

## **Afvoerrelatie meetoverlaat Stemerdingbrug**

**A. Dommerholt**

**RAPPORT 60**

**Juni 1995**

**Vakgroep Waterhuishouding  
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen**

**ISSN 0926-230X**

907232

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Beschrijving van het afvoermeetpunt Stemerdinkbrug</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Bepaling van de afvoerrelaties</b> .....	<b>3</b>
	3.1 Bepaling van de afvoerrelatie van het verlaagde gedeelte .....	4
	3.2 Bepaling van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor ongestuwde afvoer .....	5
	3.3 Bepaling van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor gestuwde afvoer .....	6
<b>4</b>	<b>Nauwkeurigheid van de afvoerrelaties</b> .....	<b>7</b>
	4.1 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie van het verlaagde gedeelte .....	7
	4.2 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor ongestuwde afvoer .....	7
	4.3 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor gestuwde afvoer ..	8
<b>5</b>	<b>Samenvatting</b> .....	<b>10</b>
	<b>Tabellen</b> .....	<b>11</b>
	<b>Figuren</b> .....	<b>15</b>
	<b>Fotopagina's</b> .....	<b>26</b>

# 1 Inleiding

Op 17 oktober 1994 verleende het Waterschap van de Oude IJssel per brief nr. 94/1616 opdracht aan de Vakgroep Waterhuishouding van de Landbouwniversiteit Wageningen tot het opstellen van de afvoerrelatie van het afvoermeeptpunt Stemerdinkbrug, gedeeltelijk middels een modelijking in het hydraulica-laboratorium van de vakgroep en gedeeltelijk met behulp van literatuurgegevens. Het betreffende meetpunt bevindt zich in de Boven-Slinge ten zuid-oosten van Winterswijk (zie figuur 1) en dient ter vervanging van het open-profiel afvoermeeptpunt Kotten dat vanwege de onstabiele bodem ter plaatse niet voldoende betrouwbaar is.

Uit waterstandsmetingen boven- en benedenstrooms van het meetpunt door het waterschap uitgevoerd in de periode oktober '93 - juli '94 blijkt de overlaat te verdrinken bij hogere afvoeren. Voor deze situatie, waarbij de afvoer niet alleen afhankelijk is van de bovenstroomse waterstand - zoals bij vrije overstort het geval is - maar ook een functie is van de benedenstroomse waterstand, zal ook een afvoerrelatie worden opgesteld.

De voorbereidende fase, die heeft geresulteerd in deze opdracht, werd uitgevoerd door ing. W. Boiten en ing. A. Dommerholt van de Vakgroep Waterhuishouding, terwijl het modelonderzoek werd uitgevoerd door A. Dommerholt die ook dit rapport samenstelde.

## 2 Beschrijving van het afvoermeetpunt Stemerdingbrug

De meetoverlaat bestaat uit een vaste betondrempel met een dikte van 0,180 m, die in bovenaanzicht V-vormig is uitgevoerd met een hoek van ca. 90°, waarbij de punt van de V-vorm in stroomopwaartse richting wijst. De drempel is aan de bovenstroomse zijde tegen de verticale landhoofden van een brug bevestigd (zie figuur 2 en fotopagina's). De breedte van het linker gedeelte van de drempel bedraagt 6,94 m en van het rechter gedeelte 7,00 m. In de punt van de V-vorm en bij de bevestiging tegen de landhoofden is de drempel opgenomen in een verdikt betonnen gedeelte (zie figuren 3a en 3b). De bovenzijde van deze verstevigingen ligt nagenoeg op hetzelfde niveau als de bovenkant van de drempel en wel gemiddeld op N.A.P. + 35,65 m.

In het rechter gedeelte van de drempel is over een breedte van 3,02 m een verlaagd gedeelte aangebracht, dat gemiddeld 0,156 m lager ligt dan de rest van de overlaat. Bij kleine afvoeren zal alleen dit verlaagde gedeelte worden doorstroomd. Zodoende is het mogelijk kleine afvoeren met een redelijke nauwkeurigheid te bepalen.

Op ongeveer 15 m boven- en benedenstrooms van de overlaat bevinden zich peilbuizen met een verbindingspijp naar de waterloop, waar respectievelijk de bovenstroomse en de benedenstroomse waterstand worden gemeten.

Beide verbindingspijpjes monden ongeveer in het midden van de waterloop uit en maken in stroomafwaartse richting een hoek met een denkbeeldige lijn loodrecht op de stroomrichting. Doordat bij de hogere afvoeren aanzienlijke stroomsnelheden optreden, kunnen de in de peilbuizen gemeten waterstanden afwijken van de werkelijke waterstanden. Door in het model de pijpjes op dezelfde wijze te situeren als in het prototype, worden eventuele afwijkingen opgenomen in de calibratie.

De vormgeving van de overlaat en de dwarsprofielen boven- en benedenstrooms van de overlaat zijn ontleend aan tekening nr. 01\1\5000-10 blad 1 en 2, verstrekt door de technische dienst van het waterschap.

### 3 Bepaling van de afvoerrelaties

Bij de bepaling van de afvoerrelaties worden drie onderdelen onderscheiden:

1. bepaling van de afvoerrelatie van het verlaagde gedeelte in het rechter gedeelte van de overlaat aan de hand van literatuurgegevens (paragraaf 3.1);
2. bepaling van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor vrije overstort door het uitvoeren van metingen in een schaalmodel (paragraaf 3.2);
3. bepaling van de afvoerrelatie van de gehele overlaat in het geval van verdrinking, bij afvoeren hoger dan ca. 3 m<sup>3</sup>/s door het uitvoeren van metingen in hetzelfde schaalmodel (paragraaf 3.3).

In de afvoerrelatie wordt in een formule het verband tussen het debiet en één of twee waterhoogten ten opzichte van een referentieniveau (overstorthoogte) vastgelegd. Voor de overlaat in dit onderzoek, is het referentieniveau de gemiddelde hoogte van het verlaagde gedeelte (N.B. het rechter gedeelte van de overlaat is niet geheel horizontaal). Dit referentieniveau komt in het prototype overeen met een hoogte van N.A.P. + 35,495 m.

De algemene afvoerformule voor een stuw met horizontale kruin luidt als volgt:

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot H_1^{3/2} \quad (1)$$

of

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot C_V \cdot h_1^{3/2} \quad (2)$$

waarin:

- Q = debiet (m<sup>3</sup>/s)
- g = versnelling ten gevolge van de zwaartekracht (=9,81 m/s<sup>2</sup>)
- B = dagbreedte van de overlaat (m)
- C<sub>D</sub> = afvoercoëfficiënt (-)
- C<sub>V</sub> = coëfficiënt voor de aanstroomsnelheid (= (H<sub>1</sub>/h<sub>1</sub>)<sup>3/2</sup>) (-)
- H<sub>1</sub> = energiehoogte bovenstrooms (=h<sub>1</sub> + v<sub>gem</sub><sup>2</sup>/2g) (m)
- h<sub>1</sub> = overstorthoogte bovenstrooms (m)
- v<sub>gem</sub> = gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de h<sub>1</sub>-raai (m/s)

Aangezien de gemiddelde stroomsnelheid v<sub>gem</sub> bij hoge afvoeren aanzienlijk wordt, en daardoor ook de snelheidshoogte v<sub>gem</sub><sup>2</sup>/2g, is gekozen voor formule (2), aangezien in het prototype niet de energiehoogte maar de overstorthoogte wordt gemeten.

