. 2011]

P. Ryan Jackson, Kevin K. Johnson, and James J. Duncker, Comparison of Index Velocity Measurements Made With a Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler and a Three-Path Acoustic Velocity Meter for Computation of Discharge in the Chicago Sanitary and Ship Canal near Lemont, Illinois, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5205

[Ruhl 2005]

Ruhl, C.A., and Simpson, M.R., 2005, Computation of discharge using the index-velocity method in tidally affected areas: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5004, 31 p.

[USGS, Oberg Levesque]

Computing Discharge Using the Index Velocity Method, Victor A. Levesque and Kevin A. Oberg 2011.

WUR-methode

[Buschman 2011]

Debietbepaling uit HADCP metingen met de WUR-methode, Frans Buschman, februari 2011

[Hoitink et.al. 2009]

Continuous measurements of discharge from a horizontal acoustic Doppler current profiler in a tidal river, A. J. F. Hoitink, F. A. Buschman, en B. Vermeulen, Water Resources Research, Vol. 45, 2009

[Hidayat et. al. 2011]

Discharge estimation in a backwater affected meandering river, H. Hidayat¹, B. Vermeulen, M. G. Sassi, P. J. J. F. Torfs, and A. J. F. Hoitink¹, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 15, pg.2717–2728, 2011

[Sassi et. al.2011]

Discharge estimation from HADCP measurements in a tidal river subject to sidewall effects and a mobile bed, M. G. Sassi,¹ A. J. F. Hoitink, B. Vermeulen and Hidayat, Water Resources Research, Vol. 47, 2011

[WUR 1]

Debietbepaling uit HADCP metingen met de WUR-methode, december 2010, gecorrigeerd jan 2011. Hydrologie en kwantitatief waterbeheer groep, Wageningen Universiteit.

[WUR2]

Nauwkeurigheid en meetprotocol van HADCP debietbepaling met de WUR - methode, augustus 2011. Hydrologie en kwantitatief waterbeheer groep, Wageningen Universiteit.

A Plus en minpunten van verschillende methoden

Velocity profiling method VPM	
Pluspunten	minpunten
Benadering van vaste horizontale en verticale stromingsprofielen → Eenvoud in de methode	Benadering van vaste horizontale en verticale stromingsprofielen is niet altijd juist
Uit te breiden naar variërende stromingsprofielen als daar aanleiding toe is	Voor uitbreiding naar variërende stromingsprofielen is veel (locatie) kennis nodig
Kan in principe vooraf bepaald worden.	Veranderende bias bij veranderende omstandigheden
Aan te passen als geometrie wijzigt	kalibratiemetingen moeten exact overlappen met HADCP metingen. (bekendheid met ruimtelijke respons voor de HADCP cellen is een must)

Index velocity method IVM voor HADCP's van USGS	
Pluspunten	minpunten
Benadering van vaste relatie tussen gemeten en gemiddelde snelheid	Bij geometriewijziging nieuwe kalibratiemeting nodig
Meestal te benaderen met lineaire functie over deel bereiken.	Eenvoud van de methode en gebruik van alleen het totale debiet nodigt uit tot het overslaan van kwaliteitscontrole en inzicht krijgen in de situatie. Maar inzicht komt pas als men zich niet beperkt tot het maken van spreadsheets met correlaties.
Kalibratiemetingen hoeven niet exact op de locatie van de HADCP te liggen alleen totaal debiet van de validatie wordt uiteindelijk gebruikt. Maar wel wenselijk voor analyse.	Bij hogere orde relaties en complexere functies is de methode arbeidsintensief omdat iteratief tot de juiste relatie gekomen moet worden.
Te extrapoleren naar hogere afvoerregimes (identiek aan Qh relatie) Geen documentatie van gevonden.	Goede debietmetingen met de varende ADCP is alles bepalend. Foutjes in extrapolatie resulteren direct in bias (die je nooit meer terugvind)
Toolbox aanwezig. Wordt onderhouden en geupdate. Cursussen beschikbaar van USGS	
Geadopteerd door leverancier Sontek. Ook in gebruik bij reps van TRDI	

