

**Validatie van Villemonte  
overlaatformulering in WAQUA met  
praktijkmetingen**

Erik de Goede

1204153-001



## Titel

Validatie van Villemonte overlaatformulering in WAQUA met praktijkmetingen

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat	1204153-001	1204153-001-ZWS-0001	29

## Trefwoorden

Riviermodellering, kribben, WAQUA, Waal

## Samenvatting

In dit project is de Villemonte formulering voor het energieverlies door kribben en overlaten in WAQUA gevalideerd aan de hand van praktijkmetingen. Dat is uitgevoerd als onderdeel van het KPP project "Rivierkunde" in de deelactiviteit "Hoogwaterstroming". Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

De modelresultaten laten een meer dan behoorlijke overeenkomst zien met de metingen. Dit geeft aan dat een gecalibreerd WAQUA model in staat is metingen met een behoorlijke nauwkeurigheid te reproduceren. Er is een vergelijking gemaakt tussen de Villemonte-aanpak en de Tabellenboek-aanpak, die al vele decennia wordt toegepast in WAQUA. De verschillen zijn minimaal, wat aangeeft dat beide overlaatconcepten een vergelijkbare nauwkeurigheid opleveren.

Bij een eerdere validatie met gootmetingen van de TU Delft is al geconstateerd dat de WAQUA overlaatformulering op basis van het Villemonte-concept is in staat is deze laboratoriummetingen met een behoorlijke nauwkeurigheid te reproduceren. In het voorliggende project is dit nu dus ook aangetoond voor praktijkmetingen voor de Waal.

## Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.9	dec. 2011	Erik de Goede		Arjan Sieben		Cees Sloff	
1.0	dec. 2011	Erik de Goede		Arjan Sieben		Cees Sloff	

## Status

definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Projectteam	2
<b>2 Samenvatting van metingen</b>	<b>3</b>
2.1 Analyse van 2011 metingen	3
<b>3 Modelopzet</b>	<b>5</b>
3.1 Rijntakkenmodel uit 2006	7
<b>4 Modelresultaten</b>	<b>9</b>
4.1 Validatie met januari 2011 meting	9
4.1.1 Modelresultaten voor Ochten raai	10
4.1.2 Modelresultaten voor Oosterhout raai	16
4.1.3 Modelresultaten voor andere raaien	17
4.1.4 Vergelijking voor MWTL stations	19
4.1.5 Chezy waarden	21
4.2 Validatie voor maart 2010	22
4.2.1 Modelresultaten voor Ochten raai	22
4.2.2 Modelresultaten voor Druten raai	24
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
5.1 Aanbevelingen voor de toekomst	27
<b>6 Referenties</b>	<b>29</b>

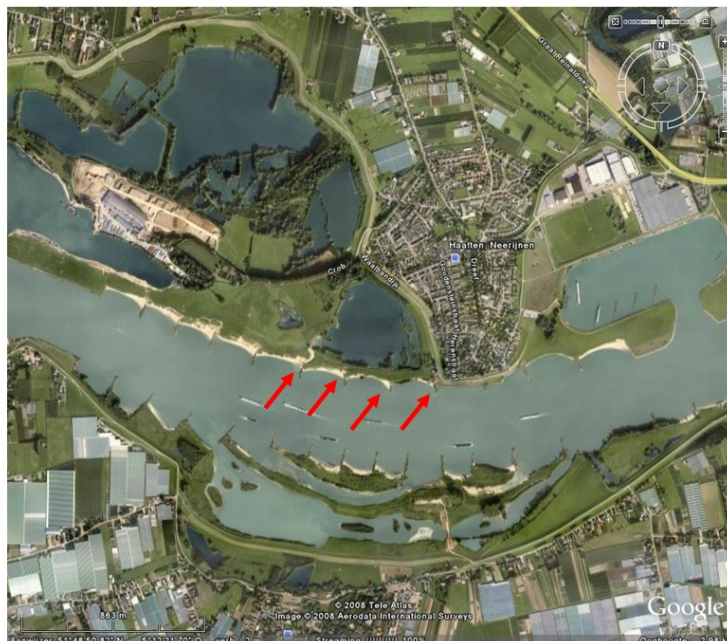


## 1 Inleiding

De waterstanden en stroming tijdens een hoogwatergolf worden sterk bepaald door de weerstand van overlaten in de rivier en in de uiterwaarden. Met overlaten worden bijvoorbeeld zomerkades, kribben of zomer- en winterdijken aangeduid. Het effect van overlaten op de stroming wordt in het numerieke stromingsmodel WAQUA geparameteriseerd weergegeven, via een zogeheten subgrid-formulering voor het energieverlies.

Van oudsher is deze subgrid-formulering voor het energieverlies van een overlaat in WAQUA (en TRIWAQ met één laag) gebaseerd op het zogeheten Tabellenboek concept dat bij Rijkswaterstaat ontwikkeld is. Dit is in 1968 door Rijkswaterstaat opgesteld op basis van meetdata voor een schaalmodel van een trapeziumvormige hydraulisch gladde overlaat.

In het afgelopen decennium zijn er tal van proeven met schaalmodellen van overlaten uitgevoerd, o.a. bij de TU Delft. De metingen van deze proeven zijn geanalyseerd en gebundeld in (Sieben, 2010) Op basis van deze meetdata heeft Arjan Sieben een nieuwe empirische formulering afgeleid met regressie analyse. Deze formulering, die we de "Villemonte"-concept noemen, bevat als parameters de hellingshoek boven- en benedenstreams van de overlaat, de lengte van de kruin maar ook de dichtheid van de begroeiing (vegetatie) op de overlaat. Bovendien kan er onderscheid gemaakt worden tussen zogeheten hydraulisch gladde en ruwe overlaten. Een ruwe overlaat levert een groter waterstandsverhang op over een overlaat.



Figuur 1.1 Illustratie van de vier innovatieve kribben bij Haafthen.

In 2009 is het Villemonte concept beschikbaar gekomen als functionaliteit in WAQUA. In de Simona major release 2009 is deze functionaliteit opgenomen (Rijkswaterstaat, 2009). De Villemonte formulering is gevalideerd met hierboven genoemde gootproeven van Bloemberg bij de TU Delft (Bloemberg, 2001). Ook is er voor een praktijkmodel voor de Waal bij Haafthen

een vergelijking gemaakt met het Tabellenboek concept (Svašek Hydraulics, 2009). In dat project zijn de zogeheten innovatieve kribben bij Haaften (zie Figuur 1.1) gesimuleerd. Hierbij is ook de hellingshoek van overlaten gevarieerd, om na te gaan in hoeverre dit de waterstand en energieverlies beïnvloedt. Dit leverde, globaal gezien, fysisch plausibele resultaten op. Echter, toentertijd is niet vergeleken met metingen.

Daarom is het Villemonte concept in 2011 alsnog gevalideerd op basis van praktijkmetingen die in het voorjaar van 2011 en in 2010 zijn uitgevoerd. In het voorliggende rapport worden de bevindingen gerapporteerd. Dit is uitgevoerd als onderdeel van KPP project "Rivierkunde" in 2011, bij de deelactiviteit "Hoogwaterstroming" (Sloff, 2011).

De metingen die in dit project zijn gebruikt, zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat/Waterdienst, in de persoon van Arjan Sieben.

## 1.1 Projectteam

Dit project is uitgevoerd door Erik de Goede en Jan van Kester. De begeleiding door de Waterdienst was in handen van Arjan Sieben.



## 2 Samenvatting van metingen

In de afgelopen jaren zijn er de nodige metingen uitgevoerd bij kribben. Dit betreft o.a. de volgende locaties:

- Haaften (februari 2005, april 2009)
- Beneden Leeuwen (maart 2009)
- Oosterhout (maart 2009)
- Druten (maart 2009)
- Ochten (maart 2009)

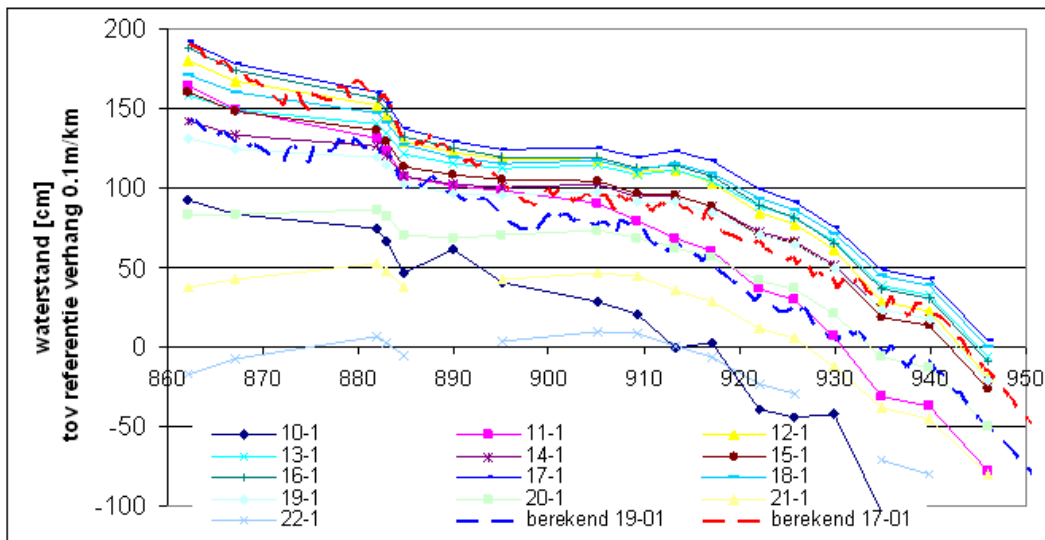
Deze metingen zijn uitgevoerd in 2005 en 2009 en zijn geanalyseerd en samengevat in (Sieben, 2009). In (Sieben, 2010) worden de metingen uit 2010 beschreven. In 2010 zijn metingen uitgevoerd bij Ochten, Druten, Deest, Ewijk en Oosterhout. In het voorjaar van 2011 zijn op dezelfde locaties metingen uitgevoerd. Bovendien zijn op tal van andere locaties metingen uitgevoerd in 2011. In Tabel 3.1 in Hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van al deze locaties. Deze metingen zullen gebruikt worden om in het voorliggende project het Villemonte concept te valideren. De focus ligt hierbij op de metingen uit 2011.

Door Arjan Sieben zijn hoogwatermetingen voor 2009, 2010 en 2011 bewerkt, zodat ze vergeleken kunnen worden met WAQUA modelresultaten. Hierbij zijn de metingen afgebeeld op met Rijntakkenmodel-rooster. De resultaten zijn vastgelegd in een EXCEL file (Sieben, 2011). Voor een aantal raaien zijn metingen beschikbaar, waarbij de metingen per corresponderende roostercel beschikbaar zijn. Wij zullen ons richten op de hoogwatermetingen van maart 2010 en van januari 2011.

### 2.1 Analyse van 2011 metingen

De informatie in deze paragraaf is overgenomen uit een document van Arjan Sieben. Het bevat aanvullende informatie en gaat in op de kwaliteit van de metingen.

In Figuur 2.1 zijn de gemeten daggemiddelde waterstanden weergegeven voor elke meetdag langsprofielen. De MWTL waterstanden (Lobith, Pannerdenschen Kop, Nijmegen-Haven, Tiel-Waal en Zaltbommel) passen goed in de reeks (Vuren wordt nog aan de reeks toegevoegd). Waterstanden in de figuur zijn niet t.o.v. NAP, maar t.o.v. een lineair (0.1 m per km) aflopende referentie om de structuur duidelijk te maken. De metingen zijn in symbolen weergegeven; daartussen zijn lijnen getrokken. Opvallend zijn het stuweffect vanuit de Merwedede tot stroomafwaarts Tiel en de lokale opstuwingen bij 885, tussen 915 en 920, en bij 940. De rechte lijn op de Boven-Waal is vermoedelijk onjuist; hier ontbreken divers om een goed waterstandsverhang te kunnen bepalen.