De coëfficiënten C<sub>D</sub> en C<sub>V</sub> zijn gecombineerd in één, voor deze overlaat, karakteristieke coëfficiënt C = C<sub>D</sub> · C<sub>V</sub> die, zoals gebruikelijk is bij modelonderzoek, wordt berekend uit de uitgevoerde Q-h<sub>1</sub> metingen.

Gezien de vorm van de overlaat (V-vormig in bovenaanzicht) en de aanwezigheid van de verstevigingen tegen de landhoofden en in de punt van de V-vorm, zal de afvoercoëfficiënt C ook de invloed hiervan op de afvoerrelatie bevatten.

### 3.1 Bepaling van de afvoerrelatie van het verlaagde gedeelte

Zoals vermeld in paragraaf 3 wordt de volgende afvoerformule gehanteerd:

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot C_V \cdot h_1^{3/2} \quad (3)$$

De breedte  $B$  in de formule is de dagmaat van het verlaagde gedeelte en bedraagt 3,02 m. Door contractie aan de beide zijanten van het verlaagde gedeelte, zal de werkelijk doorstroomde breedte ( $B'$ ) echter kleiner zijn dan de dagmaat  $B$  en bovendien een functie van de overstorthoogte  $h_1$ . Daarom wordt in de formule een contractiecoëfficiënt  $C_C = B'/B$  geïntroduceerd en gecombineerd met de afvoercoëfficiënt  $C (= C_D \cdot C_V)$  tot de karakteristieke coëfficiënt  $C'$  voor het verlaagde gedeelte.

$$C' = C_C \cdot C \quad (4)$$

Dus:

$$Q = 1,705 \cdot B \cdot C_C \cdot C \cdot h_1^{3/2} = 5,15 \cdot C' \cdot h_1^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5)$$

Bij de debieten door alleen het verlaagde gedeelte zijn de stroomsnelheden in de  $h_1$ -raai zo gering, dat de coëfficiënt voor de aanstroomsnelheid  $C_V = 1$  kan worden gesteld, dus  $C = C_D$ .

In figuur 4a is  $Q$  uitgezet als functie van  $h_1$  en in figuur 4b is  $C'$  uitgezet als functie van  $h_1$ .

In tabel I zijn de bijbehorende waarden van  $h_1$ ,  $C'$  en  $Q$  vermeld voor waarden van  $0,03 \leq h_1 \leq 0,15$  m.

### 3.2 Bepaling van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor ongestuwde afvoer

Wanneer het debiet groter wordt dan ca.  $0,280 \text{ m}^3/\text{s}$  zal de afvoer niet meer alleen plaatsvinden over het verlaagde gedeelte, maar zal de gehele overlaat worden overstroomd.

Teneinde de relatie tussen de bovenstroomse (en - bij gestuwde afvoer - de benedenstroomse) waterstand en het debiet vast te stellen voor waterstanden waarbij de gehele overlaat wordt overstroomd, is gekozen voor een schaalmodel met een lengteschaal  $n_L = 8$ . Dit betekent volgens de gehanteerde schaalwet dat de debietenschaal  $n_Q = 8^{2,5} = 181,0$ .

In de figuren 5a en 5b is het aldus gevonden verband tussen de overstorthoogte  $h_1$  en het debiet  $Q$  weergegeven voor ongestuwde afvoer en voor overstorthoogten tot maximaal ca.  $0,53 \text{ m}$ ., hetgeen overeenkomt met een debiet van ca.  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . In tabel II zijn de bijbehorende waarden van  $h_1$  en  $Q$  vermeld zoals deze zijn gemeten in het schaalmodel en vervolgens zijn omgerekend naar prototype-waarden.

In al deze gevallen was de overstortende straal "belucht". Hiertoe was aan beide zijden van de overlaat een beluchtingspijpje aangebracht dat aan de benedenstroomse zijde juist onder de kruin uitmondde. Hierdoor wordt bereikt dat onder de overstortende straal de atmosferische druk wordt gehandhaafd. Als dit niet het geval is en er een onderdruk onder de straal optreedt, zal dit de  $Q$ - $h_1$ -relatie beïnvloeden en aanleiding zijn tot geringe afwijkingen van deze relatie. Hoewel in het prototype over het algemeen gemakkelijker een goede beluchting blijkt op te treden dan in een schaalmodel, verdient het toch aanbeveling om deze beluchtingspijpen ook in het prototype aan te brengen.

Wanneer de gehele overlaat juist wordt overstroomd, ontstaat er een traject van overstorthoogten van  $0,156 \text{ m}$  - ca.  $0,21 \text{ m}$ , waar de waterlaag boven het hoge gedeelte van de overlaat slechts enkele cm's bedraagt. In dit traject is het door bijvoorbeeld het "klevan" van de straal aan de benedenstroomse zijde van de overlaat en andere randeffecten, niet mogelijk een  $Q$ - $h_1$ -relatie op te stellen met een redelijke nauwkeurigheid. De  $Q$ - $h_1$ -relatie zal echter moeten aansluiten op de curve van het verlaagde gedeelte (zie paragraaf 3.1). Uit de uitgevoerde metingen bleken de twee curves inderdaad goed op elkaar aansluiten, zodat mag worden aangenomen, dat de werkelijke debieten in dit traject niet al te veel af zullen wijken van de debieten zoals deze voor gemeten waterhoogten uit de calibratie-curve (figuur 5a, onderbroken lijn) kunnen worden bepaald.

Bij een overstorthoogte  $h_1 = \text{ca. } 0,43 \text{ m}$ , overeenkomende met een debiet  $Q = \text{ca. } 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , treedt een geringe discontinuïteit op in de  $Q$ - $h_1$ -curve. Deze wordt veroorzaakt doordat de overstortende straal in het verlaagde gedeelte dan aan de bovenstroomse zijde van de overlaat geheel vrij springt van de kruin, zodat dit gedeelte zich dan als een "scherpe" overlaat gedraagt (een stroombeeld dat zich ook in het prototype voordoet).

### 3.3 Bepaling van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor gestuwde afvoer

Uit de reeds eerder vermelde waterstandsmetingen, uitgevoerd door het waterschap, blijkt gestuwde afvoer op te treden bij bovenstroomse waterstanden hoger dan ca. N.A.P. + 35,95 m. Dit komt overeen met een overstorthoogte van ca. 0,45 m en zoals uit figuur 5b blijkt, een debiet van ca. 5,2 m<sup>3</sup>/s.