WUR method (zoals geïmplementeerd door RWS)	
Pluspunten	minpunten
Benadering van vaste verticale stromingsprofielen → Eenvoud in de methode	Benadering van vaste vorm van verticale stromingsprofielen is niet altijd juist
uit te breiden naar variërende stromingsprofielen als daar aanleiding toe is	Voor uitbreiding naar variërende stromingsprofielen is veel (locatie) kennis nodig
Kan in principe vooraf bepaald worden, maar dit geeft een grotere onzekerheid en de methode is	Veranderende bias bij veranderende omstandigheden

er niet voor ontworepen.	
Aan te passen als geometrie wijzigt	Bij geometriewijziging nieuwe kalibratiemeting nodig
Benadering van vaste relatie tussen gemeten debiet in een segment en totale debiet d.m.v. een index. In de huidige opzet een vast getal per segment.	Meerdere parameters te fitten geeft veel vrijheid, maar kan resulteren in fouten (overparametrisatie).
Kalibratiemetingen voor de debietrelatie hoeven niet exact op de locatie van de HADCP te liggen alleen totaal debiet van de validatie wordt uiteindelijk gebruikt.	De kalibratie en validatiemetingen die nodig zijn voor het verticale profiel moeten exact in HADCP meetvolume plaatsvinden. Deze metingen verstoren de HADCP meting en zijn dan niet meer bruikbaar voor het bepalen van de debiet relatie.
	Goede debietmetingen met de varende ADCP is alles bepalend. Foutjes in extrapolatie resulteren direct in bias (die je nooit meer terugvindt)
Uit te breiden naar hogere en lagere afvoerregimes. Daar is wel meer data voor nodige en afvoerafhankelijke parameters	Nu gedefinieerd voor beperkt bereik in afvoeren en locaties. De methode voldoet dus niet voor alle locaties waar vroeger voor een ADM gekozen zou worden.
De WUR-methode is deels geautomatiseerd. Indien die software beschikbaar komt voor RWS en met regelmaat geupdate kan worden wordt gebruik een stuk sneller/ vriendelijker.	Arbeidsintensief als het niet is geautomatiseerd. Werk alleen uitvoerbaar door specialisten.

B Vragen en deelvragen van RWS met korte antwoorden

Vragen en deelvragen van RWS.	Korte antwoorden
In blauw zijn een aantal vragen toegevoegd die auteur zelf bij aanvang had	
<i>Wat is de juiste toepassingswijze van de WUR-methode?</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Welke afhankelijkheden moeten er in de drie constanten (f, z_0 en α) opgenomen worden? 	Als hier bedoeld word afhankelijkheid voor de omstandigheden zie onder.
<ul style="list-style-type: none"> Moet de ruwheid schalen met de waterstand en/of de stroomsnelheid? 	In theorie moet het schalen met de stroomsnelheid, omdat de stroomsnelheid de vorm van de bedding beïnvloed. Voor de ADM doen we dit niet
<ul style="list-style-type: none"> Moet de aanname over het profiel aangepast worden bij wel of niet gestuwde situatie en variaties in de stuwhoogte? Wat is het effect als je het niet doet. 	Theoretisch wel. Als je het niet doet krijg je een afwijking, maar veel kleiner dan de hysteresis in een Qh relatie. Voor de ADM doen we dit niet. Documentatie van afwijkingen bij ADM door variabele stuweffecten is de auteur niet bekend. Dat betekent niet dat het niet optreedt, of dat er nooit naar gekeken is. Het is eenvoudig te controleren op een bestaande ADM locatie.
<ul style="list-style-type: none"> Moet de snelheidsdip aan het oppervlak α voor Nederlandse wateren wel worden meegenomen? Deze twijfel is geuit door Alterra. Daarnaast heeft Rinus opgemerkt dat deze coëfficiënt moeilijk is af te leiden uit metingen door contractie van stroomlijnen onder meetschip. 	De terugknik is aanwezig aan de randen. Correctie hiervoor zou dus het beste resultaat leveren. Alterra heeft op basis van ander onderzoek een nauwkeuriger methode voor het beschrijven van een profiel met terugknik geïdentificeerd. Het vergt snelheids metingen tot aan het oppervlak. Ter vergelijking: In de ADM zit geen terugknik, maar wel een vormfactor.
<ul style="list-style-type: none"> Moet er een weging van de bins plaats vinden? 	De bins die bij de maximum snelheid liggen geven theoretisch het meest nauwkeurige resultaat. Anderzijds is aangetoond (ISO documentatie, zie ook Boiten) dat meer metingen over de breedte een nauwkeuriger resultaat levert.

