



Hydraulische metingen vispassages Nederrijn-Lek

Resultaten 2002-2007

Datum 16 januari 2011
Status definitief

Hydraulische metingen vispassages Nederrijn-Lek

Resultaten 2002-2007

Datum 16 januari 2011
Status definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat Waterdienst
Informatie	www.helpdeskwater.nl
Telefoon	06-12965250
Fax	
Uitgevoerd door	ir. M.H.I. Schropp
Opmaak	
Datum	16 januari 2011
Status	Definitief
Versienummer	

Inhoud

1	Inleiding 7
2	Afvoer via de vispassage 13
2.1	Informatiebehoefte 13
2.2	Methode 13
2.3	Resultaten 14
2.4	Conclusies 17
3	Verval tussen de bekkens 19
3.1	Informatiebehoefte 19
3.2	Methode 19
3.3	Resultaten 20
3.4	Conclusies 24
4	Stroomsnelheden rond de drempel 25
4.1	Informatiebehoefte 25
4.2	Methode 25
4.3	Resultaten 26
4.4	Conclusies 29
5	Stromingspatroon bij de uitstroomopening 31
5.1	Informatiebehoefte 31
5.2	Methode 31
5.3	Resultaten 31
5.4	Conclusies 35
6	Samenvatting en conclusies 37
	Referenties 39
Bijlage A	Enkele karakteristieke snelheidsprofielen uit afvoermetingen 41
Bijlage B	Basisgegevens van de vervalmetingen 47

1 Inleiding

Om vistrek via de Nederrijn-Lek mogelijk te maken zijn de stuwen bij Driel, Amerongen en Hagestein voorzien van vispassages. De vispassages zijn uitgevoerd als bekkentrap en zijn operationeel sinds oktober 2001 (Driel) en augustus 2004 (Amerongen en Hagestein). In het Zalmoverleg is afgesproken dat de werking van de vispassages in de Nederrijn-Lek geëvalueerd zal worden. In opdracht van RWS Oost-Nederland heeft het toenmalige RWS RIZA monitoringsprogramma's opgesteld (refs. 6 en 7) om, zowel afzonderlijk als in combinatie, bij de drie vispassages visbiologische en hydraulische metingen uit te voeren. Voorliggende rapportage heeft betrekking op de uitgevoerde hydraulische metingen in de drie vispassages. De visbemonsteringen worden in een ander verband gerapporteerd (ref. 3).

Figuur 1

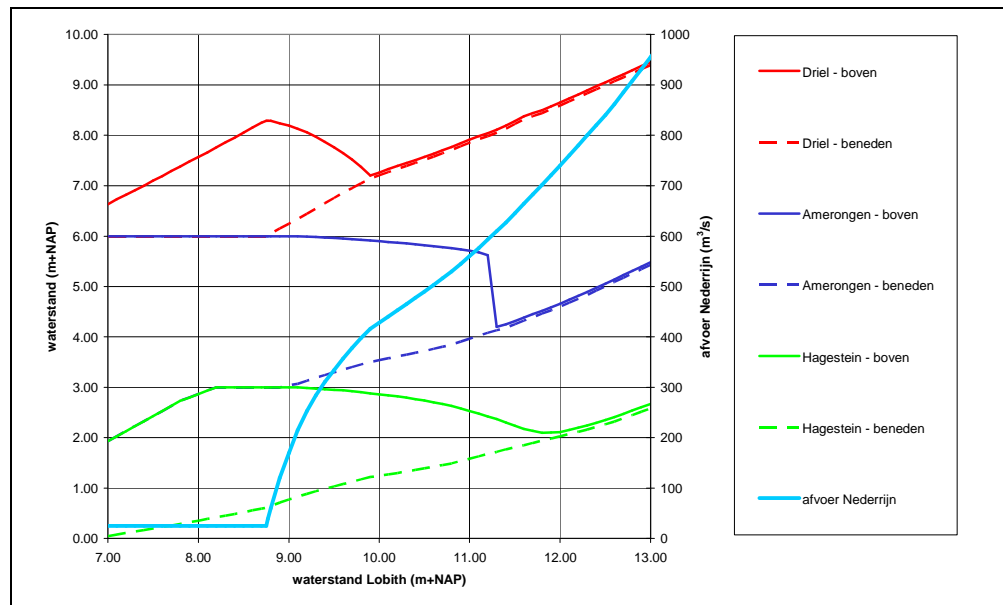
Vizierschuiven van stuw Driel.



De drie stuwen in de Nederrijn-Lek, met hun karakteristieke vizierschuiven, zijn in de jaren 60 van de 20^e eeuw aangelegd. Het beheer van stuw Driel is erop gericht de afvoer via de IJssel te vergroten ten behoeve van de scheepvaart op de IJssel en de watervoorziening van Noord-Nederland. Om benedenstrooms van stuw Driel voldoende vaardiepte te houden, worden met de stuwen bij Amerongen en Hagestein stuwpeilen nagestreefd van resp. 6,00 m+NAP en 3,00 m+NAP. De stuwinstelling voor Driel wordt gestuurd door de waterstand bij Lobith. In Figuur 2 zijn de waterstanden boven- en benedenstrooms van de stuwen (linker y-as) en de afvoer door de Nederrijn (rechter y-as) gegeven als functie van de waterstand bij Lobith. Met de vizierschuiven wordt de stuw globaal ingesteld, de fijnregeling geschiedt met omloopriolen in beide landhoofden en een cilinderschuif in de middenpijler. Bij lage waterstanden te Lobith zijn de vizierschuiven van stuw Driel gesloten en wordt alleen een zogeheten spoeldebiet van 25 m³/s doorgelaten. Vanaf ca. 8,75 m+NAP bij Lobith worden de vizierschuiven geleidelijk geopend en bij ca. 9,90 M+NAP zijn de schuiven geheel geheven. Parallel aan de stuwen zijn schutsluizen aangelegd om bij gesloten stuwen de scheepvaart door te laten. De stuwen bij Amerongen en Hagestein zijn bovendien nog uitgerust met kleinschalige

waterkrachtcentrales (WKC). De WKC bij Amerongen bestaat uit 4 turbines, heeft een opbrengst van ruim 30 GWh per jaar en is gesitueerd aan de linkeroever waar ook de vispassage ligt. De WKC bij Hagestein is gesitueerd in de middenpijler van de stuw en heeft een opbrengst die een factor 10 kleiner is dan die bij Amerongen.

Figuur 2
Stuwprogramma S285 voor de Nederrijn-Lek.



De vispassages zijn alle drie uitgevoerd als bekkentrap met V-vormige drempels. De hydraulische randvoorwaarden voor het ontwerp van de vispassages komen voort uit eisen die volgen uit vismigratie en eisen die samenhangen met het rivierbeheer. Dit leverde het volgende pakket van eisen op:

- Vismigratie:
 - Diepte boven de apex¹ van de drempel minimaal 0,50 m in verband met de doorzwembaarheid.
 - Profielgemiddelde stroomsnelheid boven de drempel maximaal 0,8 – 1,0 m/s om ook minder goede zwemmers te faciliteren.
 - Afvoer door de vispassage minimaal 1 m³/s in verband met de lokstroom bij de uitstroomopening.
 - De vispassage moet voor de vis beschikbaar zijn over het volledige gestuwde bereik van de waterstand.
- Rivierbeheer:
 - Afvoer door de vispassages bij Amerongen en Hagestein maximaal 4 m³/s in verband met de watervraag van de daar aanwezige waterkrachtcentrales.

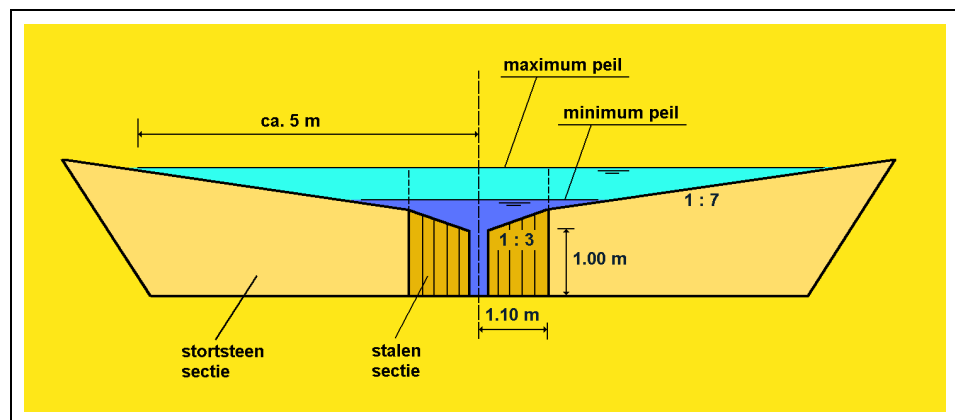
Een bekkentrap is een serie drempels waarin het verval over de stuw in stapjes wordt afgebouwd. Het verval per drempel is het verschil in hoogteligging tussen twee opeenvolgende drempels en is daarmee dus een ontwerpgrrootheid. Een klein verval per drempel zorgt voor lage stroomsnelheden boven de drempel wat gunstig

¹ Laagste deel van de drempel, de punt van de 'V'.

is voor de migratie van vis. Wel is dan ook de afvoer door de vispassage kleiner, wat weer nadelig is voor de vismigratie vanwege de kleinere lokstroom. De lokstroom bij de uitmonding zorgt ervoor dat optrekkende vis in de rivier geattendeerd wordt op de aanwezigheid van de vispassage. Voorts zijn bij een klein verval per drempel meer drempels nodig en zijn dus de aanlegkosten hoger. Het snelstromende water boven de drempel moet in het daarop volgende bekken weer worden afgeremd. Het bekken dient dan wel groot genoeg te zijn om deze vertraging ook te kunnen bewerkstelligen.

Het type drempel dat is toegepast in de vispassages van de Nederrijn-Lek is speciaal ontwikkeld om te voldoen aan de eisen die vanuit de hydrologie en het rivierbeheer gesteld worden, en tegelijkertijd de drempel te optimaliseren uit het oogpunt van vismigratie. Een bijzonder ontwerpaspect van de drempel is het 'vertical slot' in de apex van elke drempel, bedoeld om organismen die zich over de bodem voortbewegen ook de mogelijkheid te bieden de drempel te passeren. Een tweede opmerkelijk ontwerpaspect is dat de drempel een geknikt profiel heeft en uit verschillende materialen is opgebouwd. Het stalen gedeelte rond het midden heeft een helling van 1:3 en het stortstenen gedeelte op de flanken heeft een helling van 1:7. De reden om in het midden een steilere helling toe te passen, is dat zo het waterstandbereik waarover de vispassage werkt 0,21 m groter wordt. De stalen middensectie heeft een relatief hoge overlaatcoëfficiënt, waardoor bij lage waterstanden iets meer water door de vispassage stroomt. Dit komt de lokstroom aan de benedenstroomse zijde van de vispassage ten goede. Omgekeerd hebben de stortstenen drempelsecties een relatief lage overlaatcoëfficiënt, zodat bij hoge waterstanden niet te veel water door de vispassage stroomt, en ook de stroomsnelheden boven de drempel voldoende laag blijven. De stalen sectie is enigszins in hoogte verstelbaar om zo de afvoer door de vispassage bij te stellen, mocht uit metingen blijken dat dit noodzakelijk of gewenst is. De stortstenen sectie heeft een stalen kern om lekverliezen tegen te gaan. In Figuur 3 is een schematische langsdoorsnede over de drempel gegeven, Figuur 4 laat een drempel zien in de vispassage bij stuw Hagestein tijdens de aanleg.

Figuur 3
Schematische doorsnede van een drempel.



Doordat de vispassage bij Driel eerder en door een andere aannemer is uitgevoerd dan de vispassages bij Amerongen en Hagestein, wijken de ontwerpen op een aantal details van elkaar af. Zo bestaat de stalen sectie bij Driel uit damwandplanken en bij Amerongen en Hagestein uit plaatstalen prefab elementen. Verder zijn in de vispassages bij Amerongen en Hagestein op korte afstand boven-

en benedenstrooms van het vertical slot grote keien ('stoorstenen') op de bodem geplaatst om zo de stroming af te remmen en aldus de vismigratie te bevorderen. Bij Driel ontbreekt deze voorziening. Een laatste verschil is dat bij Driel het verval per drempel 0,15 m bedraagt tegen 0,16 m bij Amerongen en Hagestein.

Figuur 4

Drempel in de vispassage rond stuw Hagestein tijdens de aanleg.



Ondanks dat het geknikte drempelprofiel het waterstandsbereik vergroot waarover de vispassage werkt, is dit voor de locaties Driel en Hagestein niet voldoende. Het waterstandsbereik is hier dermate groot dat als aanvullende maatregel de vispassages met een bypass zijn uitgevoerd. Een bypass is een voorziening om bij lage waterstanden bovenstrooms in de vispassage een aantal (n) drempels tijdelijk af te koppelen. Door het openen van het afsluitmiddel in de bypass wordt drempel $n+1$ de meest bovenstrooms gelegen drempel. Deze ligt $n \times \Delta h$ lager dan drempel 1 (met Δh het verval per drempel) en dus is ondanks de lage waterstand de waterdiepte boven de drempel toch voldoende voor vismigratie. De bypass wordt geopend als bij dalende waterstand de minimumafvoer door de vispassage ($1 \text{ m}^3/\text{s}$) wordt onderschreden en vice versa. De bypass bij Driel is in Figuur 5 duidelijk te zien als de middelste van de drie aansluitingen op de rivier. Vanwege de krappere dimensie is de bypass bij Hagestein in de figuur minder duidelijk te zien. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van de vispassages in de Nederrijn-Lek samengevat. De schakelwaterstand voor de bypass wil zeggen dat de bypass open staat als de waterstand bovenstrooms van de stuw lager is en gesloten als ze hoger is.

Tabel 1

Kenmerken van de vispassages in de Nederrijn-Lek.

Kenmerk	Driel	Amerongen	Hagestein
Stuw in bedrijf (dagen/jaar)	240	320	340
Bovenstrooms waterstandsbereik (m+NAP)	7,07 – 8,32	5,56 – 6,00	2,08 – 3,00
Aantal drempels (-)	19	24	24
Bypass aanwezig	Ja	Nee	Ja
Schakelwaterstand bypass (m+NAP)	7,81	n.v.t.	2,56
Apex 1e drempel hoofdinlaat (m+NAP)	7,30	5,06	2,06
Apex 1e drempel bypass (m+NAP)	6,55	n.v.t.	1,58
Totale lengte (m)	470	730	390
Totale breedte (m)	16	10	10
Minimumafvoer (m ³ /s)	1	1	1
Maximumafvoer (m ³ /s)	10	4	4
Maximum stroomsnelheid (m/s)	0,8 – 1,0	0,8 – 1,0	0,8 – 1,0
Verval per drempel (m)	0,15	0,16	0,16

De belangrijkste vraag die ten grondslag ligt aan het monitoringsprogramma is in hoeverre de vispassages de migratie van vis bevorderen. Behalve visbemonstering is het dan ook belangrijk om de hydraulische parameters door te meten die van invloed kunnen zijn op de vismigratie. Voor de vispassages in de Nederrijn-Lek geldt dat des te sterker, omdat hier een nieuw type drempel is toegepast, waarvan de hydraulische kenmerken nog niet in de praktijk getoetst zijn. In Tabel 2 is een samenvatting gegeven van het type en het aantal uitgevoerde hydraulische metingen. Oorspronkelijk was het ook de bedoeling om aan de hand van periodiek genomen foto's de grootte van de turbulente zone benedenstrooms van de stuw te bepalen als functie van de rivierafvoer. Daarmee zou dan misschien iets gezegd kunnen worden over de ligging van de migratielinielij in relatie tot de uitstroomopening van de vispassage. Deze metingen bleken in de praktijk niet te realiseren, zodat over dit punt niet gerapporteerd kan worden. Voor metingen naar de turbulente zone wordt verwezen naar eerder uitgevoerde metingen benedenstrooms van stuw Driel (ref. 5)

Tabel 2

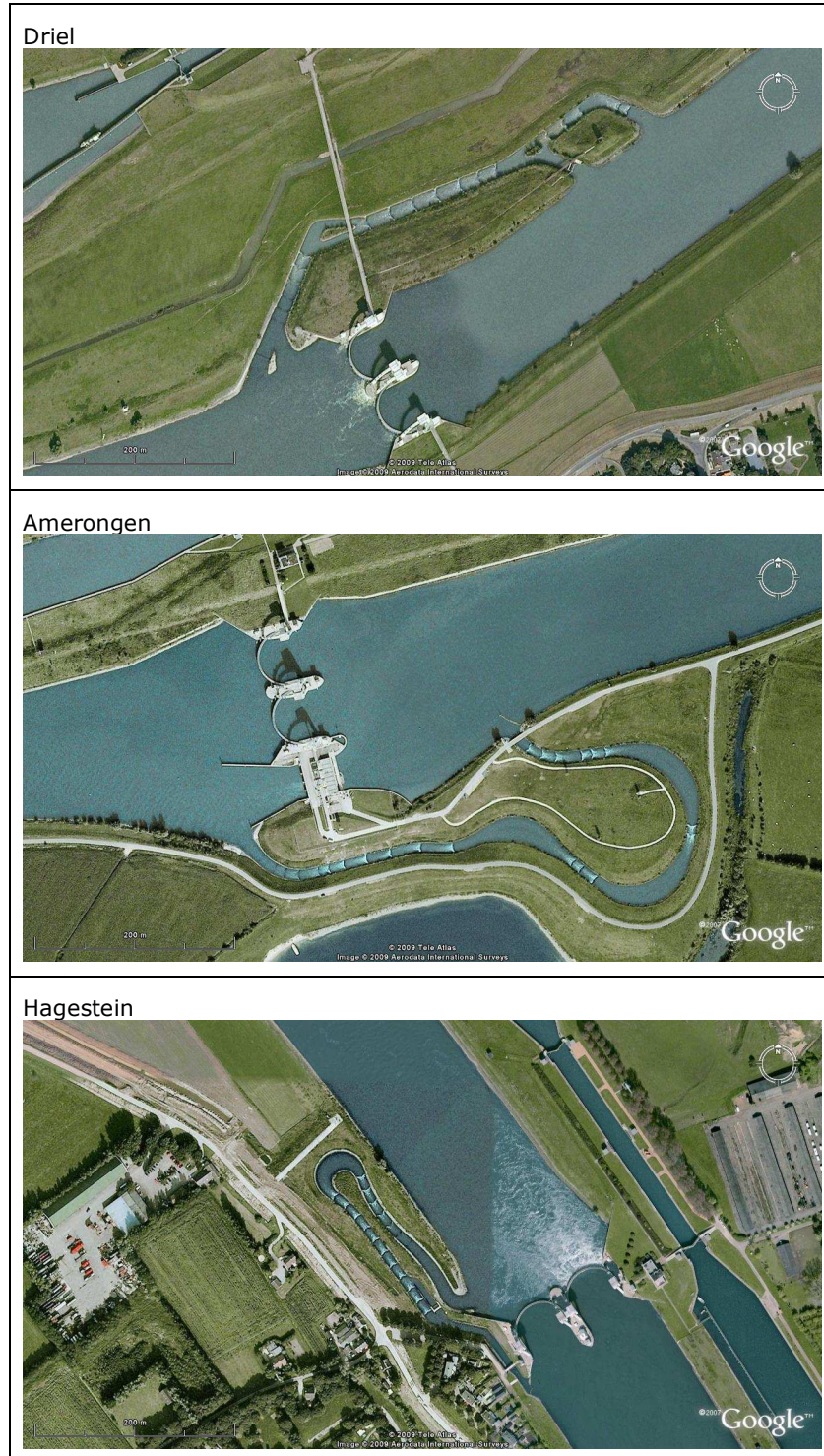
Type en aantal uitgevoerde metingen per vispassage.