Bij gestuwde afvoer bestaat er geen éénduidige relatie meer tussen de overstorthoogte  $h_1$  en het debiet  $Q$ , maar wordt de afvoer mede bepaald door de benedenstroomse waterhoogte  $h_2$  (evenals  $h_1$  gemeten ten opzichte van het referentieniveau). De verhouding  $h_2/h_1$  wordt de "verdrinkingsgraad" genoemd. Gestuwde afvoer zal, afhankelijk van het type overlaat, optreden vanaf een bepaalde verdrinkingsgraad en voor hogere waarden daarvan.

Teneinde de relatie vast te stellen tussen de overstorthoogte ( $h_1$ ), de verdrinkingsgraad ( $h_2/h_1$ ) en het debiet ( $Q$ ), zijn in het schaalmodel voor een achttal debieten, variërend van minimaal ca. 4 tot maximaal ca. 20 m<sup>3</sup>/s, metingen uitgevoerd bij variabele  $h_2$ -waarden. Voor debieten groter dan ca. 7 m<sup>3</sup>/s was het in het model niet mogelijk om ongestuwde afvoer te bewerkstelligen, dan wel betrouwbare meetwaarden voor ongestuwde afvoer te verkrijgen. In de praktijk zullen deze echter ook niet voorkomen. Het is daardoor ook niet mogelijk om een zogenaamde reductiefactor te bepalen, waarmee de afvoer bij ongestuwde afvoer wordt vermenigvuldigd om de gestuwde afvoer bij een bepaalde verdrinkingsgraad te berekenen.

In dit geval is de relatie tussen  $h_1$  en  $h_2/h_1$  voor de onderzochte debieten in een grafiek uitgezet, waarna hieruit  $h_1$ -waarden zijn afgelezen voor een aantal vaste  $h_2/h_1$ -waarden.

In figuur 6 is de aldus gevonden relatie tussen  $h_1$ ,  $h_2/h_1$  en  $Q$  weergegeven voor de  $h_2/h_1$ -waarden: 0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 - 0,85 - 0,9 - 0,92 - 0,94 en 0,95.

In tabel III zijn de bijbehorende waarden van  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_2/h_1$  en  $Q$  vermeld, zoals deze zijn gemeten in het schaalmodel en vervolgens zijn omgerekend naar prototype-waarden.

Het stromingsbeeld benedenstrooms van de overlaat is, zeker bij de wat grotere afvoeren, zeer turbulent, waardoor grote schommelingen in de waterstand optreden. De nauwkeurigheid waarmee de benedenstroomse waterstand kan worden bepaald is daardoor aanmerkelijk lager dan die van de bovenstroomse waterstand. De grotere nauwkeurigheid die in het algemeen bij hogere afvoeren kan worden behaald, wordt hier teniet gedaan doordat al snel gestuwde afvoer optreedt met een grote turbulentie benedenstrooms van de overlaat ter plaatse van de  $h_2$ -meetraai.



## 4 Nauwkeurigheid van de afvoerrelaties

### 4.1 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie van het verlaagde gedeelte

De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet volgens de formule:

$Q = (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C' \cdot h_1^{3/2}$  wordt als volgt geschreven:

$$X_Q = \sqrt{X_B^2 + X_C^2 + (1,5 X_h)^2} \quad (6)$$

waarin:

$X_Q$  = fout in het debiet (Q)

$X_B$  = fout in de dagbreedte (B) van het verlaagde gedeelte

$X_C$  = onnauwkeurigheid in de coëfficiënt  $C'$

$X_h$  = onnauwkeurigheid in de bepaling van de overstorthoogte ( $h_1$ )

$X_B$  mag gelijk 0 worden gesteld aangezien de breedte (B) zeer nauwkeurig is opgemeten.

De onnauwkeurigheid in de coëfficiënt  $C'$  wordt bepaald door de wijze waarop deze uit literatuur of eerder uitgevoerd onderzoek kan worden afgeleid. Voor de vormgeving van de drempel in dit onderzoek is deze coëfficiënt goed bekend en wordt  $X_C = 3\%$  geschat.

De onnauwkeurigheid in de bepaling van de overstorthoogte  $h_1$  wordt gedefinieerd als:

$X_h = 100 (\Delta h/h_1) \%$ , met  $\Delta h$  als de absolute fout in  $h_1$ .

Aangezien de stroomsnelheden bij stroming alleen over het verlaagde gedeelte in de  $h_1$ -raai laag zijn, wordt aangehouden  $\Delta h = 0,004$  m.

Tabel IV geeft een overzicht van de berekende onnauwkeurigheden in het debiet bij verschillende overstorthoogten.

### 4.2 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor ongestuwde afvoer

Conform het gestelde in paragraaf 4.1 kan ook voor de gehele overlaat de grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet worden bepaald. Hoewel in paragraaf 3.2 geen gebruik wordt gemaakt van een afvoerformule, zou deze, indien dit wel het geval was, identiek zijn aan de in de vorige paragraaf gehanteerde formule, met dien verstande, dat de afvoercoëfficiënt niet dezelfde zou zijn.

Voor de bepaling van de onnauwkeurigheid in het debiet wordt hier wel gebruik gemaakt van deze formule, en de fout in het debiet ( $X_Q$ ) berekend volgens formule (6), zoals vermeld in paragraaf 4.1.

De nauwkeurigheid van de afvoercoëfficiënt wordt in dit geval bepaald door de zorgvuldigheid waarmee de modelijking is uitgevoerd. Voor  $h_1 > \text{ca. } 0,24$  m wordt geschat  $X_C = 3\%$ , terwijl

voor kleinere overstorthoogten door de in paragraaf 3.2 genoemde randeffecten bij kleine overstorthoogten hogere percentages (tot 10%) worden aangehouden.

Aangezien het mogelijk is dat bij hoge stroomsnelheden (dus bij toenemende afvoeren) verschillen optreden tussen de werkelijke waterhoogte in de waterloop en de gemeten waterhoogte, wordt de fout in het debiet niet alleen berekend voor  $\Delta h = 0,004$  m, maar voor de hogere afvoeren ook voor  $\Delta h = 0,010$  m.

Tabel V geeft een overzicht van de berekende onnauwkeurigheden in het debiet voor verschillende overstorthoogten.

### 4.3 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie van de gehele overlaat voor gestuwde afvoer

Bij gestuwde afvoer is de afvoer een functie van twee waterhoogten, die beide met een zekere nauwkeurigheid kunnen worden gemeten. Gestuwde afvoeren komen voor bij debieten groter dan ca.  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . De gemiddelde stroomsnelheid in de  $h_1$ -raai kan daarbij toenemen tot meer dan  $1 \text{ m/s}$ . De stroomsnelheden ter plaatse van de  $h_2$ -raai liggen in dezelfde orde van grootte. Bovendien is de stroming daar zeer turbulent en onderhevig aan grote schommelingen. Een en ander is aanleiding om voor de onnauwkeurigheden in de bepaling van de hoogten  $h_1$  en  $h_2$  de volgende waarden te hanteren:

- $\Delta h_1 = 0,01 - 0,02$  m (voor de hoogste afvoeren);
- $\Delta h_2 = 0,05$  m.

