

# IJking Reinkstuw in de Buurserbeek

A. Dommerholt en W. Boiten

## Rapport 117

Sectie Waterhuishouding  
Nieuwe Kanaal 11  
6709 PA Wageningen  
Internet: [www.dow.wau.nl/whh](http://www.dow.wau.nl/whh)

ISSN 0926-230X

1604559

## **INHOUDSOPGAVE**

	<b>blz.</b>
<b>1. Inleiding</b>	1
<b>2. Beschrijving Reinkstuw</b>	2
<b>3. Historische gegevens</b>	8
<b>4. Modelonderzoek</b>	10
4.1 Bespreking metingen en meetresultaten model 1:3	10
4.2 Bespreking metingen en meetresultaten model 1:10	12
4.3 Koppeling modellen 1:3 en 1:10	19
<b>5. Vergelijking met oude afvoerrelaties</b>	20
<b>6. Metingen met huidige bovenstroomse dwarsprofiel</b>	22
<b>7. Nauwkeurigheid in de bepaling van het debiet</b>	24
<b>8. Resumé en aanbevelingen</b>	26
 <b>Fotobladen</b>	 28

## 1. Inleiding

Op 20 december 2001 verleende het Waterschap Rijn en IJssel, per brief 01.12653, opdracht aan de Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit, tot ijking van de Reinkstuw in de Buurserbeek bij Buurse.

De opdracht was conform de offerte 02.084 AD/ah d.d. 19 maart 2002, waarin werd geadviseerd de afvoerrelatie van het aflatwerk te bepalen met behulp van een modelcalibratie met twee modellen:

- een detailmodel, schaal  $n_t = 3$ , waarin de helft van het lage gedeelte van de overstortdrempel tot een hoogte van 0,375 m boven de drempel is gebouwd tussen verticale wanden. Het meetbereik is  $0,06 \text{ m} < h_1 < \text{ca. } 0,30 \text{ m}$ , alleen voor ongestuwde afvoer, waarbij  $h_1 = \text{overstorthoogte} = \text{waterhoogte}$  boven het laagste gedeelte van de drempel, gemeten op ca. 9 m bovenstrooms van de drempel.
- een overzichtsmodel, schaal  $n_t = 10$ , waarin de gehele stuw is gebouwd, inclusief een gedeelte van het bovenstroomse en benedenstroomse pand. Het bereik is  $0,25 \text{ m} < h_1 < \text{ca. } 1,90 \text{ m}$ , voor zowel ongestuwde als gestuwde afvoeren.

De ijking van de Reinkstuw heeft plaats gevonden in het hydraulica laboratorium van de Sectie Waterhuishouding in gebouw "De Nieuwlanden" te Wageningen.

Voorafgaand en tijdens het onderzoek is er enige keren overleg geweest met mw. Taminiau en mw. Otten, en zijn er door het waterschap aanvullende waterpassingen uitgevoerd van de stuw zelf en van dwarsprofielen boven- en benedenstrooms van de stuw.

Het gehele onderzoek stond onder leiding van Anton Dommerholt, medewerker bij de Sectie Waterhuishouding van Wageningen Universiteit.

## 2. Beschrijving Reinkstuw

De Reinkstuw is een vaste drempel uitgevoerd in beton en metselwerk, tussen de landhoofden van een brug over de Buurserbeek. Het laagste gedeelte van de drempel is in vooraanzicht trapeziumvormig met een bodembreedte van 4,50 m en bij aanleg een kruinhoogte van 30,82 m<sup>+</sup> N.A.P. (Fig. 2 en 3). Bij een waterpassing op 13 mei 2002 bleek deze hoogte echter 30,78 m<sup>+</sup> N.A.P. te bedragen. Het trapeziumvormige gedeelte reikt tot een hoogte van 1,00 m. De helling van de zijwanden bedraagt 1:2, zodat de breedte op 1,00 m hoogte 8,50 m bedraagt. Boven dit niveau wordt de drempel horizontaal. De breedte tussen de landhoofden bedraagt daar 11,00 m. Figuren 1,2 en 3 geven een beeld van de stuw, overgenomen van de bestekstekening van het Waterschap "De Schipbeek", bestek no. 18, "Ontwerp Rinksbrug", september 1937, gewijzigd november 1937.

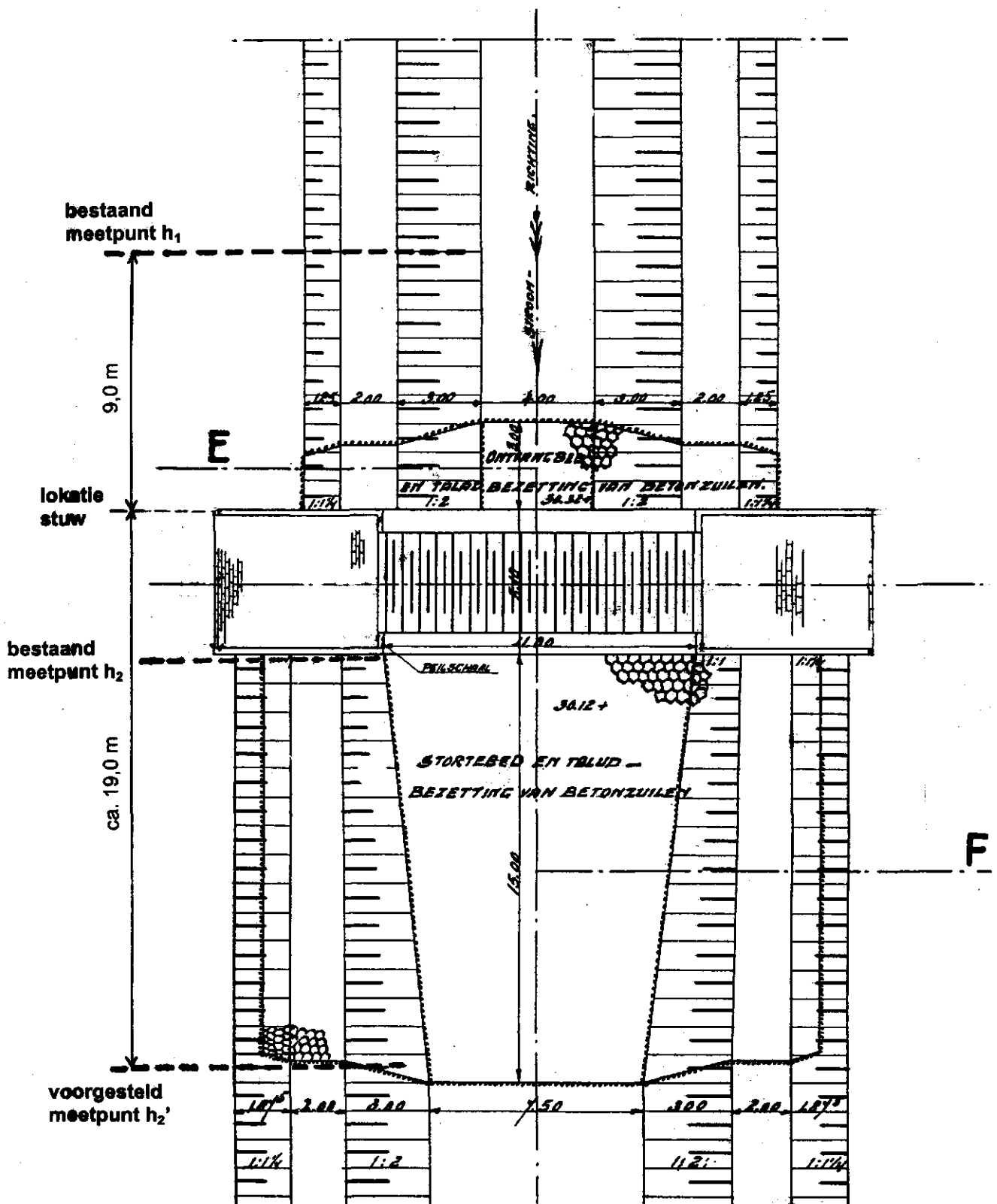
In figuur 4 zijn de dwarsprofielen direct bovenstrooms en benedenstrooms van de stuw aangegeven zoals dat er uit zag bij de aanleg. Het hele bovenstroomse dwarsprofiel is over een lengte van enkele meters bekleed met betonzuilen. In de loop der tijd is deze bekleding van betonzuilen in de taluds echter overdekt met grond en begroeiing, waardoor het talud vrijwel direct aansluit op de rand van de stuw en daar bij het horizontale gedeelte op 1 m hoogte zelfs zo hier en daar bovenuit steekt. Dit zal bij de wat hogere afvoeren ongetwijfeld invloed hebben op de afvoerrelatie. In figuur 5 is het dwarsprofiel direct bovenstrooms van de stuw getekend zoals dit is opgemeten op 13 mei 2002. Hierop wordt nog teruggekomen bij de bespreking van de meetresultaten en bij de aanbevelingen.

De waterhoogte bovenstrooms van de stuw wordt continu gemeten in een peilbuis op 9,00 m bovenstrooms van de stuw. De peilbuis staat met een verbindingspijp in verbinding met de bovenstroomse waterloop. De uitmonding van de verbindingspijp is, volgens tek. 774-20024-4 van Heidemij Nederland b.v. van februari 1976, loodrecht op de stroomrichting en "flush" met een betonnen bekleding in het talud. Deze uitvoering is volgens de daarvoor geldende richtlijnen in de betreffende ISO-standard (ISO 1100-1, "Inrichting en gebruik van een peilstation"). Dit is vooral van belang omdat de stroomsnelheden ter plaatse van het meetpunt bij de hogere afvoeren aanzienlijk zijn.

Het benedenstroomse meetpunt bevindt zich direct tegen de benedenstroomse zijde van het landhoofd van de brug. Het is niet geheel duidelijk waar zich precies de meetopening bevindt van dit meetpunt. Aangezien zich onder de brug een kleine woelbak bevindt, met een drempel aan het eind van het landhoofd, is de stroming bij het meetpunt extra turbulent met grote niveau schommelingen. Bovendien treden daar op korte afstand van elkaar aanzienlijke verschillen op in waterhoogte. Al met al is dit een bijzonder ongunstige plaats om de benedenstroomse waterstand te meten. Daarom is in het model nog een extra meetpunt