Type meting	Driel	Amerongen	Hagestein
Afvoer via de vispassage	7	10	10
Verval tussen de bekkens	5	1	1
Stroomsnelheden rond de drempels	2	0	0
Stromingspatroon uitstroomopening	3	0	0

In de navolgende hoofdstukken zal voor elke parameter worden aangegeven waarom en hoe de meting is uitgevoerd, wat de resultaten zijn, en welke conclusies daar uit te trekken zijn.

Figuur 5

De stuwen en vispassages in de Nederrijn-Lek (zelfde schaal).



2 Afvoer via de vispassage

2.1 Informatiebehoefte

Het type drempel dat in de vispassages is toegepast (geknikt profiel, verschillende materialen) is nog niet eerder in Nederland of daarbuiten toegepast. Het ontwerp is afgestemd op de eisen die de vis stelt aan de maximale stroomsnelheid en minimale doorzwemdiepte, de maximale afvoer die voor de vispassage beschikbaar is en het waterstandsbereik waarover de vispassage moet werken. In de ontwerpfase is de afvoer karakteristiek van de vispassage bepaald (ref. 8) als functie van de vorm en het materiaal van de drempel en de waterstanden aan weerszijden van de drempel. Bij een gegeven drempelvorm wordt de afvoer door de vispassage alleen bepaald door de waterstand bovenstrooms van de stuw en de hoogteligging van de meest bovenstrooms gelegen drempel. Omdat met dit type drempel nog geen ervaring bestaat, is het mogelijk dat de afvoer via de vispassage afwijkt van wat vooraf op theoretische gronden werd verwacht. Een te hoge afvoer geeft te hoge stroomsnelheden boven de drempels, wat nadelig is voor de prestaties van de vispassage. Bij Amerongen en Hagestein gaat een te hoge afvoer door de vispassage ten koste van de afvoer door de waterkrachtcentrale. Een te lage afvoer geeft een te geringe lokstroom bij de uitstroomopening, hetgeen eveneens nadelig is voor de vismigratie. Voor het gehele gestuwde bereik dient daarom getoetst te worden of de afvoer via de vispassage voldoet aan de ontwerpeisen.

2.2 Methode

Alle metingen zijn uitgevoerd met een *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Het meetprincipe van een ADCP berust op het meten van de Dopplerverschuiving. Het instrument zendt een puls uit met een vaste frequentie, die wordt gereflecteerd door deeltjes in het water. Door de beweging van de deeltjes ten opzichte van de ADCP ontstaat een frequentieverandering (Doppler shift). Deze frequentieverandering is een maat voor de snelheid van het water, waarbij aangenomen wordt dat de deeltjes in het water zich in horizontale richting bewegen met dezelfde snelheid als het water. Een ADCP zendt twee typen pulsen uit met een vaste frequentie. Korte pulsen voor het meten van de watersnelheid en –richting en lange pulsen voor de verplaatsing van het instrument ten opzichte van de bodem (bottom track). De bottom track wordt gebruikt om de gemeten watersnelheden te corrigeren voor de vaarsnelheid van het vaartuig om zo de absolute stroomsnelheid en –richting van het water te bepalen. De meeste metingen zijn uitgevoerd met een ADCP bevestigd op een trimaran drijflichaam dat met touwen dwars over de gehele breedte van de vispassage werd getrokken. Bij Driel is ook een aantal metingen uitgevoerd vanuit een klein vaartuig. Per overtocht wordt een volledige afvoermeting uitgevoerd en de resultaten van de hele meetserie worden gemiddeld tot één waarde om daarmee meetfouten en de effecten van translatiegolven uit te middelen.

Aangezien de afvoer door de vispassage overal hetzelfde is, kan de meting in principe op een willekeurige locatie worden uitgevoerd. Bij Driel en Hagestein dient echter wel benedenstrooms van de bypass gemeten te worden indien deze geopend is. De ADCP is gevoelig voor turbulentie in het water en daarom zijn de metingen uitgevoerd op geruime afstand van de drempels. De meeste afvoermetingen zijn uitgevoerd door de Meet- en Informatiedienst (MID) van RWS Oost-Nederland, een

aantal echter door het bedrijf Aqua Vision (ref. 1). Zowel de MID als Aqua Vision hebben de metingen uitgevoerd met een 1200 kHz WorkHorse ADCP van het merk Teledyne RD Instruments.

Naast de metingen met de ADCP in de vispassage zelf, is in oktober 2001 ook een proefmeting uitgevoerd met de akoestische debietmeter (ADM) bij Driel. Deze ADM maakt deel uit van het landelijk meetnet van Rijkswaterstaat en meet de volledige afvoer van de Nederrijn ter plaatse. De ADM is gesitueerd bovenstrooms van zowel de stuw als de bovenstroomse aansluiting van de vispassage. De proefmeting bestond eruit gedurende 16 uur de vizierschuiven en de spoel- en omloopriolen van de stuw geheel te sluiten. De afvoer die door de ADM wordt gemeten, kan dan in principe alleen via de vispassage afstromen. Echter, ook de lekverliezen langs de stuwbogen ($2 - 3 \text{ m}^3/\text{s}$) worden door de ADM gemeten, waardoor deze methode te onnauwkeurig bleek om de afvoer door de vispassage mee te bepalen. De meting met de ADM is volledigheidshalve wel meegenomen in de gepresenteerde resultaten.

Figuur 6

Afvoermeting met ADCP in de vispassage bij Amerongen.



2.3

Resultaten

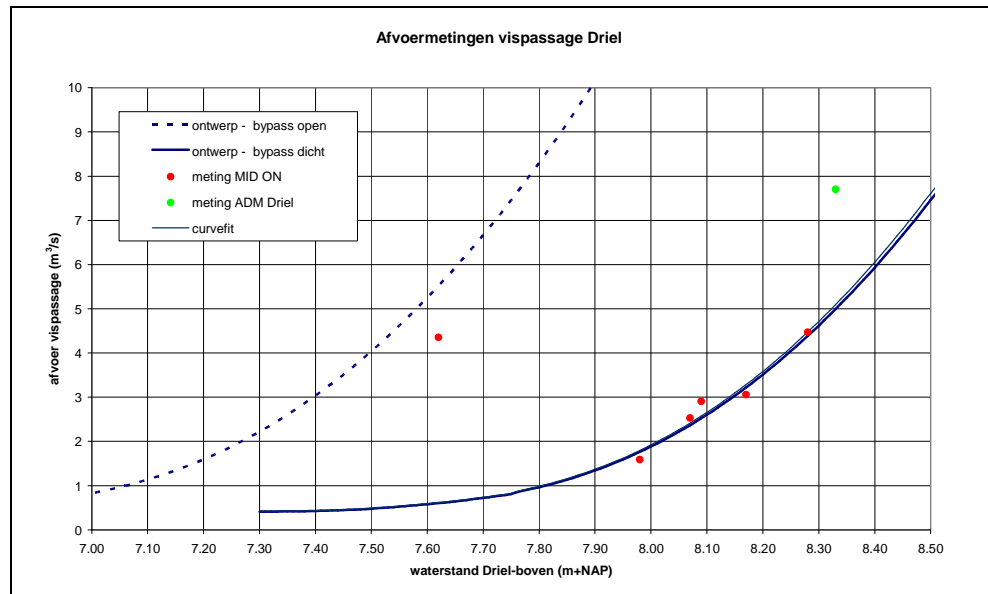
De uitgevoerde metingen zijn weergegeven in Tabel 3 (Driel) Tabel 4 (Amerongen) en Tabel 5 (Hagestein). De gemeten afvoeren zijn in grafiek gezet samen met de theoretische bepaalde afvoer karakteristiek. Door de meetpunten is een kromme gefit door de oorspronkelijke afvoer karakteristiek met een factor te vermenigvuldigen. De factor is bepaald aan de hand van het kleinste kwadratencriterium.

Bij geen van de metingen werd de afvoer door de vispassage belemmerd door hoge waterstanden benedenstrooms van de stuw. De resultaten van de beide uitvoerende instanties (MID en Aqua Vision) zijn qua orde van grootte vergelijkbaar, en aangezien de metingen onafhankelijk van elkaar zijn uitgevoerd, versterken ze dus elkaars betrouwbaarheid. Verder blijkt dat op één na (Driel) alle metingen zijn uitgevoerd bij een gesloten bypass. Strikt genomen kan dus geen uitspraak worden gedaan over de afvoer door de vispassage bij geopende bypass. De verwachting is echter dat de gevonden resultaten ook van toepassing zijn op de situatie met geopende bypass omdat het om hetzelfde type drempel gaat.

Tabel 3
Afvoermetingen in de vispassage om stuw Driel.

Nr.	Datum	Waterstand bov. stuw (m+NAP)	Waterstand ben. stuw (m+NAP)	Afvoer door vispassage (m ³ /s)	Bypass	Uitvoerende
1	21 okt 01	8,33	5,96	7,70	Dicht	ADM Driel
2	24 feb 03	7,98	6,51	1,59	Dicht	MID ON
3	27 feb 03	8,07	6,33	2,53	Dicht	MID ON
4	17 mrt 03	7,62	7,22	4,35	Open	MID ON
5	25 mrt 03	8,17	6,28	3,06	Dicht	MID ON
6	1 apr 03	8,28	6,08	4,47	Dicht	MID ON
7	28 apr 03	8,09	5,99	2,91	Dicht	MID ON

Figuur 7
Afvoermetingen in de vispassage om stuw Driel.



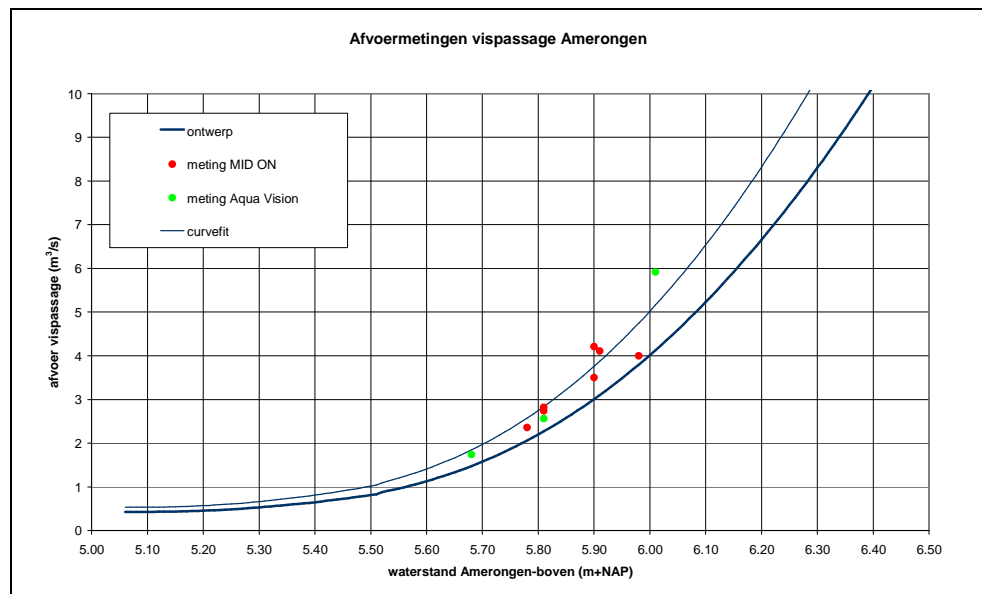
Tabel 4

Afvoermetingen in de vispassage om stuw Amerongen.

Nr.	Datum	Waterstand bov. stuw (m+NAP)	Waterstand ben. stuw (m+NAP)	Afvoer door vispassage (m ³ /s)	Bypass	Uitvoerende
1	15 dec 05	5,98	2,90	4,00	n.v.t.	MID ON
2	6 jun 07	5,78	3,51	2,36	n.v.t.	MID ON
3	7 jun 07	5,90	3,49	4,21	n.v.t.	MID ON
4	8 jun 07	5,91	3,43	4,11	n.v.t.	MID ON
5	5 sep 07	5,81	3,63	2,74	n.v.t.	MID ON
6	6 sep 07	5,81	3,57	2,82	n.v.t.	MID ON
7	7 sep 07	5,90	3,45	3,50	n.v.t.	MID ON
8	14 nov 07	5,81	3,62	2,56	n.v.t.	Aqua Vision
9	16 nov 07	5,68	3,84	1,74	n.v.t.	Aqua Vision
10	20 nov 07	6,01	3,40	5,92	n.v.t.	Aqua Vision

Figuur 8

Afvoermetingen in de vispassage om stuw Amerongen.



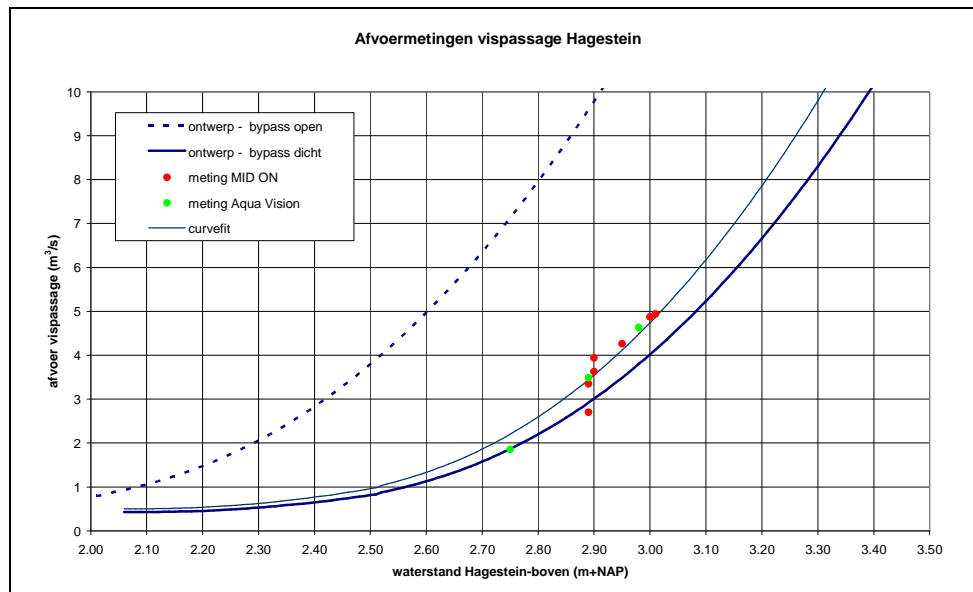
Tabel 5

Afvoermetingen in de vispassage om stuw Hagestein.