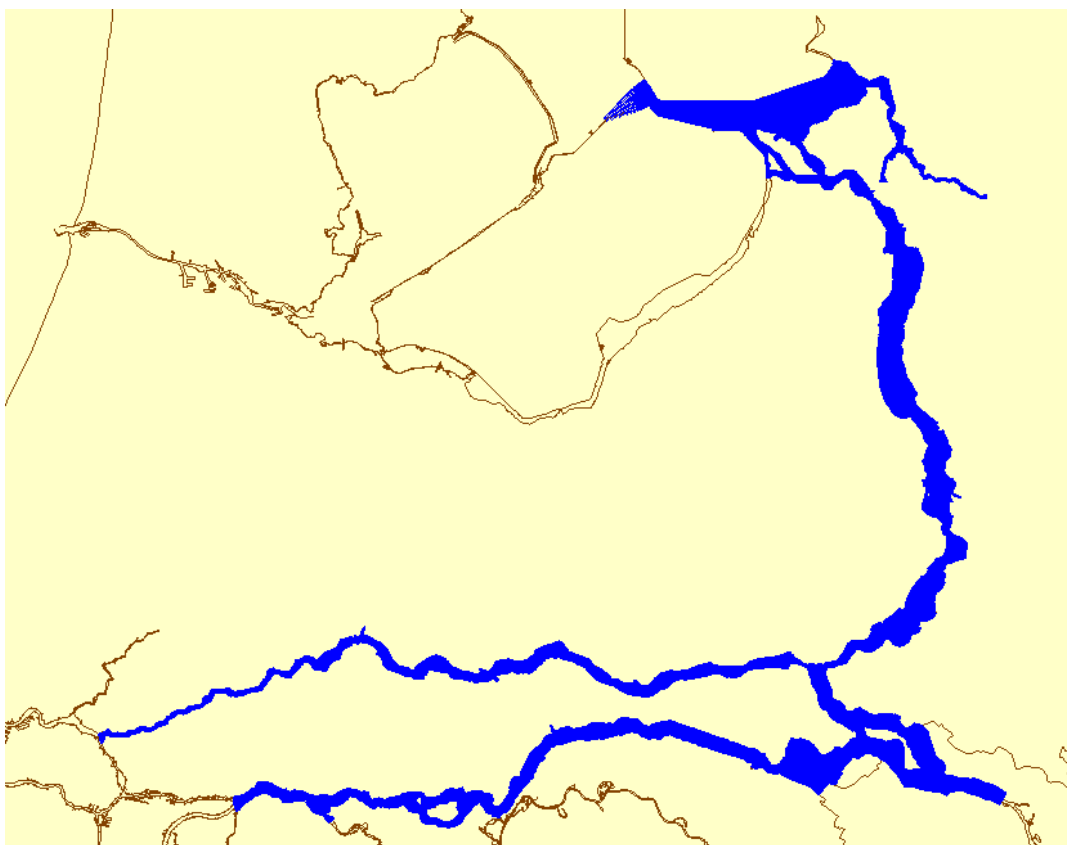


Figuur 2.1 Langsprofilen voor de Waal

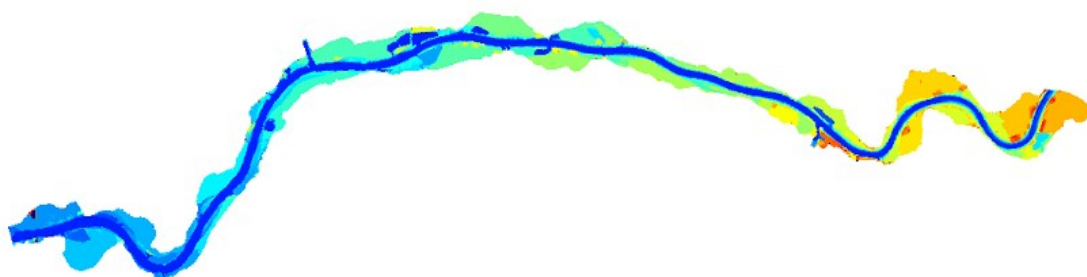
Voor een snelle indruk zijn oude SOBEK resultaten (Rijn\_2000\_31, stationaire waterbeweging) als stippelijnen aan de figuur toegevoegd. Het was een brede hoogwatergolf met bij de top redelijk stationaire langsprofilen; de vergelijking tussen SOBEK en meting is daarom alleen geldig rondom de top. Grofweg komt het effect van de genoemde flessenhalzen op de opstuwung goed uit het model. De benedenstroomse rand lag in de SOBEK berekening circa 0,1 m te laag, maar dit verschil groeit nog verder tussen km 920 en 930; in het oude SOBEK model (versie 2000) wordt met name op dit traject kennelijk te weinig opstuwung berekend. Op de Midden-Waal laat het model ongeveer tussen km 892 en 895 opstuwung zien die in metingen ontbreekt, maar (voordat we juichen over het effect van kribverlaging) hier staan weinig divers om dit soort variaties te ontdekken. Voor de BovenWaal ontbreken gemeten waterstanden en is alleen te concluderen dat het totale verval tussen Pannerdenschen Kop en Nijmegen juist wordt gesimuleerd.

### 3 Modelopzet

Als startpunt hebben we het Rijntakkenmodel (versie simona-rijn-j95\_4) genomen. Dit is een zogeheten vierde generatie model. In Figuur 3.1 wordt het modelgebied van deze schematisatie getoond. Dit is een rekenintensief model. De modelafmeting van het Rijntakkenmodel is 672 bij 4273 roosterpunten. Omdat wij alleen metingen voor de Waal hebben (zie Hoofdstuk 2) is er een uitsnede voor de Waal gemaakt. Figuur 3.2 bevat het modelgebied van deze uitsnede. De randen liggen bij Zaltbommel en bij de Pannerdenschen Kop. De modelafmeting van de Waaluitsnede is 171 bij 1655 roosterpunten.



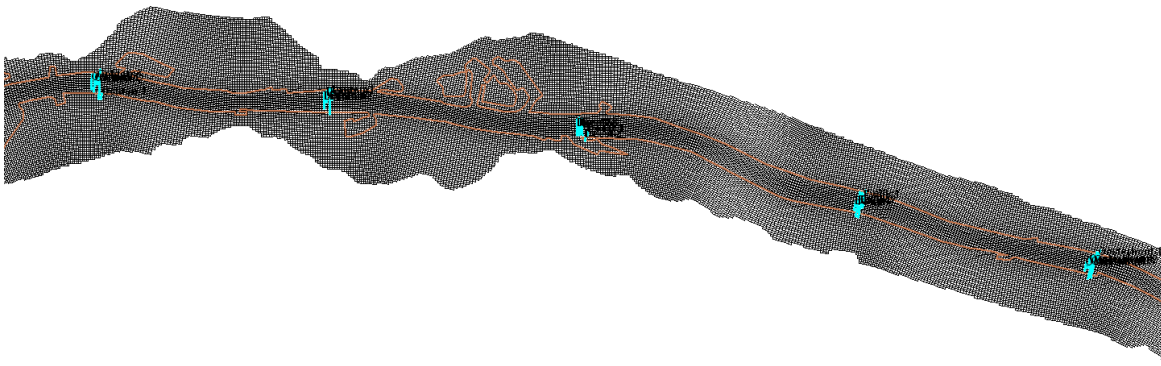
Figuur 3.1 Overzicht van Rijntakkenmodel



Figuur 3.2 Uitsnede voor de Waal (van Zaltbommel tot aan de Pannerdenschen Kop)

In de EXCEL file met metingen staan de bijbehorende (M,N) coördinaten van het Rijntakkenmodel vermeld. Het Waalmodel heeft andere coördinaten. Bij de conversie van het Rijntakkenmodel naar het Waalmodel dient de volgende coördinatentransformatie plaats te vinden:  $(M_{Waal}, N_{Waal}) = (M_{Rijntakken} - 75, N_{Rijntakken} - 482)$ . NB. Als er in dit rapport (M,N) coördinaten worden genoemd, dan bevat het altijd de coördinaten van het Rijntakkenmodel.

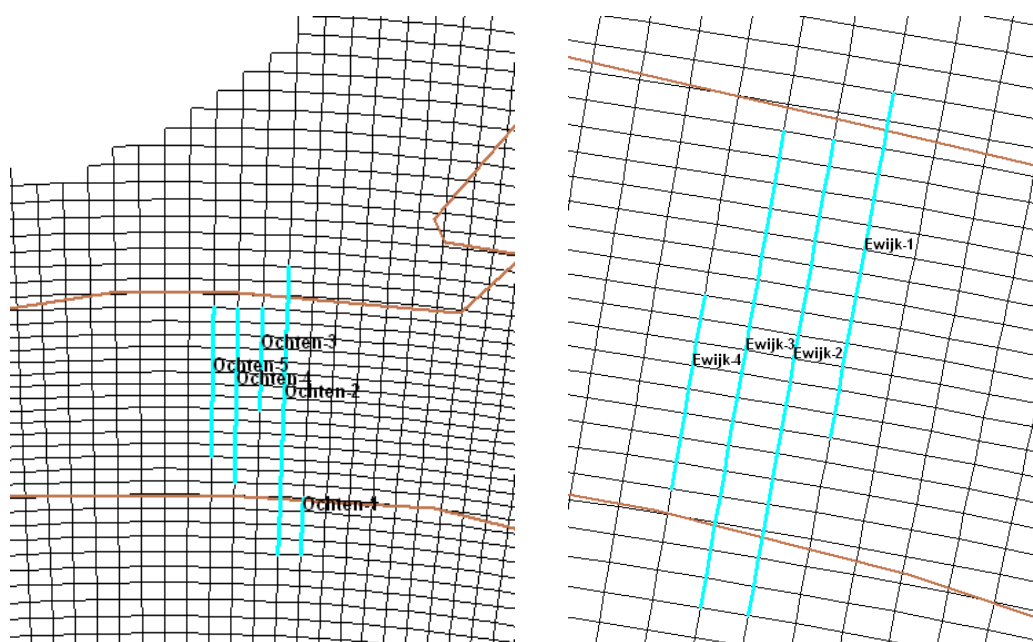
In Figuur 3.3 wordt een aantal raaien getoond waarvoor metingen beschikbaar zijn. In dit figuur zijn de raaien in lichtblauw weergegeven. Per locatie is er meerdere raaien gemeten. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3.4. De vijf locaties zijn (van west naar oost): Ochten, Druten, Deest, Ewijk en Oosterhout. In Tabel 3.1 staat aangegeven langs welke raaien er gemeten is. Hierbij is de kilometeraanduiding aangegeven (vergelijk met Figuur 2.1). We merken op dat ons model ongeveer eindigt bij km 930 (Zaltbommel).



Figuur 3.3 Illustratie van de locatie van metingen op Waal; van links naar rechts Ochten, Druten, Deest, Ewijk en Oosterhout

Locatie	Naam
km 882	
km 883	
Km 889	Oosterhout
Km 893	Ewijk
Km 898	Deest
Km 901	Druten
Km 905	Ochten
Km 909	
Km 917	
Km 922	
Km 925	

Tabel 3.1 Overzicht van de locaties van de raaimetingen



Figuur 3.4 Locatie van raaimetingen bij Ochten (links) en Ewijk (rechts)

### 3.1 Rijntakkenmodel uit 2006

Het is belangrijk om te vermelden dat de toegepaste, officiële Rijntakkenmodel uit 2006 stamt. In de jaren daarna zijn op een zeventig tal plaatsen de kribben aangepast. Dit is uitgevoerd in het kader van het project “Innovatieve kribben”. **In dit project worden metingen uit 2009 en 2011 nagerekend, waarbij in het model de innovatieve kribben nog niet opgenomen zijn.** Het model past dus niet helemaal bij de situatie die is nagerekend. Dit zou de resultaten enigszins kunnen beïnvloeden.

Bij navraag bij Maarten van der Wal, die projectleider was bij het project “Innovatieve kribben”, is duidelijk geworden dat er nog geen WAQUA schematisatie is waarin de innovatieve kribben opgenomen zijn. In 2012 zal door een dergelijk WAQUA model worden opgezet, maar dit komt dus te laat voor het voorliggende project. Daarom staat bij de aanbevelingen (zie Hoofdstuk 5.1) ook dat voorgesteld wordt in de toekomst de uitgevoerde simulaties nog een keer te herhalen.



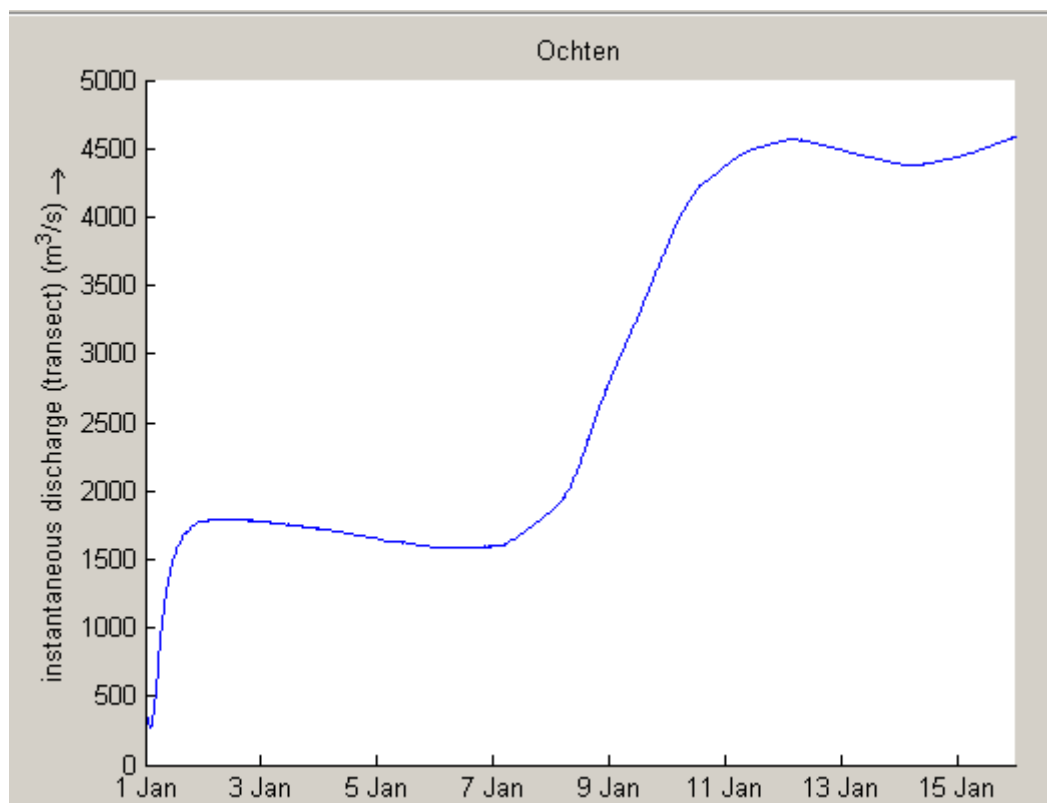
## 4 Modelresultaten

In dit hoofdstuk worden WAQUA modelresultaten vergeleken met metingen. De vergelijking is voor twee perioden uitgevoerd, te weten januari 2011 (zie Paragraaf 4.1) en maart 2010 (zie Paragraaf 4.2).

De metingen zijn daggemiddeld. Voor de modelresultaten is steeds 12:00 uur 's middags gebruikt. We merken op dat modelresultaten voor iedere drie uur beschikbaar zijn, maar dat deze niet gemiddeld zijn over de dag.

### 4.1 Validatie met januari 2011 meting

Hiervoor is een vergelijking uitgevoerd met metingen op 9 januari en op 11 januari. In Figuur 4.1 staat de tijdreeks van het debiet weergegeven door een raai bij Ochten, waarbij een hoogwatergolf passeert. Bij andere raaien zal het verloop vergelijkbaar zijn. Hieruit blijkt dat op 9 januari het debiet flink toeneemt. Op 11 januari 2011 is het debiet min of meer constant. Dit betekent dat er op 9 januari mogelijk een verschil met metingen zou kunnen ontstaan, omdat we slechts op één tijdstip (namelijk 12:00 uur) een vergelijking met metingen uitvoeren.