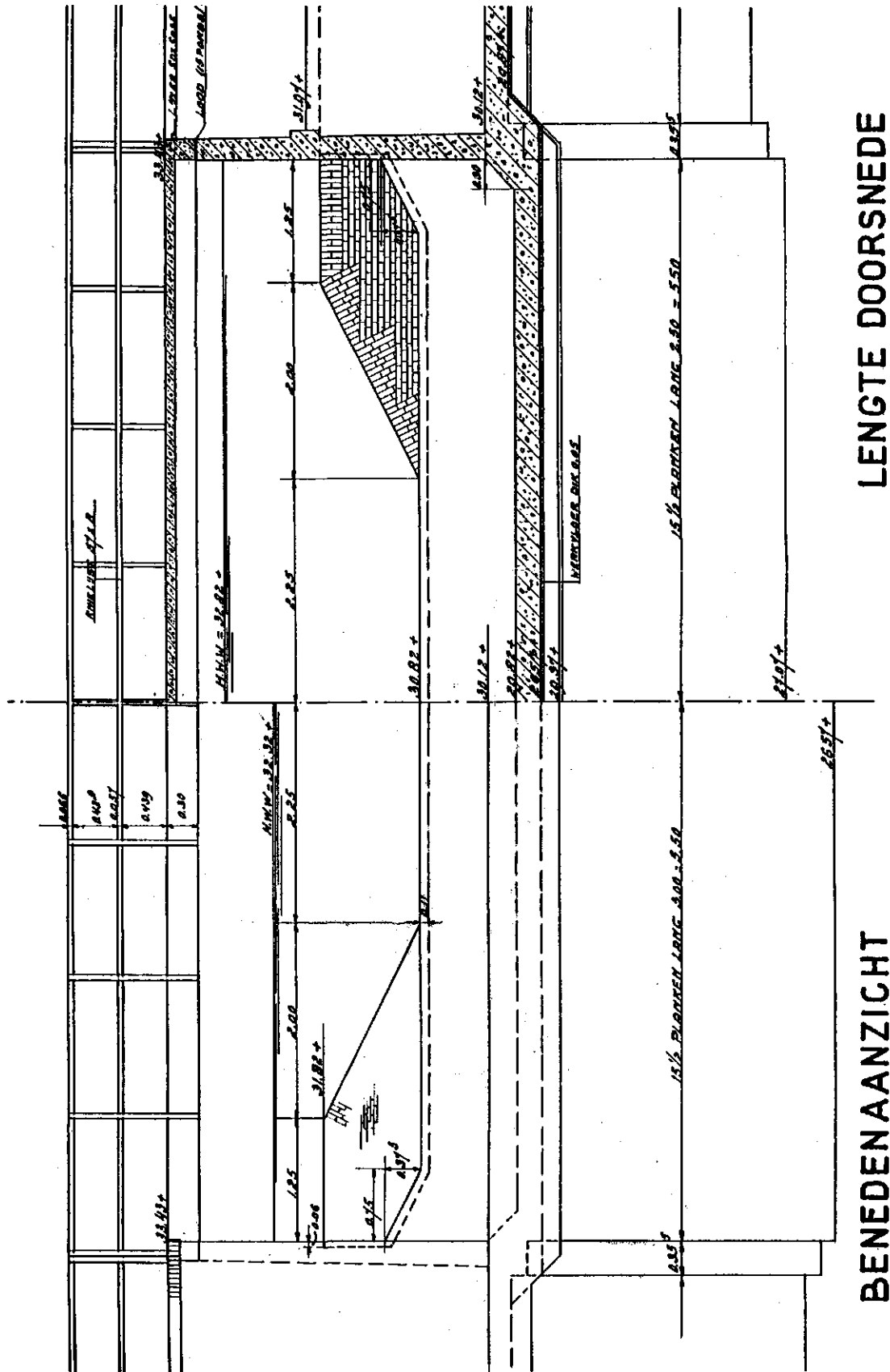
ingericht voor het meten van de benedenstroomse waterstand en wel op ca. 19 m (prototype) vanaf de drempel. Hoewel de stroming ook daar bij de hogere afvoeren behoorlijk onrustig is, is dit toch een betere lokatie voor het meten van de benedenstroomse waterstand. Bij de aanbevelingen zal hierop worden teruggekomen.

Fotoblad I geeft een indruk van de Reinkstuw.



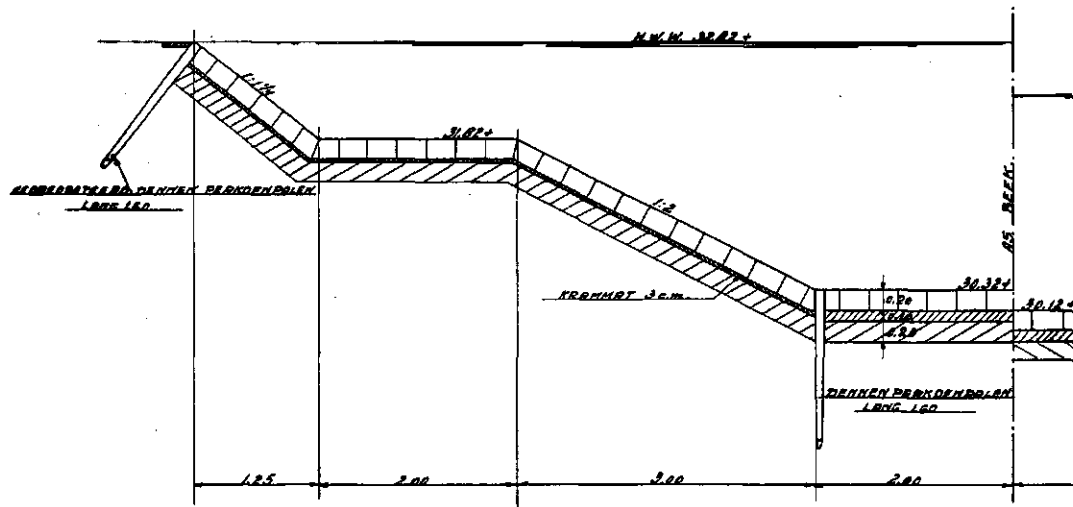
Figuur 1: Plattegrond (tek. 1937) met lokatie huidige en voorgestelde waterstandsmeeptunten.



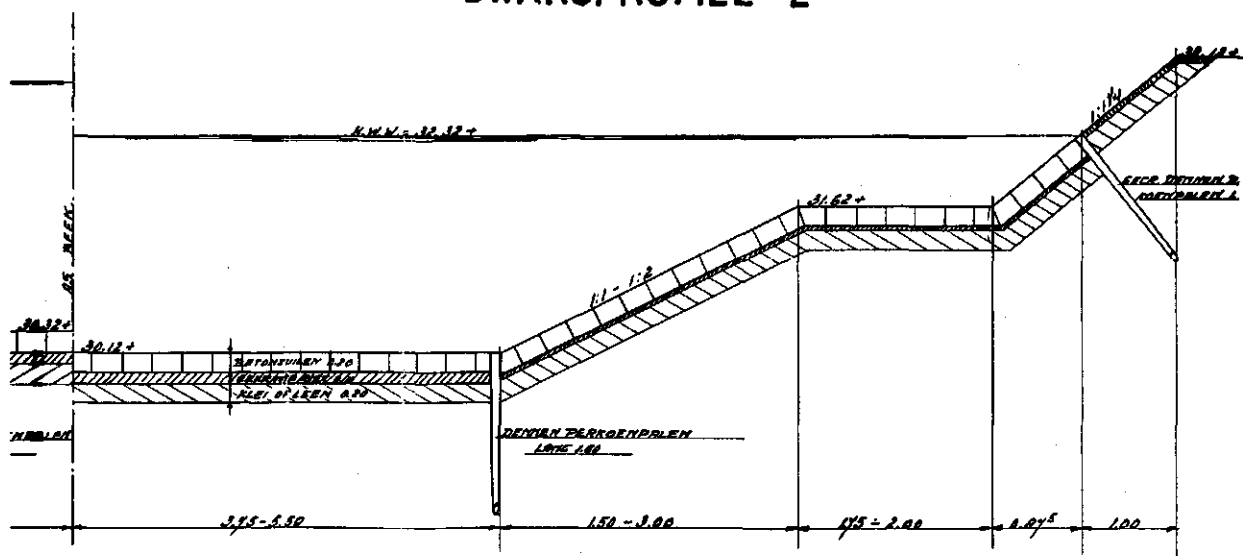


Figuur 3: Dwarsdoorsnede en benedenaanzicht



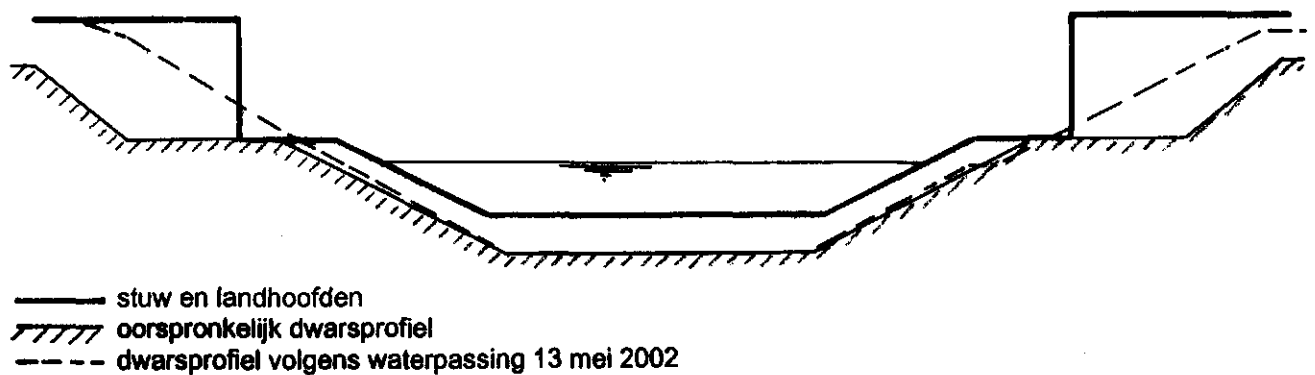


DWARSPROFIEL E



DWARSPROFIEL F.

Figuur 4: Oorspronkelijk bovenstrooms (E) en benedenstrooms (F) dwarsprofiel



Figuur 5: Huidige bovenstroomse dwarsprofiel in vergelijking met oorspronkelijke

### 3. Historische gegevens

Vanaf 1938 worden bij de Reinkstuw waterstanden gemeten. Vanaf 1938 vond dit éénmaal daags handmatig zowel boven- als benedenstrooms plaats. Vanaf 1978 wordt bovenstrooms continu gemeten. De benedenstroomse waterstand wordt vanaf 3 november 1989 gemeten. Of in de periode 1978 tot 1989 benedenstrooms nog wel handmatig is gemeten is niet duidelijk. In 1991 is het meetpunt door de provincie overgedragen aan het waterschap.

#### *Gehanteerde afvoerrelaties:*

Een laatste ijking van het kunstwerk vond in 1983 plaats door Rijkswaterstaat. Hierbij is voor overstorthoogtes tot maximaal  $h=1,0$  m (overeenkomende met een bovenstroomse waterhoogte  $H_{\text{boven}} = 31,78 \text{ m}^+ \text{ N.A.P.}$ ) de volgende afvoerrelatie opgesteld:

$$Q = 13,053 h^{2,056+0,35\log(h)} \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

Het is niet bekend of voor  $h$  ook een ondergrens is aangegeven.

Voor overstorthoogtes  $h>1,0$  m – waarbij de zijvleugels dus overstromen – werd de volgende relatie toegepast:

$$Q = H_{\text{boven}} \times 22,001 - 686,25 \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

Hoe men aan dit rechtlijnig verband is gekomen is niet vermeld in de bij het waterschap aanwezige stukken. Een lineaire relatie kan niet juist zijn.

Of deze afvoerrelaties gelden voor ongestuwde afvoer is niet geheel duidelijk. Uit meetgegevens van het waterschap van 1-1-'92 t/m 24-6-'93 blijkt dat er een min of meer vaste relatie bestaat tussen de bovenstroomse en benedenstroomse waterstand :

$$H_{\text{beneden}} = 1,39 \times H_{\text{boven}} - 13 \text{ (} H_{\text{beneden}} \text{ en } H_{\text{boven}} \text{ in m}^+ \text{ N.A.P.)}$$