Nr.	Datum	Waterstand bov. stuw (m+NAP)	Waterstand ben. stuw (m+NAP)	Afvoer door vispassage (m ³ /s)	Bypass	Uitvoerende
1	31 jan 06	2,89	-0,53	2,70	Dicht	MID ON
2	31 jan 06	2,89	-0,53	3,35	Dicht	MID ON
3	7 jun 07	3,00	1,55	4,87	Dicht	MID ON
4	8 jun 07	3,01	1,30	4,94	Dicht	MID ON
5	5 sep 07	2,95	1,57	4,26	Dicht	MID ON
6	6 sep 07	2,90	0,75	3,94	Dicht	MID ON
7	7 sep 07	2,90	0,62	3,63	Dicht	MID ON
8	14 nov 07	2,89	1,51	3,49	Dicht	Aqua Vision
9	16 nov 07	2,75	1,51	1,85	Dicht	Aqua Vision
10	20 nov 07	2,98	0,88	4,63	Dicht	Aqua Vision

Figuur 9

Afvoermetingen in de vispassage om stuw Hagestein.



De ADCP bepaalt de totale afvoer door stroomsnelheden te integreren over het natte doorstroomprofiel. Behalve de afvoer geeft een meting daarom ook informatie over de snelheidsverdeling in het dwarsprofiel. In bijlage A zijn enkele karakteristieke stroomsnelheidsprofielen gegeven van metingen bij Amerongen en Hagestein. Voor beide locaties zijn de metingen uitgevoerd halverwege het bekken tussen drempels 11 en 12.

2.4

Conclusies

Metingen met een ADCP gemonteerd op een trimaran drijflichaam zijn een snelle en betrouwbare methode om de afvoer in een vispassage te bepalen. De methode geeft bovendien informatie over de variatie in stroomsnelheden in de bekkens.

Uit de metingen blijkt dat de afvoer bij Driel nagenoeg de ontwerpkenmerk volgt (+2%), maar dat bij Amerongen (+25%) en Hagestein (+18%) de afvoeren beduidend hoger liggen. De verklaring hiervoor kan zijn dat de stalen middensectie

bij Amerongen en Hagestein veel slanker is dan bij Driel (zie Figuur 10), en dat dit resulteert in een lagere stromingsweerstand van de drempel als geheel. Het resultaat is dat in plaats van de ontwerpwaarde van 4 m³/s de afvoer bij stuwpeil nu 5 m³/s is. Dit is gunstig voor de lokstroom maar nadelig voor de stroomsnelheden boven de drempel. Een hogere afvoer bij een gelijkblijvend doorstroomprofiel betekent immers dat de profielgemiddelde stroomsnelheid boven de drempel eveneens met bovenstaande percentages toeneemt. Voorts betekent een hogere afvoer door de vispassage dat voor de WKC minder water beschikbaar is.

Figuur 10

Stalen drempelsectie bij Driel (links) en Amerongen / Hagestein (rechts).



De mogelijkheid bestaat om de afvoer te corrigeren door de hoogte van de stalen middensectie na te stellen. Dit vergt dat de vispassage wordt drooggezet en dat van alle drempels de stalen sectie ca. 7 cm hoger wordt ingesteld. Het corrigeren van de afvoer reduceert de stroomsnelheid boven de drempel echter maar in beperkte mate, omdat ook het doorstroomprofiel kleiner wordt. De stroomsnelheid, en ook de afvoer, is eventueel te verlagen door de drempel hydraulisch inefficiënter te maken. Nader onderzoek moet uitwijzen welke aanpassingen in de vormgeving daarvoor nodig zijn.

Of het ook wenselijk is de afvoer en de stroomsnelheid aan te passen hangt af van de vraag (1) in hoeverre de vismigratie belemmerd wordt door de hogere stroomsnelheden, en (2) hoe hard de afspraken met de WKC zijn over de waterverdeling. Als de vismigratie niet aantoonbaar te lijden heeft onder de hogere stroomsnelheden en de WKC niet (significant) benadeeld wordt, dan is er geen noodzaak de drempels aan te passen. De evaluatie van de visbiologische metingen (ref. 3) geeft geen aanleiding te veronderstellen dat de vissen hinder ondervinden van de hogere stroomsnelheden. Het rendementsverlies van de WKC als gevolg van de hogere afvoer door de vispassage ligt in de orde van 0,5%.

3 Verval tussen de bekkens

3.1 Informatiebehoefte

In de vispassages bedraagt het verval tussen de bekkens volgens het ontwerp 0,15 m (Driel) of 0,16 m (Amerongen en Hagestein). Wanneer hier lokale afwijkingen in voorkomen, is dit van invloed op de werking van de vispassage. Met name een groter verval tussen de bekkens leidt tot hogere stroomsnelheden boven de betreffende drempel, en dus tot een potentieel knelpunt voor vismigratie. Het is dus van belang om na te gaan of het beoogde verval ook daadwerkelijk optreedt.

Figuur 11

Het 'zandvoetje' raakt de waterspiegel.



3.2 Methode

Voor de waterstanden in de bekkens is de waterstand bovenstrooms van de stuw bepalend, het verval tussen de bekkens is gelijk aan het hoogteverschil waarmee de drempels zijn aangelegd. Aan de benedenstroomse zijde van de vispassage kunnen door hoge rivierwaterstanden drempels verdronken zijn, en dan is het verval daar kleiner. Er is bij een aantal waterstanden gemeten hoe groot het verval tussen de bekkens is. Dit is gedaan door over de hele lengte van de vispassage de waterstand te meten met *real time* tachymetrische² hoogtebepaling. Lokaal zijn enkele hoogtemerken geslagen en ingemeten als referentie. In ieder bekken is de waterstand gemeten op 3 locaties aan de waterlijn, te weten:

- Net benedenstrooms van de drempel.
- Halverwege het bekken.
- Net bovenstrooms van de drempel.

² Infraroodmethode met een spiegel op een baak. Berekent de afstand uit het faseverschil en de hoogte uit de richting van de lichtstraal.

Figuur 11 laat zien hoe de waterspiegel wordt aangemeten. Ter verificatie en ter uitmiddeling van waterstandsfluctuaties is de waterstand aan beide oevers van de vispassage gemeten. Bij Driel zijn de linker- en rechteroever van een bekken nagenoeg gelijktijdig bemeaten. Bij Amerongen en Hagestein is per oever gemeten en niet per bekken, zodat hier meestal een tijdsverschil en daardoor mogelijk een waterstandsverschil bestaat tussen de metingen op beide oevers van een bekken. Dit tijdsverschil blijkt maximaal 1 uur te bedragen.

3.3

Resultaten

In totaal zijn 7 metingen uitgevoerd, zie Tabel 6. De metingen bij Driel zijn gelijkmatig verdeeld over het gehele gestuwde bereik en geven daarmee een compleet beeld van de stromingsomstandigheden in de vispassage. Bij Amerongen en Hagestein is op elke locatie slechts één meting uitgevoerd. De afvoer door de vispassage in Tabel 6 is berekend op basis van de ontwerpcurve en niet gecorrigeerd voor de gekalibreerde curve op basis van afvoermetingen.

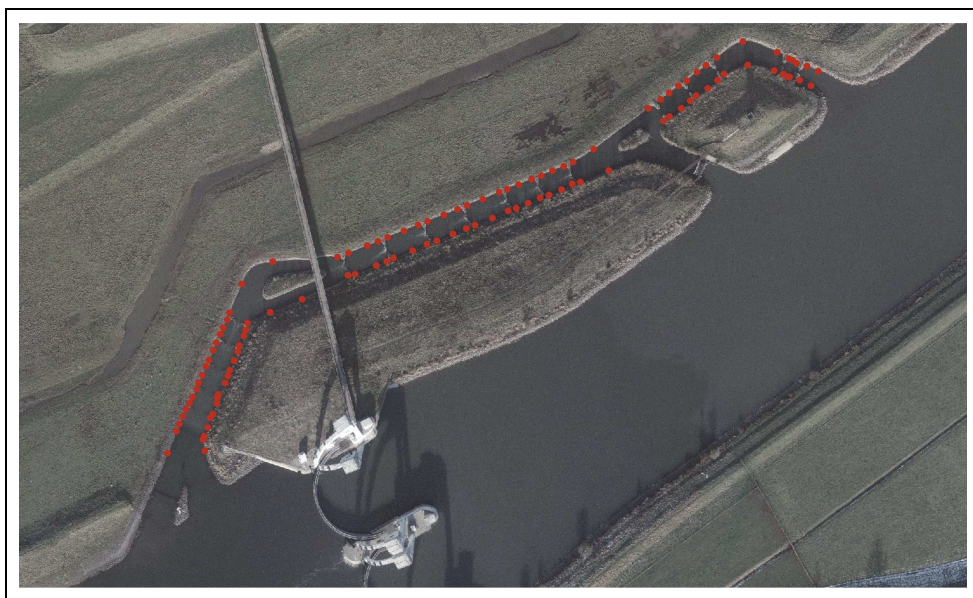
Tabel 6

Uitgevoerde
vervalmetingen.

Nr.	Datum	Stuw	Waterstand bov. stuw (m+NAP)	Waterstand ben. stuw (m+NAP)	Afvoer door vispassage (m ³ /s)	Bypass
1	17 dec 02	Driel	7,65	7,09	5,93	Open
2	26 feb 03	Driel	8,00	6,40	1,88	Dicht
3	15 apr 03	Driel	8,28	5,93	4,38	Dicht
4	18 jul 03	Driel	7,40	6,02	3,03	Open
5	12 aug 03	Driel	6,92	6,03	0,67	Open
6	15 dec 05	Amerongen	5,97	2,93	3,69	n.v.t.
7	31 jan 06	Hagestein	2,90	-0,58	3,01	Dicht

Figuur 12

Meetpunten in de bekkens,
Driel 12 augustus 2003.

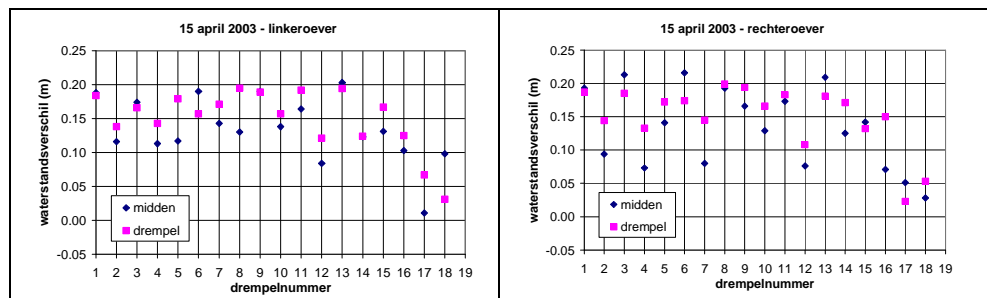


Als voorbeeld zijn in Figuur 13 voor één meting de verschillen in waterstanden tussen de bekkens gegeven. De verschillen in waterstanden zijn op twee manieren

berekend, namelijk als het verschil tussen de metingen direct boven- en benedenstrooms van een drempel en als het verschil tussen de metingen in het midden van de bekkens. De resultaten laten zien dat het verschil in waterstand direct over de drempel over het algemeen iets groter is dan tussen het midden van de bekkens. Dit komt doordat de waterspiegel in de bekkens niet vlak is maar in stroomafwaartse richting iets oploopt. Het verschil is in de orde van 1 à 2 cm per bekken en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door neren en andere stromingspatronen in het bekken. Voor de as van de vispassage zijn geen meetgegevens beschikbaar, dus het is niet bekend of de waterstand daar in stroomafwaartse richting ook oploopt. Figuur 13 laat verder zien dat aan de benedenstroomse zijde van de vispassage het verval kleiner is. Door de relatief hoge waterstand ten tijde van de meting zijn de laatste twee drempels verdronken.

Figuur 13

Voorbeeld resultaten vervalmetingen. Driel 15 april 2003.



Het verval per drempel van alle metingen is opgenomen in bijlage A. Aangezien voor Driel meerdere metingen beschikbaar zijn, kan hier in principe voor elke drempel een indruk worden verkregen van de variatie in het gemeten verval. Wel moeten de gegevens eerst gefilterd worden voor (half-)verdronken drempels en voor drempels zonder verval als gevolg van een geopende bypass. Van de overblijvende metingen blijkt de standaardafwijking per drempel in de orde van 2 cm te liggen.

Tabel 7

Verval over de stuw en vispassage.

Nr.	Datum	Stuw	Verval over de stuw (m)	Gesommeerd verval over midden bekkens (m)		Gesommeerd verval over drempels (m)	
				Links	Rechts	Links	Rechts
1	17 dec 02	Driel	0,56	0,47	0,46	0,61	0,63
2	26 feb 03	Driel	1,60	1,57	1,54	1,71	1,71
3	15 apr 03	Driel	2,35	2,42	2,37	2,70	2,70
4	18 jul 03	Driel	1,38	1,36	1,41	1,70	1,64
5	12 aug 03	Driel	0,89	0,92	0,92	0,96	0,91
6	15 dec 05	Amerongen	3,04	3,01	3,04	3,47	3,39
7	31 jan 06	Hagestein	3,48	3,41	3,51	3,85	3,89

In Tabel 7 is per methode het gesommeerde verval over alle bekkens en drempels berekend. Ook hieruit blijkt dat het verval over de drempel groter is dan tussen het midden van de bekkens. Verder wordt opgemerkt dat het gesommeerd verval over de bekkens in principe gelijk zou moeten zijn aan het verval over de stuw. Dit is echter niet precies het geval vanwege het verloop van waterstanden gedurende de meting en vanwege het verhang tussen de vispassage en het meetpunt van het landelijk meetnet van Rijkswaterstaat waar de waterstanden boven- en benedenstrooms van de stuw wordt gemeten.

In Tabel 8 en Tabel 9 is per meting aangeven waar het grootste verval over de drempel optreedt. Bij Driel lijkt op grond van metingen 1 en 2 het grootste verval op te treden bij de meest bovenstroomse drempel. Als de bypass dicht is, is dit drempel 1 en als de bypass open is drempel 6. Dat het grootste verval bij de eerste drempel gevonden wordt, kan veroorzaakt worden doordat de stroming voor de eerste drempel nog niet 'getrechterd' is rond de as van vispassage, zie Figuur 14. Dit afwijkende stromingspatroon in de bekkens vertaalt zich kennelijk in iets hogere waterstanden. Bij een gesloten bypass wijkt het stroombeeld bij drempel 6 niet af van dat van de andere drempels, dus met de hoogteligging van drempel 6 zelf is niets mis. Een vergelijkbaar verschijnsel doet zich voor bij drempel 13 die benedenstrooms van een groot bekken ligt. Ook hier is het verval over de drempel iets groter dan elders doordat de stroming in het grote bekken de kans krijgt uit te waaieren. Bij Amerongen en Hagestein vallen respectievelijk drempels 7 en 12 op door een relatief groot verval. Ook deze drempels liggen aan de benedenstroomse zijde van een lang bekken en dus is het stromingspatroon vergelijkbaar met dat rond de eerste, meest bovenstroomse drempel van een vispassage.

Tabel 8

Maximale vervallen direct over de drempels.

Nr.	Datum	Stuw	Maximum links		Maximum rechts	
			Nr. drempel	Verval (mm)	Nr. drempel	Verval (mm)
1	17 dec 02	Driel	6	175	6	176
2	26 feb 03	Driel	1	171	1	189
3	15 apr 03	Driel	8	195	8	199
4	18 jul 03	Driel	8	207	8	219
5	12 aug 03	Driel	7	183	7	172
6	15 dec 05	Amerongen	7	232	7	234
7	31 jan 06	Hagestein	2	221	3	219

Tabel 9

Maximale vervallen tussen het midden van de bekkens.

Nr.	Datum	Stuw	Maximum links		Maximum rechts	
			Nr. drempel	Verval (mm)	Nr. drempel	Verval (mm)
1	17 dec 02	Driel	6	162	6	180
2	26 feb 03	Driel	1	203	1	185
3	15 apr 03	Driel	13	203	6	216
4	18 jul 03	Driel	8	216	8	198
5	12 aug 03	Driel	7	180	7	174
6	15 dec 05	Amerongen	1	245	7	248
7	31 jan 06	Hagestein	12	201	1	257

Figuur 14

Verskil in stromingspatroon tussen de 1^e (rechts) en 2^e drempel (links), Driel.



Voor drempels 1 bij Driel en 7 bij Amerongen is bovendien nog iets anders aan de hand. De turbulentie die rond een drempel ontstaat, moet in het benedenstrooms ervan gelegen bekken uitdempen. Als het bekken daarvoor niet groot genoeg is, treedt een zekere 'kortsluiting' op, hetgeen ertoe leidt dat het verval over de daaropvolgende drempel kleiner is dan de beoogde 0,15 of 0,16 m. Dit betekent dat het verval over één of meer bovenstrooms hiervan gelegen drempels groter is, en dat daardoor wellicht een knelpunt ontstaat voor vismigratie. Een dergelijke situatie doet zich voor bij drempels 1 en 2 in de vispassage bij Driel (Figuur 14, links) en bij drempels 7 en 8 in de vispassage bij Amerongen (Figuur 15). In beide gevallen liggen de drempels op vrij korte afstand van elkaar en is te zien dat de turbulentie van drempel 1 (resp. 7) nog niet is uitgedempt bij drempel 2 (resp. 8). Uit de basisgegevens voor Driel (bijlage B, metingen 2 en 3) blijkt inderdaad dat het verval over drempel 1 relatief groot is en over drempel 2 relatief klein. Eenzelfde resultaat wordt gevonden voor drempels 7 en 8 bij Amerongen (bijlage B, meting 6).