De te verwachten procentuele fout in de bepaling van de verdrinkingsgraad  $h_2/h_1$  wordt dan:

$$X_{h_2/h_1} = \sqrt{(X_{h_1})^2 + (X_{h_2})^2} \quad (\%) \quad (7)$$

Aangezien  $X_{h_2} \gg X_{h_1}$  geldt dat:  $X_{h_2/h_1} \approx X_{h_2}$

Dus ook:

$$\frac{\Delta(h_2/h_1)}{h_2/h_1} \cdot 100 \quad (\%) = \frac{\Delta h_2}{h_2} \cdot 100 \quad (\%) \quad (8)$$

$$\Delta(h_2/h_1) = \frac{\Delta h_2}{h_2} \cdot \frac{h_2}{h_1} = \frac{\Delta h_2}{h_1} = \pm \frac{0,05}{h_1} \quad (-) \quad (9)$$

De mogelijke fout in de verdrinkingsgraad is dus bij een constante overstorthoogte  $h_1$ , maar voor verschillende verdrinkingsgraden, constant. In figuur 7 is het verband tussen de overstorthoogte  $h_1$  en  $\Delta(h_2/h_1)$  uitgezet.

Door bij een bepaalde waarde van  $h_1$  een aantal verdrinkingsgraden te verhogen en te verminderen met  $\Delta(h_2/h_1)$  en in figuur 6 de daarbij behorende debieten af te lezen, wordt voor deze verdrinkingsgraden de procentuele fout in het debiet:  $X_Q \cong \Delta Q/Q \cdot 100 \%$  gevonden.

In figuur 8 is het verband tussen de verdrinkingsgraad en de mogelijke positieve/negatieve fout in het debiet  $X_Q$  (%) weergegeven voor  $h_1 = 0,4$  m en  $h_1 = 1,0$  m. Voor tussenliggende waarden van  $h_1$  bevinden de waarden van  $X_Q$  zich ook tussen de in de figuur gegeven curves.

Let wel dat deze figuur uitsluitend geldig is voor de in dit rapport beschreven situatie en voor de hierbij gedane aannamen.

Globaal kan uit figuur 8 worden geconcludeerd, dat de onnauwkeurigheid in de bepaling van het debiet voor verdrinkingsgraden tot ca. 0,7 gemiddeld kleiner is dan 10% en voor verdrinkingsgraden tot ca. 0,8 gemiddeld kleiner is dan 15%. Bij hogere verdrinkingsgraden neemt de onnauwkeurigheid snel toe.

## 5 Samenvatting

- Voor het afvoermeetpunt Stemerdingbrug zijn afvoerrelaties opgesteld voor zowel ongestuwde als gestuwde afvoer. De waterhoogten bovenstrooms ( $h_1$ ) en benedenstrooms ( $h_2$ ) van de overlaat zijn bepaald ten opzichte van de gemiddelde hoogteligging van het verlaagde gedeelte in het rechter gedeelte van de overlaat, zijnde het referentievlak.
- De afvoerrelatie van het verlaagde gedeelte is opgesteld aan de hand van literatuurgegevens en is beschreven in paragraaf 3.1. In de figuren 4a en 4b is een en ander grafisch weergegeven, terwijl de bijbehorende getallen staan vermeld in tabel I.
- De afvoerrelatie van de gehele overlaat is voor ongestuwde afvoer tot een debiet van ca.  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$  onderzocht in een schaalmodel met een schaal van 1:8. In de praktijk zal waarschijnlijk al gestuwde afvoer optreden bij een lager debiet (vanaf ca.  $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Paragraaf 3.2 beschrijft het uitgevoerde modelonderzoek. Tabel II en de figuren 5a en 5b geven de afvoerrelatie voor ongestuwde afvoer.  
Bij ongestuwde afvoer over de gehele breedte van de overlaat verdient het aanbeveling om aan de benedenstroomse zijde van de overlaat beluchtungs pijpen aan te brengen onder de overstortende straal.
- De afvoerrelatie bij gestuwde afvoer is in hetzelfde schaalmodel onderzocht voor een aantal debieten variërend van ca. 3 tot ca.  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Een beschrijving van dit onderzoek vindt plaats in paragraaf 3.3. De afvoerrelatie wordt voor een aantal verdrinkingsgraden grafisch weergegeven in figuur 6, terwijl de meetcijfers zijn vermeld in tabel III.
- In hoofdstuk 4 wordt de nauwkeurigheid van de verschillende afvoerrelaties behandeld. Tabel IV geeft de grootste te verwachten fout in het debiet voor het verlaagde gedeelte. Deze bedraagt, afgezien van de kleinste overstorthoogten ( $h_1 < \text{ca. } 0,06 \text{ m}$ ) 5-10%.  
Voor ongestuwde afvoer geldt dat bij overstorthoogten van 0,16 - ca. 0,22 m de geringe waterlaag boven het hoge gedeelte van de overlaat aanleiding geeft tot een grotere onnauwkeurigheid in de bepaling van het debiet. Voor overstorthoogten groter dan ca. 0,22 m kan het debiet met een nauwkeurigheid beter dan 5% worden bepaald (zie tabel V).  
Bij gestuwde afvoer zal de onnauwkeurigheid in de bepaling van het debiet groter worden, aangezien twee waterhoogten moeten worden gemeten en het stromingsbeeld benedenstrooms bovendien zeer turbulent is. Figuren 7 en 8 geven globaal het verband tussen de verdrinkingsgraad en de onnauwkeurigheid in de bepaling van het debiet weer.  
Een en ander geldt alleen dan, wanneer de nodige zorgvuldigheid wordt betracht bij het vastleggen van de waterhoogten en de bepaling van het referentievlak.
- Alle in dit rapport vermelde resultaten zijn alleen geldig voor de in dit rapport beschreven overlaat en mogen dus niet worden gebruikt voor andere - enigszins - vergelijkbare constructies.