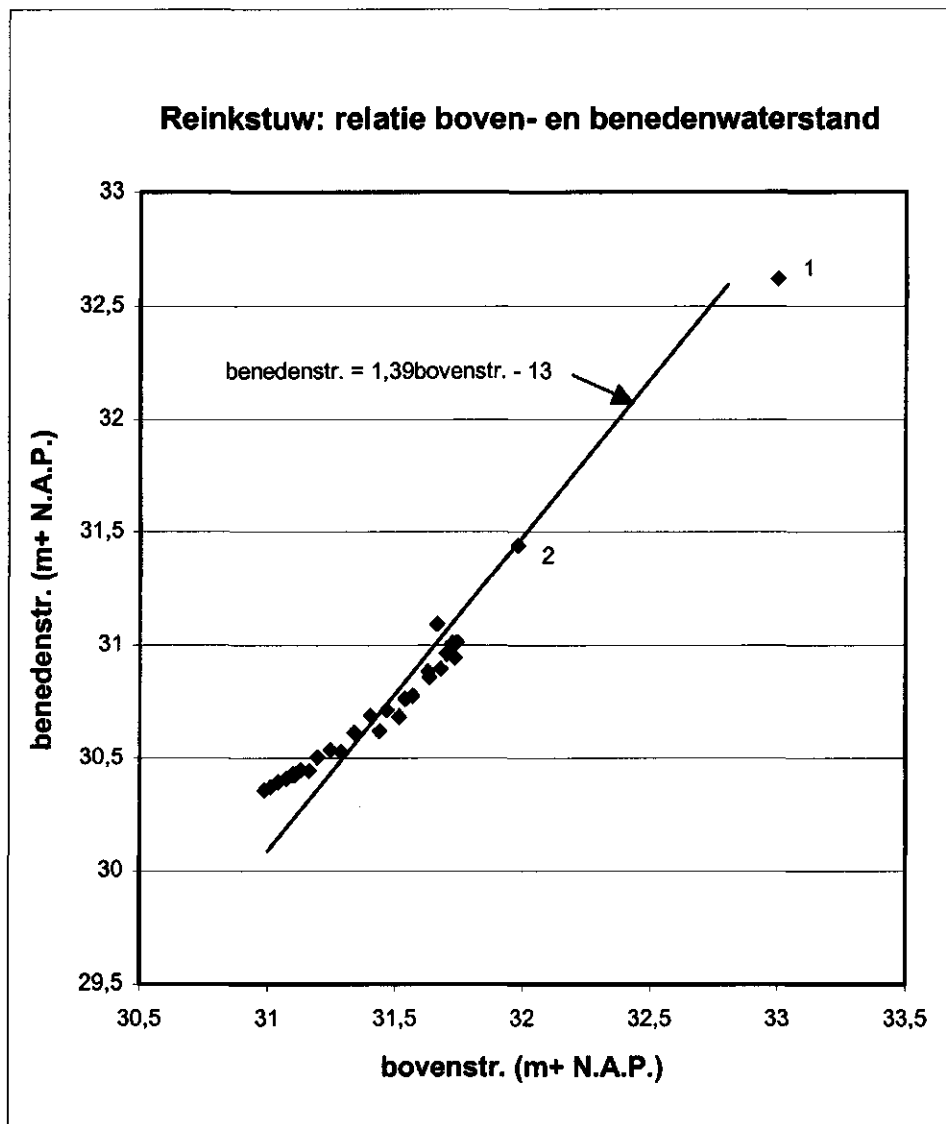
Dit houdt in dat bij een benedenstroomse waterhoogte van  $30,78 \text{ m}^+ \text{ N.A.P.}$  (drempelhoogte) de bovenstroomse waterhoogte  $31,50 \text{ m}^+ \text{ N.A.P.}$  zal bedragen. Dus vanaf een overstorthoogte van  $h = 31,50 - 30,78 = 0,72$  m bestaat er kans op verdrinking.

Dat er een min of meer vaste relatie tussen de twee waterhoogtes bestaat is waarschijnlijk, vanwege de aanwezigheid van een vaste drempel op ca. 450 m benedenstrooms van de Reinkstuw. De kruin van deze drempel bevindt zich op  $30,26 \text{ m}^+ \text{ N.A.P.}$ , is trapeziumvormig met een bodembreedte van 9,60 m en zijvleugels onder een helling van 1:1 (schatting).

De gemiddelde bodemhelling over deze 450 m bedraagt ca. 0,00055.

Met behulp van stuwkromme berekeningen is het mogelijk om met deze gegevens en nog enkele ontbrekende, zoals de ruwheid van de waterloop, de benedenstroomse waterstand bij de Reinkstuw globaal te berekenen bij een bepaald debiet. De vaste drempel zelf kan mogelijkerwijze ook weer verdrinken, zodat dat ook weer invloed heeft op de waterhoogte bij de Reinkstuw. Deze berekeningen zijn verder niet van belang voor de calibratie van de Reinkstuw, maar het is duidelijk dat deze drempel tot op zekere hoogte de benedenstroomse waterhoogte bij de Reinkstuw bepaalt.

In figuur 6 is het bovengenoemde verband tussen boven- en benedenstroomse waterstand weergegeven als een rechte lijn. Bovendien is hier een selectie uit de meetreeks van 1999 t/m mei 2002 in uitgezet, aangevuld met de waterstanden bij enkele bekende hogere afvoeren.



**Figuur 6: Relatie tussen bovenstroomse waterstand en benedenstroomse waterstand**

N.B. Punt 1 is een waarneming van 02-10-'46. Bij een bovenstroomse waterhoogte van 33,00 m<sup>+</sup> N.A.P. zou de beek in de huidige situatie echter al buiten zijn bovenstroomse oevers zijn getreden. Punt 2 is een waarneming van 12-03-'93.

## 4. Modelonderzoek

Wanneer modelonderzoek gericht is op het vaststellen van de afvoerrelatie van een meetstuw, dan worden de modelschalen bepaald door enerzijds het gevraagde meetbereik van het debiet, en anderzijds de beschikbare ruimte en het beschikbare debiet in het hydraulica laboratorium. Voor een groot bereik, zoals voor de Reinkstuw het geval is, kan dan niet worden volstaan met één model.

Ten behoeve van de huidige ijking is gekozen voor twee modellen.

- Een detailmodel, lengteschaal  $n_l = 3$ .

Hierin is een gedeelte van de rechterhelft van de drempel gebouwd tussen verticale wanden. Het betreft het midden van de drempel tot een afstand van 3,00 m vanuit het midden. Dit houdt in dat de zijvleugel tot een hoogte van 0,375 m in het model is opgenomen. In dit detailmodel kunnen overstorthoogtes van ca. 0,06 m tot ca. 0,30 m worden doorgemeten (alle afmetingen zijn prototype maten).

Fotoblad III, foto 6 geeft een beeld van het detailmodel.

Paragraaf 4.1 beschrijft alle metingen en de meetresultaten van dit detailmodel.

- Een overzichtsmodel, lengteschaal  $n_l = 10$ .

Dit model is een exacte weergave van de Reinkstuw met de landhoofden van de brug, inclusief ca. 40 meter van het bovenstrooms pand voor de correcte aanstroming en ca. 30 meter van het bendenstroomse pand. In dit model kunnen overstorthoogtes van ca. 0,25 m tot ca. 2,00 m (ongeveer overeenkomende met het H.W.W. peil van 32,82 m<sup>+</sup> N.A.P.) worden gemeten.

Fotobladen III (foto 7) en IV tonen het overzichtsmodel.

Paragraaf 4.2 beschrijft alle metingen en de meetresultaten van dit overzichtsmodel.

In Paragraaf 4.3 worden de resultaten van beide modellen gekoppeld.

### 4.1 Bespreking metingen en meetresultaten model 1:3

In het detailmodel 1:3 zijn slechts metingen uitgevoerd voor ongestuwde afvoer, aangezien bij de in dit model door te meten overstorthoogtes geen gestuwde afvoer is te verwachten. In dit model zijn ook alleen metingen uitgevoerd bij de oorspronkelijke bodemligging, dus de bekleding met betonzuilen (30,31 m<sup>+</sup> N.A.P. volgens laatste waterpassing op 13 mei 2002). Tabel 1 geeft een overzicht van het merendeel van de uitgevoerde metingen. De debieten in het model zijn gemeten met een elektromagnetische flowmeter, waarvan de maximale fout  $X_Q < 1\%$  bedraagt. De waterstand is gemeten met een peilnaald, waardoor de absolute fout in de bepaling van de overstorthoogte beperkt blijft tot ca.  $\delta_h = 0,0003$  m, inclusief de nulpuntsbepaling.

Voor een goede beschrijving van de Q-h<sub>1</sub>-relatie met behulp van regressie (2e-graads polynoom) was het nodig om het gemeten traject in twee stukken te verdelen:

- 0,06 < h<sub>1</sub> < 0,15 m:  $Q = 9,264 (h_1)^2 + 1,511 (h_1) - 0,0235$  (m<sup>3</sup>/s)
- 0,15 < h<sub>1</sub> < 0,30 m:  $Q = 11,36 (h_1)^2 + 0,753 (h_1) + 0,0442$  (m<sup>3</sup>/s)

In tabel 1 is ook aangegeven hoe groot het verschil is tussen het gemeten debiet en het berekende debiet met behulp van de regressie-formule (Q(ber)). De grootste afwijkingen blijken in alle gevallen ruim binnen 1% te vallen.

**Tabel 1: Resultaten van de metingen uitgevoerd in het schaalmodel 1:3**

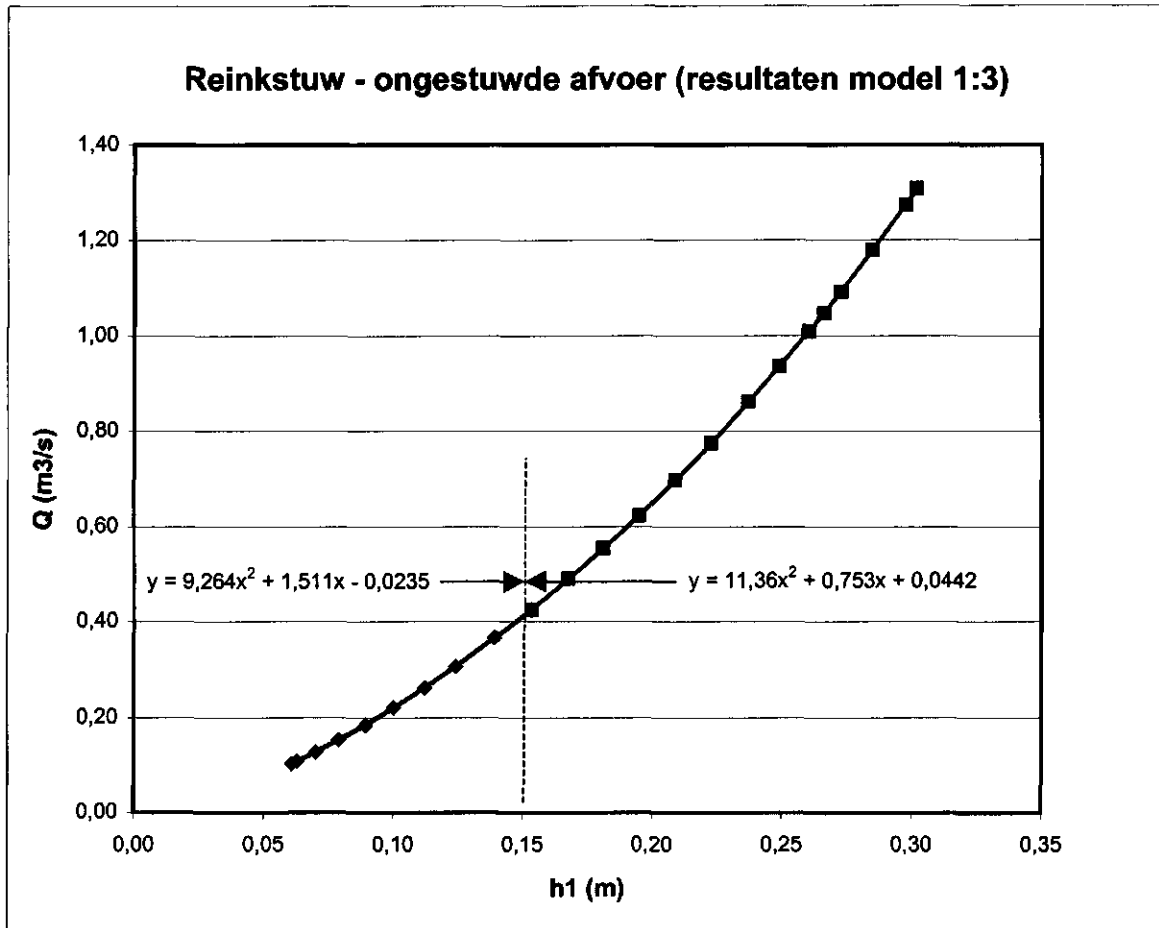
meting nr.	model		prototype		Q(ber) (m <sup>3</sup> /s)	dQ (%)
	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)		
26	0,0203	0,00329	0,0609	0,1026	0,1029	0,29
25	0,0210	0,00350	0,0630	0,1091	0,1085	-0,61
24	0,0234	0,00411	0,0702	0,1281	0,1282	0,06
1	0,0263	0,00492	0,0789	0,1534	0,1534	-0,01
2	0,0298	0,00592	0,0894	0,1846	0,1856	0,56
3	0,0334	0,00709	0,1002	0,2211	0,2209	-0,07
4	0,0374	0,00843	0,1122	0,2628	0,2627	-0,07
5	0,0414	0,00985	0,1242	0,3071	0,3071	-0,02
6	0,0464	0,01177	0,1392	0,3670	0,3663	-0,18
7	0,0511	0,01364	0,1533	0,4253	0,4258	0,13
7	0,0511	0,01364	0,1533	0,4253	0,4266	0,31
8	0,0559	0,01572	0,1677	0,4901	0,4900	-0,04
9	0,0604	0,01779	0,1812	0,5547	0,5536	-0,19
10	0,0650	0,01997	0,1950	0,6227	0,6230	0,05
11	0,0696	0,02237	0,2088	0,6975	0,6967	-0,12
12	0,0742	0,02487	0,2226	0,7754	0,7747	-0,09
13	0,0790	0,02763	0,2370	0,8615	0,8607	-0,09
14	0,0830	0,03002	0,2490	0,9360	0,9360	0,00
15	0,0868	0,03238	0,2604	1,0096	1,0106	0,10
23	0,0887	0,03361	0,2661	1,0480	1,0490	0,10
16	0,0909	0,03502	0,2727	1,0919	1,0943	0,22
17	0,0949	0,03781	0,2847	1,1789	1,1794	0,04
22	0,0992	0,04084	0,2976	1,2734	1,2744	0,08
18	0,1006	0,04198	0,3018	1,3089	1,3062	-0,21

$$Q(\text{prot}) = (3)^{2,5} \times 2 \times Q(\text{model})$$

Q(ber) = debiet berekend met behulp van regressie-formule

$$dQ = (Q(\text{ber}) - Q(\text{prot})) / Q(\text{prot}) \times 100 \%$$

In figuur 7 is een en ander grafisch weergegeven.