Figuur 15

Kortsluiting tussen drempels 7 en 8 van vispassage Amerongen.



De nauwkeurigheid van de metingen kan getoetst worden door de metingen aan de linker- en de rechteroever met elkaar te vergelijken. Omdat bij Driel de metingen nagenoeg tegelijkertijd zijn uitgevoerd zou hier geen verschil tussen mogen zitten. Tabel 10 laat zien dat het gemiddelde verschil inderdaad klein is en in alle gevallen negatief. Dit duidt erop dat de waterstand aan de linkeroever systematisch iets lager gemeten is dan aan de rechteroever. Een standaardafwijking in de orde van 1 cm is niet slecht als bedacht wordt dat de waterspiegel altijd in beweging is en 'de' waterstand dus niet precies gedefinieerd is. Bij Amerongen en Hagestein zijn de standaardafwijking en de extremen groter. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het tijdsverschil tussen de metingen aan beide oevers.

Tabel 10

Waterstandsverschil
linkeroever minus
rechteroever.

Nr.	Datum	Stuw	Gemiddeld (mm)	St. afwijking (mm)	Maximum (mm)	Minimum (mm)
1	17 dec 02	Driel	-14	11	19	-36
2	26 feb 03	Driel	-2	9	26	-20
3	15 apr 03	Driel	-7	16	25	-57
4	18 jul 03	Driel	-6	15	26	-61
5	12 aug 03	Driel	-12	11	30	-28
6	15 dec 05	Amerongen	5	53	193	-80
7	31 jan 06	Hagestein	-3	27	105	-50

3.4

Conclusies

Tachymetrie is een goede methode om de waterstanden in de vispassage te bepalen. De waterstanden worden in millimeters gemeten en de meetfout is klein genoeg om conclusies te kunnen trekken over het verval tussen de bekkens.

Door stromingspatronen in de bekkens is het verval direct over de drempel systematisch groter dan het verval tussen het midden van de bekkens. Het gemeten verval tussen de bekkens wijkt meestal weinig af van de ontwerpwaarden 0,15 m (Driel) en 0,16 m (Amerongen en Hagestein). Grotere vervallen dan de ontwerpwaarde worden gevonden bij de eerste drempel van alle vispassages en bij drempels met een daarmee vergelijkbaar stromingspatroon, zoals aan de benedenstroomse zijde van een lang bekken. Ook treden grote vervallen op over de bovenstroomse drempel van bekkens die te klein zijn om de turbulentie voldoende te dempen. Dit soort kortsluiting is aan de orde bij drempel 1 te Driel en drempel 7 te Amerongen. De metingen geven geen aanleiding om te veronderstellen dat er drempels zijn die niet op de juiste hoogte zijn aangelegd.

Een lokaal groter verval betekent hogere stroomsnelheden boven de betreffende drempel. Dit kan eventueel gecorrigeerd worden door het nastellen van één of meer drempels, waardoor het teveel aan verval wordt genivelleerd. Kortsluiting kan verholpen worden door de meer ingrijpende maatregel van het verplaatsen van drempels, waardoor bekkens langer worden. Uit de visbemonstering (ref. 3) blijkt echter geen negatief effect van een groot verval op de vistrek. Het nastellen en/of verplaatsen van drempels wordt daarom niet aanbevolen.

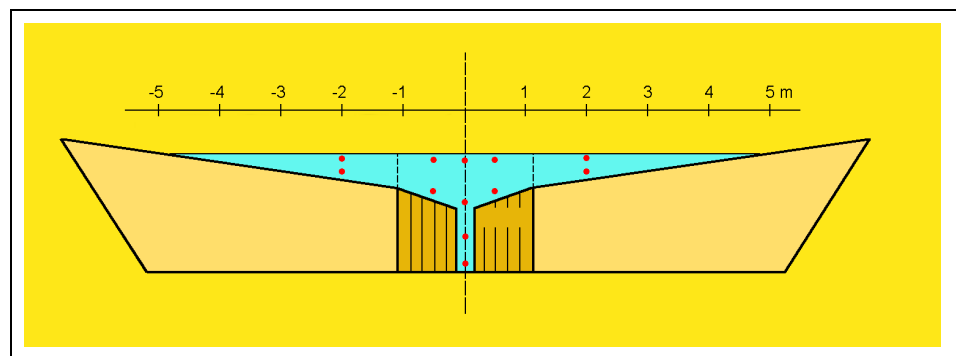
4 Stroomsnelheden rond de drempel

4.1 Informatiebehoefte

Bij het ontwerp van de vispassages is als eis gesteld dat omwille van de vistrek de profielgemiddelde stroomsnelheid boven de drempel maximaal 0,8 – 1,0 m/s mag bedragen. Een lage profielgemiddelde snelheid is echter maar voor een deel bepalend voor het succes van een vispassage. Vistrek is ook gebaat bij een zo groot mogelijke variatie aan stroomsnelheden boven de drempel. De variatie zorgt ervoor dat er altijd wel relatief stroomluwe delen in het profiel zijn waar de vis kan passeren. Omdat bij de vispassages in de Nederrijn-Lek een nieuw type drempel is toegepast, is deze variatie in stroomsnelheden op voorhand alleen bij benadering af te leiden. Om meer inzicht te krijgen in de werkelijke verdeling, is het wenselijk om bij een aantal afvoerniveaus stroomsnelheidsmetingen boven de drempel uit te voeren.

Figuur 16

Schema meetpunten stroomsnelheidsmetingen.



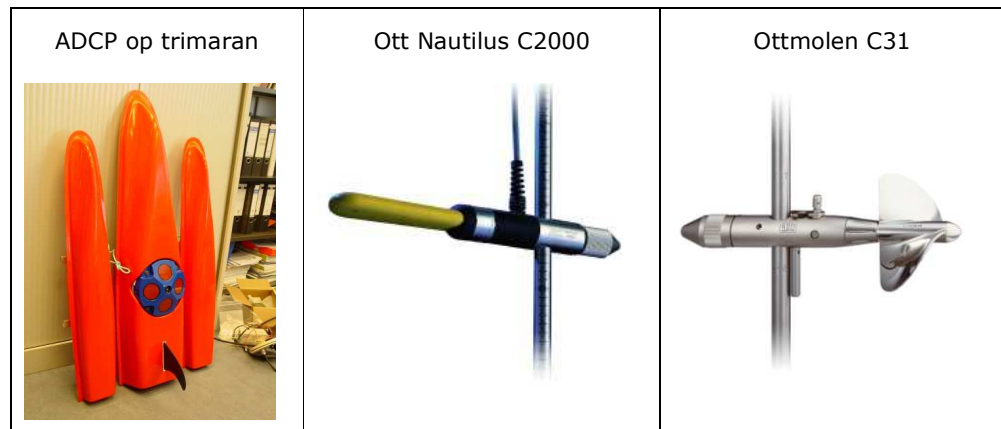
4.2 Methode

De metingen zijn in 2003 uitgevoerd in de vispassage bij Driel (ref. 4), omdat de vispassages bij Amerongen en Hagestein op dat moment nog niet aangelegd waren. Aangezien alle drempels identiek zijn, is het voldoende indien de stroomsnelheden voor één drempel bepaald wordt. De meetlocatie dient benedenstrooms van de bypass te liggen, het stromingspatroon moet er gelijkmatig zijn, en niet beïnvloed worden door eventuele hoge waterstanden op het benedenstroomse stuwpand. Op grond van deze eisen is ervoor gekozen om de metingen uit te voeren rond drempel 7 op dagen dat de waterstand benedenstrooms van de stuw ongeveer op stuwpeil stond. Als meetplatform is boven drempel 7 uit steigerwerk een tijdelijke brug gebouwd. In Figuur 16 is aangegeven op welke punten ten opzichte van de drempel de stroomsnelheid gemeten wordt, mits natuurlijk de waterstand dat toelaat. Er wordt gemeten in drie verticale vlakken, te weten ca. 1 m bovenstrooms van, loodrecht boven en ca. 1 m benedenstrooms van de kruin van de drempel. Voor het meten van stroomsnelheden rond de drempel zijn drie systemen toegepast, zie Figuur 17:

1. *ADCP Zedhed 1200 kHz*. Dit is een hetzelfde meetsysteem als waarmee de afvoermetingen zijn uitgevoerd. Het meet met kleine celgroottes en is dus geschikt om in ondiep water te meten. Het instrument is ingebouwd in een

- Trimaran Riverboat, een catamarantype vlot, en wordt vanaf de oever met touwen in positie gebracht.
2. *Ott Nautilus C2000*. Dit instrument bestaat uit een beverstaartvormig stroomlichaam waarin twee contactpunten zijn gemonteerd, waartussen door het stromende medium een potentiaalverschil ontstaat. Dit verschil is om te rekenen naar stroomsnelheden. Het instrument is aan een stang bevestigd en wordt vanaf de meetbrug in positie gebracht.
 3. *Ottmolen C31*. Een meetinstrument met een gekalibreerde wiek. Het aantal omwentelingen per tijdseenheid van de wiek is een maat voor de stroomsnelheid. Dit instrument is eveneens aan een stang bevestigd en wordt vanaf de meetbrug in positie gebracht.

Figuur 17
Gebruikte meetinstrumenten voor stroomsnelheidsmetingen.



4.3

Resultaten

De verschillende meetinstrumenten hebben elk hun eigen voor- en nadelen. Het akoestisch systeem van de ADCP bleek last te hebben van interferentie van de stalen damwand en van de turbulentie benedenstrooms van de drempel. Ook heeft de ADCP moeite met het meten in het smalle vertical slot (breedte 30 cm). Met de Ottmolen kan wel in het vertical slot gemeten worden, maar er is grote kans op schade aan of vastlopen van de wiek (diameter 12,5 cm). Ook is het vanwege de stroming lastig de stang met het meetinstrument in positie te krijgen en te houden. Dat laatste geldt ook voor de Ott Nautilus, maar een voordeel van dit instrument is dat ongeacht de oriëntatie ervan altijd de juiste snelheid wordt gemeten. Ook is dit instrument minder kwetsbaar omdat het geen bewegende of uitstekende delen bevat. Een mogelijk nadeel van de Ott Nautilus is dat het werkt op basis van een elektromagnetisch principe, en daardoor wellicht gevoelig is voor storingen door de stalen delen van de drempel. Desondanks heeft van de drie meetsystemen alleen de Ott Nautilus een bruikbaar resultaat opgeleverd. Met dit instrument zijn twee meetseries uitgevoerd, één bij lage (24 september 2003) en één bij hoge (21 oktober 2003) waterstanden in de vispassage. In Tabel 11 zijn de afvoeren en waterstanden op beide dagen weergegeven. Per meetpunt zijn steeds drie metingen uitgevoerd van elk 60 seconden. De metingen zijn gemiddeld tot één waarde per meetpunt. Figuur 18 geeft een impressie van de uitgevoerde metingen.

Tabel 11

Overzicht van met de Nautilus uitgevoerde stroomsnelheidsmetingen.

Parameter	24 sep 03	21 okt 03
Waterstand Lobith (m+NAP)	7,09	8,08
Waterstand Driel-boven (m+NAP)	6,66	7,60
Waterstand Driel-beneden (m+NAP)	6,02	6,02
Afvoer Nederrijn (m ³ /s)	23	33
Ontwerpafvoer vispassage (m ³ /s)	0,43 (1,9%)	5,25 (15,9%)
Waterdiepte t.o.v. apex drempel (m)	0,11	1,05
Waterdiepte t.o.v. bodem bekken (m)	1,11	2,05
Natte breedte boven drempel (m)	0,66	11,77
Wind	Onbekend	ZO 2
Bypass	Open	Open
Meetinstrument	Nautilus	Nautilus

Figuur 18

Stroomsnelheidsmetingen met ADCP (links) en Ottmolen (rechts).



De resultaten van de metingen zijn gegeven in Tabel 12 en Tabel 13. Tijdens de meting op 24 september stond er nauwelijks water boven de drempel en kon in het verticale vlak van de drempel alleen gemeten worden in het verticale slot. De meetgegevens laten zien dat de stroming op bijna alle meetpunten een vrij gelijkmatige 1,4 m/s bedraagt. Uitzonderingen zijn de meetpunten benedenstrooms van de drempel op 0,5 m uit de as, waar de stroming 1,7 m/s bedraagt. Op 21 oktober zijn de afvoer en de waterstand in de vispassage aan de hoge kant, omdat de bypass volgens de instructie dicht had moeten staan, maar in werkelijkheid open stond. Het stroombeeld is onregelmatiger dan bij de eerdere meting, in de meetwaarden is nauwelijks een patroon te ontdekken, behalve dat hoger in de verticaal de stroming wat gelijkmatiger is dan nabij de bodem. Deze onregelmatigheid wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat nu ook de drempel zelf meedoet, en de stroming een meer driedimensionaal karakter heeft. Bij de eerdere meting stroomde alleen het verticale slot mee en was de stroming meer tweedimensionaal van karakter.

Tabel 12

Resultaten
stroomsnelheidsmetingen
24 september 2003.

Hoogte boven bodem (m)	Locatie t.o.v. drempel	Locatie t.o.v. de as van de vispassage				
		- 2,0 m	- 0,5 m	0,0 m	+ 0,5 m	+ 2,0 m
0,80	bovenstrooms	-	1,69	1,44	1,28	-
0,80	recht boven	-	-	1,43	-	-
0,80	benedenstrooms	-	1,62	1,48	1,69	-
0,50	bovenstrooms	-	1,44	1,41	1,42	-
0,50	recht boven	-	-	1,35	-	-
0,50	benedenstrooms	-	1,67	1,38	1,70	-
0,10	bovenstrooms	-	1,44	1,43	1,41	-
0,10	recht boven	-	-	1,36	-	-
0,10	benedenstrooms	-	1,70	1,14	1,71	-

Tabel 13

Resultaten
stroomsnelheidsmetingen
21 oktober 2003.

Hoogte boven bodem (m)	Locatie t.o.v. drempel	Locatie t.o.v. de as van de vispassage				
		- 2,0 m	- 0,5 m	0,0 m	+ 0,5 m	+ 2,0 m
1,70	bovenstrooms	-	1,38	1,24	1,19	-
1,70	recht boven	-	-	-	-	-
1,70	benedenstrooms	-	1,73	1,55	1,97	-
0,90	bovenstrooms	-	0,76	0,68	0,56	-
0,90	recht boven	-	-	-	-	-
0,90	benedenstrooms	-	0,38	1,68	0,08	-
0,10	bovenstrooms	1,09	0,01	0,23	0,20	0,69
0,10	recht boven	-	-	-	-	-
0,10	benedenstrooms	1,59	0,06	0,50	1,77	1,73

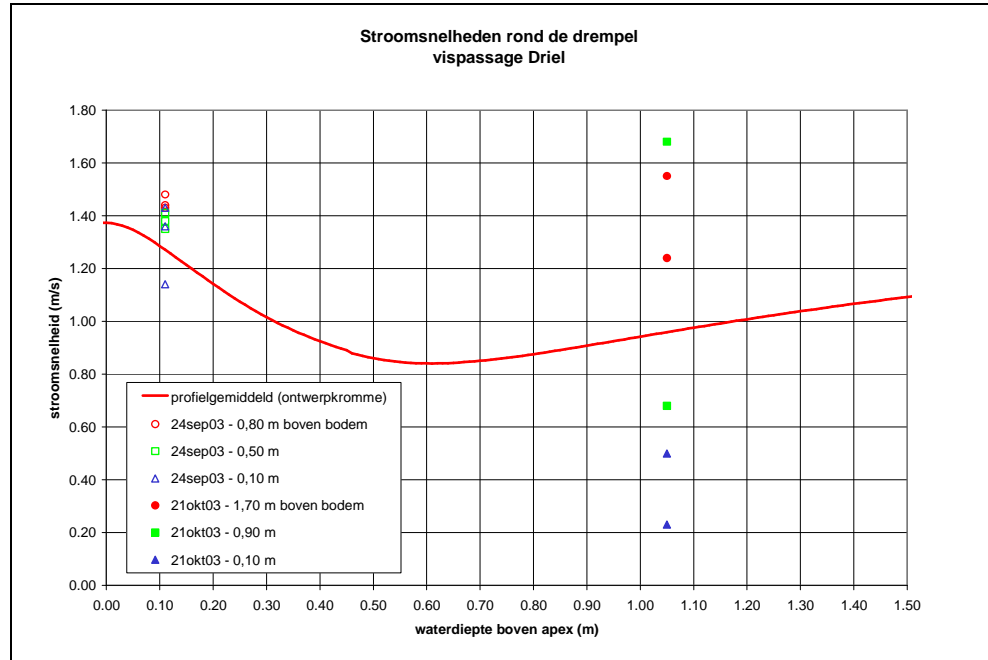
In Figuur 19 zijn voor beide meetseries de stroomsnelheden in de as van de vispassage uitgezet als functie van de waterdiepte in het bovenstroomse bekken ten opzichte van de apex van de drempel. In de figuur wordt geen onderscheid gemaakt tussen metingen boven- of benedenstrooms van de drempel, maar wel in de hoogte boven de bodem van het bekken. Voor de interpretatie van de figuur is het belangrijk om te weten dat de apex van de drempel 1,0 m boven de bodem van de vispassage ligt. De lijn in de grafiek is de profielgemiddelde snelheid zoals die valt te berekenen uit de afvoercharacteristiek voor de drempel (zie hoofdstuk 2) en het bijbehorende doorstroomprofiel. Voor de afvoer is uitgegaan van de oorspronkelijke karakteristiek, zonder te corrigeren voor de in hoofdstuk 2 gevonden afwijkingen. Evenmin is het doorstroomprofiel gecorrigeerd voor spiegeldaling en/of contractie nabij de drempel. Zouden beide effecten wel verdisconteerd worden, dan geeft dat iets hogere profielgemiddelde snelheden.