**Tabel I Afvoerrelatie voor het verlaagde gedeelte**

overstorthoogte $h_1$ (m)	coëfficiënt $C'$ (-)	debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,030	0,822	0,0220
0,040	0,822	0,0339
0,050	0,822	0,0473
0,060	0,822	0,0622
0,070	0,825	0,0787
0,080	0,829	0,0966
0,090	0,835	0,1161
0,100	0,842	0,1371
0,110	0,849	0,1595
0,120	0,857	0,1835
0,130	0,868	0,2095
0,140	0,878	0,2369
0,150	0,889	0,2659

**Tabel II Afvoerrelatie voor ongestuwde afvoer - modelmetingen (omgerekend naar prototype)**

overstorthoogte $h_1$ (m)	debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,175*	0,358
0,190*	0,424
0,207*	0,615
0,228	0,822
0,266	1,310
0,305	1,917
0,335	2,476
0,367	3,184
0,396	3,853
0,420	4,480
0,440	4,885
0,455	5,314
0,480	5,997
0,504	6,746
0,529	7,497

\* overstortende straal niet belucht, dus kleven van de straal: onbetrouwbaar traject

**Tabel III-1 Afvoerrelatie voor gestuwde afvoer - modelmetingen (omgerekend naar prototype)**

overstorthoogte $h_1$ (m)	benedenstroomse waterhoogte $h_2$ (m)	verdrinkings- graad $h_2/h_1$ (-)	debiet $Q$ ( $m^3/s$ )
0,346			2,666
0,348	0,058	0,167	
0,350	0,134	0,383	
0,355	0,190	0,535	
0,366	0,249	0,680	
0,379	0,301	0,794	
0,411	0,359	0,873	
0,461	0,429	0,931	
0,525	0,505	0,962	
0,399			3,926
0,402	0,079	0,197	
0,404	0,154	0,381	
0,414	0,210	0,507	
0,427	0,288	0,674	
0,453	0,358	0,790	
0,510	0,450	0,882	
0,610	0,578	0,948	
0,478			5,973
0,478	0,139	0,291	
0,487	0,198	0,407	
0,498	0,260	0,522	
0,513	0,326	0,635	
0,550	0,410	0,745	
0,592	0,490	0,828	
0,654	0,581	0,888	
0,762	0,717	0,941	
0,978	0,954	0,975	
0,546			7,922
0,552	0,194	0,351	
0,570	0,270	0,474	
0,592	0,355	0,600	
0,645	0,483	0,749	
0,726	0,618	0,851	
0,839	0,759	0,905	
0,961	0,913	0,950	
1,085	1,050	0,968	

**Tabel III-2 Afvoerrelatie voor gestuwde afvoer - modelmetingen (omgerekend naar prototype)**

overstorthoogte $h_1$ (m)	benedenstroomse waterhoogte $h_2$ (m)	verdrinkings- graad $h_2/h_1$ (-)	debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,645			11,603
0,653	0,256	0,392	
0,679	0,334	0,492	
0,712	0,409	0,574	
0,761	0,530	0,696	
0,836	0,669	0,800	
0,950	0,838	0,882	
1,093	1,021	0,934	
1,200	1,139	0,949	
0,723	0,216	0,299	14,060
0,743	0,302	0,406	
0,779	0,436	0,560	
0,823	0,541	0,657	
0,879	0,646	0,735	
0,966	0,762	0,789	
1,090	0,950	0,872	
1,232	1,131	0,918	
1,402	1,331	0,949	
0,817	0,230	0,282	17,271
0,842	0,342	0,406	
0,868	0,437	0,503	
0,919	0,552	0,601	
0,984	0,686	0,697	
1,087	0,850	0,782	
1,216	1,048	0,862	
1,382	1,266	0,916	
1,550	1,462	0,943	
0,901	0,324	0,360	19,667
0,934	0,447	0,479	
1,005	0,623	0,620	
1,062	0,737	0,694	
1,105	0,793	0,718	
1,181	0,922	0,781	
1,283	1,080	0,842	
1,435	1,289	0,898	
1,634	1,528	0,935	

**Tabel IV De grootste te verwachten fout in het debiet voor het verlaagde gedeelte**

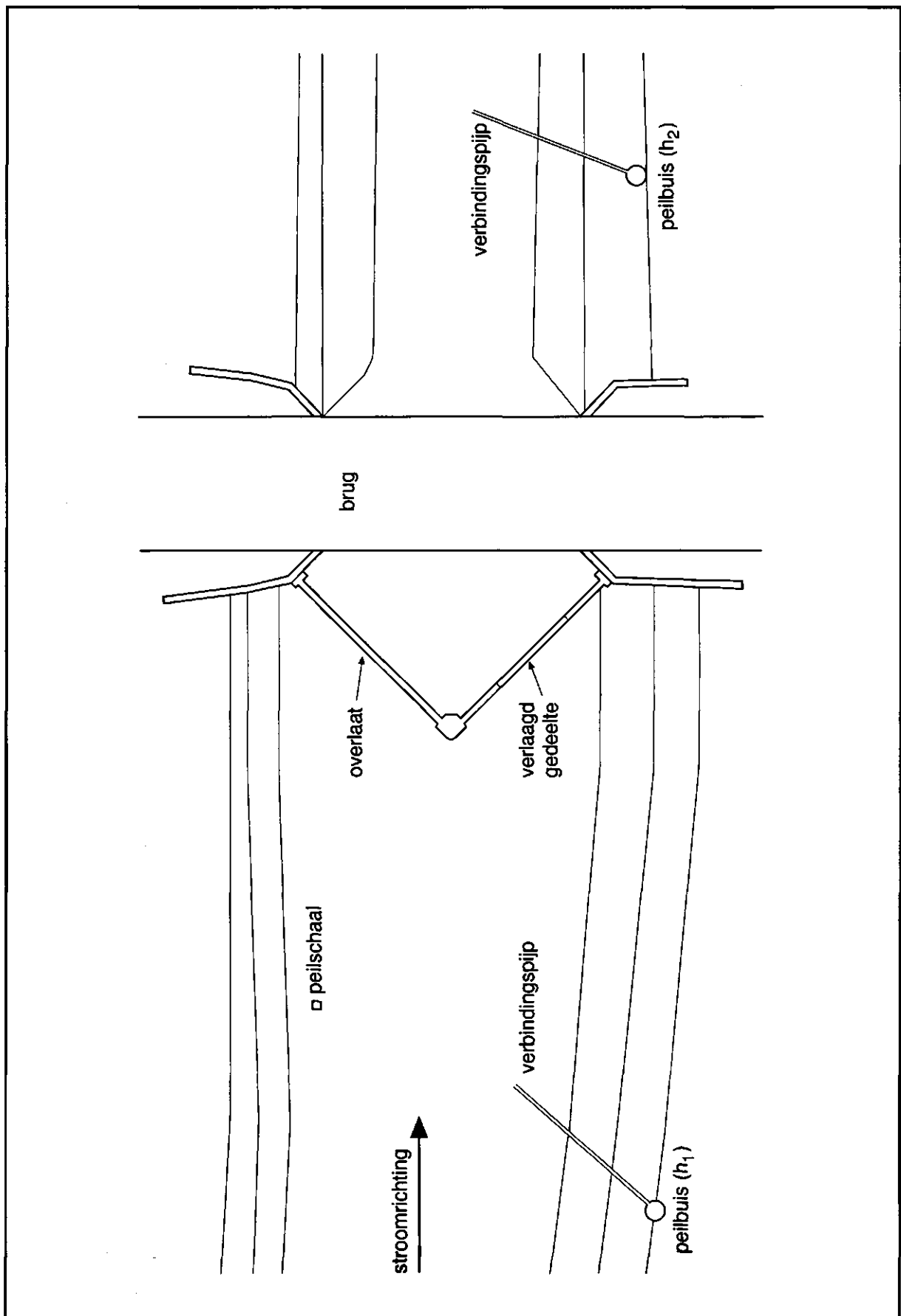
overstorthoogte $h_1$ (m)	$X_C$ (%)	$X_h$ (%)	$X_Q$ (%)
0,03	3	13,3	20,2
0,05	3	8,0	12,4
0,07	3	5,7	9,1
0,09	3	4,4	7,2
0,11	3	3,6	6,2
0,13	3	3,1	5,5
0,15	3	2,7	5,0