**Figuur 7: Regressie-resultaten van de metingen uitgevoerd in het schaalmodel 1:3, omgerekend naar het prototype.**

#### 4.2 Bespreking metingen en meetresultaten model 1:10

In het overzichtsmodel 1:10 zijn metingen uitgevoerd voor zowel ongestuwde als gestuwde afvoer. Het dwarsprofiel direct bovenstrooms van de stuw had in eerste instantie de vorm zoals bij de aanleg van de stuw, dus de bekleding met betonzuilen (zie fig. 4). In een latere fase van het onderzoek is het talud zodanig opgehoogd dat dit min of meer overeenkomt met de huidige situatie in het veld. De resultaten hiervan zijn beschreven in hoofdstuk 6.

De benedenstroomse waterhoogte is gemeten bij het bestaande meetpunt direct tegen de benedenstroomse zijde van het landhoofd ( $h_2$ ) en op ca. 19 m benedenstrooms van de stuw, "flush" (dus niet uitstekend uit het talud) ( $h_2'$ ). Het bestaande meetpunt bevindt zich op een plek waar de stroming zeer turbulent is en waar grote fluctuaties in waterhoogte optreden. Bovendien is niet duidelijk waar zich precies de meetopening bevindt. Ook op 19 m benedenstrooms van de stuw is de stroming door het geringe hoogteverschil tussen het laagste gedeelte van de drempel en de bodem (0,70 m), nog zeer turbulent en treedt aanzienlijke

golfvorming op. Een en ander houdt in dat de nauwkeurigheid van de afvoermeting bij gestuwde afvoer aanzienlijk kleiner zal zijn dan bij ongestuwde afvoer.

Door de geringe benedenstroomse waterdiepte was het in het model niet mogelijk om bij debieten  $> \text{ca. } 23 \text{ m}^3/\text{s}$  in het prototype ongestuwde afvoer te bewerkstelligen. Om toch ook voor de hogere debieten een ongestuwde afvoerrelatie te kunnen presenteren – hoewel deze in de praktijk altijd gestuwd zullen zijn – is, aan de hand van de resultaten van de uitgevoerde metingen bij gestuwde afvoer, een correctie toegepast waarmee een ongestuwde afvoer is berekend. Deze ongestuwde afvoerrelatie is ook gebruikt voor het bepalen van de reductiecoëfficiënt bij gestuwde afvoer, zoals deze verderop bij de gestuwde afvoer ter sprake zal komen.

### Ongestuwde afvoer (oorspronkelijk dwarsprofiel)

Tabel 2 geeft een overzicht van het merendeel van de uitgevoerde metingen. De debieten in het model zijn gemeten met een elektromagnetische flowmeter, waarvan de maximale fout  $X_Q < 1\%$  bedraagt. De waterstanden zijn gemeten met peilnaalden, waardoor de absolute fout in de bepaling van de bovenstroomse overstorthoogte beperkt blijft tot  $\text{ca. } \delta_h = 0,0003 \text{ m}$ , inclusief de nulpuntsbepaling. Voor de benedenstroomse waterhoogten kan deze fout gezien de grote turbulentie en golving aanmerkelijk groter zijn (schatting:  $\delta_h = 0,001 \text{ m}$ ).

Voor een goede beschrijving van de  $Q$ - $h_1$ -relatie met behulp van regressie (2e- en 3e-graads polynoom) was het nodig om het gemeten traject ( $0,30 < h_1 < 1,90 \text{ m}$ ) in enkele stukken te verdelen. Het traject  $0,30 < h_1 < 0,55 \text{ m}$  wordt beschreven in paragraaf 4.3 in verband met de koppeling van de beide modellen.

$$\begin{aligned} - 0,55 < h_1 < 1,00 \text{ m}: & \quad Q = 11,3 (h_1)^2 + 2,423 (h_1) - 0,6619 & \quad (\text{m}^3/\text{s}) \\ - 1,00 < h_1 < 1,90 \text{ m}: & \quad Q = -8,100 (h_1)^3 + 43,54 (h_1)^2 - 34,79 (h_1) + 12,36 & \quad (\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

In tabel 2 is ook aangegeven hoe groot het verschil is tussen het gemeten debiet en het berekende debiet met behulp van de regressie-formule ( $Q(\text{ber})$ ). De grootste afwijkingen blijken in alle gevallen binnen 1% te vallen.

**Tabel 2: Resultaten van de metingen uitgevoerd in het schaalmodel 1:10 voor ongestuwde afvoer**

meting nr.	model		prototype		Q(ber) (m <sup>3</sup> /s)	dQ (%)
	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)		
35a	0,0291	0,00395	0,291	1,249		
40a	0,0339	0,00525	0,339	1,660		
39a	0,0388	0,00680	0,388	2,150		
38a	0,0427	0,00802	0,427	2,536		
41a	0,0487	0,01030	0,487	3,257		
42	0,0550	0,01291	0,550	4,083	4,089	0,16
43	0,0605	0,01554	0,605	4,914	4,940	0,53
8	0,0674	0,01949	0,674	6,163	6,105	-0,95
9	0,0770	0,02495	0,770	7,890	7,904	0,17
10	0,0852	0,03033	0,852	9,591	9,605	0,15
11	0,0929	0,03581	0,929	11,324	11,341	0,15
12	0,0988	0,04034	0,988	12,757	12,762	0,04
13	0,1011	0,04224	1,011	13,358	13,338	-0,15
12	0,0988	0,04034	0,988	12,757	12,677	-0,63
13	0,1011	0,04224	1,011	13,358	13,320	-0,28
14	0,1037	0,04442	1,037	14,047	14,072	0,18
15	0,1074	0,04785	1,074	15,132	15,183	0,34
16	0,1115	0,05180	1,115	16,381	16,471	0,55
17	0,1162	0,05676	1,162	17,949	18,015	0,37
18	0,1200	0,06092	1,200	19,265	19,313	0,25
19	0,1258	0,06751	1,258	21,349	21,373	0,11
20	0,1323	0,07519	1,323	23,900	23,785	-0,48
21	0,1406	0,08465	1,406	27,040	27,003	-0,14
22	0,1482	0,09390	1,482	30,150	30,064	-0,29
23	0,1550	0,10250	1,550	32,910	32,877	-0,10
24	0,1616	0,11110	1,616	35,670	35,659	-0,03
25	0,1692	0,12090	1,692	38,810	38,908	0,25
26	0,1765	0,13050	1,765	41,900	42,056	0,37
27	0,1865	0,14410	1,865	46,500	46,375	-0,27

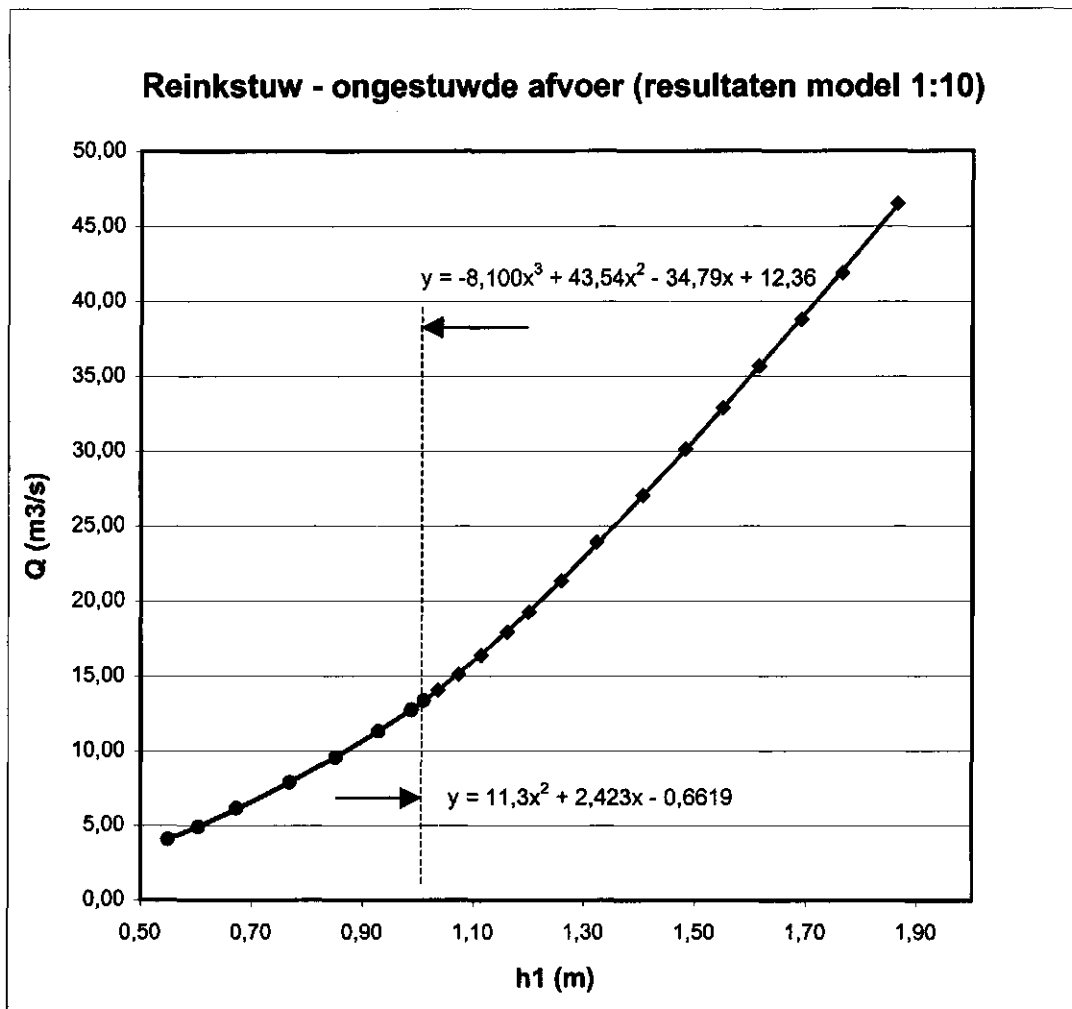
$$Q(\text{prot}) = (10)^{2,5} \times Q(\text{model})$$

Q(ber) = debiet berekend met behulp van regressie-formule

$$dQ = (Q(\text{ber}) - Q(\text{prot})) / Q(\text{prot}) \times 100 \%$$

In figuur 8 is een en ander grafisch weergegeven.