De figuur levert een grafische illustratie van de constatering dat de spreiding in de tweede serie veel groter is als in de eerste. De metingen op 24 september zijn in redelijke overeenstemming met de ontwerpcurve. Omdat de waterstand toen erg laag was, vond er nagenoeg alleen stroming plaats door het verticale slot waardoor de variatie in snelheden gering is. De metingen op 21 oktober liggen wel rond de ontwerpcurve, maar met een ruime spreiding. Door de hoge waterstand

stroomden alle secties van de drempel mee en ontstond een gevarieerd stroombeeld.

Figuur 19

Berekende en gemeten stroomsnelheden rond de drempel.



4.4

Conclusies

Het meten van stroomsnelheden boven een drempel in een vispassage is lastig uitvoerbaar. Het meetinstrument is relatief groot ten opzichte van het natte profiel, zeker in het vertical slot, en dus is het risico van verstoring van de meting reëel. Van de onderzochte instrumenten bleek alleen de Ott Nautilus C2000 bruikbare resultaten op te leveren, maar de vraag of een elektromagnetisch meetsysteem zich wel verdraagt met de stalen kern van de drempel blijft onbeantwoord.

De metingen laten een aanzienlijke spreiding zien, wat op zich gunstig is voor vismigratie. Voor zover de meetresultaten eenduidig zijn, valt te concluderen dat de gemeten stroomsnelheden goed overeen komen met de ontwerpwaarden. Stroomsnelheidsmetingen geven een aardig beeld, maar gezien de moeizame uitvoerbaarheid en de geringe toegevoegde waarde wordt niet aangedrongen op vervolgmetingen.

5 Stromingspatroon bij de uitstroomopening

5.1 Informatiebehoefte

Stroomopwaarts migrerende vis vindt de vispassage dankzij de afvoer die de vispassage uitstroomt, en een eventueel verschil in temperatuur en zuurstofgehalte tussen het water in de hoofdstroom en de vispassage. De vraag doet zich voor of de lokstroom krachtig genoeg is om voldoende vissen de vispassage te laten vinden, en hoe de prestatie van de vispassage op dit punt eventueel is te verbeteren. Hiervoor is inzicht nodig in het stromingspatroon op de rivier nabij de uitstroomopening van de vispassage bij verschillende afvoerverhoudingen tussen vispassage en Nederrijn.

5.2 Methode

De metingen zijn uitgevoerd bij de uitstroomopening van de vispassage om stuw Driel. Er is gebruik gemaakt van drijvers voorzien van radarreflectoren die in de benedenloop van de vispassage werden losgelaten. Met een radarwagen op de oever is de weg gevolgd die de drijvers aflegden, de positie van de drijvers is iedere seconde bepaald. De drijvermetingen zijn in 2003 uitgevoerd door de Meet- en Informatiedienst van RWS Oost-Nederland. De waterstanden en afvoeren bij Lobith en Driel ten tijde van de meting zijn ontleend aan het landelijke meetnet van Rijkswaterstaat. Alternatieve meetmethoden zoals particle tracking (digitale beeldverwerking) of kleurstoffen aan het water toevoegen zijn wel overwogen maar afgewezen. Particle tracking is geen beproefde methode en voor het lozen van kleurstoffen is een vergunning nodig die naar verwachting niet of slechts moeizaam verkregen kon worden.

Tabel 14

Overzicht uitgevoerde drijvermetingen.

Parameter	25 maart 2003	1 april 2003	22 oktober 2003
Kleur lijn	Groen	Rood	Blauw
Aantal trajecten (-)	4	9	7
Meetperiode (uur)	13:31 – 14:12	12:11 – 13:53	10:52 – 12:36
Waterstand Lobith (m+NAP)	9,06	8,82	8,01
Waterstand Driel-boven (m+NAP)	8,07	8,27	7,54
Waterstand Driel-beneden (m+NAP)	6,33	6,04	6,01
Afvoer Nederrijn (m ³ /s)	254	84	36
Ontwerpafvoer vispassage (m ³ /s)	2,5 (1,0%)	4,5 (5,4%)	4,5 (12,5%)
Hefhoogte schuif noord (m)	0,25	0,25	0
Hefhoogte schuif zuid (m)	0,28	0	0
Opening cilinderschuif (m)	0	0	0
Aantal spoelriolen open (-)	4	0	2½
Wind	W 1	ZW 2	ZO 2-3
Bypass	Dicht (?)	Dicht (?)	Open

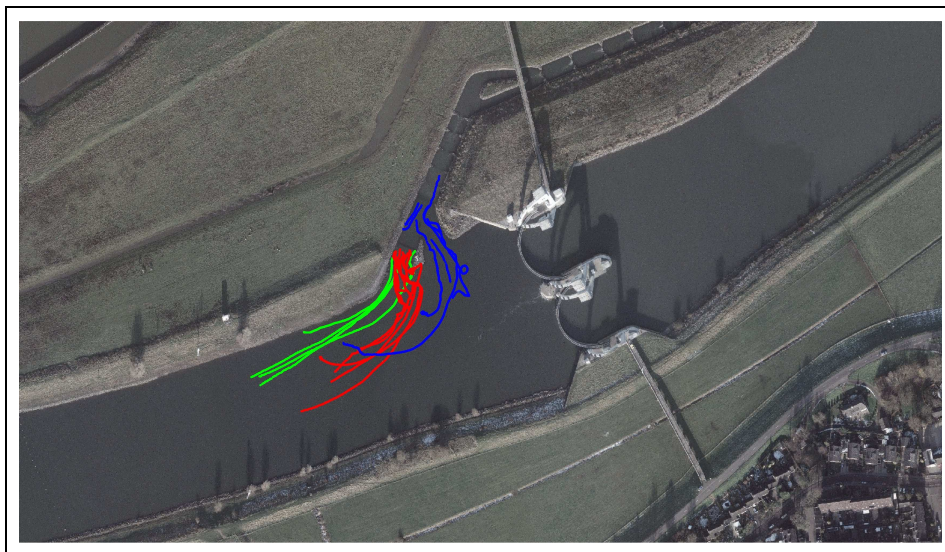
5.3 Resultaten

Tabel 14 geeft een overzicht van de uitgevoerde metingen. De metingen zijn uitgevoerd bij verschillende afvoerverhoudingen tussen vispassage en Nederrijn en geven bij elkaar een dekkend beeld. Bij de metingen van 25 maart en 1 april is op het meetformulier niet vastgelegd of de bypass open of dicht stond. In de tabel is de daarom de stand aangehouden die volgens de beheerregels voor de bypass zou

moeten gelden. De trajecten die de drijvers hebben afgelegd zijn weergegeven in Figuur 20. De luchtfoto van de omgeving is niet genomen op een van de data in Tabel 14, maar komt qua stromingsomstandigheden het dichtst in de buurt van de situatie op 22 oktober. De meting op 22 oktober is ook representatief voor de fase in het stuwbeheer waarin alleen een spoeldebiet wordt doorgelaten. Deze fase geldt voor waterstanden bij Lobith lager dan 8,75 m+NAP, een situatie die gemiddeld voorkomt gedurende 39% van de tijd waarin stuw Driel in bedrijf is en de vispassage dus moet functioneren.

Figuur 20

Drijvermetingen vispassage stuw Driel.



De trajecten die de drijvers afleggen zijn conform de verwachting, gegeven de afvoerverhouding tussen vispassage en hoofdstroom. Op 25 maart (groene lijnen) was de rivierafvoer relatief hoog en drukt de stroming de drijvers tegen de oever. Op 22 oktober (blauwe lijnen) was de rivierafvoer juist laag en blijven de drijvers dicht bij de stuw. Doordat er weinig stroming is komen de drijvers soms in neren terecht en draaien daar rondjes. De situatie op 1 april neemt een middenpositie in, zowel qua afvoer als de trajecten van de drijvers. Geen van de drijvers bereikt de andere oever, wat doet vermoeden dat ook de lokstroom daar niet merkbaar is, zelfs niet bij lage rivierafvoer.

De uitstroomopening van de vispassage bij Driel heeft een bijzondere vormgeving, in die zin dat er twee uitstroomopeningen lijken te zijn, gescheiden door een klein eilandje. De linkertak in Figuur 21 is de eigenlijke uitstroomopening van de vispassage. Hierdoor stroomt het merendeel van de afvoer, de tak is zo dicht mogelijk bij de stuw gesitueerd, en dit is dan ook bedoeld als inzwemopening voor de vis. De rechertak in Figuur 21 is uitsluitend aangelegd uit landschappelijke overwegingen en heeft voor vismigratie geen functie. Deze tak is onder water nagenoeg afgesloten door een dam die loopt van de oever naar het eilandje. De kruin van de dam ligt op geringe diepte onder stuwpeil. Optisch lijken dit gelijkwaardige takken en aan deze illusie lijkt ook de meetploeg ten prooi te zijn gevallen, want bij de metingen van maart en april zijn de drijvers losgelaten in deze nagenoeg afgesloten tak. Omdat er over de onderwaterdrempel wel enige stroming staat, werden de drijvers toch de rivier op gevoerd. Bij de meting in oktober werden

de drijvers meer bovenstrooms in de vispassage losgelaten, en dan blijken de drijvers inderdaad de hoofduitstroomopening naar buiten te volgen.

De stroming over de onderwaterdrempel kan vissen de vispassage in lokken, maar de drempel is vervolgens een barrière voor verdere migratie. De afvoerhouding tussen beide takken is niet bekend, maar is een functie van de waterstand benedenstrooms van de stuw. Bij hogere waterstanden zal de verdeling meer gelijkwaardig zijn, en is trouwens ook de onderwaterdrempel voor de vis makkelijker passeerbaar.

Figuur 21

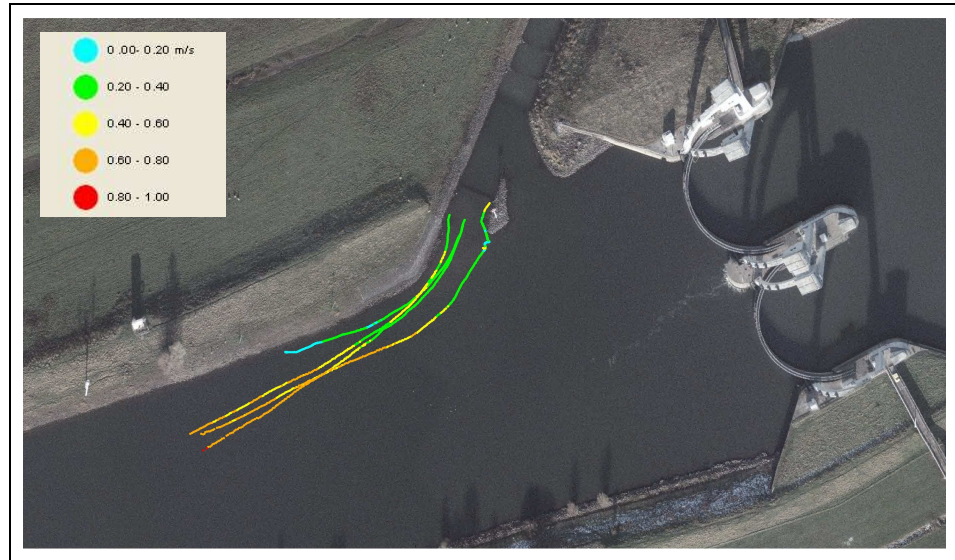
Uitstroomopeningen
vispassage stuw Driel.



Behalve de positie is uit de radarmetingen ook de snelheid van de drijvers te bepalen door de afgelegde weg te delen door het bijbehorende tijdsinterval. Om fluctuaties enigszins uit te middelen, is de snelheid bepaald over een interval van 6 seconden. Het blijkt dat bij hoge rivierafvoer de snelheid aan de oever ca. 0,2 m/s bedraagt en verder van de oever af ca. 0,6 m/s (Figuur 22). Deze waarden komen goed overeen met de stroomsnelheden aan het wateroppervlak die bij deze afvoer en waterstand verwacht mogen worden.

In de vispassage zelf bedraagt de stroming in de as 0,9 m/s en dicht bij de oever 0,5 m/s (Figuur 24). Dit zijn snelheden in het bekken bij verdronken drempels, en daarom lager dan de stroomsnelheden boven de drempel zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4. Zodra de drijvers op de rivier komen neemt de snelheid af tot ca. 0,2 m/s. Ook dit is representatief voor de stroomsnelheid aan het wateroppervlak die bij speeldebiet verwacht mag worden.

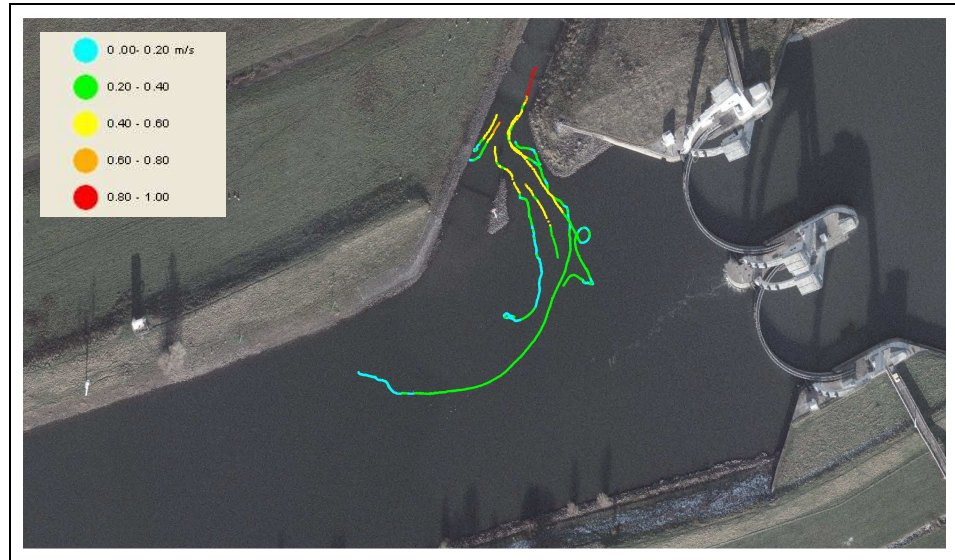
Figuur 22
Stroomsnelheden drijvers
25 maart 2003.



Figuur 23
Stroomsnelheden drijvers
1 april 2003.



Figuur 24
Stroomsnelheden drijvers
22 oktober 2003.



Met een fijnmazig 2D-hydraulisch WAQUA-model is getracht het stromingspatroon benedenstrooms van de stuw in beeld te brengen (ref. 1), daarbij gebruikmakend van de drijvermetingen als ijkingsmateriaal. Ook is gekeken wat een 3D-model in TRIWAQ toevoegt aan de beschrijving van het stroombeeld. Het doel van deze modelberekeningen was het inzichtelijk maken van het hydraulisch gedrag van de samenvloeiing van vispassage en Nederrijn bij stuw Driel voor niet-gemeten situaties. Op basis daarvan zouden dan aanbevelingen gedaan moeten worden voor het verbeteren van de werking van de vispassage door het aanpassen van de geometrie en/of het stuwbeheer.

De modelberekeningen hadden een experimenteel karakter, wat onder meer tot uitdrukking kwam in de sterk vereenvoudigde geometrie waarmee de stuw en vispassage waren geschematiseerd. Dit laatste was er mede de oorzaak van dat de drijvermetingen met het 2D-model niet bevredigend konden worden gereproduceerd, vooral bij lage rivierafvoeren. Modelleren in 3D biedt meer perspectief, maar is in het kader van dit project niet volledig uitgewerkt. Vanwege de modelmatige beperkingen leiden de uitgevoerde modelberekeningen niet tot aanbevelingen voor het optimaliseren van de vispassage.

5.4

Conclusies

Het uitzetten van drijvers met radarreflectoren is een snelle methode die veel informatie geeft over het stromingspatroon in de benedenloop van de vispassage en de aansluitende rivier. Wel moet bedacht worden dat een drijver aan het wateroppervlak niet met dezelfde snelheid beweegt als een waterdeeltje lager in de waterkolom. Er is variatie in stroomsnelheid over de diepte en de drijvers zijn windgevoelig. De resultaten kunnen dus niet zonder meer geïnterpreteerd worden als lokstroom.

Zelfs onder de gunstigste omstandigheden komen de drijvers bij Driel maar tot halverwege de rivier. De voorzichtige conclusie is dat ook de lokstroom niet veel verder reikt. Bij Amerongen en Hagestein is afvoerverhouding vispassage /

hoofdstroom meestal ongunstiger dan bij Driel, zodat gevreesd moet worden dat de vindbaarheid van de vispassage voor die locaties kleiner is.