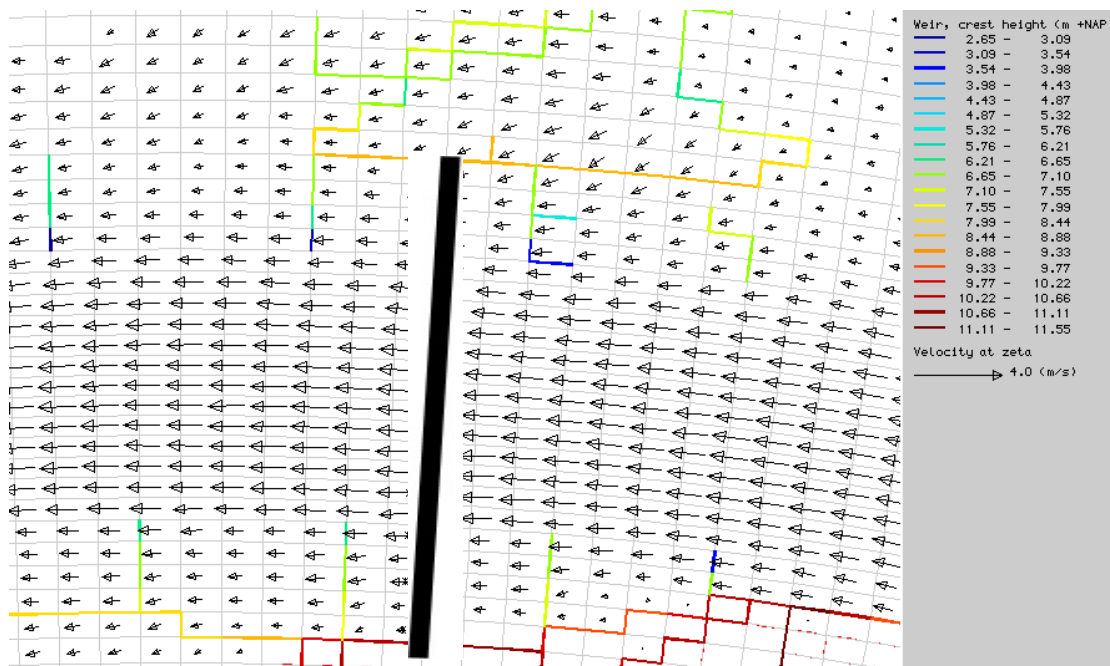


Figuur 4.1 Tijdsreeks van debiet door Ochten raai (M=131..152, N=1415)

#### 4.1.1 Modelresultaten voor Ochten raai

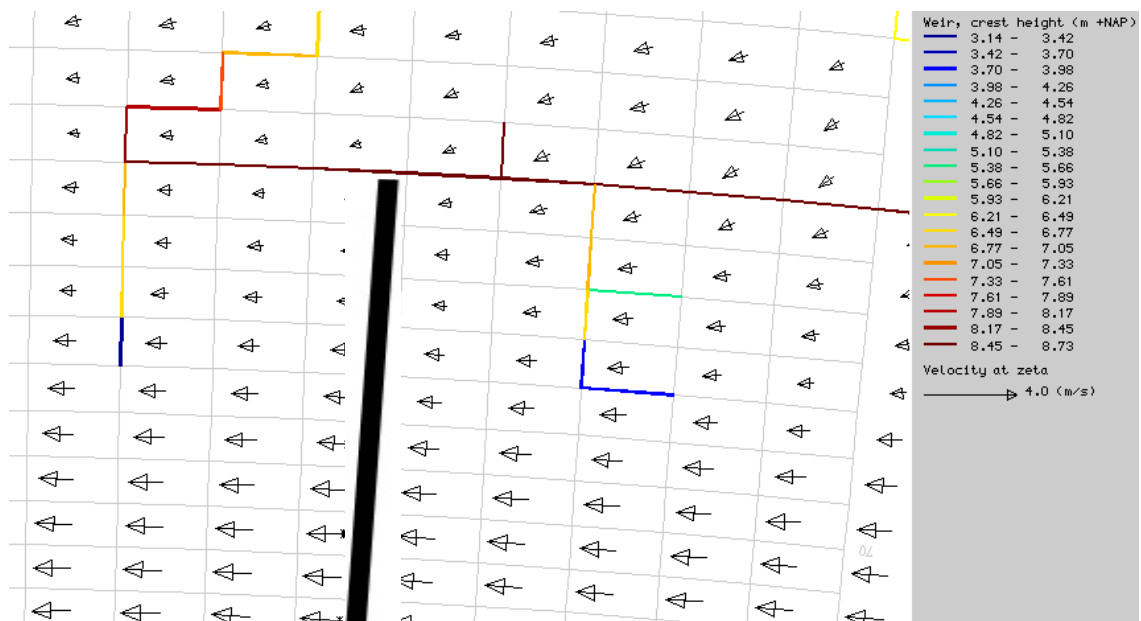
De Ochten raai bestaat uit 22 roostercellen, lopende van noord naar zuid. In Figuur 4.2 is de Ochten raai met een zwarte balk aangegeven. Dit figuur bevat ook het stroomveld op 9 januari 12:00 uur. Er is goed te zien dat in de hoofdgeul het harder stroomt dan in de kribvakken. De stroming gaat in grote mate recht over de kribben. Dit komt omdat kribben (en overlaten) subgrid gemodelleerd worden in WAQUA. Dit betekent o.a. dat er een energieverlies c.q. waterstandsverhang over de kribben optreedt, maar dat de stroming de obstructie door kribben als het ware niet voelt. Hierdoor gaat de stroming niet om de kribben maar eroverheen.

Er liggen dus 22 roostercellen van noord naar zuid. Cellen 1 t/m 4 liggen in het kribvak aan de noordzijde en cellen 18 t/m 22 liggen in het kribvak aan de zuidzijde. De hoofdgeul loopt dus van cel 5 t/m 17. In Figuur 4.3 is ingezoomd op het snelheidsveld tussen de kribben. Figuur 4.4 bevat waterstanden, waarbij te zien is dat er een waterstandsverschil aan weerszijden van kribben is.

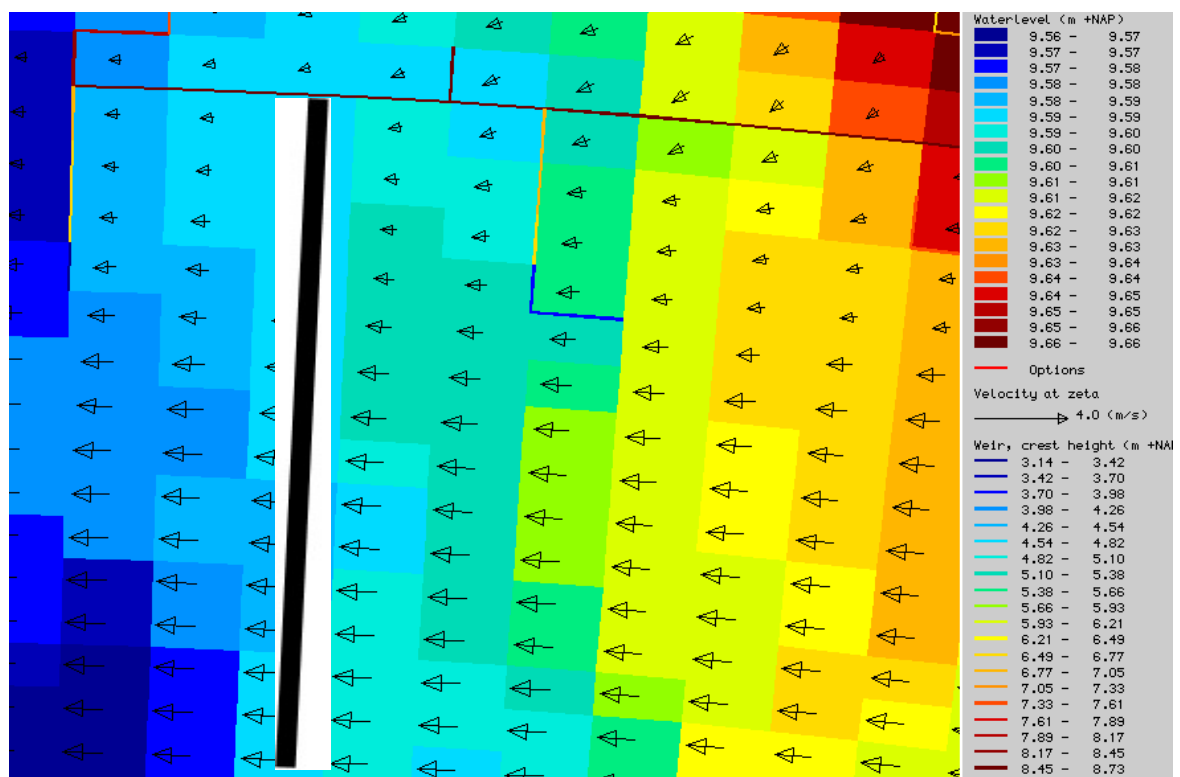


Figuur 4.2 Vectorveld bij Ochten raai op 11 januari 2011



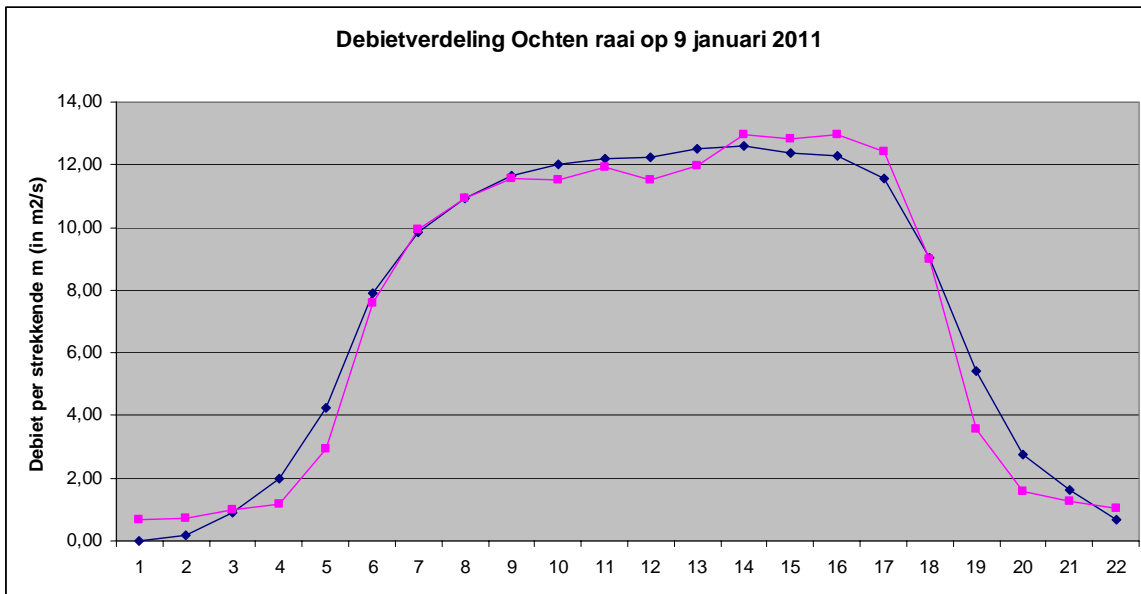


Figuur 4.3 Vectorveld bij Ochten raai op 11 januari 2011 (ingezoomd)

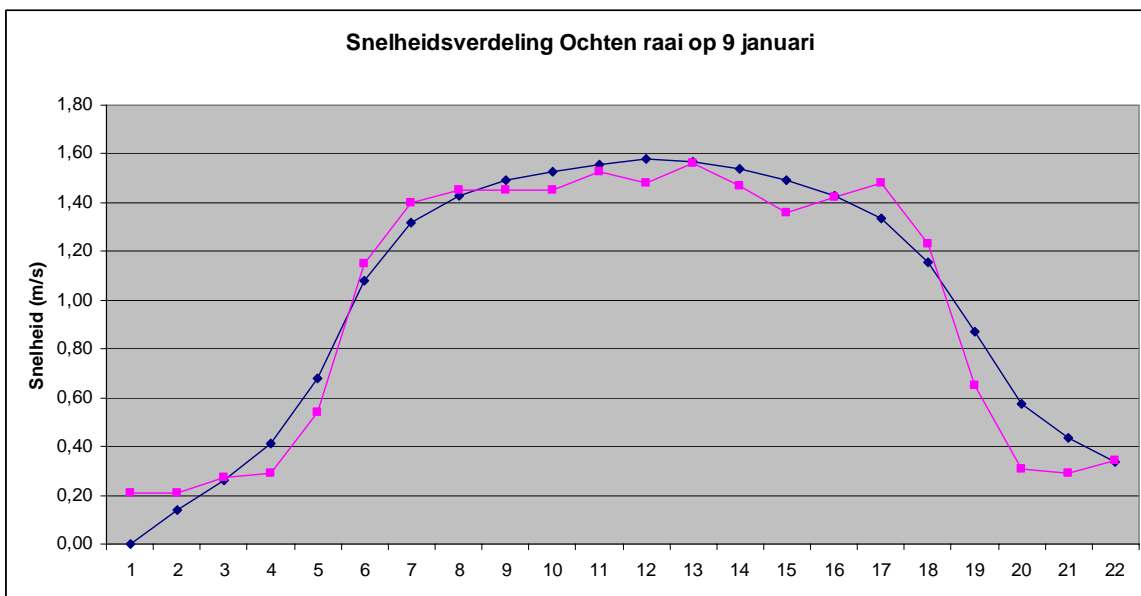


Figuur 4.4 Waterstanden en vectorveld bij Ochten raai op 11 januari 2011 (ingezoomd)