**Figuur 8: Regressie-resultaten van de metingen uitgevoerd in het schaalmodel 1:10 voor ongestuwde afvoer voor  $h_1 > 0,55$  m, omgerekend naar het prototype.**

### Gestuwde afvoer (oorspronkelijk dwarsprofiel)

Bij een negental debieten variërend van ca. 5,5 m<sup>3</sup>/s tot ca. 40 m<sup>3</sup>/s is gestuwde afvoer onderzocht, door bij een bepaald debiet de benedenstroomse waterstand steeds met kleine stapjes te verhogen. De gemeten debieten zijn vermeld in tabel 3.

In de figuren 9 en 10 zijn de resultaten van al deze metingen weergegeven als een reductiecoëfficiënt  $C_{dr}$  als functie van de verdrinkingsgraad  $h_2/h_1$ , respectievelijk  $h_2'/h_1$ . De reductiecoëfficiënt is verkregen door steeds het ongestuwde debiet wat behoort bij een bepaalde waarde van  $h_1$ , te delen door het werkelijke debiet tijdens een meting.

De spreiding in deze waarden blijkt voor beide meetpunten redelijk groot te zijn. Nadere beschouwing leerde, dat voor debieten tot ca. 13 m<sup>3</sup>/s, overeenkomende met  $h_1 \approx 1,0$  m, (metingen 44, 28, 48 en 29) de spreiding veel minder was dan voor de hogere afvoeren.

Teneinde voor afvoeren < ca. 13 m<sup>3</sup>/s een hogere nauwkeurigheid te kunnen behalen dan voor de hogere afvoeren met ook hogere verdrinkingsgraden en meer spreiding in de meetresultaten, is er in eerste instantie voor gekozen om het verband tussen C<sub>dr</sub> en de verdrinkingsgraad in twee delen te splitsen, ieder met bijbehorende regressieformules. Bij nadere bestudering van de meetresultaten (met dank ook aan Gert van den Houten – stage-student van Wageningen Universiteit bij het waterschap) bleek het mogelijk om hetzelfde resultaat te behalen met één regressie-betrekking voor het gehele bereik van verdrinkingsgraden door een aantal verdrinkingsgraden bij bepaalde afvoeren uit te sluiten. Voor debieten tot ca. 13 m<sup>3</sup>/s worden geen verdrinkingsgraden hoger dan ongeveer 0,5 verwacht (zie ook figuur 6). Voor de hogere debieten zijn verdrinkingsgraden > ca. 0,4 gebruikt.

Het resultaat is weergegeven in de figuren 11 en 12 voor meetpunt h<sub>2</sub>, respectievelijk h<sub>2</sub>'.

De gevonden regressieformules (4e-graads polynoom) luiden:

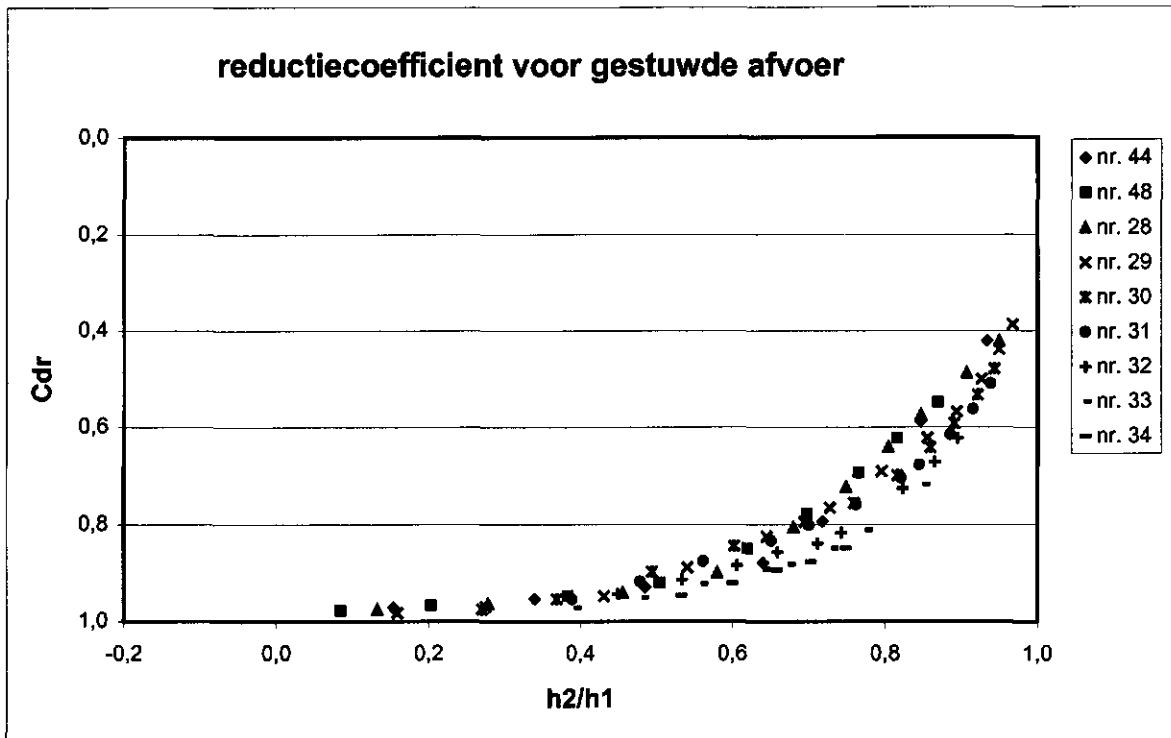
- meetpunt h<sub>2</sub>:  $C_{dr} = -1,746 (h_2/h_1)^4 + 1,764 (h_2/h_1)^3 - 0,606 (h_2/h_1)^2 - 0,067 (h_2/h_1) + 1$

- meetpunt h<sub>2</sub>':  $C_{dr} = -1,586 (h_2'/h_1)^4 + 1,776 (h_2'/h_1)^3 - 0,794 (h_2'/h_1)^2 + 0,033 (h_2'/h_1) + 1$

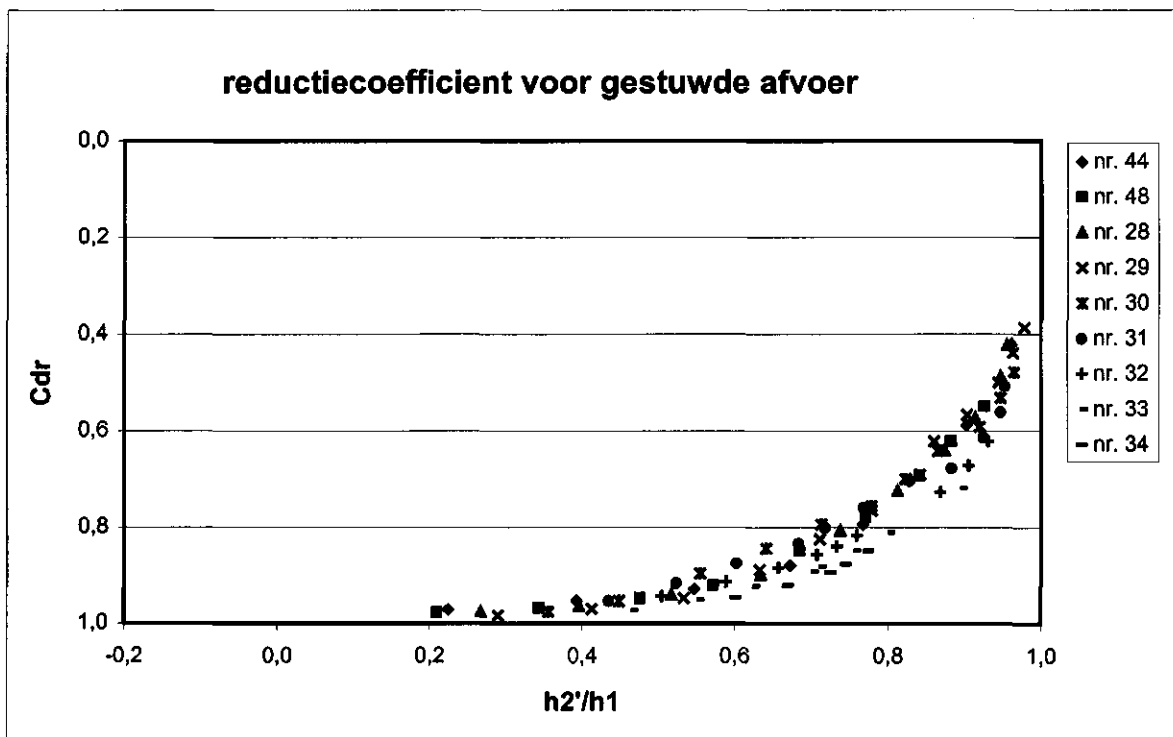
Zie voor nauwkeurigheden hoofdstuk 7.

**Tabel 3: Overzicht van de debieten die zijn onderzocht voor gestuwde afvoer.**

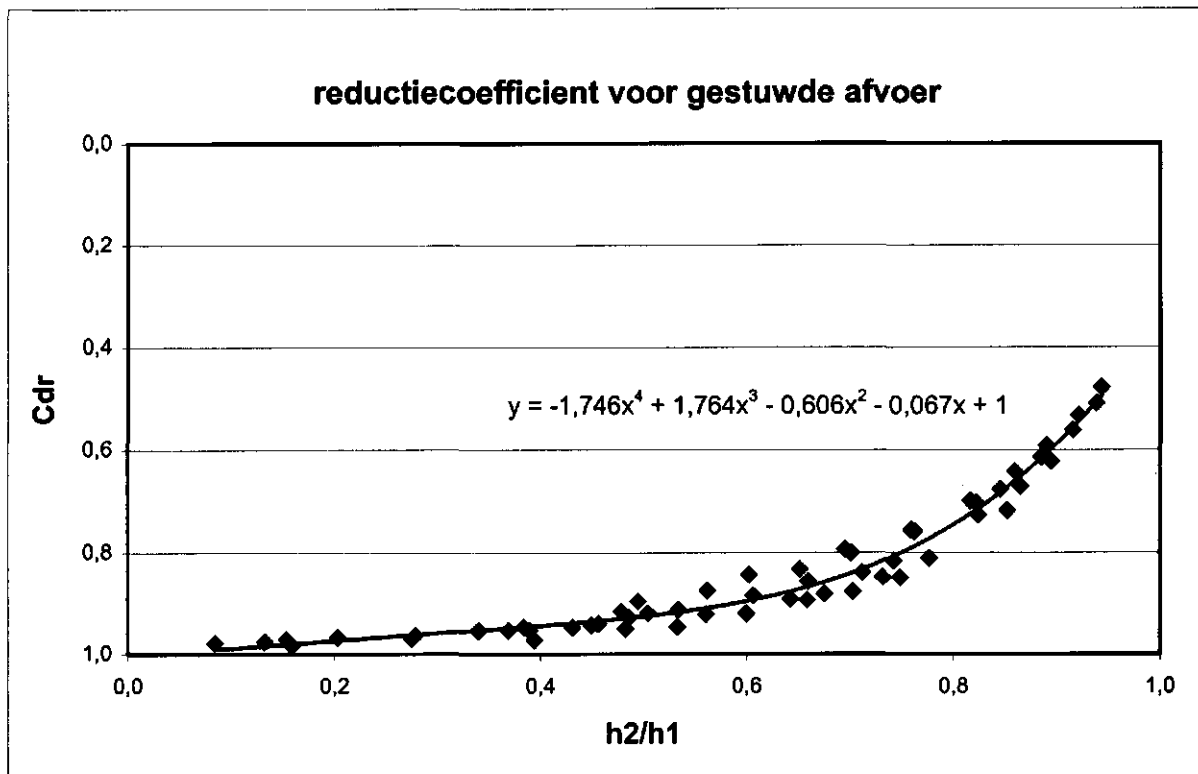
meting nr.	debiet (m <sup>3</sup> /s)
44	5,521
28	8,001
48	9,158
29	12,206
30	16,785
31	22,282
32	28,590
33	34,290
34	39,550