**Tabel V De grootste te verwachten fout in het debiet bij ongestuwde afvoer**

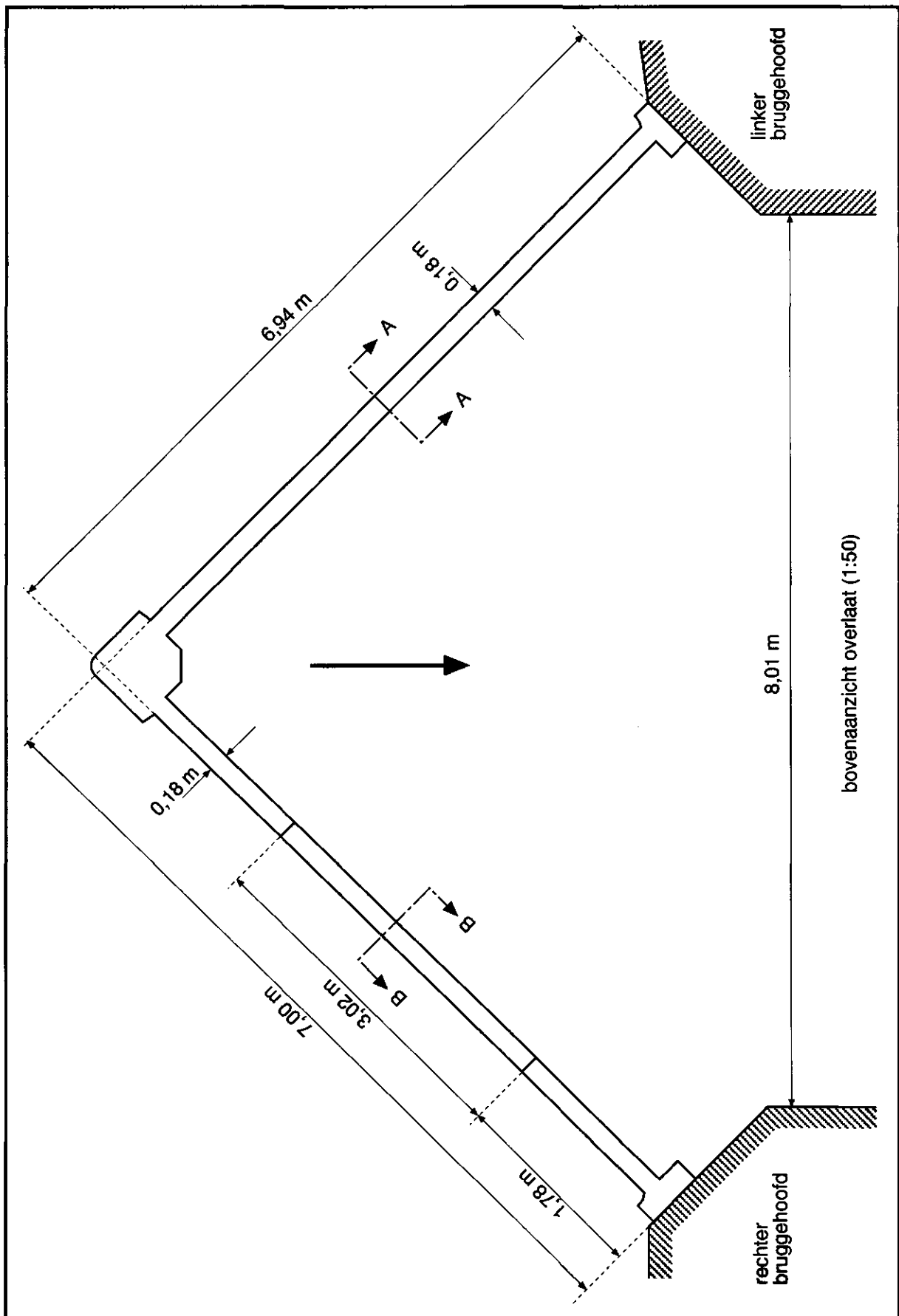
overstorthoogte $h_1$ (m)	$X_C$ (%)	$X_h$ (%) $\Delta h = 0,004/0,010$	$X_Q$ (%)
0,16	10	2,5/-	10,7
0,18	10	2,2/-	10,5
0,20	8	2,0/-	8,5
0,22	5	1,8/-	5,7
0,24	3	1,7/-	3,9
0,27	3	1,5/-	3,8
0,30	3	1,3/-	3,6
0,35	3	1,1/-	3,4
0,40	3	1,0/2,5	3,4/4,8
0,45	3	1,0/2,2	3,4/4,5
0,50	3	1,0/2,0	3,4/4,2