Vismigratie is het meest gebaat bij een geconcentreerde stroming uit de vispassage. De gevorkte uitstroomopening van de vispassage bij Driel is in dat opzicht dan ook niet optimaal. Hoewel een van beide takken nagenoeg afgesloten is, stroomt een deel van het debiet uit de vispassage toch hierlangs af. De lokstroom wordt hierdoor diffuser en de onderwaterdrempel vormt een barrière voor de vis. Dit is eventueel te verhelpen door de kruin van de onderwaterdrempel te verhogen tot boven de waterspiegel en de drempel zelf waterdoorlatend te maken, voor zover deze dat al niet is. De verwachting is echter dat de verbetering van de prestaties van de vispassage niet opwegen tegen deze maatregelen, zie ref. 3.

6 Samenvatting en conclusies

In de voorgaande hoofdstukken is een beschrijving gegeven van de hydraulische metingen die zijn uitgevoerd in en om de drie vispassages in de Nederrijn-Lek. Doel van de metingen was om in samenhang met visbemonsteringen de werking van de vispassages te evalueren en eventueel aanbevelingen te doen voor verbeteringen. De vispassages zijn uitgevoerd als bekkentrap met een type drempel dat nog niet eerder is toegepast. De hydraulische metingen dienden daarom tevens om de ontwerpuitgangspunten voor dit type drempel te verifiëren. Er zijn hydraulische metingen uitgevoerd naar vier parameters en de belangrijkste resultaten en conclusies worden hier puntsgewijs genoemd:

1. Afvoer via de vispassage:
 - a. De gemeten afvoer bij Driel klopt goed (+2%) met de ontwerpwaarden. Bij Amerongen (+25%) en Hagestein (+18%) is de afwijking groter, waarschijnlijk als gevolg van een iets andere uitvoering van de drempels als bij Driel.
 - b. Correctie van de afvoer door bijstelling van de drempels lijkt niet nodig. Uit de visbemonsteringen blijkt geen nadelig effect van de hogere afvoer op de migratie.
 - c. Metingen met een ADCP gemonteerd op een trimaran zijn een snelle en betrouwbare methode om de afvoer via de vispassage te bepalen.
2. Verval tussen de bekkens:
 - a. In overgrote meerderheid voldoet het verval tussen de bekkens aan de ontwerpwaarden.
 - b. Door stromingspatronen in het bekken is het verval gemeten direct over de drempel systematisch groter dan het verval tussen het midden van de bekkens.
 - c. De meest bovenstroomse drempels van alle vispassages hebben een groot verval doordat de stroming daar nog niet 'getrechterd' is rond de as van de vispassage. Eenzelfde verschijnsel doet zich voor bij drempels aan de benedenstroomse zijde van een zeer lang bekken.
 - d. Bij Driel en Amerongen ligt een aantal drempels dicht op elkaar, waardoor de turbulentie niet voldoende kan uitdempen. Dit vertaalt zich in een relatief groot verval over één of meer drempels bovenstrooms van dit traject.
 - e. Ondanks de gevonden afwijkingen blijkt uit visbemonsteringen geen nadelig effect ervan op de vismigratie. Aanpassing van de drempels is dan ook niet nodig.
 - f. Tachymetrie is een voldoende nauwkeurige methode om waterstandsverschillen tussen bekkens te bepalen.
3. Stroomsnelheden rond de drempel:
 - a. De gemeten stroomsnelheden komen qua orde van grootte goed overeen met de ontwerpwaarden.
 - b. Stroomsnelheidsmetingen rond de drempel zijn lastig uitvoerbaar en voegen weinig toe. In zijn algemeenheid wordt het uitvoeren van dit type metingen daarom niet aangeraden.

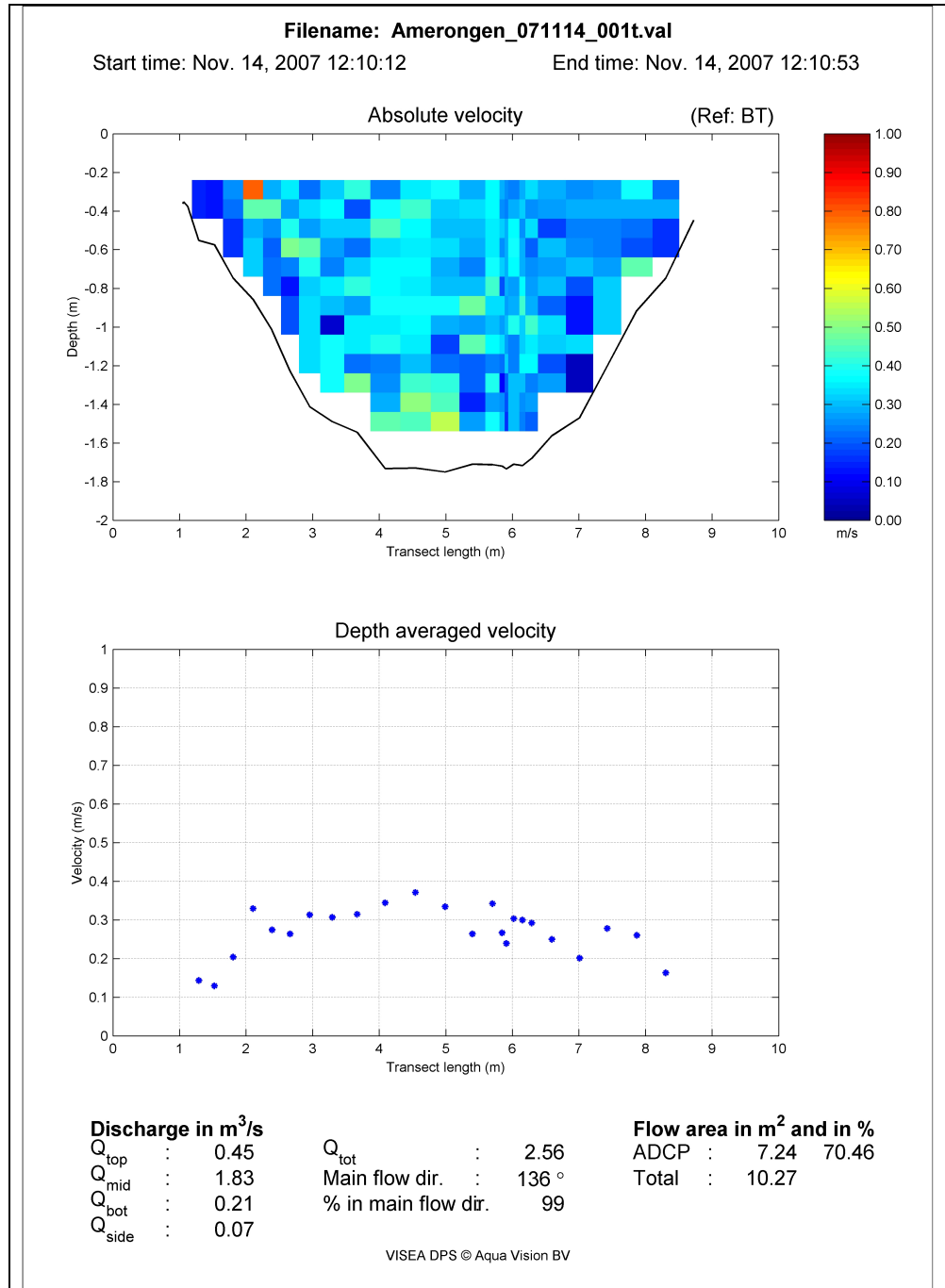
- c. Van de onderzochte meetinstrumenten is de Ott Nautilus C2000 voor dit doel het meest praktisch toepasbaar. De vraag in hoeverre dit elektromagnetische systeem wordt beïnvloed door het staal van de drempels staat echter nog open.
4. Stromingspatroon bij de uitstroomopening:
- a. Drijvermetingen zijn indicatief voor het stromingspatroon bij de uitstroomopeningen van een vispassage. De baan van de drijvers is echter niet zonder meer te interpreteren als de lokstroom.
 - b. De gevorkte uitstroomopening van de vispassage bij Driel verdunt de lokstroom en is daardoor niet bevorderlijk voor de vismigratie. Aanpassing van de geometrie is echter niet lonend gezien de naar verwachting geringe verbetering van de prestaties van de vispassage.
 - c. Met 2D- en 3D-modellen zijn berekeningen uitgevoerd naar het stromingsbeeld benedenstrooms van de stuw. Hoewel de methode veelbelovend is, is voor een praktische toepasbaarheid verdere ontwikkeling van het instrumentarium noodzakelijk.
 - d. Het volgen van drijvers met radar is een goed werkbare methode.

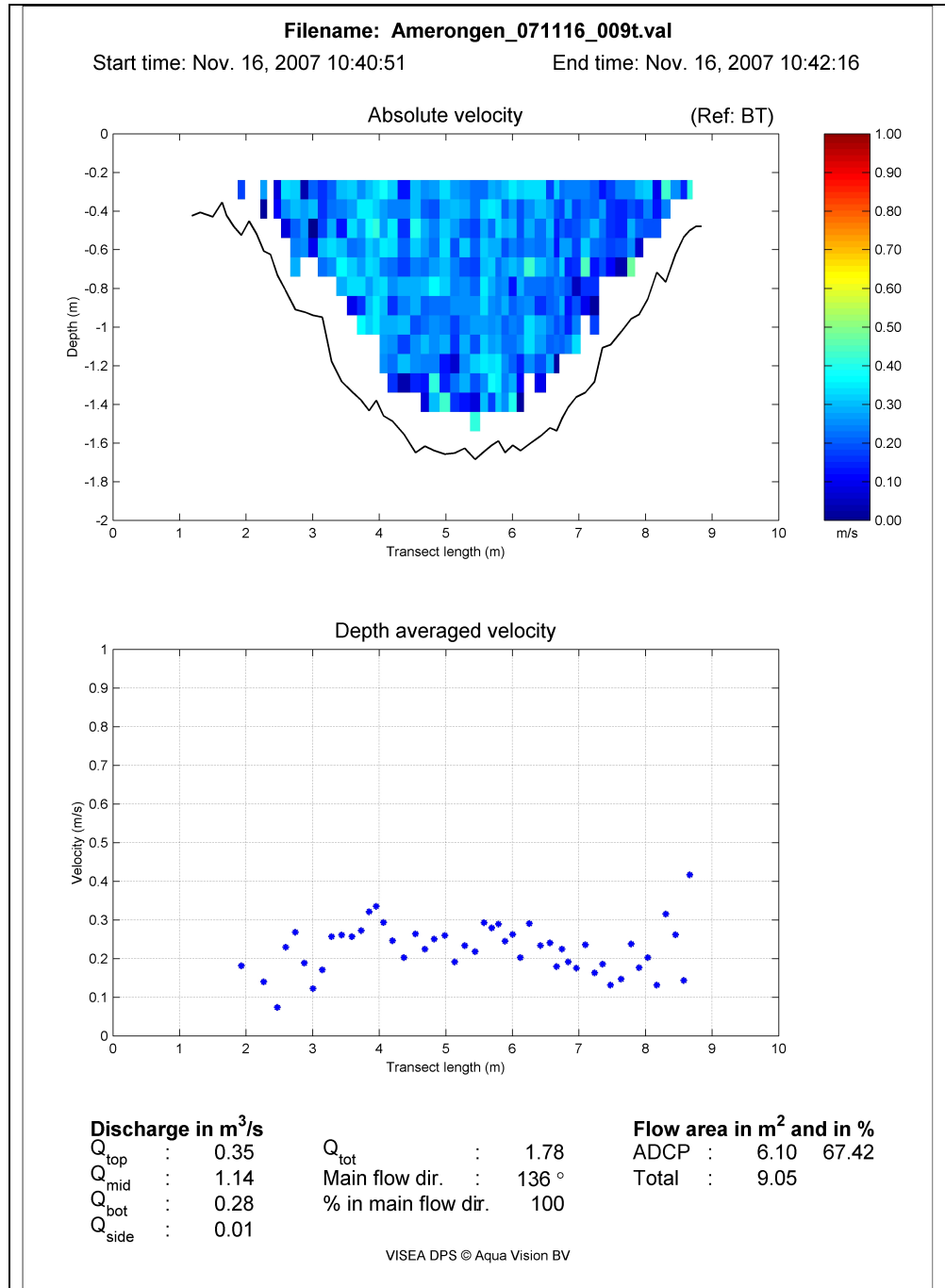
Referenties

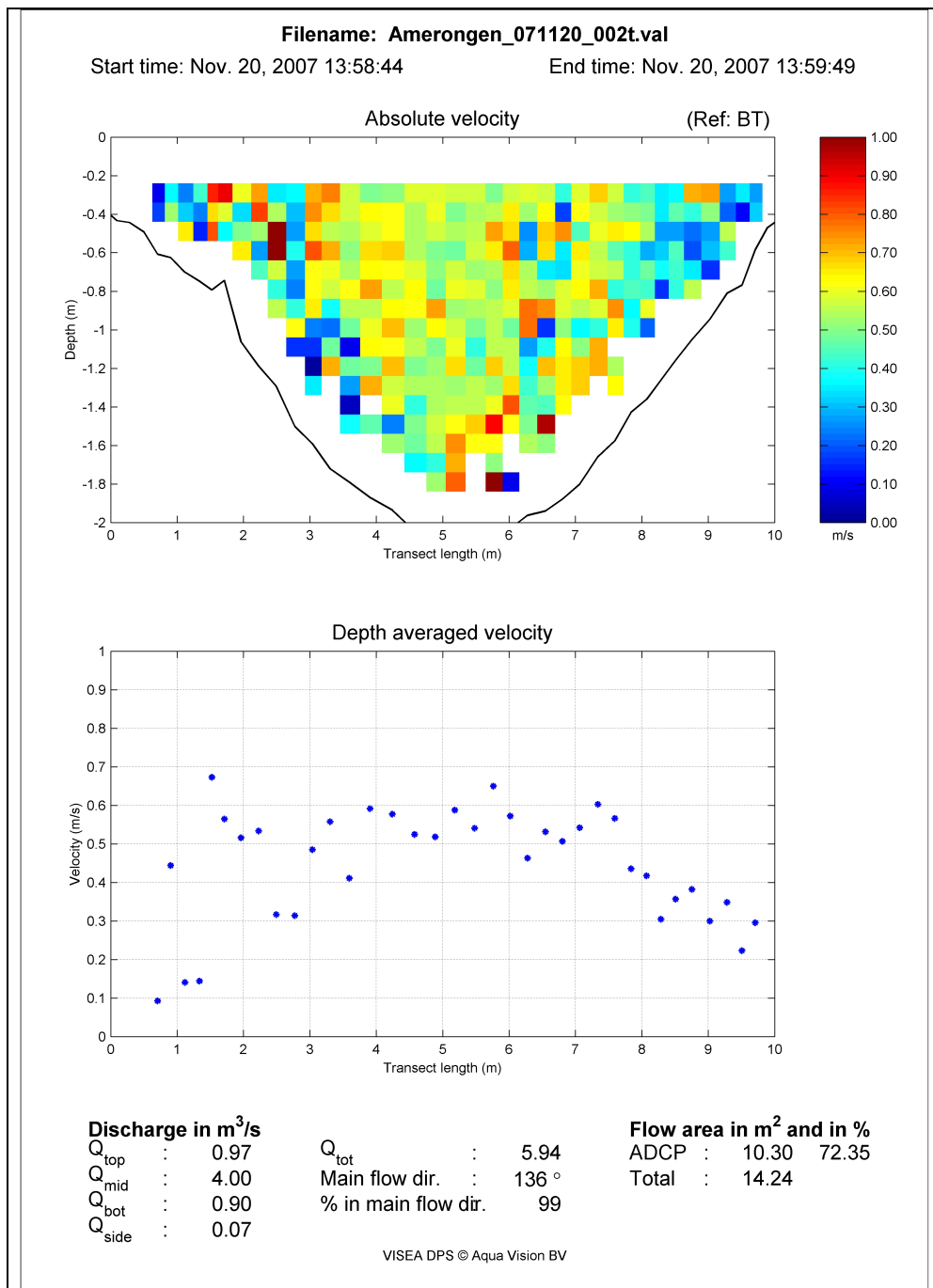
1. Acima (in prep.). Hydraulisch gedrag samenvloeiing van vistrap en Nederrijn bij stuw Driel.
2. Aqua Vision (2007). Afvoermetingen vispassages Amerongen en Hagestein, november 2007. Rapportnummer AV_DOC_070111.
3. Imares (2010). Evaluatie van de vistrappen in de Nederrijn-Lek. Rapportnummer C064/10.
4. Rijkswaterstaat Oost-Nederland (2003). Stroomsnelheidsmetingen vistrap Driel. De resultaten van een klein jaar proefdraaien. Interne notitie Meet- en Informatiedienst, projectnummer 2003-1529.
5. Rijkswaterstaat RIZA (1997). Een nevengeul als vispassage om stuw Driel. RIZA-rapport 97.079.
6. Rijkswaterstaat RIZA (2002). Hydraulische monitoring vispassage Driel. Werkdocument 2002.172X.
7. Rijkswaterstaat RIZA (2004). Monitoringsplan ecologisch en hydraulisch functioneren van de vispassages in de Nederrijn en Lek (2004-2007). Interne notitie.
8. WL | Delft Hydraulics (1998). Samengestelde overlaten vispassage Driel, Amerongen en Hagestein. Bureaustudie, rapport Q2393.