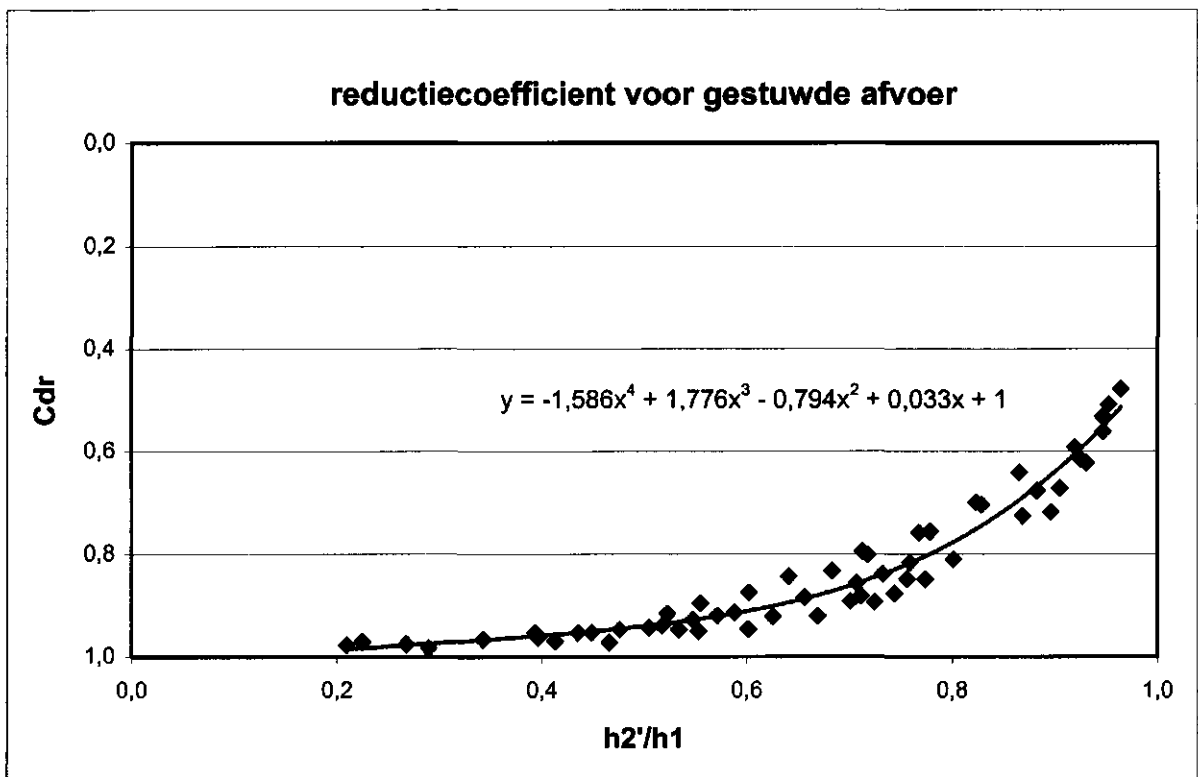
**Figuur 9:** Reductiecoëfficiënt  $C_{dr}$  voor gestuwde afvoer als functie van  $h_2/h_1$  ( $h_2$ : bestaande meetpunt benedenstrooms) voor alle uitgevoerde metingen.



**Figuur 10:** Reductiecoëfficiënt  $C_{dr}$  voor gestuwde afvoer als functie van  $h_2'/h_1$  ( $h_2'$ : voorgestelde meetpunt benedenstrooms) voor alle uitgevoerde metingen.



**Figuur 11: Reductiecoëfficiënt  $C_{dr}$  voor gestuwde afvoer als functie van  $h_2/h_1$  ( $h_2$ : bestaande meetpunt benedenstrooms, met regressielijn).**



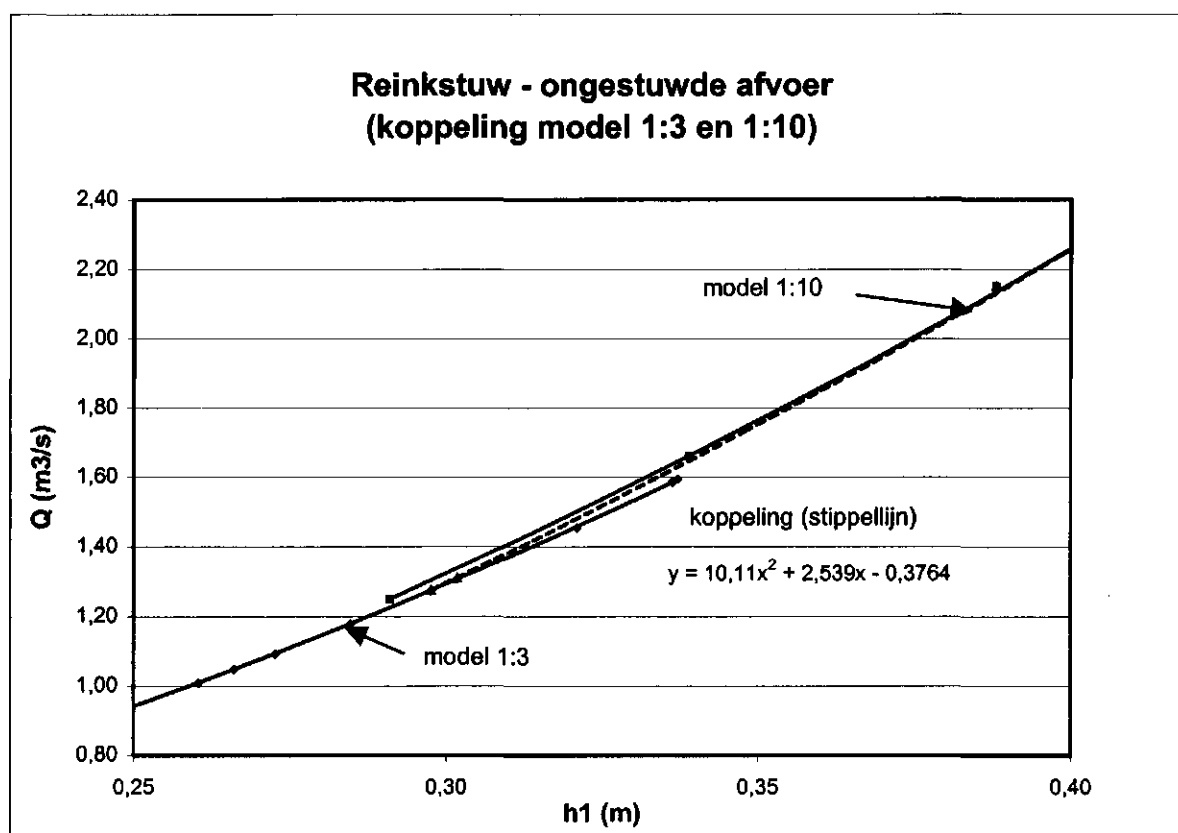
**Figuur 12: Reductiecoëfficiënt  $C_{dr}$  voor gestuwde afvoer als functie van  $h_2'/h_1$  ( $h_2'$ : voorgestelde meetpunt benedenstrooms, met regressielijn).**

### 4.3 Koppeling modellen 1:3 en 1:10

Zoals uit figuur 13 blijkt, sluiten de metingen van de beide modellen niet naadloos op elkaar aan. In het traject van overlappende metingen is daarom een zodanige regressie berekend met enkele meetpunten van beide modellen, dat een goede aansluiting bij beide modellen werd bereikt. Dit heeft geleid tot een 2e-graads polynoom voor het traject van 0,30 – 0,55 m.:

$$- 0,30 < h_1 < 0,55 \text{ m: } Q = 10,11 (h_1)^2 + 2,539 (h_1) - 0,3764 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

De maximale afwijking tussen deze regressie-betrekking en de meetpunten in het overlappende traject bedroeg 2,5%.



**Figuur 13:** Koppeling van de resultaten van de twee schaalmodellen, met regressielijn voor het traject  $0,30 < h_1 < 0,55 \text{ m}$ , omgerekend naar het prototype.

## 5. Vergelijking met oude afvoerrelaties

In tabel 4 is voor het bereik  $0,06 < h_1 < 1,00$  m de in 1983 door Rijkswaterstaat vastgestelde afvoerrelatie:  $Q = 13,053 h^{2,056+0,351 \log(h)}$  vergeleken met de in dit onderzoek gevonden relatie.

Voor het traject van  $0,35 - 1,00$  m blijken beide afvoerrelaties redelijk overeen te komen. In dit traject is het verschil minder dan  $dQ = 3\%$ . Voor kleinere overstorthoogtes neemt het verschil echter snel toe met afnemende waarden van  $h_1$ . De afvoerrelatie van Rijkswaterstaat overschat de bij dit onderzoek gevonden afvoerrelatie.

In tabel 5 is voor het bereik  $1,00 < h_1 < 1,90$  m het eerder vermelde lineaire verband:

$Q = H_{\text{boven}} \times 22,001 - 686,25$  vergeleken met de in dit onderzoek gevonden afvoerrelatie. Op het eerste gezicht vindt hier een duidelijke onderschatting plaats. Echter zal vanaf  $h_1 \approx 0,70$  m gestuwde afvoer optreden, waardoor een reductie dient plaats te vinden op de bij de ijking genoemde afvoeren voor ongestuwde afvoer.

Voor een globale analyse wat dit voor gevolgen heeft, is uitgegaan van het eerder genoemde verband tussen de bovenstroomse en benedenstroomse waterhoogte:

$$H_{\text{beneden}} = 1,39 \times H_{\text{boven}} - 13.$$

Dit levert de verdrinkingsgraden  $h_2/h_1$  op en de daarbij behorende reductiecoëfficiënten  $C_{dr}$ .

In de tabellen staan de verschillen berekend na correctie voor opstuwning als  $dQ$ -gecorrigeerd vermeld. Dit levert een totaal ander beeld op. Opgemerkt dient te worden dat het hier slechts een vingeroefening betreft, omdat de werkelijk optredende verdrinkingsgraden af kunnen wijken. Duidelijk is echter wel het belang van een goede meting van de benedenstroomse waterhoogte.

N.B. Alle berekeningen zijn uitgevoerd met de meetresultaten van de situatie waarbij het bovenstroomse dwarsprofiel zijn oorspronkelijke ("schone") vorm heeft en dus de betonzuilen niet zijn bedekt met grond en begroeiing.

**Tabel 4: Vergelijking van de in dit onderzoek vastgestelde afvoerrelatie met de “oude” afvoerrelatie van Rijkswaterstaat voor  $0,06 \text{ m} < h_1 < 1,00 \text{ m}$ , zonder en met correctie voor opstuwning.**

$h_1$ (m)	Q-RWS ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Q-ijking ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	dQ (%)	$h_2/h_1$	$C_{dr}$	Q-ijking gecorrigeerd	dQ gecorrigeerd
0,03	0,063						
0,06	0,134	0,101	33,5				
0,10	0,257	0,220	16,9				
0,15	0,457	0,412	11,1				
0,20	0,708	0,649	9,1				
0,25	1,012	0,943	7,3				
0,30	1,370	1,293	5,9				
0,35	1,784	1,751	1,8				
0,40	2,255	2,258	-0,1				
0,45	2,786	2,814	-1,0				
0,50	3,378	3,422	-1,3				
0,55	4,032	4,080	-1,2				
0,60	4,752	4,860	-2,2				
0,65	5,538	5,687	-2,6				
0,70	6,392	6,571	-2,7				
0,75	7,317	7,511	-2,6	0,06	0,99	7,424	-1,5
0,80	8,313	8,508	-2,3	0,15	0,98	8,330	-0,2
0,85	9,383	9,562	-1,9	0,22	0,97	9,302	0,9
0,90	10,53	10,67	-1,3	0,29	0,97	10,32	2,1
0,95	11,75	11,84	-0,7	0,34	0,96	11,35	3,5
1,00	13,05	13,06	-0,1	0,40	0,95	12,40	5,3

**Tabel 5: Vergelijking van de in dit onderzoek vastgestelde afvoerrelatie met de “oude” afvoerrelatie van Rijkswaterstaat voor  $1,00 \text{ m} < h_1 < 1,90 \text{ m}$ , zonder en met correctie voor opstuwning.**