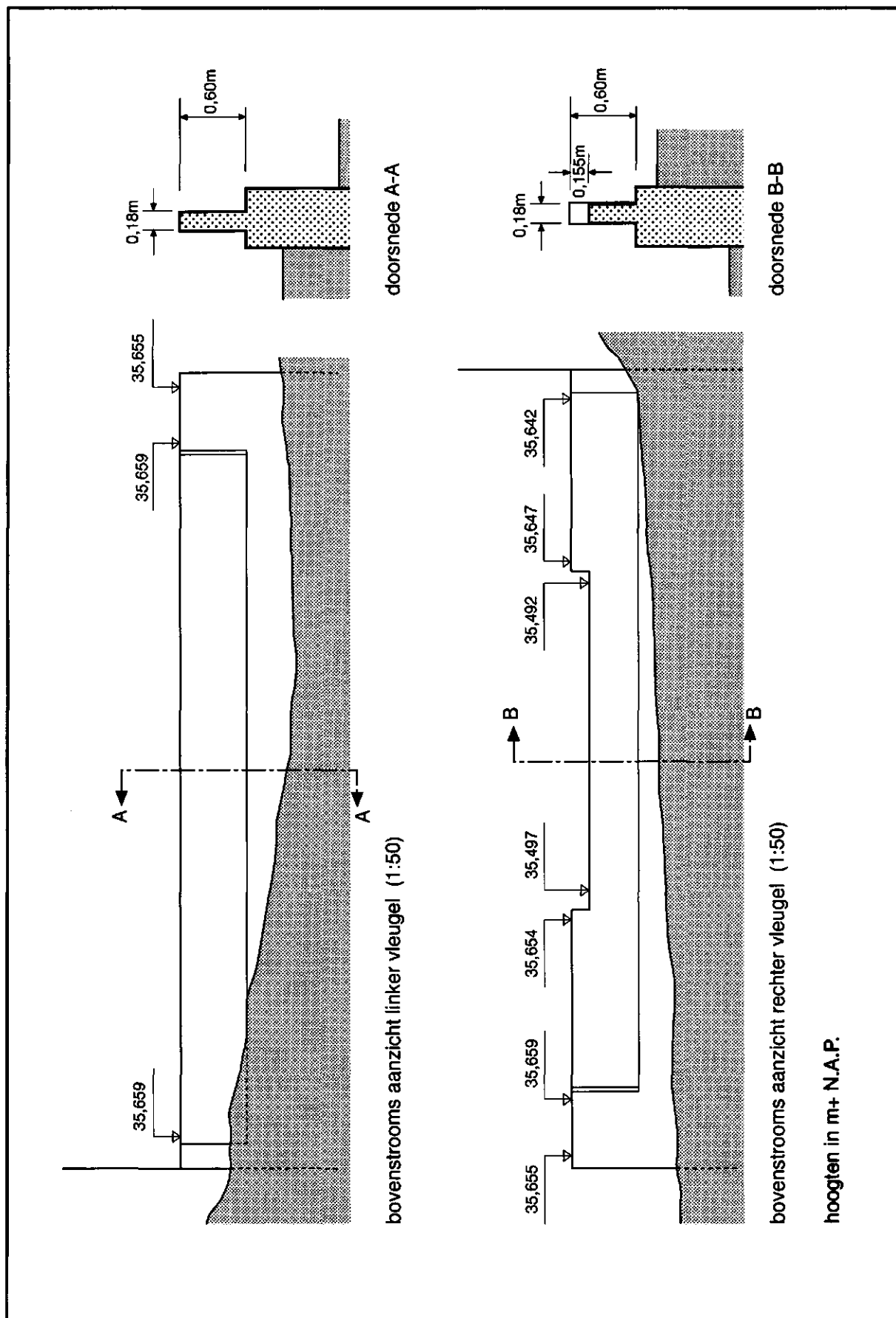




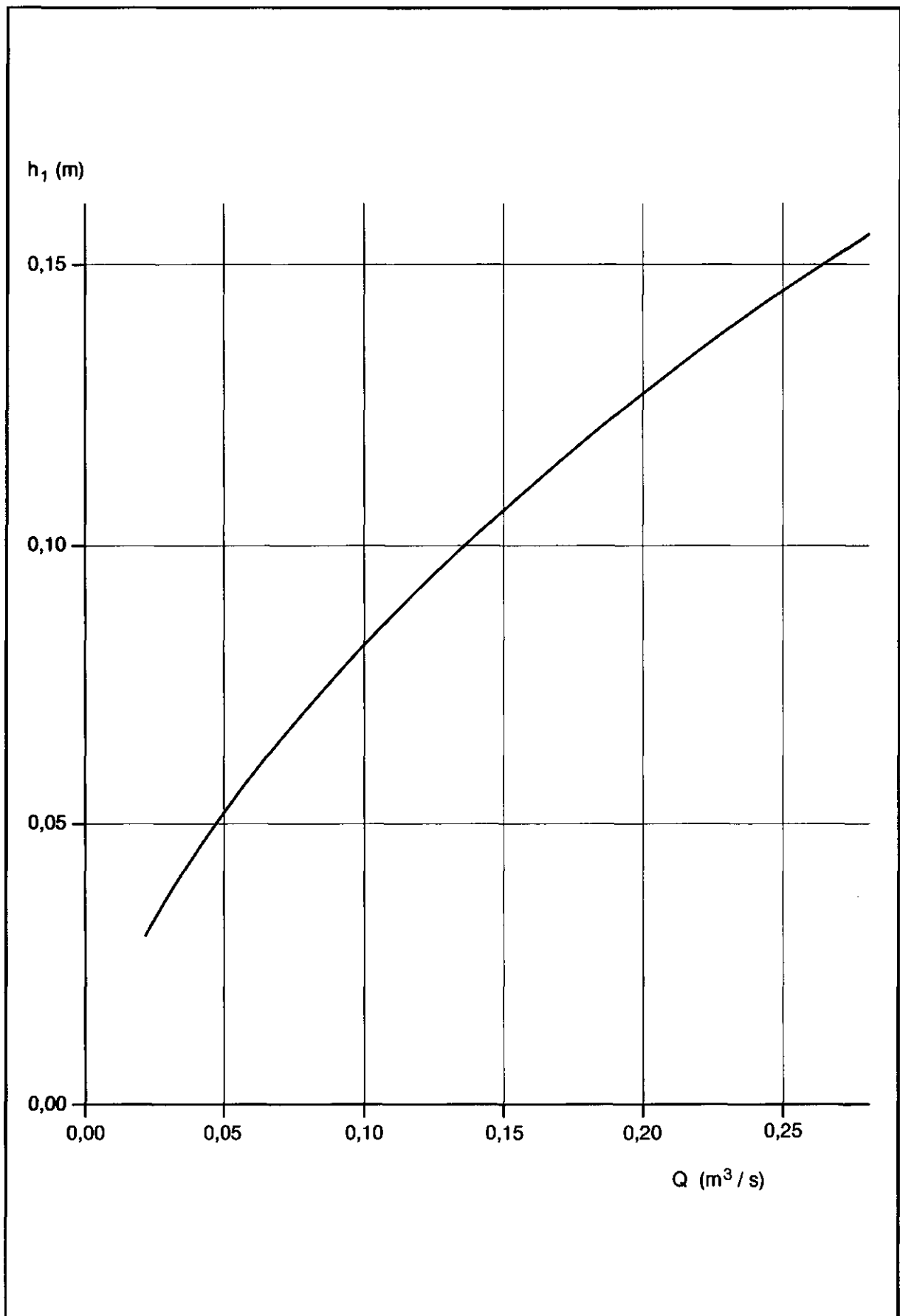
**Figuur 2** Situatieschets



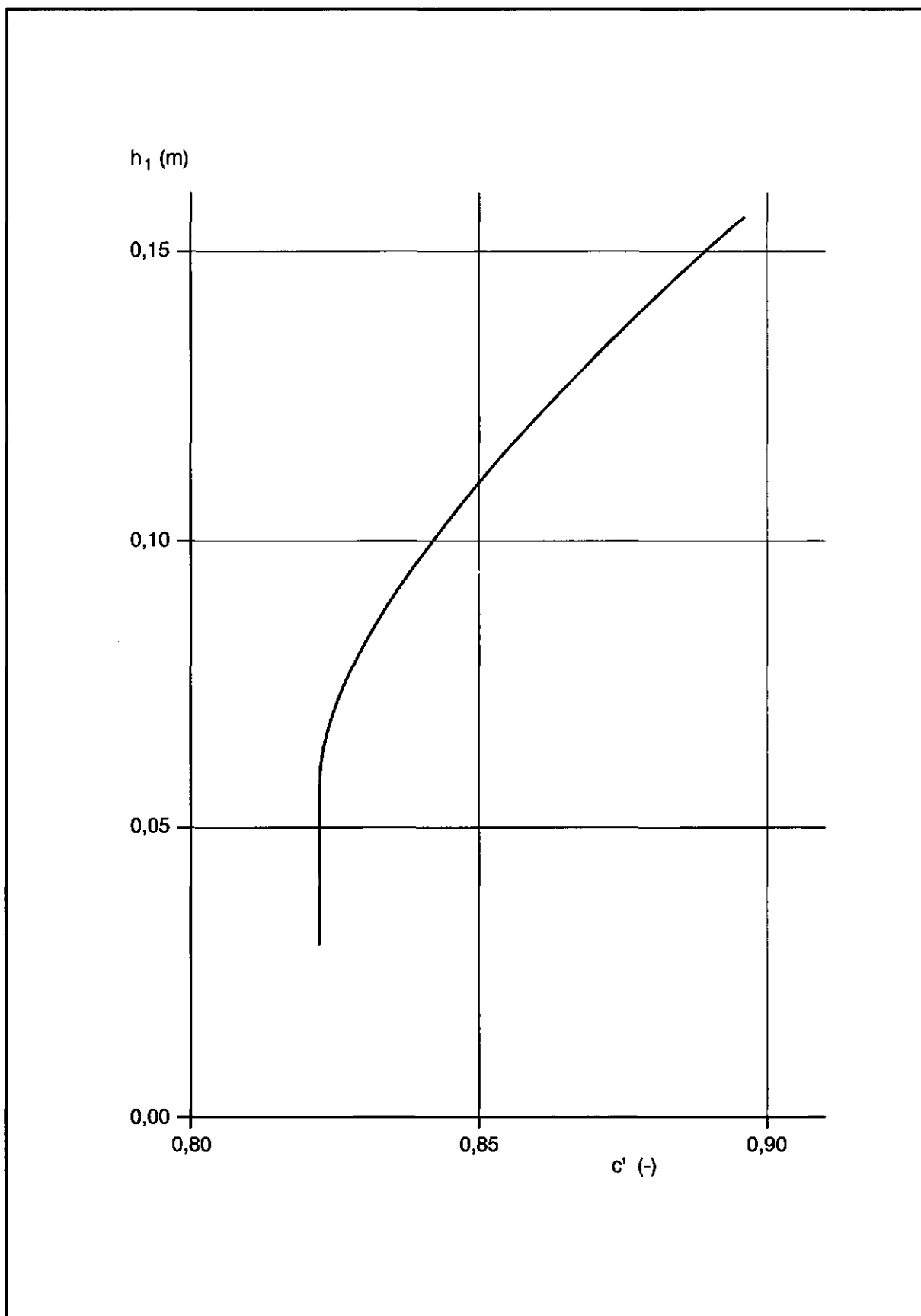