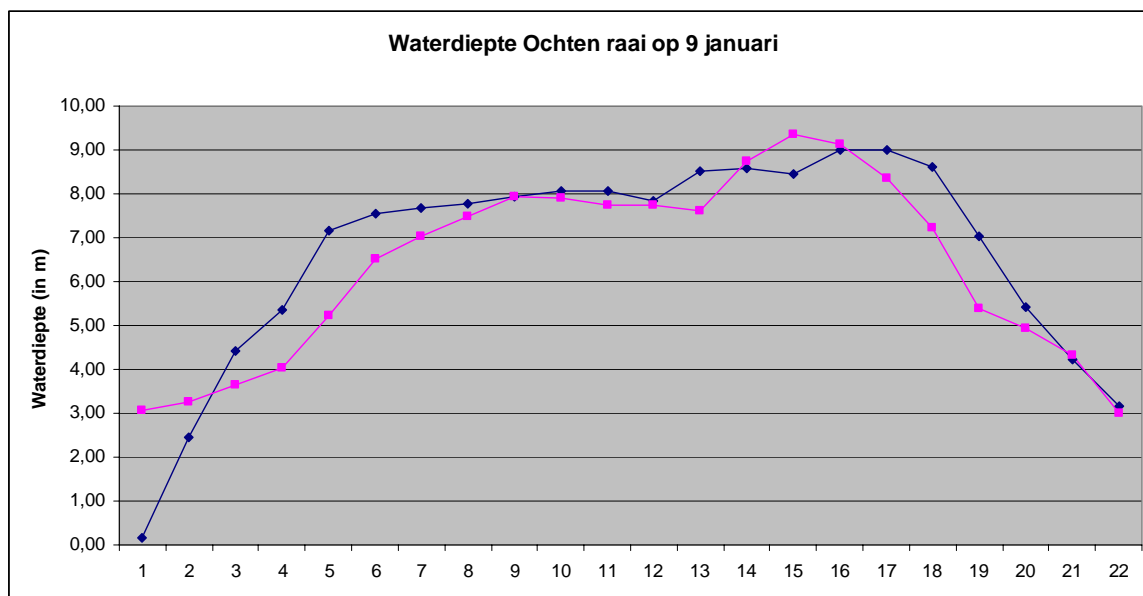
In Figuren 4.5 t/m 4.7 wordt respectievelijk de debietverdeling, de snelheidsverdeling en de waterdiepte over de Ochten raai getoond. De zwarte lijnen zijn de berekende resultaten en de paarse lijn representeert de metingen.



Figuur 4.5 Debietverdeling bij Ochten raai op 9 januari; paars=meting; zwart=berekend; Noordrand=1, zuidrand=22

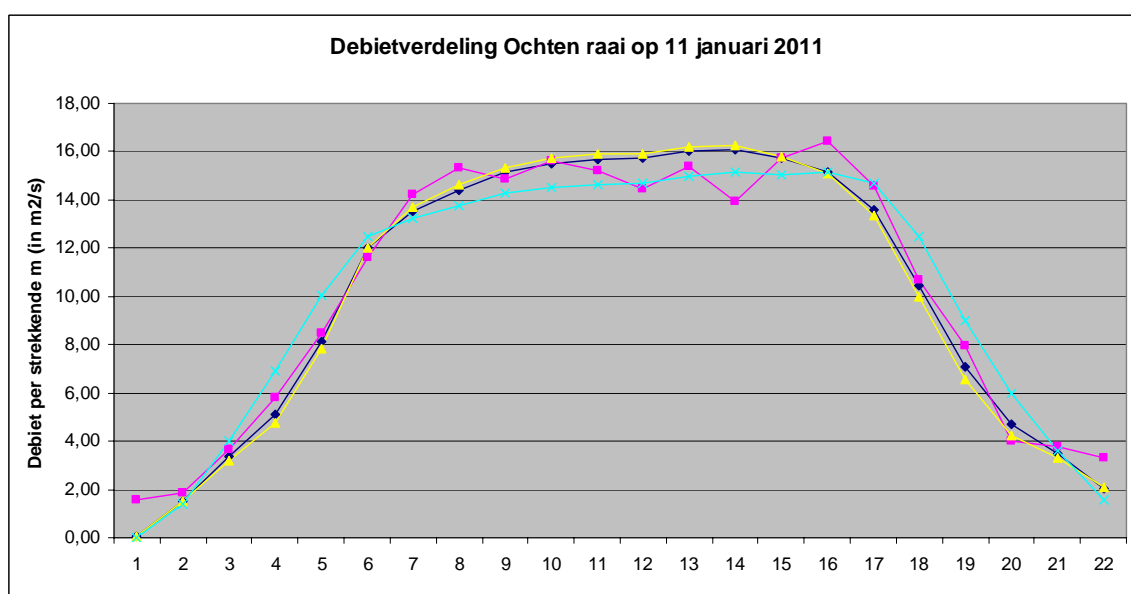


Figuur 4.6 Snelheden bij Ochten op 9 januari; paars=meting; zwart=berekend; Noordrand=1, zuidrand=22



Figuur 4.7 Waterdiepte bij Ochten raai op 9 januari; paars=meting; zwart=berekend; Noordrand=1, zuidrand=22

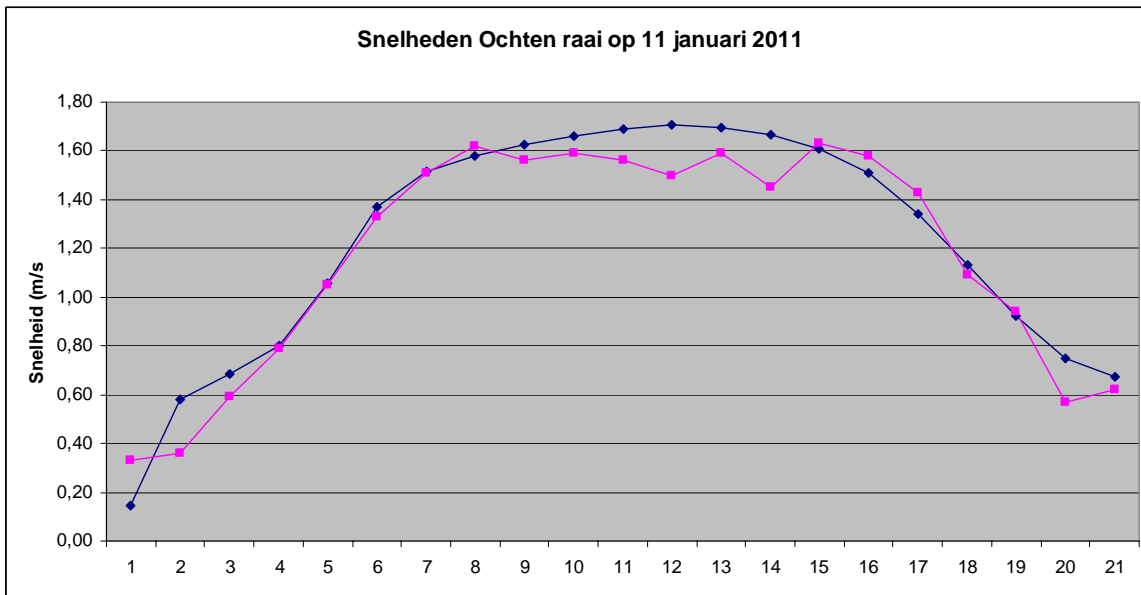
Uit Figuren 4.5 t/m 4.7 blijkt dat er een goede overeenkomst is tussen de metingen en de berekening. Zo is het doorstroomdebiet tussen de kribvakken ongeveer een factor tien minder dan in de hoofdgeul. Zowel in de metingen als in de berekening treedt dit op. In de metingen treedt er een iets scherpere sprong op tussen de stroming in de kribvakken en in de hoofdgeul. In de berekening gaat dat iets geleidelijker. Gezien de resolutie van het modelrooster (van 20 m in de dwarsrichting) toont WAQUA een verrassend goede "sprong" tussen de stroming in de kribvakken en in de hoofdgeul.



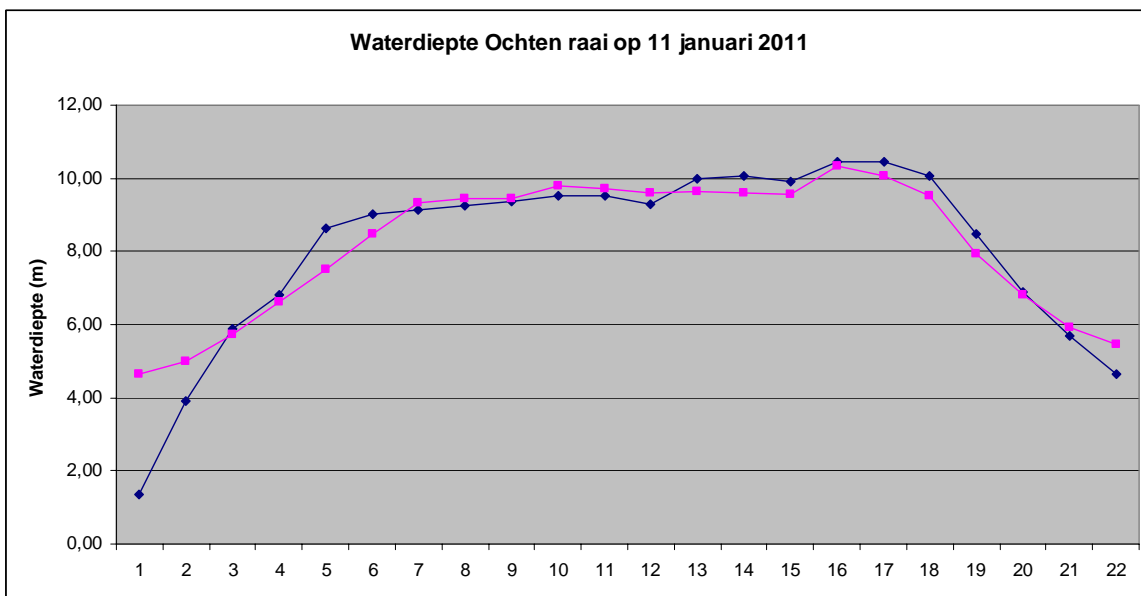
Figuur 4.8 Debietverdeling Ochten raai; paars=meting, zwart=Villemonte, geel=Tabellenboek, lichtblauw=Tabellenboek zonder energieverlies

In Figuren 4.8 t/m 4.10 wordt respectievelijk de debietverdeling, de snelheidsverdeling en de waterdiepte over de Ochten raai getoond voor 11 januari 2011. Ook op dit tijdstip is er een goede overeenkomst tussen de meting en de berekening.

Figuur 4.8 bevat naast de modelresultaten voor de Villemonte aanpak (zie de zwarte lijn), ook resultaten voor andere berekeningen. Dat zal in Paragraaf 4.1.1.1 toegelicht worden.



Figuur 4.9 Snelheden bij Ochten raai op 11 januari; paars=meting; zwart=berekend; Noordrand=1, zuidrand=22



Figuur 4.10 Waterdiepte bij Ochten raai op 11 januari; paars=meting; zwart=berekend; Noordrand=1, zuidrand=22

#### 4.1.1.1 Villemonte versus het Tabellenboek

In de voorgaande paragraaf is aangetoond dat het WAQUA model met toepassing van de Villemonte formulering voor overlaten een goede overeenkomst met de januari 2011 metingen laat zien. In Figuur 4.8 zijn ook de resultaten voor de volgende twee simulaties toegevoegd:

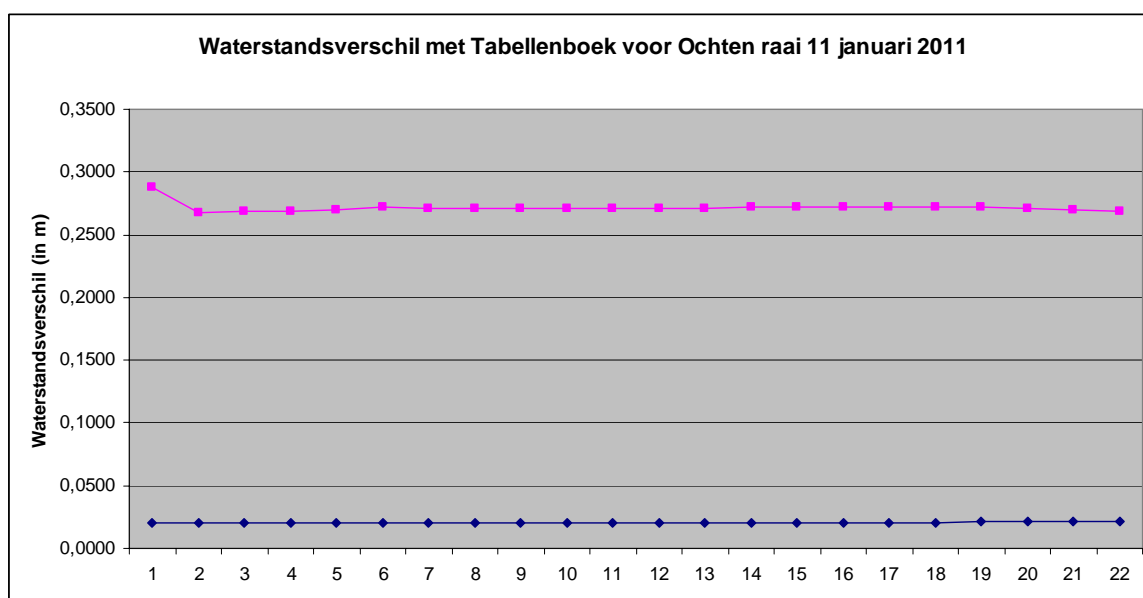
- Tabellenboek (i.p.v. Villemonte)
- Tabellenboek (i.p.v. Villemonte) waarbij het energieverlies is uitgezet.

In WAQUA is er een keyword GROUYNE\_REDUCTION\_FACTOR, waarvoor de default waarde 1.0 is. Door dit keyword op 0.0 te zetten, wordt er geen energieverlies berekend over de kribben. De overlaatformulering is dan uitgezet. De kribben spelen dan nog steeds een rol in een WAQUA simulatie, bijvoorbeeld bij onderlopen en droogvallen. Door het energieverlies uit te zetten over kribben wordt een indruk verkregen van het effect van het energieverlies door kribben.