	<p>Weging is nooit toegepast of gesuggereerd in de meetprotocollen voor velocity area methoden. Het is vooral zinnig als de betrouwbaarheid van de individuele bins verschilt.</p> <p>Ter vergelijking</p> <p>In de ADM en Ott molen metingen weegt ieder punt over de breedte even zwaar, maar bij de varende ADCP metingen wordt langer gemeten langs de oevers om zo de betrouwbaarheid van dat deel te verhogen..</p>
<ul style="list-style-type: none"> Moeten we overstappen naar een anders geschaalde parameter, bijv. Chézy coëfficiënt? 	<p>Nee. De Chézy coëfficiënt pas je toe in de verhangmethode als een soort weerstandcoëfficiënt. Je zou het berekende debiet wel kunnen grofweg kunnen controleren met een verhangmethode bij ongestuwde afvoer. Maar dat kun je beter doen met de Q_f getallen.</p> <p>Wel zijn er andere bronnen om de ruwheidslengtes uit te schatten anders dan de varende ADCP metingen.</p> <p>Naar de ruwheden bij variërende stroming is tientallen jaren onderzoek gedaan in Nederland. Gevonden ruwheden uit varende metingen moeten met die resultaten geverifieerd worden.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Welke smoothing moet worden toegepast bij het vaststellen van de constanten? 	<p>Zoals eerder opgemerkt: smoothing wijst op te weinig data om de parameters te bepalen. Maar als het niet anders kan, dan moet het maar.</p> <p>De ruimtelijke schaal van de smoothing zou gecorreleerd moeten zijn aan de schaal van de variaties in de bodem.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Hoe nodig/zinnen zijn bovenstaande zaken? Hoe groot is de fout als je bovengenoemde dingen niet doet? Wat levert het op als je het wel doet? Orde van grootte inschatting gevraagd, bedoeld voor het vaststellen van de "zinnigheid". Onder de "zinnigheid" valt niet alleen meetonzekerheid, maar ook robuustheid van de meting (kan je bijv. onder minder gunstige omstandigheden nog steeds een debiet bepalen met een iets grotere fout?) of wordt de methode er breder inzetbaar door? 	<p>Dat weten we eigenlijk niet.</p> <p>Alles hangt af van hoe stabiel de stroomsnelheidsprofielen zijn over wisselende omstandigheden. En hoe nauwkeurig je uit validatie metingen kunt bepalen of de profielen variëren.</p> <p>Ik heb weinig inzicht in hoe sterk de stromingsprofielen variëren.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Wat is er nodig om de methode goed te laten werken? Bijv. welke inspanning moet geleverd worden voor een uitstekende kalibratie en hoe goed is het dan? En wat is de inspanning bij kalibratie in alleen middenregime en hoe goed is het dan? 	<p>Idem aan hierboven.</p>

Wat is het toepassingsbereik?	
<ul style="list-style-type: none"> • Wat zijn de (bepalende)factoren die bepalen waar de methode wel (en waar niet) kan worden toegepast? Denk aan beperkingen in toepassingsbereik door veranderingen in diepte (waterstand) of breedte (de door WUR genoemde breedte die niet meer dan 10% mag veranderen), stroomsnelheid of oeversteilheid. 	<p>Zie boven.</p> <p>Als we de vergelijking trekken met de huidige inzet van ADM en ook het protocol voor het waterstandsbereik en de vorm van de waterloop kan dat 1 op 1 doorgezet worden naar de Horizontale ADCP's.</p> <p>Argument: Als we een stabiel verticaal snelheidsprofiel mogen aannemen bij de ADM, mag dat ook bij een HADCP.</p> <p>Tegenargument: De plaats van de terugknik verandert in een rivier met een trapezium vorm met de waterstand. Bij hogere waterstanden verschuift die mee naar buiten. Bij een vaste waarde voor de terugknik toepassen op een vaste bin van de HADCP mag de breedte en vorm niet te veel veranderen met de waterstand.</p> <p>De Hoitink/Sassi berekening voor de horizontaal lijkt sterk op de index velocity methode.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Wat houdt het voor de meetonzekerheid in als de breedte toch meer dan 10% verandert? 	<p>Als de vorm en de ruwheid in gebied dat er bij komt sterk afwijkt van de gemiddelde vorm en ruwheid heeft het invloed op de meetonzekerheid. Bij gebruik van een vaste terugknikfactor gaat deze zorgen voor extra onzekerheid. Uit de beschikbare gegevens kan ik niet afleiden hoeveel het gaat schelen.</p> <p>Wederom ter vergelijking. Bij de ADM wordt de k factor bij hogere waterstanden aangepast voor dit soort locaties.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Moet er een 2^e HADCP komen bij grote waterstandsvolaties? Wat zou dit voor verbetering opleveren? (indicatie) 	<p>Ja.</p> <p>Een indicatie van de verbetering kun je krijgen door onzekerheid in de gemiddelde snelheid te bepalen bij aanname van enkele verschillende profielen. Dat gebeurt ook voor ADM locaties om te bepalen of er één of twee meetkruisen nodig zijn.</p>
Wat zal de prestatie van de verbeterde WUR-methode zijn?	
<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de te verwachte nauwkeurigheid van de WUR-methode indien "juist geïmplementeerd" zoals het 	<p>De <i>verwachting</i> is dat dit < 5% in 10 min gemiddelde is als men zich houdt aan het protocol voor locatiekeuze zoals bij de ADM en de aannamen over profielen</p>