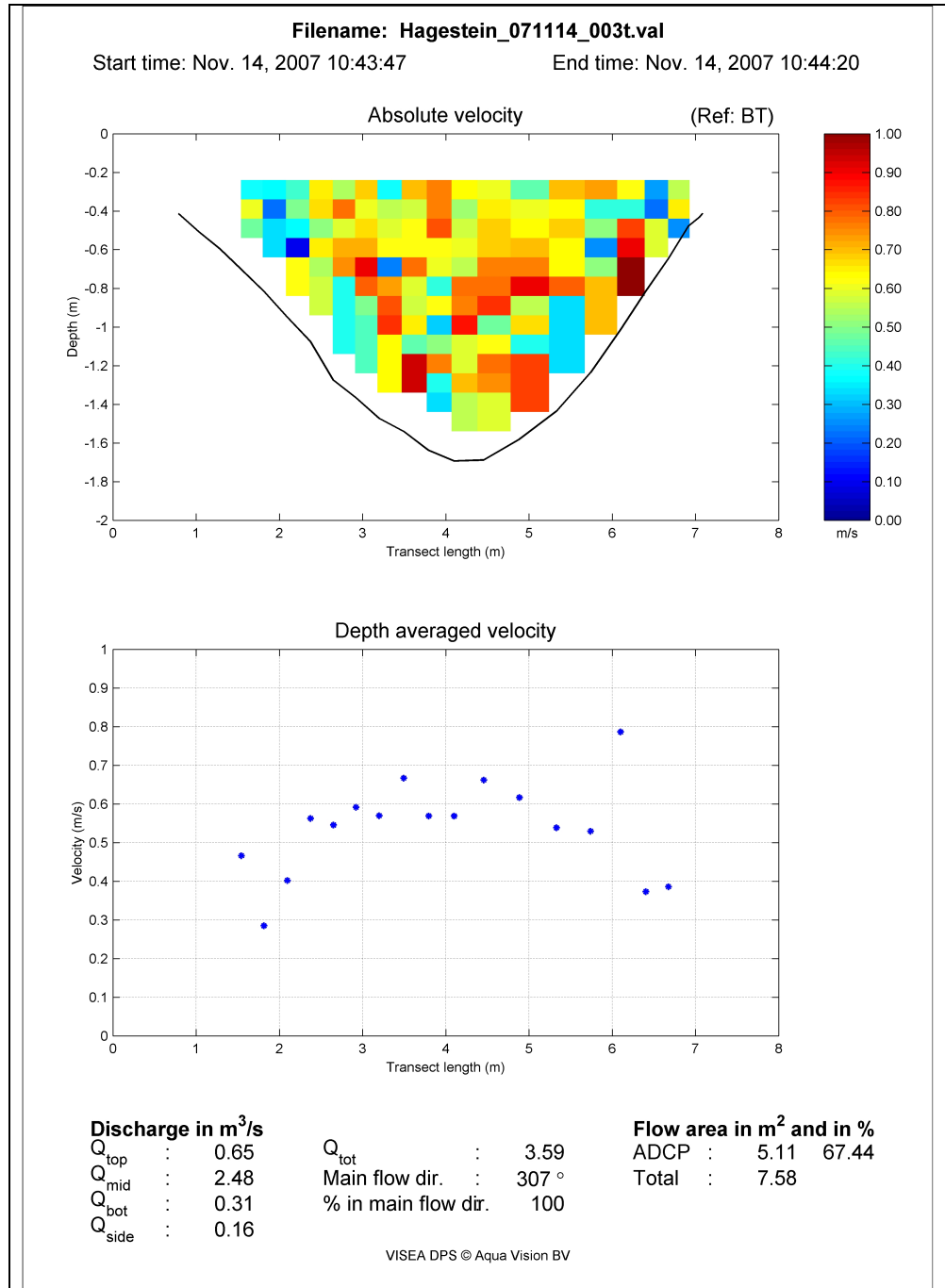
Bijlage A

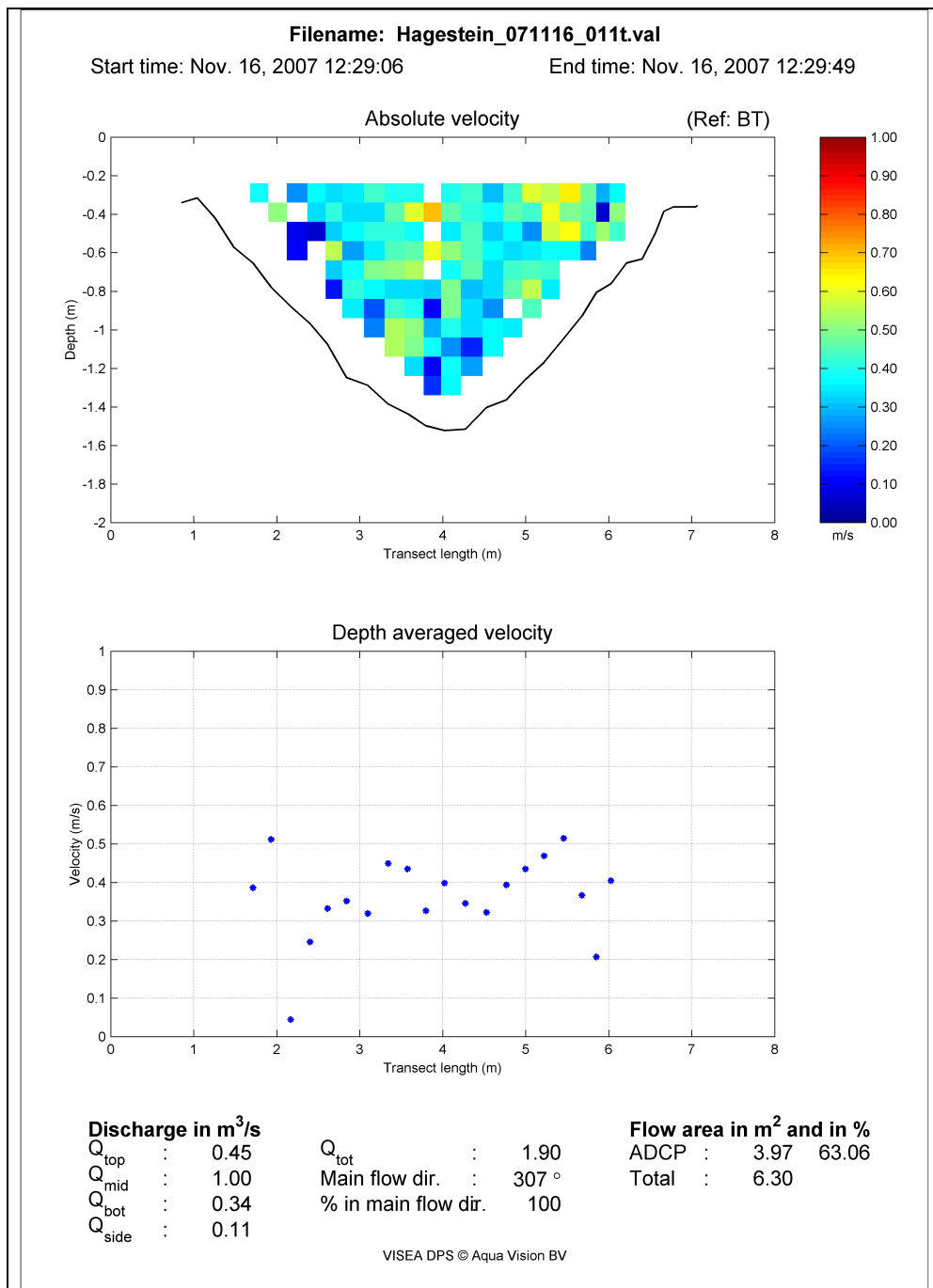
Enkele karakteristieke snelheidsprofielen uit afvoermetingen