Figuur 4.8 geeft de debietverdeling over de Ochten raai aan. Hieruit blijkt dat het Tabellenboek (gele lijn) en het Villemonte-concept (zwarte lijn) vrijwel dezelfde resultaten opleveren. Als het energieverlies echter wordt uitgezet (lichtblauwe lijn) dan worden er fors afwijkende resultaten berekend. Dat wordt geïllustreerd in Figuur 4.11, waarin het verschil met de Tabellenboek-resultaten wordt weergegeven. Hieruit blijkt dat voor de gehele raai het Villemonte-concept waterstanden berekent die zo'n twee cm verschillen. Zonder energieverlies is het verschil zo'n 27 cm.

Dit geeft aan dat:

- Het door WAQUA berekende energieverlies een belangrijke grootte is bij het berekenen van waterstanden; en dat
- Het Tabellenboek- en het Villemonte-concept vrijwel identieke waterstanden opleveren.

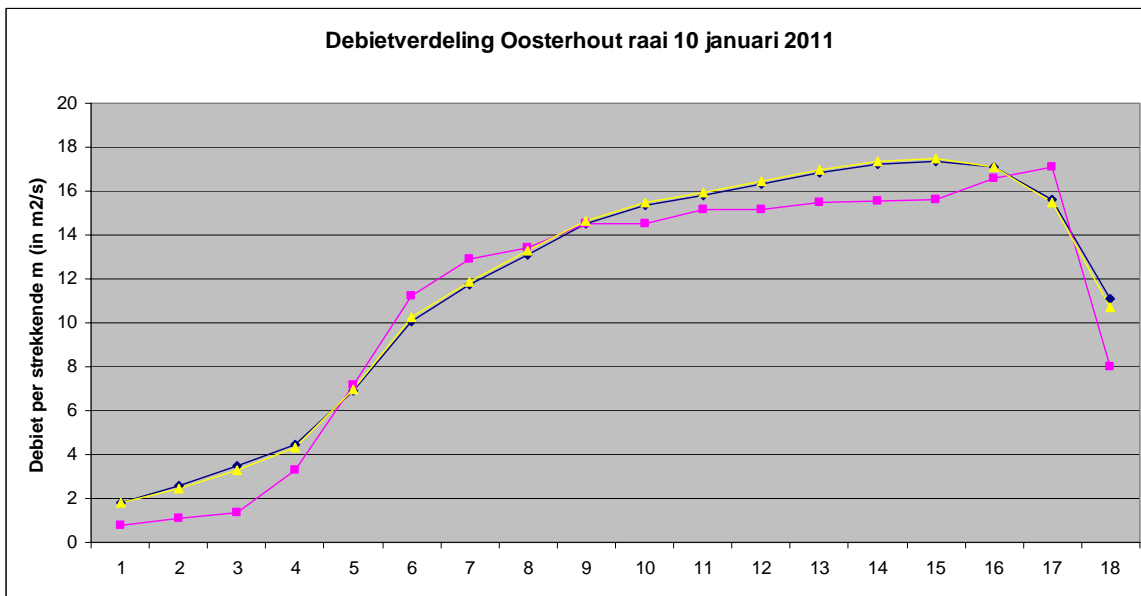


Figuur 4.11 Waterstandsverschil t.o.v. WAQUA/Tabellenboek voor Ochten raai op 11 januari 2011; blauw=Villemonte, paars=Tabellenboek zonder energieverlies

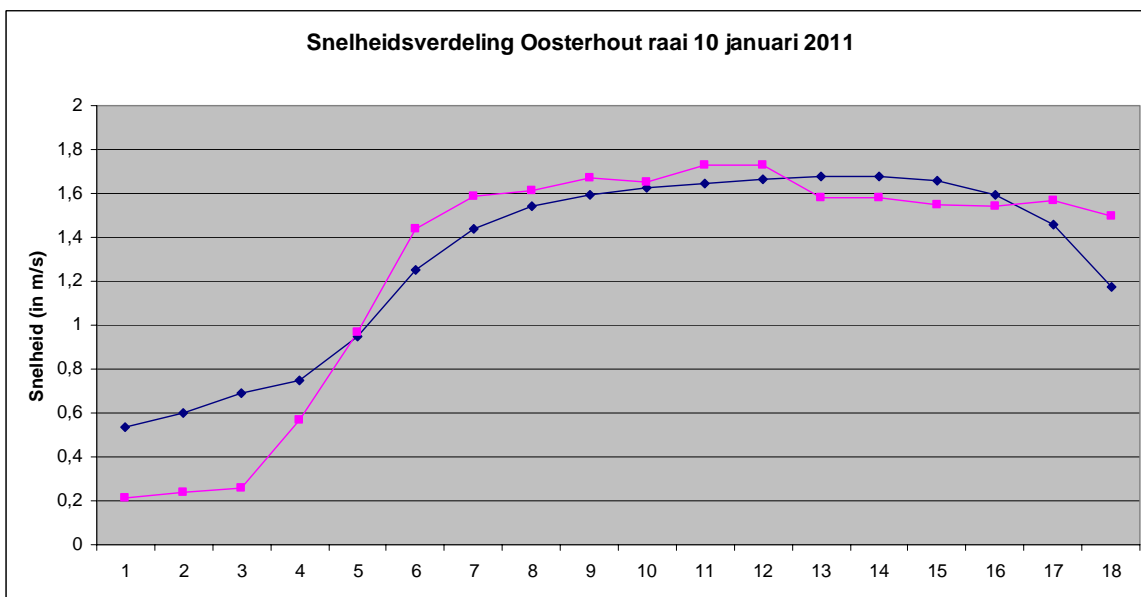
## 4.1.2 Modelresultaten voor Oosterhout raai

In Figuren 4.12 t/m 4.14 wordt respectievelijk de debietverdeling, de snelheidsverdeling en de waterdiepte over de Oosterhout raai getoond voor 10 januari 2011. Hierbij is het dwarsprofiel fors afwijkend van die van de Ochtenraai, omdat er alleen aan de noordzijde kribben liggen.

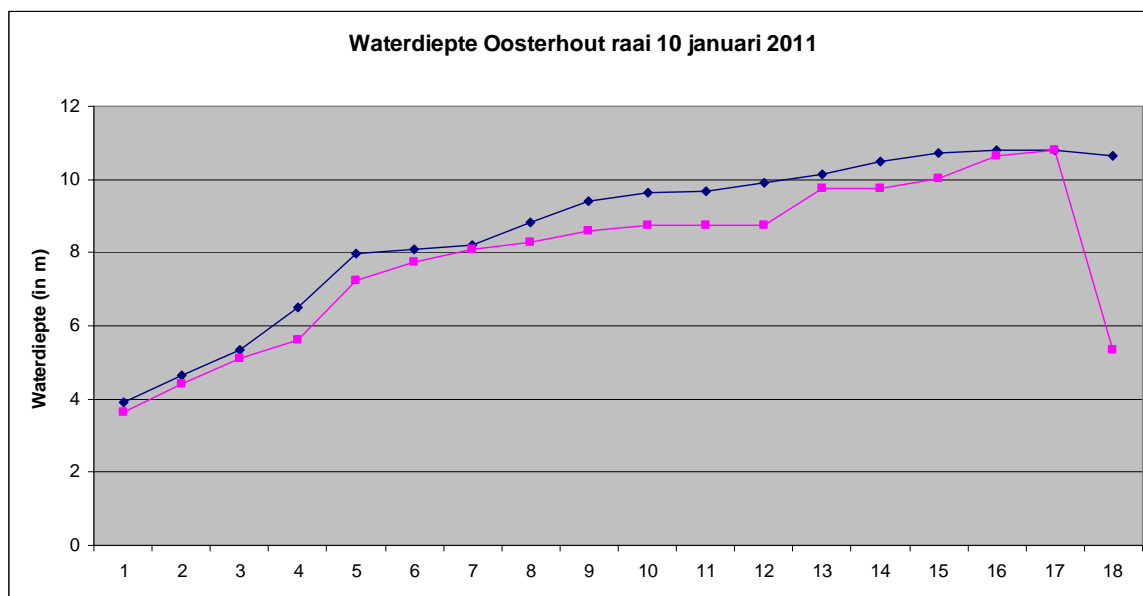
De conclusies zijn vergelijkbaar met die van de Ochten raai: de WAQUA resultaten laten een behoorlijke overeenkomst zien tussen de metingen en de modelresultaten, wat zowel voor het Tabellenboek-concept als het Villemonte-concept geldt.



Figuur 4.12 Debietverdeling bij Oosterhout raai op 10 januari; zwart=berekend met Villemonte, geel=berekend met Tabellenboek, paars=meting



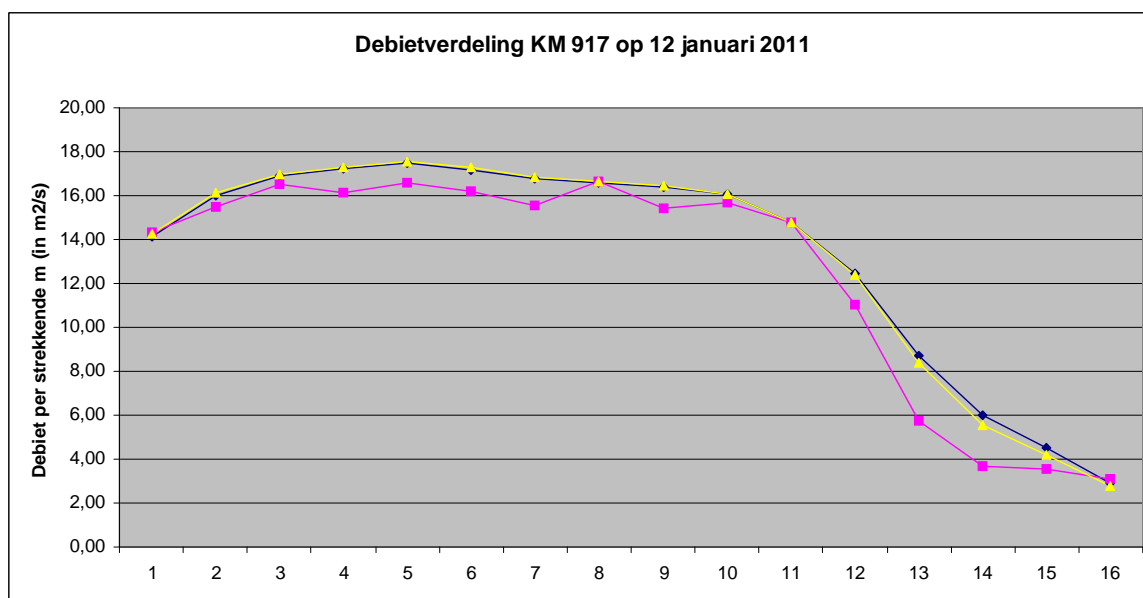
Figuur 4.13 Snelheidsverdeling bij Oosterhout raai op 10 januari; zwart=berekend, paars=meting



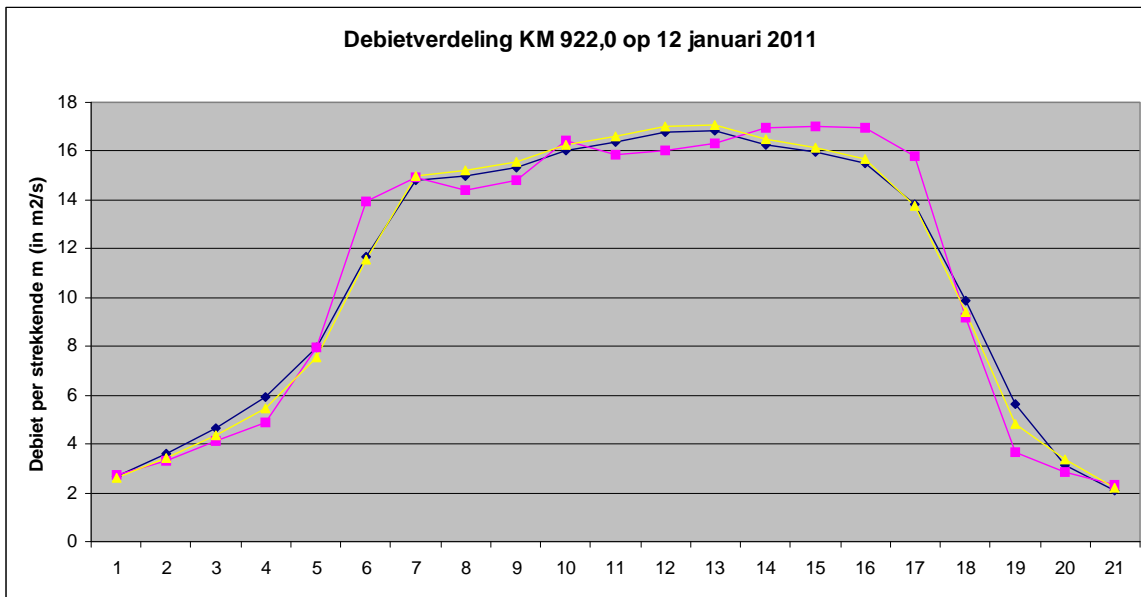
Figuur 4.14 Waterdiepte bij Oosterhout raai op 10 januari; paars=meting ; zwart=berekend