<p>antwoord op vraag 1?</p>	<p>stand houdt.</p> <p>Dat is iets waar bij de ADM's ook van uit gegaan wordt en waarop de locaties worden geselecteerd.</p> <p>Een HADCP wordt niet zo nauwkeurig als een ADM. De HADCP meet een stuk van het profiel niet. Maar metingen met een ADM vallen nog wel eens uit door blokkeren van de meetlijn, wat bij de HADCP minder vaak gebeurt.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Wat is de minimaal benodigde kalibratieset? Hoeveel slechter wordt het bij minder kalibratiedata? (Indicatief) 	<p>10 metingen van ieder 1 ½ uur verdeeld over het meetbereik.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Hoe slecht is de WUR-methode als er geen kalibratie data is? Is het mogelijk om de constanten te gissen voor toepassing in het eerste jaar? 	<p>De methode gaat uit van afregeling op basis van vergelijking van gelijktijdige ADCP en HADCP metingen, dus het opstellen van een relatie na installatie van de HADCP.</p> <p>Zonder kalibratie data kan de WUR-methode niet worden toegepast.</p> <p>Er kan dan worden teruggevallen op de Velocity Profile methode. Het is verstandig om die stap altijd te doen, omdat het dwingt om te zoeken naar al aanwezige informatie over de meetlocatie.</p> <p>Met kalibratie data van de juiste locatie kunnen vooraf aan de plaatsing de parameters alfa, z0 en f wel geschat worden als exact bekend is wat het meetvolume van de HADCP zal zijn. Het wordt geen exact getal omdat de HADCP meting niet een meting over een lijn is en geen meting is in cellen zoals de men wel denkt. De HADCP bundel heeft een zekere uitgebreidheid en dus niet exact een waarde geeft op 1 hoogte. De HADCP cellen hebben geen harde overgang, maar hebben overlap met naastgelegen cellen.</p> <p>Een ruwe schatting vooraf kan dus, maar de gewenste 5% is zeker niet gegarandeerd.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Hoeveel beter is de (juist toegepaste en gekalibreerde) WUR-methode t.o.v. velocity-index methode of k-factor? 	<p>Op dit moment is niet aangetoond dat de WUR-methode beter is dan de genoemde methoden.</p> <p>In de meest recente, maar zeer beperkte vergelijking presteert de methode gelijkwaardig.</p>

C Bringing stream gauging to the next level

Deltares capability statement
Rinus Schroevers en Albrecht Weerts

Over the world a large number of organisations provide continuous stream flow (discharge) data. For rivers this data gathered in two ways:

- 1 discharge calculated from measured water level and calibrated with discharge measurements from a vessel, this known a stage discharge relation.
- 2 discharge calculated from a measured water level and instantaneous measured flow velocity calibrated with discharges measurements from a vessel, this is know as the Index Velocity method.

However, setting up a continuous discharge measurement that is also capable of covering higher discharges is still a problem. The same goes for measuring discharges in complex areas. Where do you measure when floodplains are covered? How to account for changing flow characteristics as side channels that start flowing at higher discharge or small tributaries turn in to rivers? And how to validate the measurements in conditions hazardous for boating? These questions not only concern where to measure and how to measure, but also the calculation methods used to derive the discharges. Furthermore, when the instruments fail there is no discharge calculation.

Part of the solution can be to measure with more fixed instruments spread out over a waterway, or to use relatively new techniques like bank mounted spatial velocity radars. But this still leaves the issue of how to calculate the discharge from these measurements. Another step is to introduce hydrodynamic modelling as part of the calculation method, and to assimilate velocity and water level measurements into a continuous running hydrodynamic model. Assimilating water level data in continuous running models is already a fact in the flood forecasting models of many countries such as the Netherlands and Germany> Moreover assimilation is explored in many other countries such as the US.

Using (3D) hydrodynamic models and data assimilation on a small scale and introducing measured velocities into the assimilation is a new approach, with promising possibilities. This novel approach creates flexibility in way to set up and combine measurements. As long as the measurements are within the reach of interest they contribute to the end result. It also reduces (not replaces) the need for calibrations measurements. And as long as the model runs there will be a discharge, even when all underlying measurements fail. The result will simply be a little less accurate for a while. Furthermore, the method is usable over the whole discharge range from low to high and at challenging sites.

Deltares is a world leading institute in hydrodynamic modelling, data assimilation and forecasting in surface water. We want to cooperate with parties and stakeholders who have an outstanding background in exploring and introducing new measurement techniques into surface water. By combing our expertise, stream gauging can be brought to the next level.