$h_1$ (m)	Q-RWS ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Q-ijking ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	dQ (%)	$h_2/h_1$	$C_{dr}$	Q-ijking gecorrigeerd	dQ gecorrigeerd
1,00	13,05	13,00	0,4	0,40	0,95	12,34	5,7
1,10	15,25	15,98	-4,6	0,49	0,92	14,75	3,4
1,20	17,45	19,30	-9,6	0,56	0,89	17,16	1,7
1,30	19,65	22,91	-14,2	0,63	0,85	19,45	1,1
1,40	21,85	26,76	-18,3	0,68	0,80	21,54	1,5
1,50	24,05	30,79	-21,9	0,73	0,76	23,37	2,9
1,60	26,25	34,97	-24,9	0,77	0,71	24,89	5,5
1,70	28,45	39,24	-27,5	0,81	0,66	26,08	9,1
1,80	30,65	43,56	-29,6	0,84	0,62	26,92	13,9
1,90	32,85	47,87	-31,4	0,87	0,57	27,39	19,9

## 6. Metingen met huidige bovenstroomse dwarsprofiel

Bij veldbezoek is geconstateerd dat de bovenstrooms aangebrachte betonzuilen slechts op de bodem nog redelijk schoon waren. Bij de taluds was op de betonzuilen zodanig aarde aangebracht dat op sommige punten deze aarde direct aansloot op de drempel en daar op het horizontale gedeelte van de zijvleugels op 1 m hoogte zelfs bovenuit stak. Afhankelijk van het seizoen heeft ook de begroeiing nog eens invloed op de afvoerrelatie van de stuw. De begroeiing hangt soms zelfs enigszins over de rand van de drempel (zie ook foto's 3 en 5, fotoblad II). Afhankelijk van de situatie kan dit zowel afvoerverhogend (door minder contractie over de rand van de stuw, wanneer het talud direct op de stuw aansluit) als afvoerverlagend (verkleind dwarsprofiel door aarde en vegetatie op de drempel) werken.

Om een zo nauwkeurig mogelijke afvoerrelatie op te kunnen stellen is dit een ongewenste situatie. Het bovenstrooms dwarsprofiel dient over enkele meters vanaf de drempel "schoon" te worden gehouden, dus tot op de betonzuilen. De in de vorige hoofdstukken beschreven metingen zijn dan ook op die situatie gebaseerd.

Om een indruk te krijgen van de mogelijke afwijkingen in het debiet die kunnen optreden als de in dit onderzoek vastgestelde afvoerrelaties worden toegepast op de waterstandsmetingen van de afgelopen jaren, is getracht in het 1:10 schaalmodel de huidige veldsituatie bij benadering na te bootsen. Dit is gedaan in drie varianten met in eerste instantie het dwarsprofiel direct bovenstrooms van de stuw zoals dat is opgemeten op 13 mei 2002, echter zonder begroeiing (zie ook figuur 5). Bij de twee andere varianten is daarna op de eerste variant meer en minder begroeiing nagebootst direct bovenstrooms van de drempel en wel zodanig dat dit enigszins over de drempel hing.

Foto 9, fotoblad IV geeft een beeld van dit modelonderzoek met nagebootste vegetatie.

Bij de eerste variant met een glad oppervlak mogen pas afwijkingen met het oorspronkelijke ("schone") dwarsprofiel worden verwacht wanneer de zijvleugels overstroomd worden, dus voor overstorthoogtes  $h_1 > ca. 1,0$  m. Deze afwijkingen bleken echter verwaarloosbaar te zijn. Tabellen 6 en 7 geven een overzicht van de afwijkingen in het debiet wanneer de afvoerrelaties voor een "schoon" dwarsprofiel worden toegepast op de waterstandsmetingen bij de twee varianten met nagebootste begroeiing. Het blijkt dat bij de onderzochte varianten de werkelijke debieten tot ca. 6% lager zijn dan de berekende afvoeren. Het is niet onmogelijk dat deze afwijkingen in de praktijk nog wel groter kunnen zijn.

Bij één debiet is gestuwde afvoer doorgemeten. Het gedrag bij gestuwde afvoer wijzigt ook vergeleken met de eerder gevonden resultaten bij een "schoon" dwarsprofiel.



**Tabel 6: Metingen bij een aangeaard dwarsprofiel met veel overhangende vegetatie (zie ook foto 9, fotoblad IV). Verschil in afvoer met een “schoon” bovenstrooms dwarsprofiel.**

meting nr.	model		prototype		Q (ber) (m <sup>3</sup> /s)	dQ (%)
	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)		
113	0,0622	0,0165	0,622	5,230	5,217	0,26
112	0,0679	0,0194	0,679	6,144	6,193	-0,79
111	0,0737	0,0227	0,737	7,175	7,262	-1,20
100	0,0805	0,0266	0,805	8,415	8,611	-2,33
101	0,0894	0,0323	0,894	10,217	10,536	-3,11
102	0,0980	0,0385	0,980	12,159	12,565	-3,34
103	0,1064	0,0449	1,064	14,186	14,868	-4,81
104	0,1180	0,0554	1,180	17,510	18,614	-6,31
105	0,1277	0,0656	1,277	20,732	22,057	-6,39
106	0,1385	0,0780	1,385	24,666	26,166	-6,08
107	0,1489	0,0909	1,489	28,745	30,341	-5,55
108	0,1590	0,1040	1,590	32,888	34,548	-5,05
109	0,1689	0,1170	1,689	36,999	38,769	-4,79
110	0,1793	0,1310	1,793	41,426	43,256	-4,42

Q (ber) = debiet berekend met de afvoerrelaties van hoofdstuk 4 voor “schoon” dwarsprofiel.

$$dQ = (Q(\text{prot}) - Q(\text{ber})) / Q(\text{prot}) \times 100 \%$$

**Tabel 7: Metingen bij een aangeaard dwarsprofiel met minder overhangende vegetatie dan in tabel 6. Verschil in afvoer met een “schoon” bovenstrooms dwarsprofiel.**

meting nr.	model		prototype		Q (ber) (m <sup>3</sup> /s)	dQ (%)
	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	h <sub>1</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)		
121	0,0677	0,0196	0,677	6,204	6,158	0,76
122	0,0749	0,0236	0,749	7,447	7,492	-0,60
123	0,0858	0,0304	0,858	9,601	9,736	-1,41
124	0,0945	0,0363	0,945	11,470	11,719	-2,17
125	0,1064	0,0454	1,064	14,366	14,868	-3,49
126	0,1171	0,0552	1,171	17,456	18,308	-4,88
127	0,1278	0,0665	1,278	21,029	22,094	-5,06
128	0,1383	0,0789	1,383	24,951	26,087	-4,56
129	0,1497	0,0929	1,497	29,378	30,669	-4,40
130	0,1594	0,1052	1,594	33,267	34,717	-4,36
131	0,1679	0,1162	1,679	36,746	38,340	-4,34
132	0,1790	0,1323	1,790	41,837	43,126	-3,08

Q (ber) = debiet berekend met de afvoerrelaties van hoofdstuk 4 voor “schoon” dwarsprofiel.

$$dQ = (Q(\text{prot}) - Q(\text{ber})) / Q(\text{prot}) \times 100 \%$$

## 7. Nauwkeurigheid in de bepaling van het debiet

Bij de bepaling van de waarschijnlijke fout in het debiet  $X_Q$  zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de absolute fout in de meting van de bovenstroomse waterhoogte  $\delta h_1 = 0,005$  m (dit kan alleen worden bereikt wanneer het nulpunt nauwkeurig wordt vastgesteld en regelmatig gecontroleerd en de niveaumeting zelf voldoende nauwkeurigheid bezit).
- de absolute fout in de meting van de benedenstroomse waterhoogte  $\delta h_2 \approx 0,02$  m.
- verdrinkingsgraden  $h_2/h_1 > 0,9$  zijn buiten beschouwing gelaten.
- combinaties van  $h_1$  en verdrinkingsgraden waarvan aannemelijk is dat ze in de praktijk nooit zullen voorkomen zijn eveneens buiten beschouwing gelaten (uitgangspunt hierbij is figuur 5: relatie tussen boven- en benedenstroomse waterhoogte).
- vanaf  $h_1 = 0,7$  m wordt rekening gehouden met gestuwde afvoer.

Voor de **ongestuwde afvoer** leidt de absolute fout  $\delta h_1$  tot een procentuele fout in  $Q$  via de regressieformules (2e- en 3e-graads polynomen):  $X_{\text{regr}}$ . Deze fout is uiteraard hoger bij kleinere waarden van  $h_1$ . Voor de totale calibratie in het laboratorium wordt een fout  $X_{\text{ijking}} = 2,5$  % gehanteerd (vergelijkbaar met de fout in  $C_D$ , wanneer een theoretische afvoerformule wordt gehanteerd, zoals bijv. bij de ijking van het aflatwerk bij Lochem). Combinatie van deze fouten leidt tot de totale waarschijnlijke fout in het debiet:  $X_Q$ .

$$X_{Q\text{-ongestuwd}} = \sqrt{X_{\text{regr}}^2 + X_{\text{ijking}}^2}$$

Voor **gestuwde afvoer** geldt:  $Q_{\text{gestuwd}} = C_{dr} \times Q_{\text{ongestuwd}}$  en:

$$X_{Q\text{-gestuwd}} = \sqrt{X_{C_{dr}}^2 + X_{Q\text{-ongestuwd}}^2}$$

De fout in  $C_{dr}$  wordt enerzijds bepaald door de invloed van de fout in  $h_2/h_1$  (opgelegd door  $\delta h_1$  en  $\delta h_2$ ) op de regressieformules (4e-graads polynoom) en anderzijds door de spreiding van de meetpunten om de regressiecurve. Het zal uit de figuren 11 en 12 duidelijk zijn dat daardoor de fout bij de grotere debieten, en waarschijnlijk ook hogere verdrinkingsgraden, zal toenemen.

Tabel 8 geeft een overzicht van de waarschijnlijke procentuele fout in het debiet voor een aantal waarden van  $h_1$ .

**Tabel 8: Nauwkeurigheid in de bepaling van het debiet bij een aantal bovenstroomse waterhoogtes.**

$h_1$ (m)	$X_{Q\text{-ongestuwd}}$ (%)	$X_{Cdr}$ (%)	$X_{Q\text{-gestuwd}}$ (%)
0,06	13,3		
0,09	8,8		
0,12	6,9		
0,15	5,8		
0,20	4,8		
0,25	4,2		
0,30	3,9		
0,35	3,7		
0,40	3,4		
0,45	3,2		
0,50	3,1		
0,55	3,1		
0,60	3,0		
0,70	2,9	1,0	3,0
0,80	2,8	1,5	3,2
0,90	2,7	2,1	3,4
1,00	2,7	3,2	4,2
1,15	2,7	4,2	5,0
1,30	2,6	5,3	5,9
1,45	2,6	6,4	6,9
1,60	2,6	7,0	7,4
1,75	2,6	7,7	8,1
1,90	2,5	8,8	9,2

Uit tabel 8 blijkt het volgende:

- $X_Q$  kleiner dan 5% voor ca.  $0,15 \text{ m} < h_1 < \text{ca. } 1,15 \text{ m}$ .
- Voor  $h_1 < 0,15 \text{ m}$  neemt  $X_Q$  snel toe met afnemende overstorthoogtes.
- Voor ca.  $1,15 \text{ m} < h_1 < 1,90 \text{ m}$  neemt  $X_Q$  toe met toenemende waterhoogtes en ook toenemende verdrinkingsgraden, maar blijft beter dan 10%.

## 8. Resumé en aanbevelingen

1. De Reinkstuw bij Buurse is geijkt met behulp van een detailmodel,  $n_t = 3$  en een overzichtsmoedel,  $n_t = 10$ . Het modelonderzoek is beschreven in hoofdstuk 4. De in dit hoofdstuk vermelde regressiebetrekkingen tussen enerzijds boven- en benedenstroomse waterstand en anderzijds het debiet en eventuele grafieken gelden slechts voor het oorspronkelijke bovenstroomse dwarsprofiel, dus bekleding met schone betonzuilen.