#### 4.1.3 Modelresultaten voor andere raaien

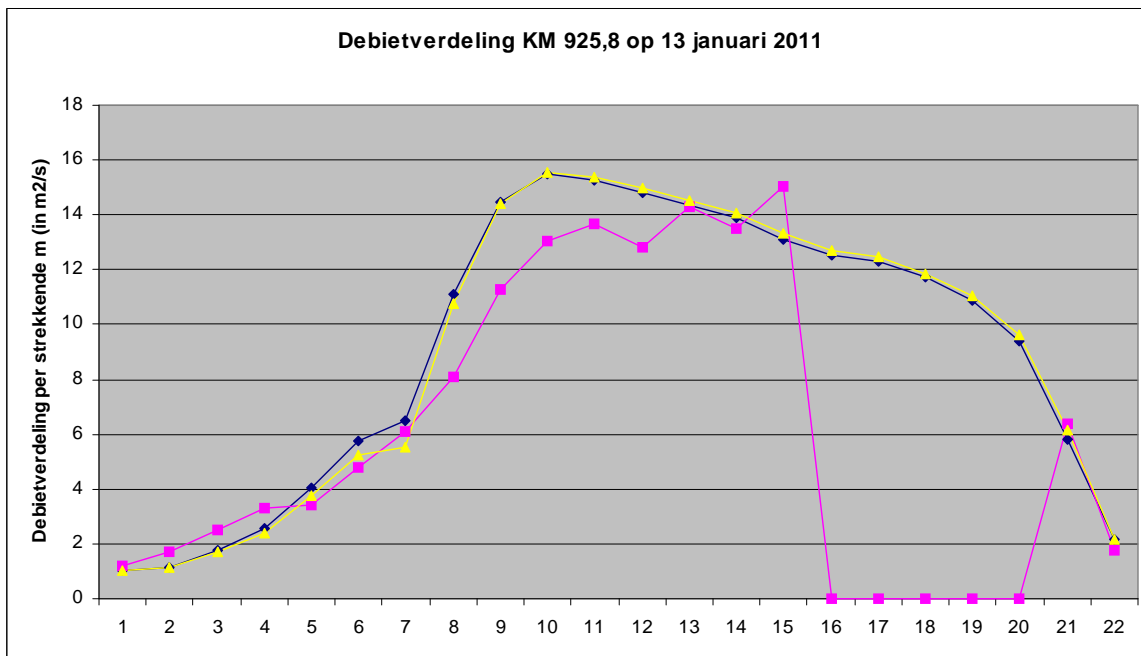
Voor deze dwarsraaien zijn metingen beschikbaar; zie Tabel 3.1 waarin een overzicht van deze meetraaien is gegeven. In de bovenstaande Paragrafen 4.1.1 en 4.1.2 zijn respectievelijk voor de raaien bij Ochten en Oosterhout modelresultaten met metingen vergeleken. In deze paragraaf wordt dat voor drie andere raaien gedaan, te weten bij km 917, bij km 922 en km 925. Alleen de debietverdeling wordt vergeleken, en hierbij dus geen vergelijking voor de snelheidsverdeling en de waterdieptes.



Figuur 4.15 Debietverdeling bij raai "KM 917"; paars=meting, zwart=Villemonte, geel=Tabellenboek,



Figuur 4.16 Debietverdeling bij raai "KM 922"; paars=meting, zwart=Villemonte, geel=Tabellenboek,



Figuur 4.17 Debietverdeling bij raai "KM 926"; paars=meting, zwart=Villemonte, geel=Tabellenboek,

We merken op dat bij raai km 926 voor een aantal punten geen meting beschikbaar is. Op die locaties is bij de metingen een debiet van 0 m<sup>3</sup>/s aangegeven.

Samenvattend, bij de vergelijking van de metingen met de modelresultaten bij deze drie raaien kunnen dezelfde conclusies getrokken als voor de andere raaien: de metingen en de modelresultaten komen behoorlijk goed overeen en de Villemonte en Tabellenboek aanpak leveren vrijwel dezelfde resultaten op.

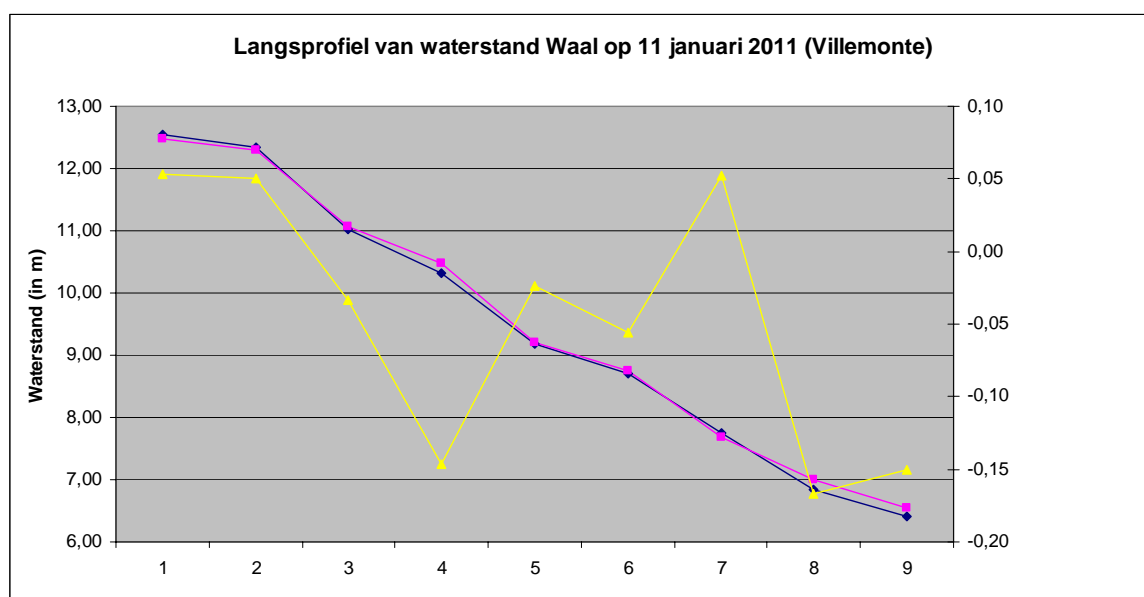


#### 4.1.4 Vergelijking voor MWTL stations

In de voorgaande paragrafen is in dwarsrichting, langs dwarsraaien, een vergelijking gemaakt tussen metingen en modelresultaten. In langsrichting kan ook een vergelijking gemaakt worden. Hiervoor gebruiken we de metingen in de zogeheten MWTL stations. MWTL staat voor "Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands".

In Figuur 4.18 is een vergelijking gemaakt voor 11 januari 2011. In Tabel 4.1 staat aangegeven hoe de nummering op de x-as correspondeert met MWTL stations. De afstanden tussen deze stations zijn niet gelijk, waardoor de waterstand in langsrichting geen continue maar een schokkerig profiel laat zien. Op de linker y-as staan de waterstanden en op de rechter y-as het verschil tussen de meting en het model (zie de gele lijn).

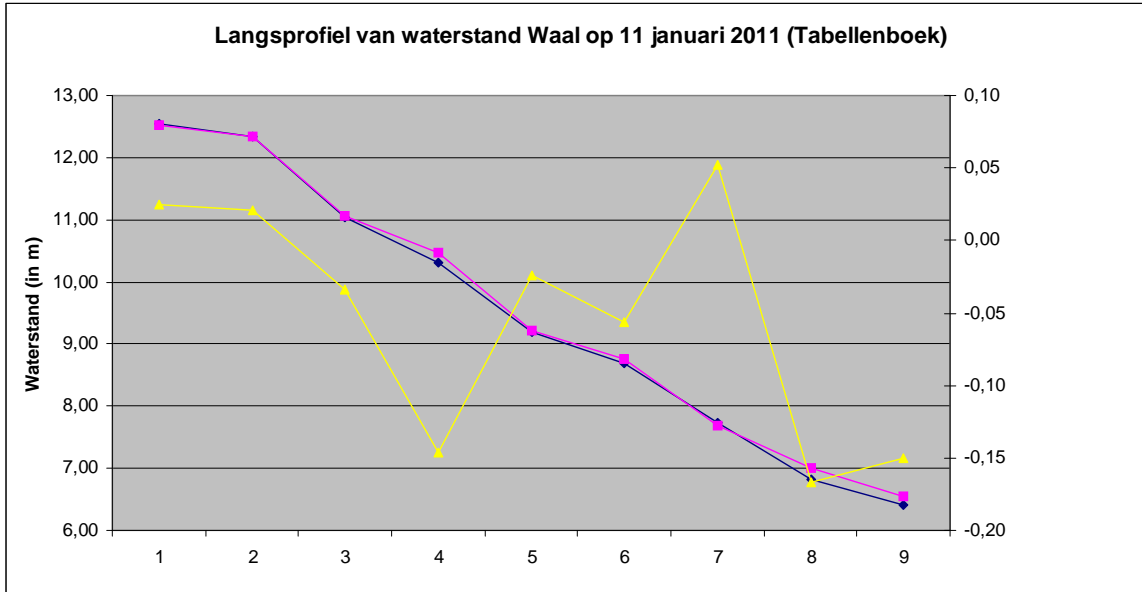
In het algemeen is de overeenkomst behoorlijk. Wat opvalt, is dat de grootste verschillen bij de benedenstroomse waterstandsrand optreden. Je zou verwachten dat dit bij de bovenstroomse debietrand optreedt. Blijkbaar kan de benedenstroomse waterstandsrand iets verbeterd worden. Dit neemt niet weg dat de overeenkomst tussen model en meting behoorlijk is, met verschillen die variëren tussen 0 en 15 cm.



Figuur 4.18 Waterstanden in langsrichting voor MWTL stations voor 11 januari 2011; paars=meting, zwart=berekend met Villemonte, geel=verschil

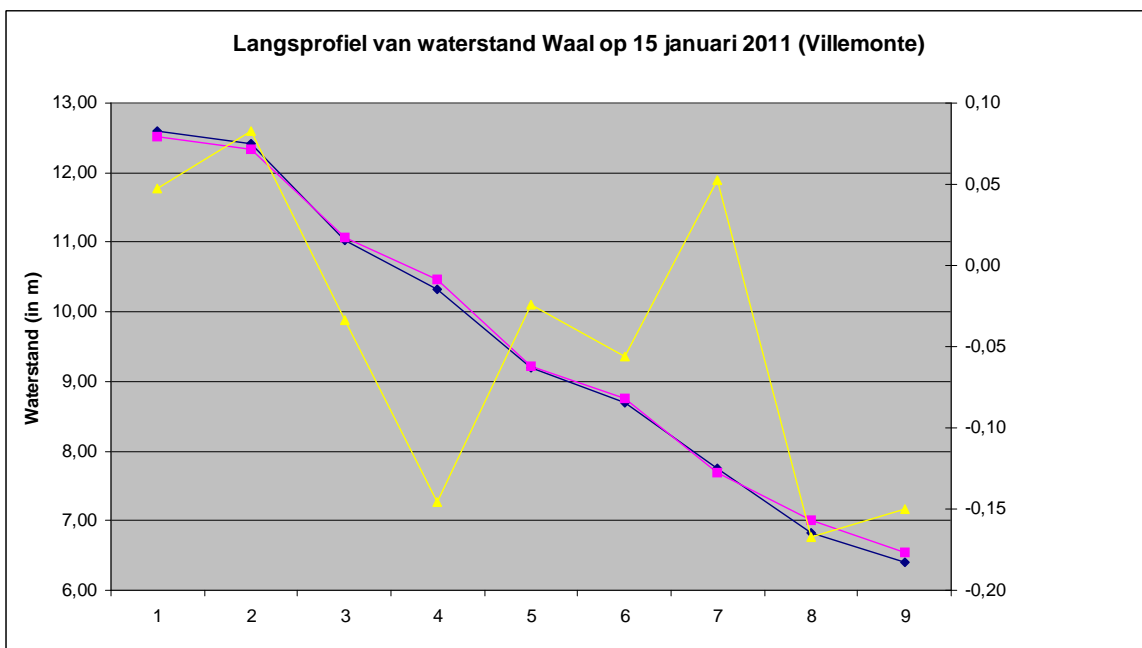
Nummer (op x-as)	Locatie	Naam
1	km 882	
2	km 883	
3	Km 890	Oosterhout
4	Km 895	Ewijk
5	Km 905	Ochten
6	Km 909	
7	Km 917	
8	Km 922	
9	Km 925	

Tabel 4.1 Overzicht van de locaties voor de MWTL stations

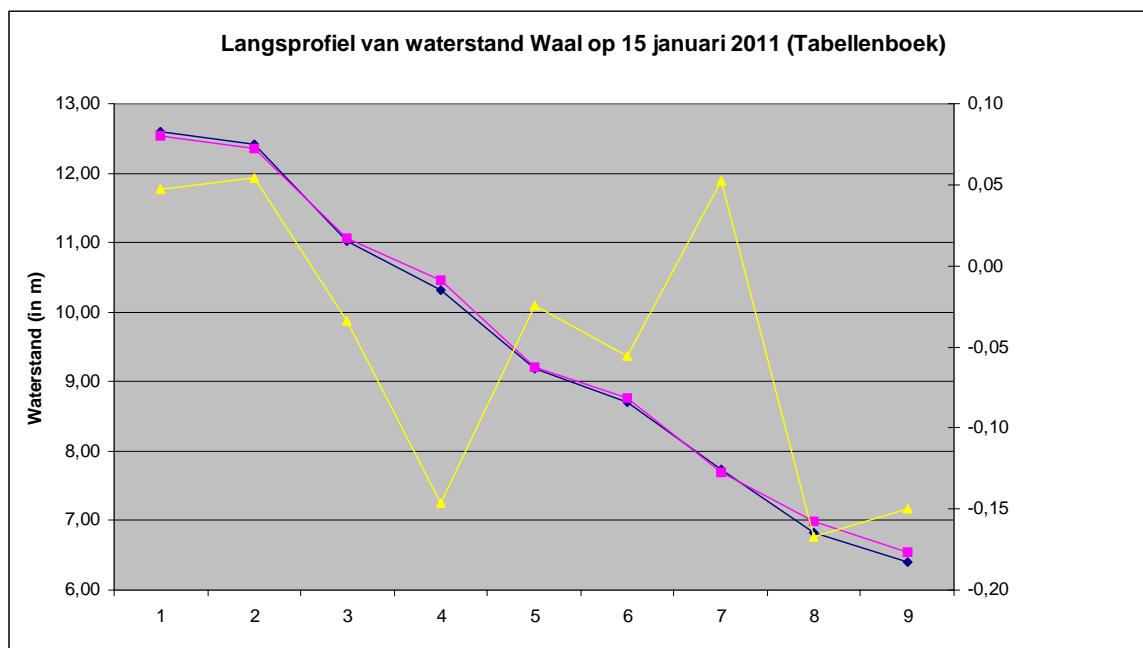


Figuur 4.19 Waterstanden in langsrichting voor MWTL stations voor 11 januari 2011; paars=meting, zwart=berekend met Tabellenboek, geel=verschil

Figuur 4.26 laat dezelfde vergelijking zien, maar dan voor het Tabellenboek. Ook hieruit blijkt dat beide overlaatconcepten nauwelijks verschillen opleveren.