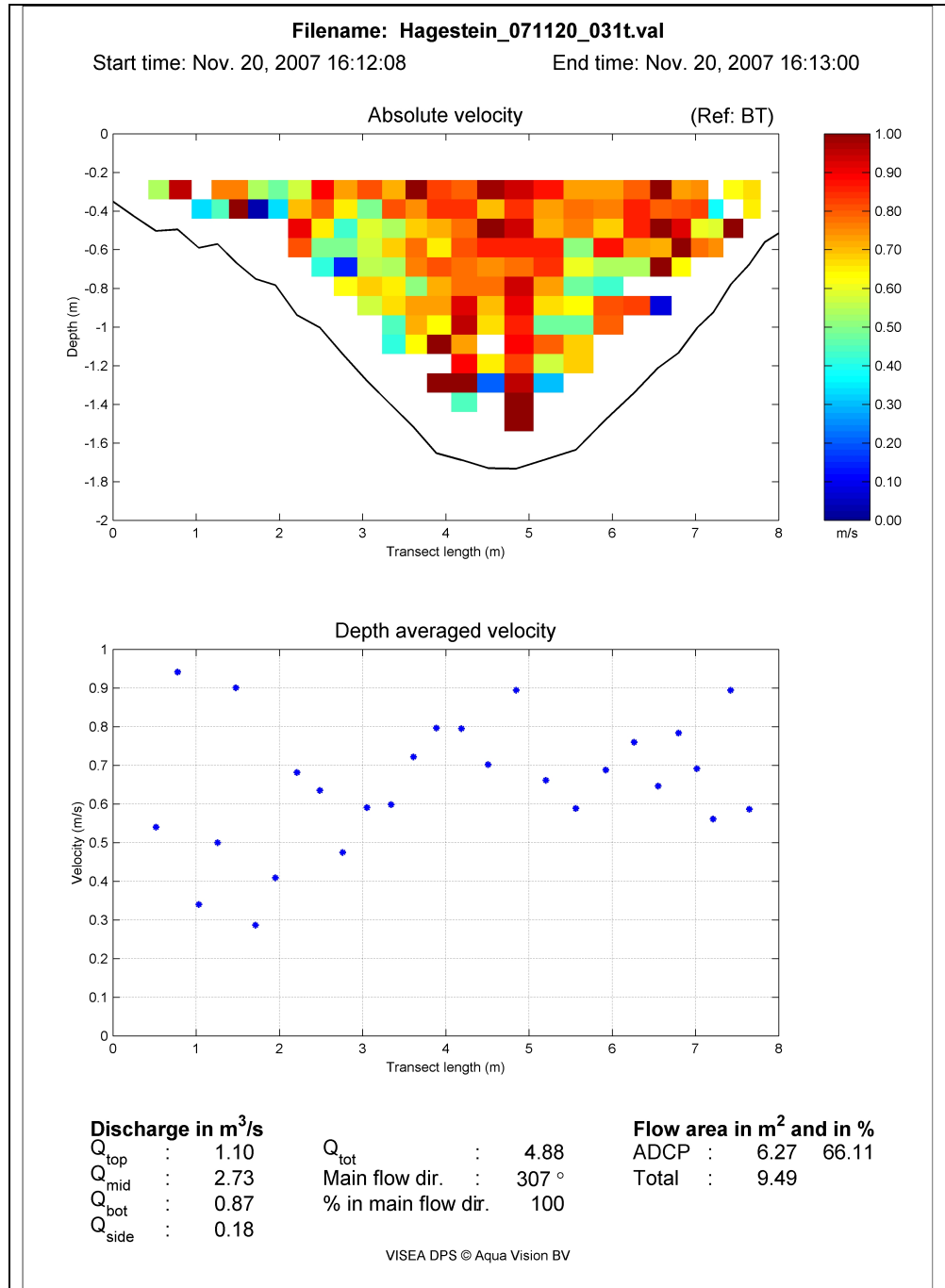








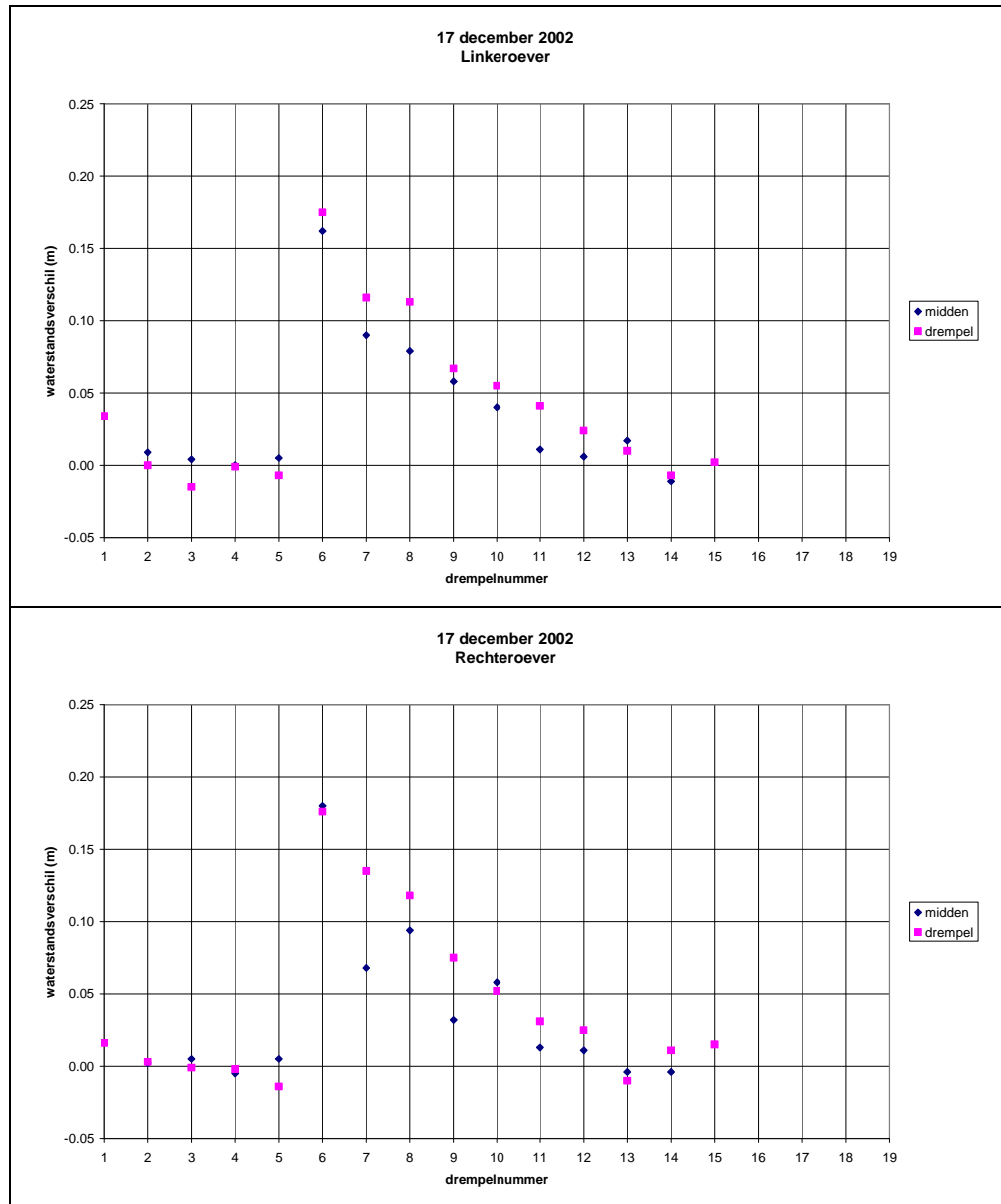




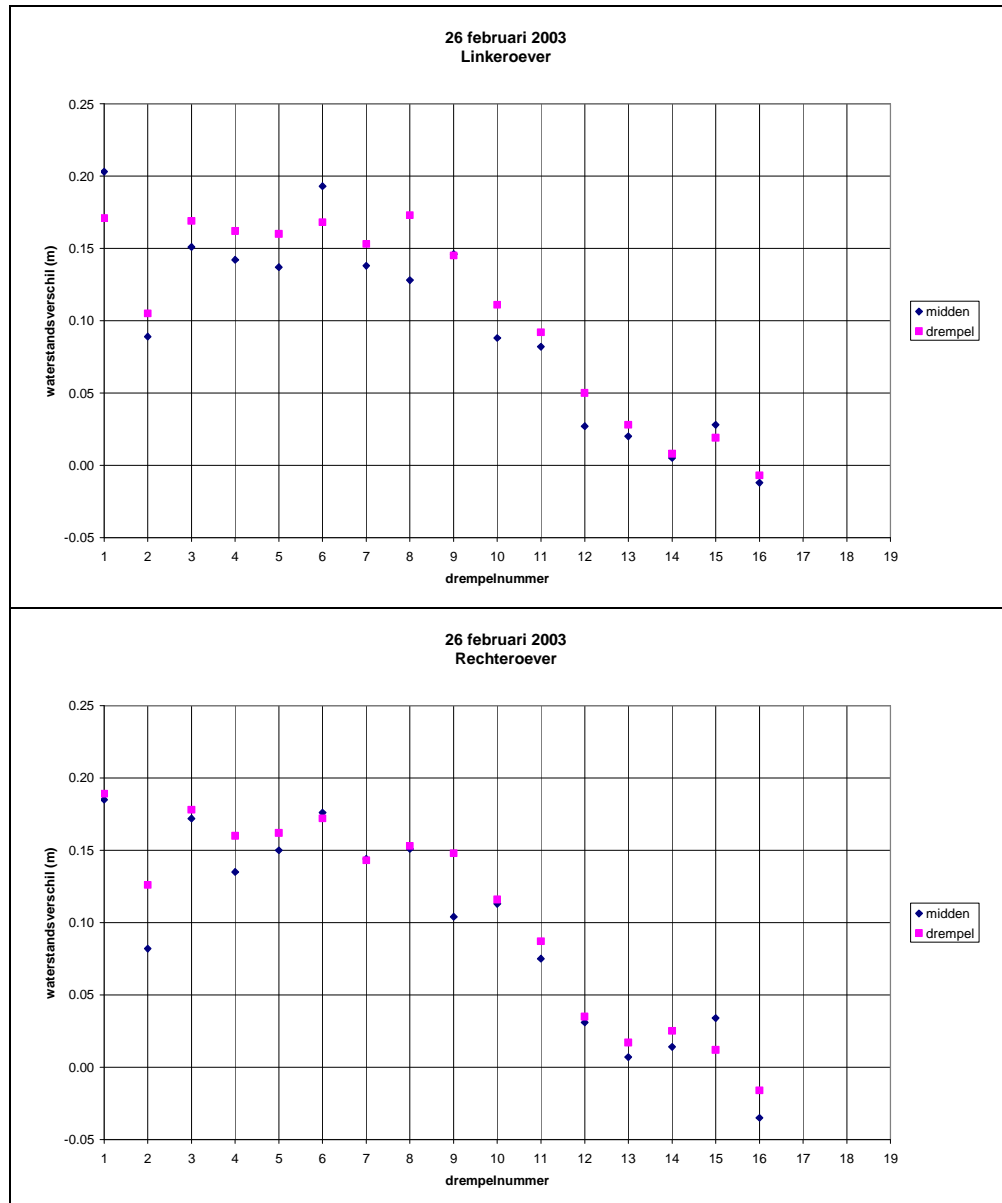
Bijlage B

Basisgegevens van de vervalmetingen

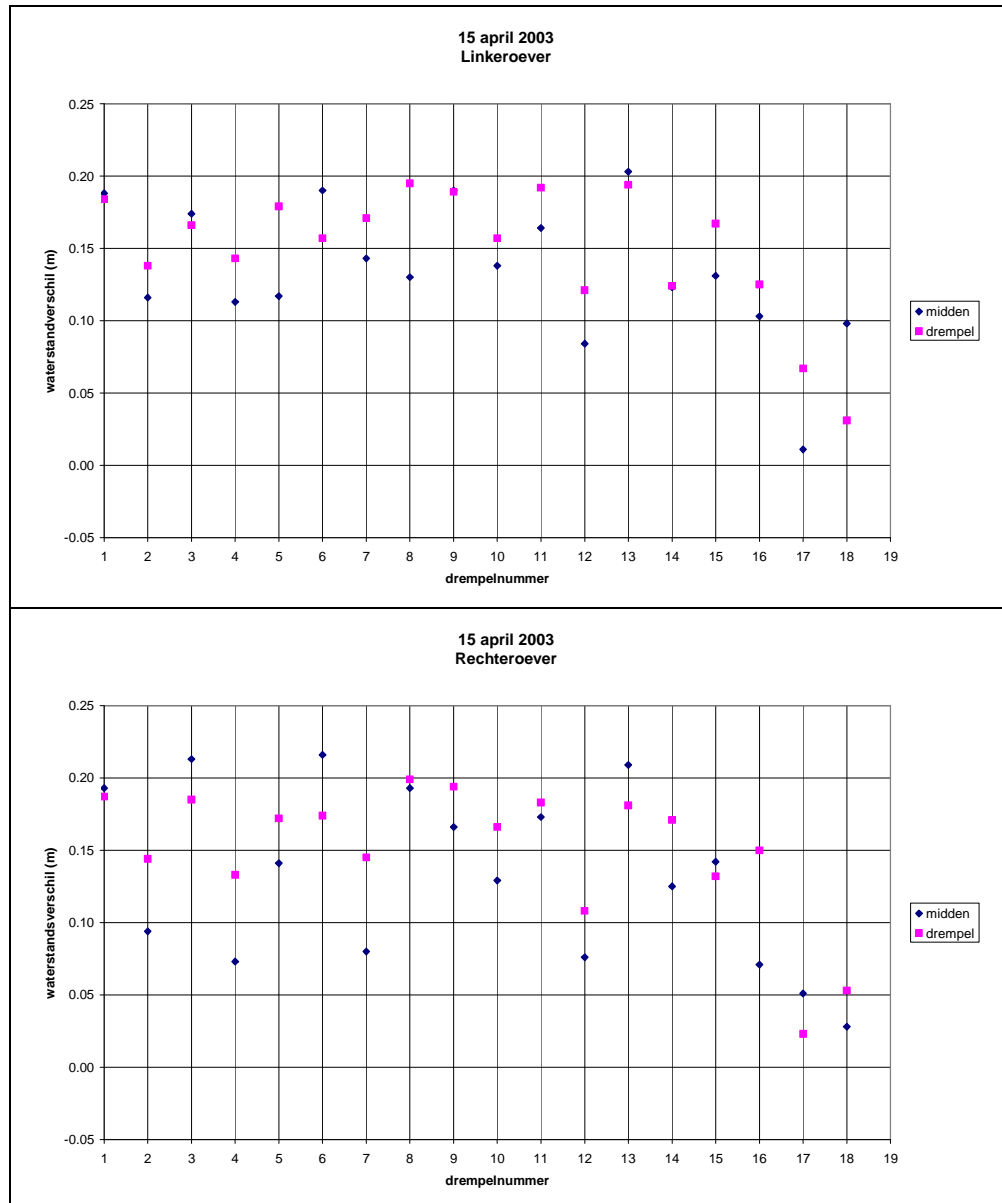
1) Driel - 17 december 2002



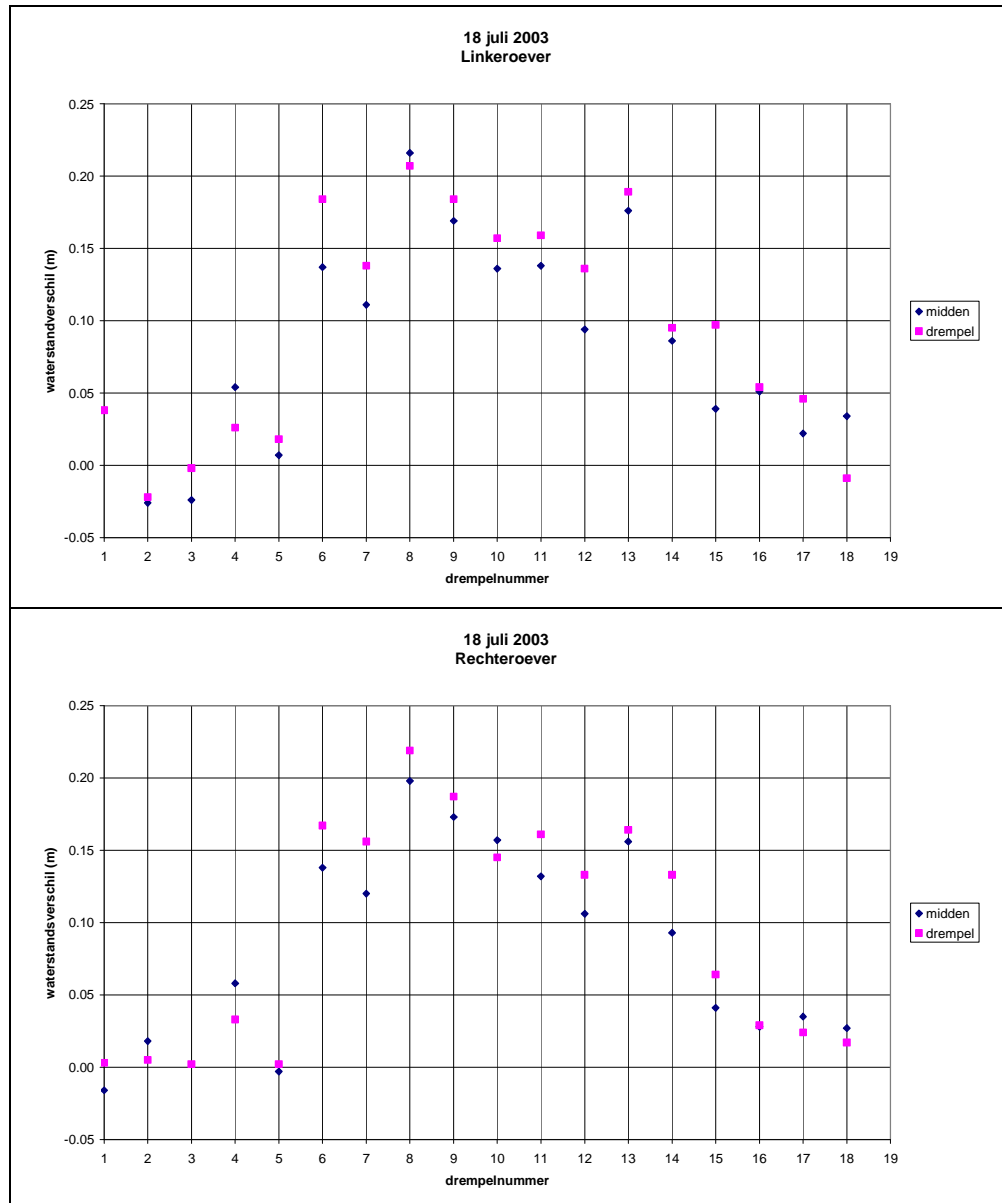
2) Driel – 26 februari 2003



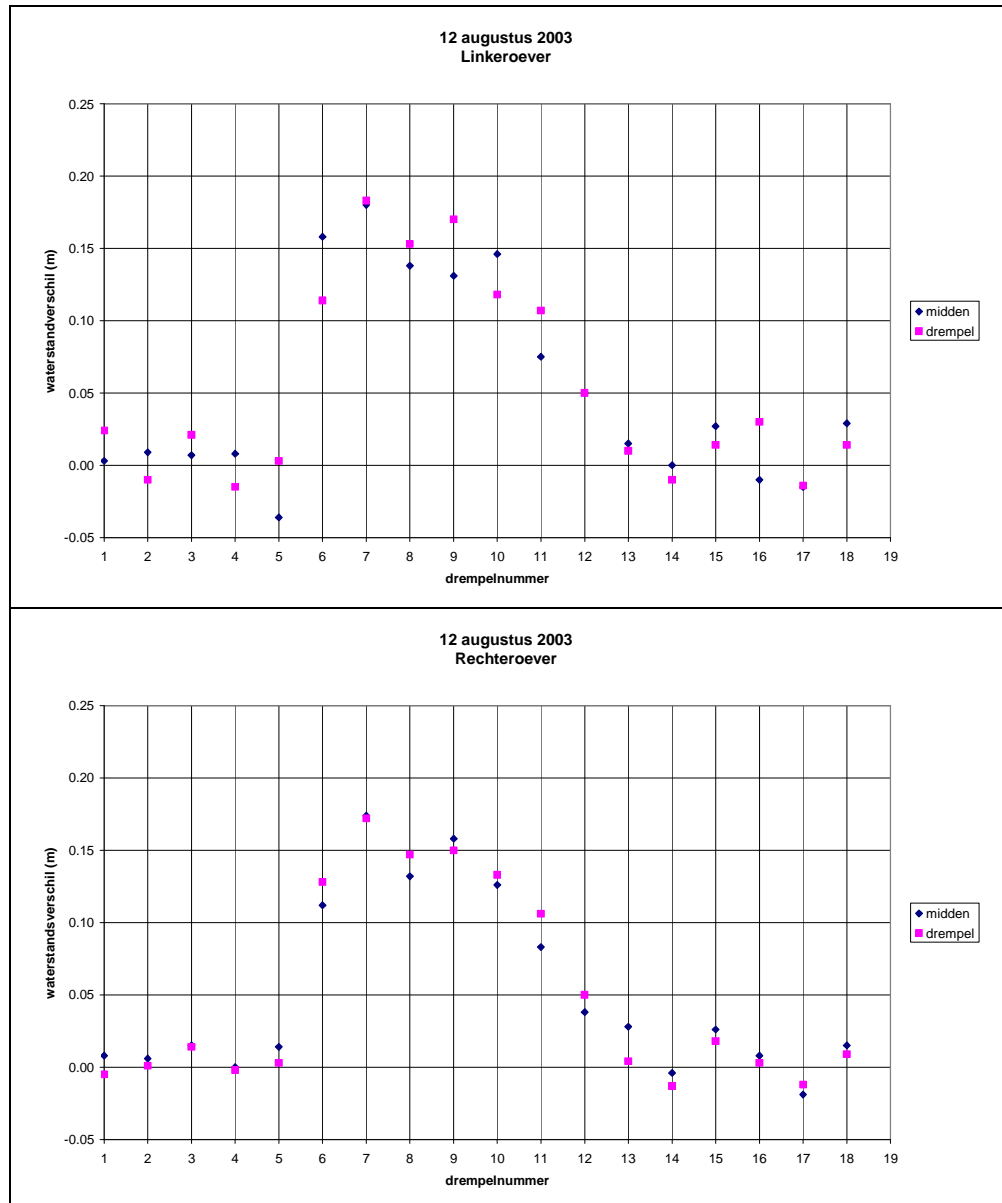
3) Driel – 15 april 2003



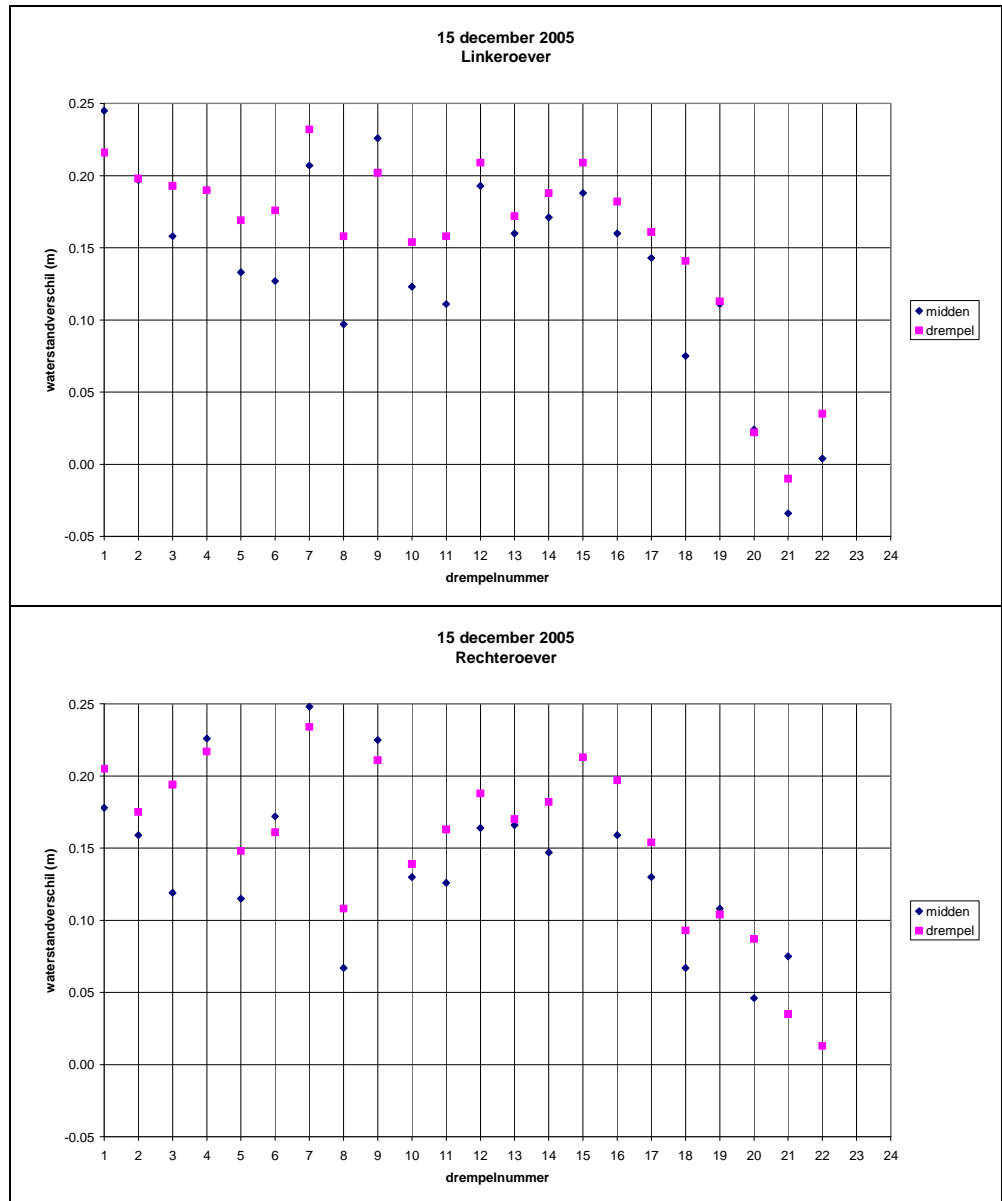
4) Driel – 18 juli 2003



5) Driel – 12 augustus 2003



6) Amerongen – 15 december 2005



7) Hagestein – 31 januari 2006