2. De Reinkstuw is onderzocht voor overstorthoogtes  $h_1$  van 0,06 – 1,90 m. Voor ongestuwde afvoer is dit bereik beschreven met een vijftal 2e- en 3e-graads polynomen:

- $0,06 \text{ m} < h_1 < 0,15 \text{ m}$ :  $Q = 9,264 (h_1)^2 + 1,511 (h_1) - 0,0235$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $0,15 \text{ m} < h_1 < 0,30 \text{ m}$ :  $Q = 11,36 (h_1)^2 + 0,753 (h_1) + 0,0442$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $0,30 \text{ m} < h_1 < 0,55 \text{ m}$ :  $Q = 10,11 (h_1)^2 + 2,539 (h_1) - 0,3764$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $0,55 \text{ m} < h_1 < 1,00 \text{ m}$ :  $Q = 11,3 (h_1)^2 + 2,423 (h_1) - 0,6619$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $1,00 \text{ m} < h_1 < 1,90 \text{ m}$ :  $Q = -8,100 (h_1)^3 + 43,54 (h_1)^2 - 34,79 (h_1) + 12,36$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Vanaf  $h_1 > \text{ca. } 0,70 \text{ m}$  zal echter gestuwde afvoer optreden. Het debiet voor ongestuwde afvoer dient dan met de reductiecoëfficiënt  $C_{dr}$  te worden vermenigvuldigd. Deze is een functie van de verdrinkingsgraad  $h_2/h_1$  en de betrekking is gegeven als een 4e-graads polynoom.

Voor het bestaande benedenstroomse meetpunt  $h_2$  geldt:

$$- C_{dr} = -1,746 (h_2/h_1)^4 + 1,764 (h_2/h_1)^3 - 0,606 (h_2/h_1)^2 - 0,067 (h_2/h_1) + 1$$

Voor een eventueel nieuw in te richten benedenstrooms meetpunt  $h_2'$  geldt:

$$- C_{dr} = -1,586 (h_2'/h_1)^4 + 1,776 (h_2'/h_1)^3 - 0,794 (h_2'/h_1)^2 + 0,033 (h_2'/h_1) + 1$$

3. Hoofdstuk 6 geeft een indicatie van de afwijkingen in het debiet die kunnen worden verwacht, wanneer het dwarsprofiel direct bovenstrooms van de stuw niet uit "schone" betonzuilen bestaat, maar zoals in de huidige situatie het geval is, bij het talud is aangeaard tegen de stuw en dat bovendien, afhankelijk van het seizoen, meer of minder vegetatie over de rand van de stuw hangt. De afwijkingen kunnen aanzienlijk zijn en variëren met de seizoenen. Aanbevolen wordt daarom de oorspronkelijke situatie te herstellen.

3. De onnauwkeurigheid in de bepaling van het debiet  $X_Q$  is als volgt (hoofdstuk 7):

- $h_1 < 0,15 \text{ m}$ :  $X_Q > 5\%$ , toenemend met afnemende waarden van  $h_1$
- $0,15 \text{ m} < h_1 < 1,15 \text{ m}$ :  $X_Q < 5\%$
- $1,15 \text{ m} < h_1 < 1,90 \text{ m}$ :  $5\% < X_Q < 10\%$

5. Vergelijking van de oude afvoerrelaties met de nieuwe (hoofdstuk 5) laat het volgende zien:

- toenemende overschatting van het debiet vanaf  $h_1 < \text{ca. } 0,35 \text{ m}$
- geringe onderschatting van het debiet in het bereik  $\text{ca. } 0,35 \text{ m} < h_1 < \text{ca. } 0,80 \text{ m}$ .
- voor  $h_1 > \text{ca. } 0,80 \text{ m}$  bestaat onduidelijkheid aangezien niet bekend is of bij de oude afvoerrelaties rekening is gehouden met opstuwning.

Tabellen 4 en 5 geven hiervan een overzicht.

6. De locatie voor het meten van de bovenwaterstand  $h_1$  is correct. Het is wel aan te bevelen om over het traject van enkele meters bovenstrooms van het meetpunt tot de stuw de vegetatie steeds zo laag mogelijk te houden.

7. De locatie voor het meten van de benedenwaterstand  $h_2$ , direct tegen de benedenstroomse zijde van het landhoofd van de brug is vanwege grote turbulentie juist aan het einde van de woelbak, erg ongelukkig. Aanbevolen wordt daarom om een nieuw benedenstrooms meetpunt  $h_2'$  in te richten op ca. 19 m benedenstrooms van de stuw, ofschoon ook op die locatie bij de hogere afvoeren door de geringe waterdiepte nog aanzienlijke turbulentie optreedt. Bij het huidige onderzoek zijn beide meetpunten in het model gemeten en in grafieken verwerkt (paragraaf 4.2, gestuwde afvoer).

**Fotoblad I**



**Foto 1: Benedenstrooms aanzicht bij lage afvoer**



**Foto 2: Bovenstrooms aanzicht bij hoge afvoer op 12 februari 2002, (zijvleugels zijn net overstroomd)**

**Fotoblad II**



**Foto 3: Bovenstroomse sectie met meetpunt  $h_1$ . Veel vegetatie tussen meetpunt en stuw.**

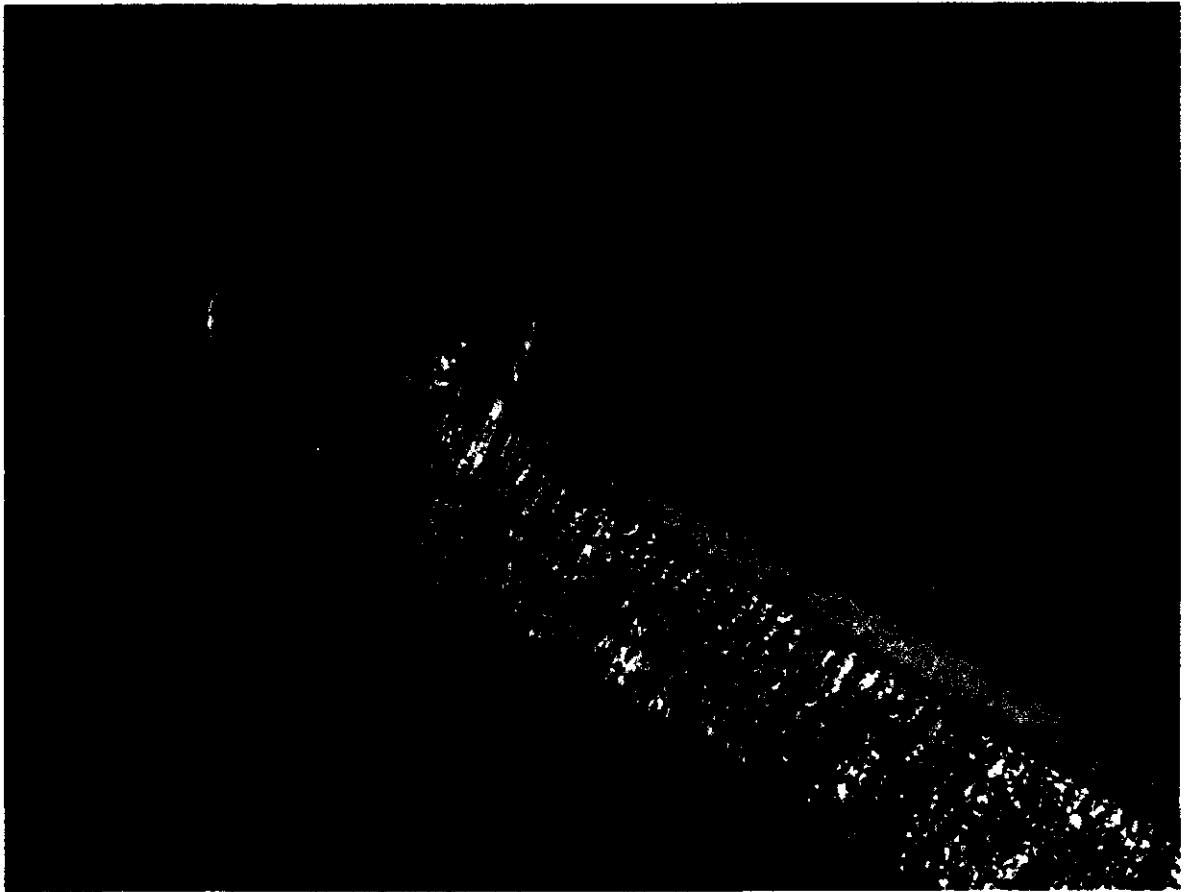


**Foto 4: Huidige benedenstroomse meetpunt  $h_2$  bij hoge afvoer**



**Foto 5: Overhangende vegetatie over een van de zijvleugels**

**Fotoblad III**



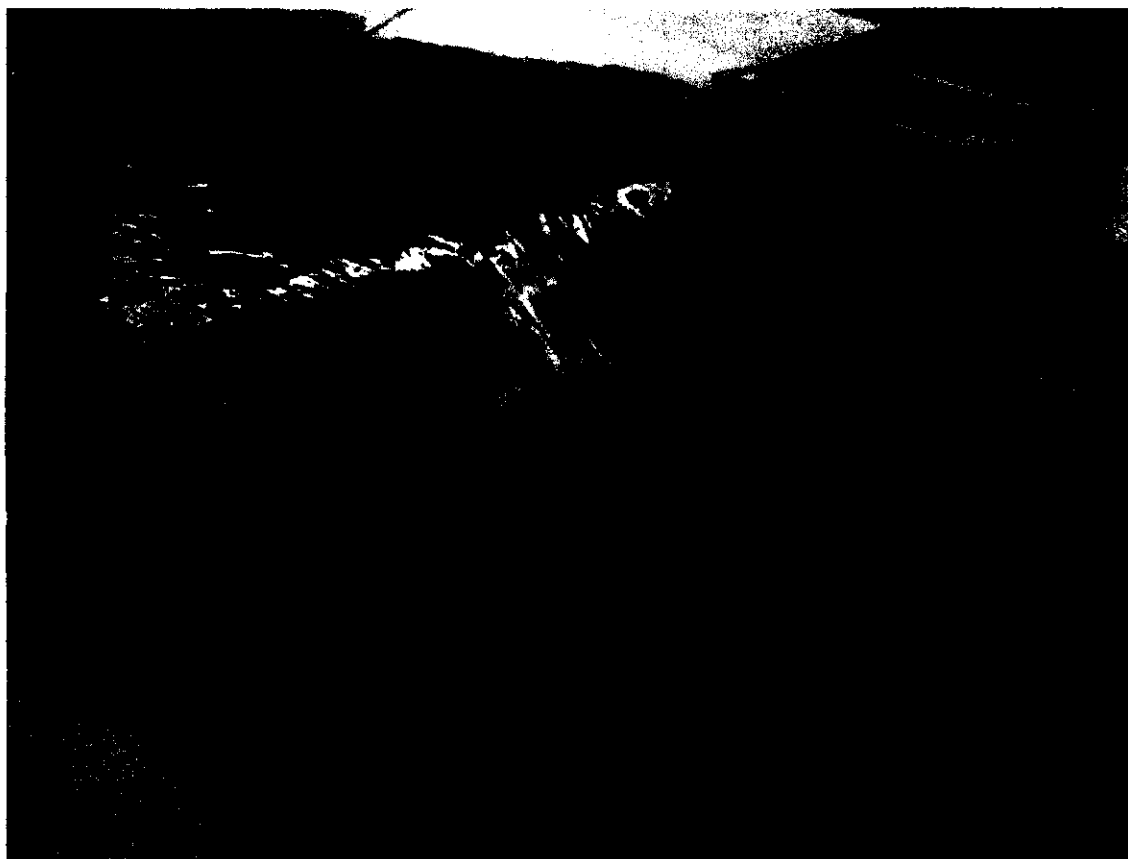
**Foto 6: Schaalmodel 1:3**



**Foto 7: Schaalmodel 1:10, benedenstrooms aanzicht,  $Q = 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .**



**Fotoblad IV**



**Foto 8: Schaalmodel 1:10, benedenstrooms aanzicht,  $Q = 21,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_2'/h_1 = 0,48$ .**



**Foto 9: Schaalmodel 1:10, nabootsing van overhangende vegetatie.**