Figuur 4.20 Waterstanden in langsrichting voor MWTL stations voor 15 januari 2011; paars= meting, zwart=berekend met Villemonte, geel=verschil



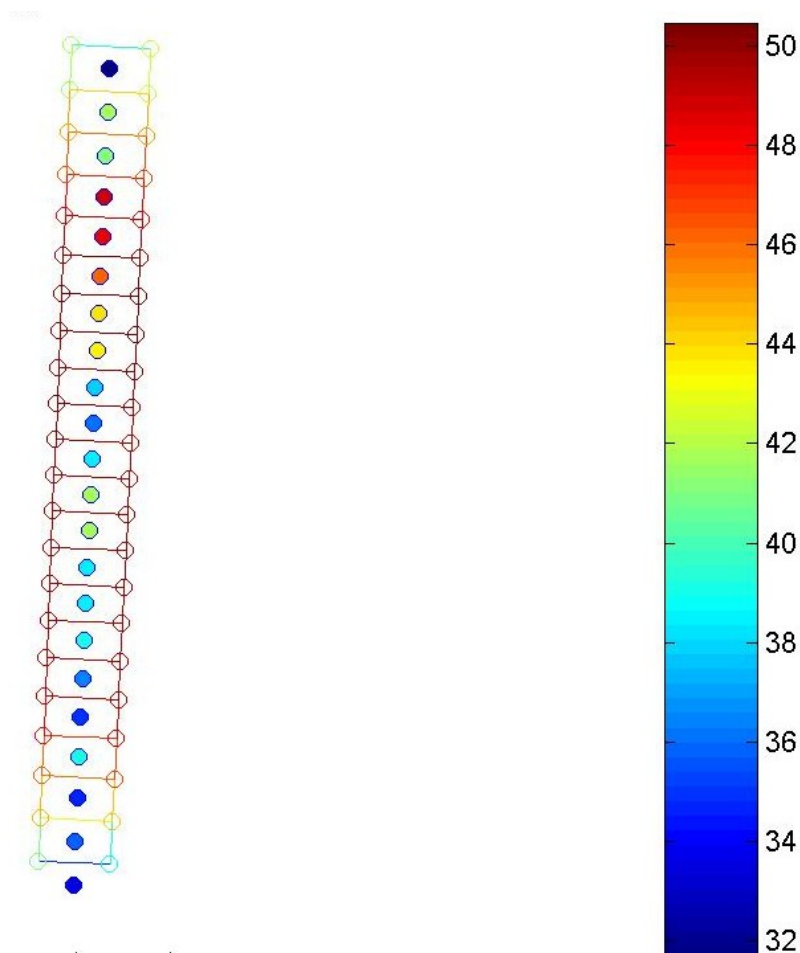
Figuur 4.21 Waterstanden in langsrichting voor MWTL stations voor 15 januari 2011; paars= meting, zwart=berekend met Tabellenboek, geel=verschil

Figuren 4.18-19 bevatten resultaten voor 11 januari; in Figuur 4.20 en Figuur 4.28 zijn dezelfde figuren weergegeven, maar dan voor 15 januari. De conclusies zijn hetzelfde: beide overlaatconcepten leveren zeer vergelijkbare resultaten op en de overeenkomst met de meting is redelijk tot goed.

#### 4.1.5 Chezy waarden

Uit de metingen zijn niet alleen grootheden als “debiet per strekkende meter”, “snelheden” en “waterdieptes”, maar ook “Chezy waarden” berekend. Figuur 4.22 bevat een vergelijking voor de Ochten raai op 11 januari 2011. We merken op dat dit figuur moeilijk leesbaar is. Dat komt omdat in de gebruikte postprocessings programmatuur de Chezy waarden niet geëxporteerd kunnen worden. Daarom hebben wij een figuur gemaakt waarbij de metingen als zogeheten “samples” zijn opgenomen; zie de gekleurde bollen in de rekencellen. De modelresultaten zijn gevisualiseerd als open bollen (op de hoekpunten van de cellen). Hierbij is alleen de kleur van de bollen relevant.

Ondanks dat het hierdoor moeilijk visueel te vergelijken is, is wel duidelijk dat de Chezy waarden enorm verschillen. In de modelresultaten liggen de Chezy waarden voor het zomerbed bijvoorbeeld dicht bij  $50 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$ , terwijl in de metingen dit meestal tussen de  $30 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$  en  $40 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$  ligt. Omdat de andere grootheden wel goed overeenkomen, moeten er verschillende definities voor de Chezy gehanteerd zijn. In het voorliggende rapport is dit niet verder uitgezocht.



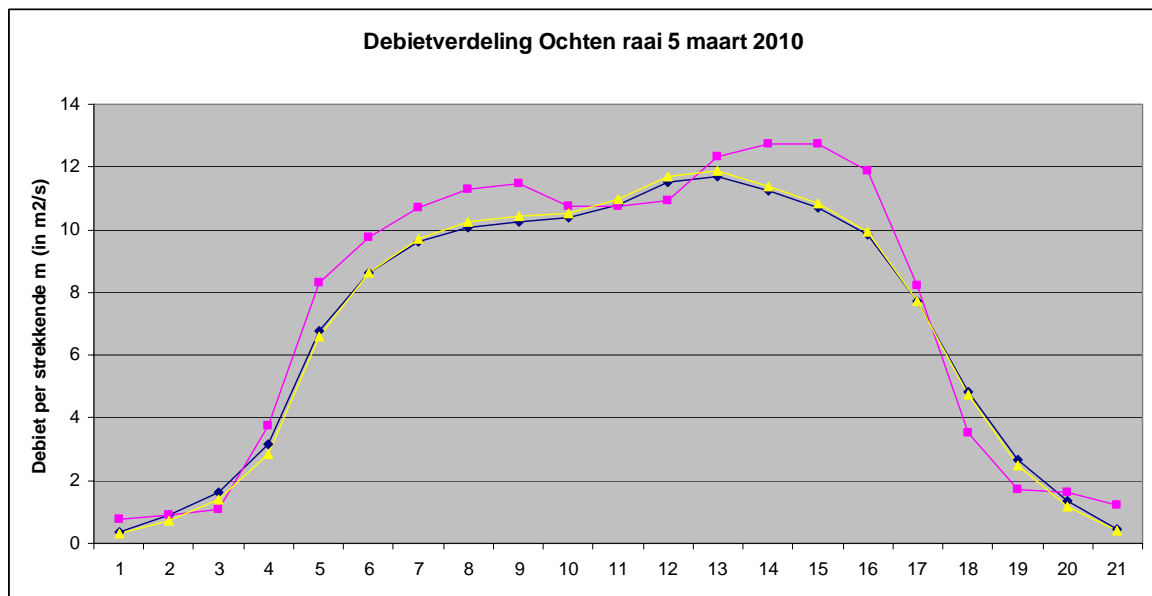
Figuur 4.22 Chezy-waarden voor raai bij Ochten op 11 januari 2011; dichte bollen=meting, open bollen (NB. kijk alleen naar de kleur)=berekend met Villemonte

## 4.2 Validatie voor maart 2010

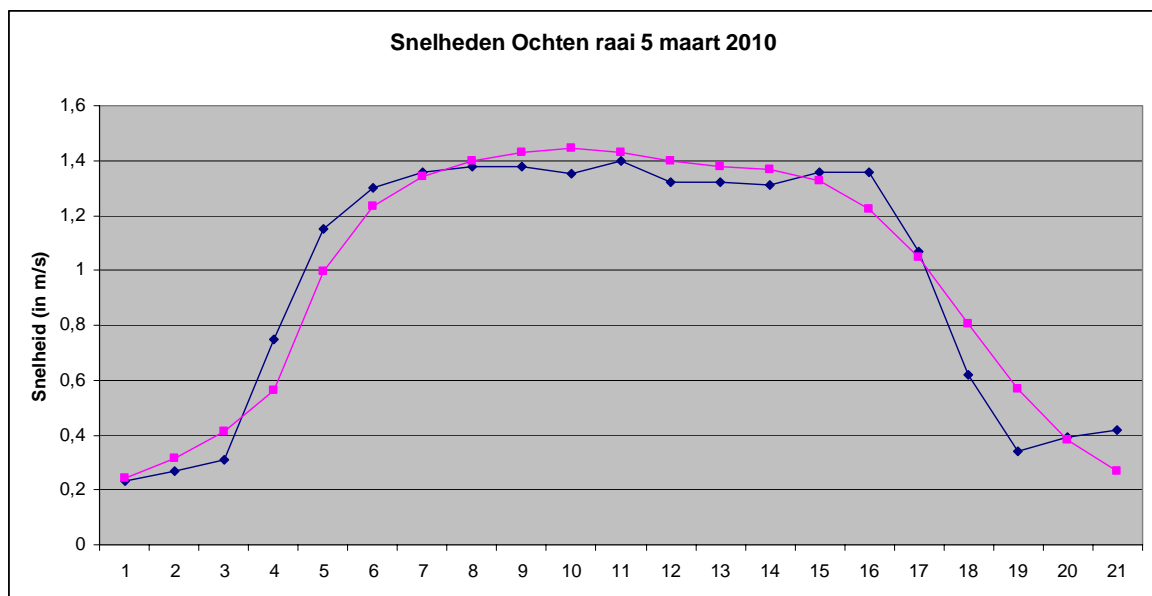
In de voorgaande paragrafen is aangetoond dat het WAQUA model met toepassing van de Villemonte formulering voor kribben een goede overeenkomst oplevert in vergelijking met de metingen voor januari 2011. In deze paragraaf worden resultaten getoond voor maart 2010, toen er ook een hoogwater optrad. We zullen nu de Ochten raai en een raai bij Druten beschouwen.

### 4.2.1 Modelresultaten voor Ochten raai

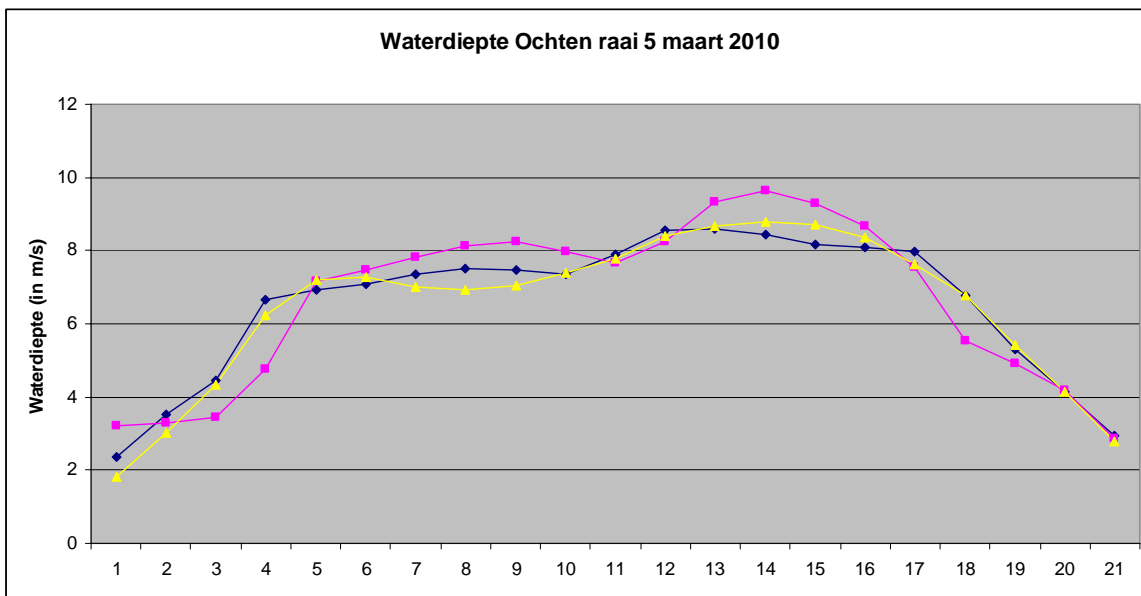
In Figuren 4.23 t/m 4.25 wordt respectievelijk de debietverdeling, de snelheidsverdeling en de waterdiepte over de Ochten raai getoond voor 5 maart 2010. In Figuur 4.23 is een extra (gele) lijn toegevoegd voor de Tabellenboek resultaten. De modelresultaten voor WAQUA komen goed overeen met metingen. Figuur 4.25 bevat waterdieptes. Hierbij is ook met modelresultaat voor één roosterlijn verder (in geel) weergegeven. Dit geeft aan dat de modelresultaten behoorlijk gevoelig zijn voor welke roosterlijn uit het model genomen wordt. Voor beide roosterlijnen is de overeenkomst tussen modelresultaat en meting overigens acceptabel.



Figuur 4.23 Debietverdeling bij Oosterhout raai op 5 maart 2010; zwart=berekend met Villemonte, geel=berekend met Tabellenboek, paars=meting



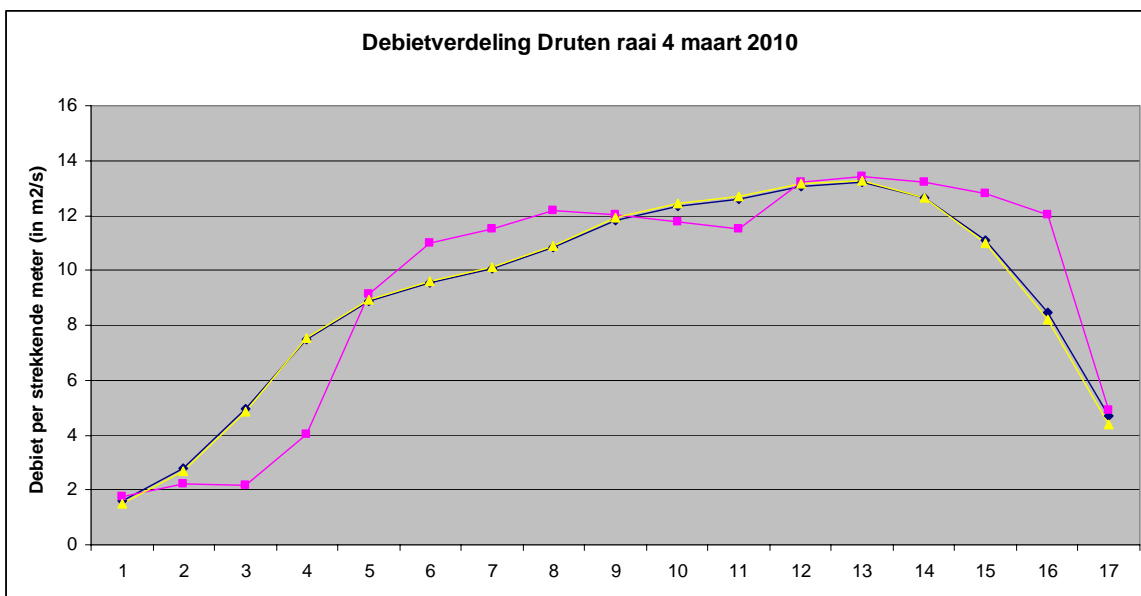
Figuur 4.24 Snelheidsverdeling bij Oosterhout raai op 5 maart 2010; zwart=berekend, paars=meting



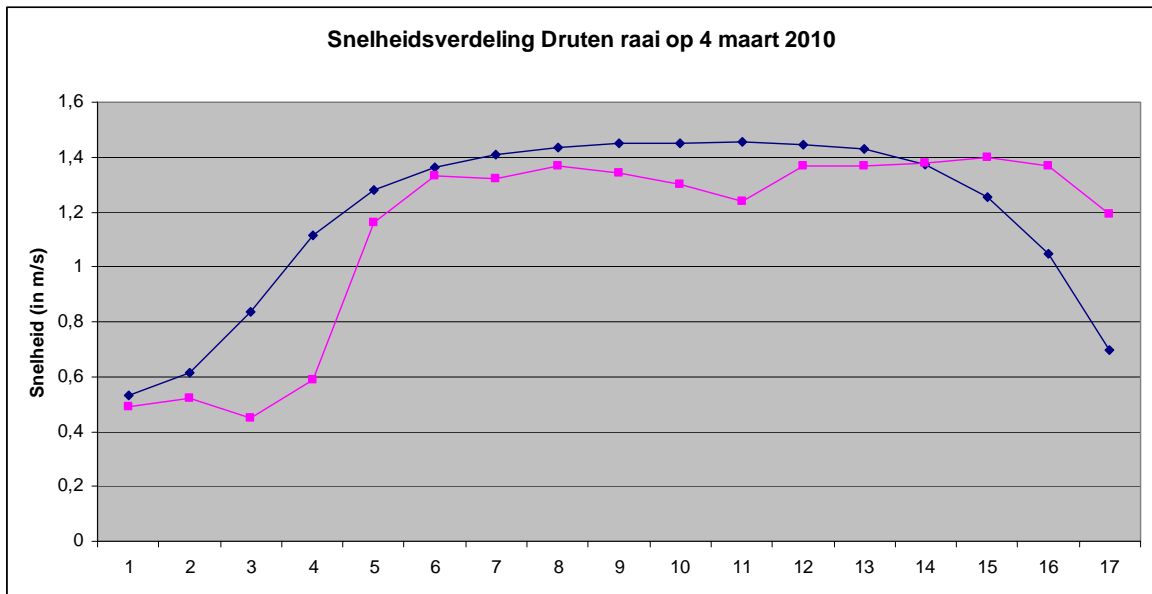
Figuur 4.25 Snelheidsverdeling bij Oosterhout raai op 5 maart 2010; zwart=berekend met Villemonte, geel=berekend met Tabellenboek, paars=meting

## 4.2.2 Modelresultaten voor Druten raai

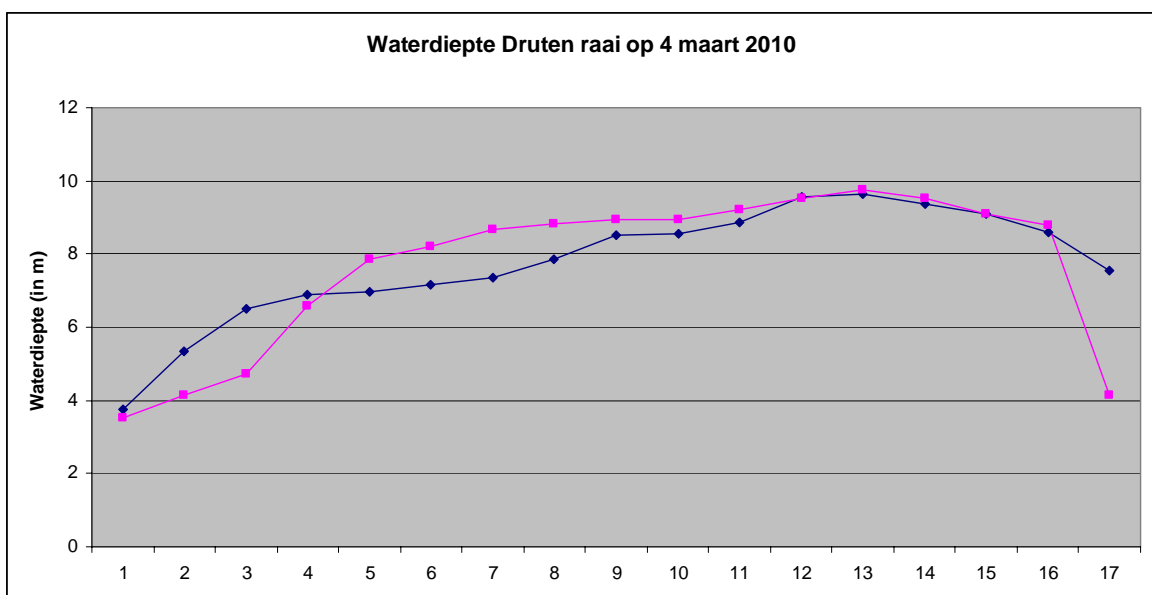
In Figuren 4.26 t/m 4.28 wordt respectievelijk de debietverdeling, de snelheidsverdeling en de waterdiepte over de Druten raai getoond voor 4 maart 2010. De overeenkomst tussen het WAQUA modelresultaat en de meting is iets minder goed dan bij de andere vergelijkingen. Toch is de overeenkomst redelijk. Het verschil in modelresultaten tussen het Villemonte-concept en het Tabellenboek-concept is wederom erg klein.



Figuur 4.26 Debietverdeling bij Druten raai op 4 maart 2010; zwart=berekend met Villemonte, geel=berekend met Tabellenboek, paars=meting



Figuur 4.27 Snelheidsverdeling bij Druten raai op 4 maart 2010; zwart=berekend met Villemonte, paars=meting



Figuur 4.28 Waterdiepte bij Druten raai op 4 maart 2010; zwart=berekend met Villemonte, paars=meting





## 5 Conclusies en aanbevelingen

In dit project is de Villemonte formulering voor het energieverlies door kribben en overlaten in WAQUA gevalideerd aan de hand van praktijkmetingen. Dat is uitgevoerd als onderdeel van het KPP project "Rivierkunde" in de deelactiviteit "Hoogwaterstroming". Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De validatie is uitgevoerd met verschillende metingen. Zo zijn metingen voor het hoogwater in maart 2010 en in januari 2011 gebruikt bij de validatie.
- Naar onze informatie is dit de eerste keer dat langs raaien de verdeling van de debieten, snelheden en waterdieptes zijn vergeleken tussen WAQUA en metingen.
- De validatie is uitgevoerd voor verschillende locaties. Voor maart 2010 is een vergelijking gemaakt met Waal metingen voor een raai bij Ochten en voor een raai bij Druten. Voor januari 2011 is de vergelijking uitgevoerd voor een groot aantal raaien, waaronder bij Ochten en bij Oosterhout. Bovendien is er steeds een andere datum beschouwd, waardoor voor verschillende afvoerdebieten (1000 – 5000 m<sup>3</sup>/s) een vergelijking is gemaakt
- Alle resultaten laten een vergelijkbaar beeld zien. De modelresultaten laten een meer dan behoorlijke overeenkomst zien met de metingen. Dit geeft aan dat een gecalibreerd WAQUA model in staat is metingen met een behoorlijke nauwkeurigheid te reproduceren.
- Een goede overlaatformulering draagt daar zeker aan bij. Dat is gebleken uit een aanvullende simulatie waarbij de overlaatformulering voor kribben was uitgezet. Dit gaf een verschil met metingen te zien in de orde van 20-30 cm. NB. De kribben zaten hierbij wel in het model en speelden een rol bij o.a. het droogvallen/onderlopen, maar er was dus geen waterstandsverhang in dwarsrichting over de kribben).
- Er is een vergelijking gemaakt tussen de Villemonte-aanpak en de Tabellenboek-aanpak, die al vele decennia wordt toegepast in WAQUA. De verschillen zijn minimaal (~2 cm), wat aangeeft dat beide overlaat concepten een vergelijkbare nauwkeurigheid opleveren.
- De conclusie van de vorige bullit is conform de verwachtingen. De parameters voor Villemonte zijn (als default) zo ingesteld dat het een goede overeenkomst met de resultaten van het Tabellenboek zou moeten opleveren. Bij de uitgevoerde simulaties is dat gebleken.
- Er is ook een vergelijking met metingen in langsrichting uitgevoerd. Hierbij zijn de metingen in de zogeheten MWTL stations gebruikt. De metingen en modelresultaten laten hierbij een redelijke overeenkomst zien. Wederom is het verschil tussen de Villemonte-aanpak en de Tabellenboek-aanpak erg klein.
- Bij een eerdere validatie met gootmetingen van de TU Delft is al geconstateerd dat de WAQUA overlaatformulering op basis van het Villemonte-concept is in staat is deze laboratoriummetingen met een behoorlijke nauwkeurigheid te reproduceren. In het voorliggende project is dit nu dus ook aangetoond voor praktijkmetingen voor de Waal.

### 5.1 Aanbevelingen voor de toekomst

- Op basis van de bovenstaande conclusies is het gerechtvaardigd in WAQUA praktijkmodelschematisaties het Villemonte-concept voor overlaten toe te passen. Dit

biedt de gebruiker de mogelijkheid een extra optie te kiezen voor overlaatformuleringen.

- Het Villemonte-concept heeft als voordeel dat de hellingshoek aan de benedenstroomse en bovenstroomse zijde van een krib of overlaat kan worden meegenomen. NB. Alle in dit project uitgevoerde simulaties is voor alle kribben en overlaten de defaultwaarde van een 1-op-4 helling toegepast. De Villemonte-concept biedt ook de mogelijkheid om vegetatie op een krib/overlaat mee te nemen, als is deze optie nog nauwelijks gevalideerd. Daarvoor zijn de in dit project toegepaste metingen niet onderscheidend genoeg.
- Bij een eventueel vervolgproject verdient het de aanbeveling uit te zoeken waarom de Chezy waarden die bepaald zijn uit de metingen zo afwijken van de Chezy waarden die in het numerieke model worden toegepast. Dit is nu niet onderzocht, maar het kan haast niet anders dat verschillende definities zijn toegepast.

De postprocessing zal dan ook verbeterd worden (zie Figuur 4.22), opdat de resultaten voor de Chezy waarden op een vergelijkbare manier als de andere grootheden gevisualiseerd wordt.

- Van Maarten van der Wal hebben wij recent vernomen dat er inmiddels metingen zijn, waarbij is aangetoond dat de zogeheten Innovatieve kribben een waterstandsaling van zo'n vijf cm tot gevolg hebben gehad. In 2012 zal dit met een numeriek model onderzocht worden. Indien dit met het Rijntakkenmodel wordt uitgevoerd, wat voor de hand ligt, dan willen wij t.z.t. de overlaten invoerfile ontvangen (Nb. Dus niet de hele modelschematisatie). Met deze overlaten invoerfile, waarin de zeventig aangepaste kribben zijn geschematiseerd, willen we dan graag simulaties met de in dit project toegepaste Waal-uitsnede uitvoeren. Dan kan de 2011 nagerekend worden met een schematisatie die wel volledig bij de situatie past.

## 6 Referenties

- Ali, S., 2010: Flow over vegetated weir-like structures. Delft University of Technology. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Section of Fluid Mechanics. June 2010.
- Bloemberg, G., 2001: afstudeerrapport experimenteel onderzoek naar gestroomlijndezomerkaden, TU Delft.
- Rijkswaterstaat, 2009: Release notes major release Simona 2009. November 2009.
- Sieben, J., 2001: Gestroomlijnde zomerkaden, de invloed van het dwarsprofiel op energieverliezen van overlaten. Rijkswaterstaat/RIZA, werkdocument 2001.113X.
- Sieben, J., 2009: ADCP metingen. Rijkswaterstaat memo met datum 6 mei 2009.
- Sieben, J., 2010: Overzicht en synthese beschikbare data overlaatproeven; update 2010. Rijkswaterstaat memo met datum 6 augustus 2010.
- Sieben, J., 2011: EXCEL file met overzicht van de 2011 metingen.
- Sloff, 2011: Projectplan KPP Rivierkundige Onderzoeksthema's. Kennis voor Primaire Processen. Deltars project 1204153.
- Rotsaert, M.G.L., 2009: Praktijktest voor empirische overlaatformulering in WAQUA. Svašek Hydraulics memo mro/1513/09072/B.