**Figuur 3a** Bovenaanzicht meetoverlaat



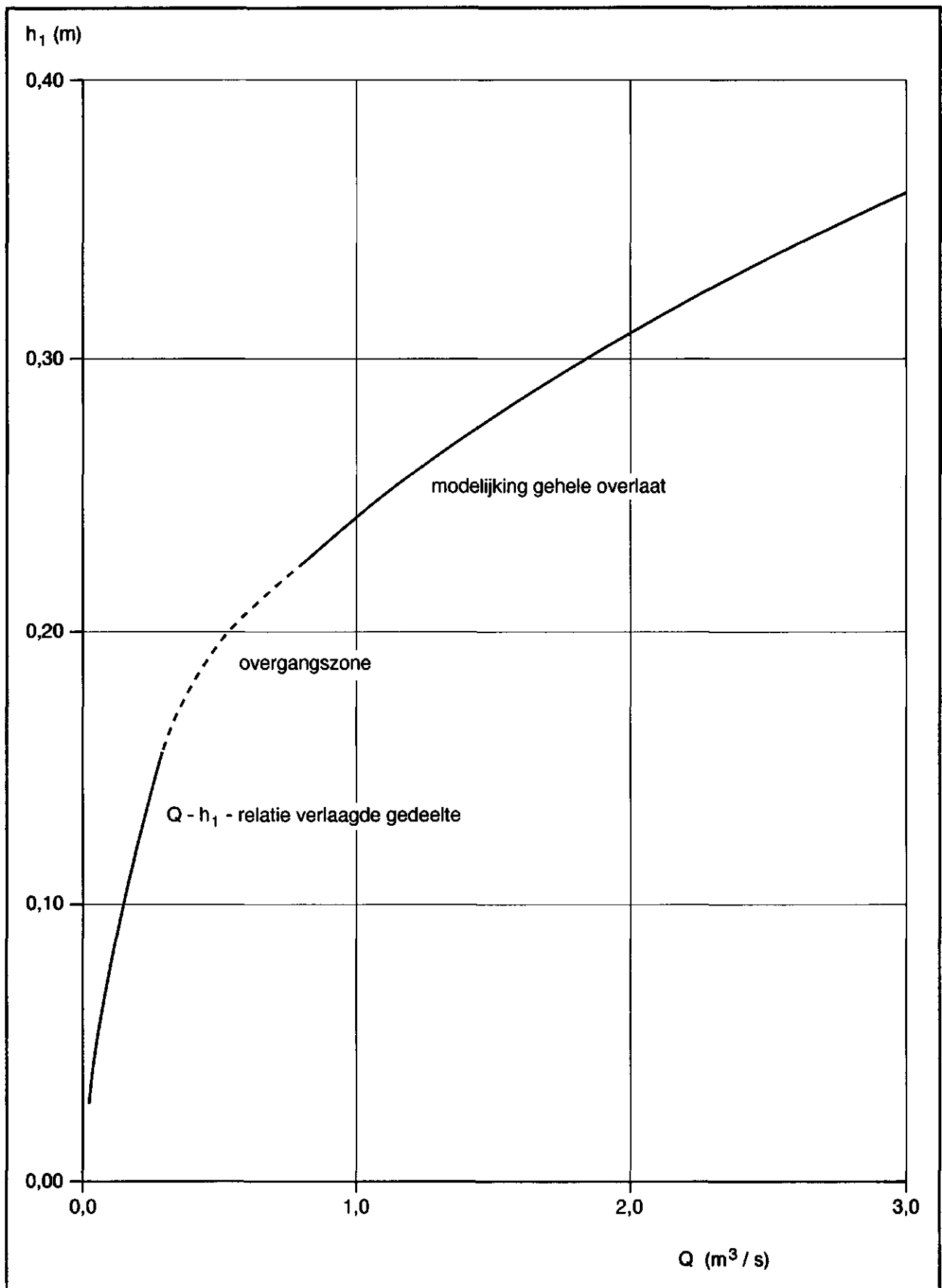
**Figuur 3b** Vooraanzicht en doorsneden meetoverlaat



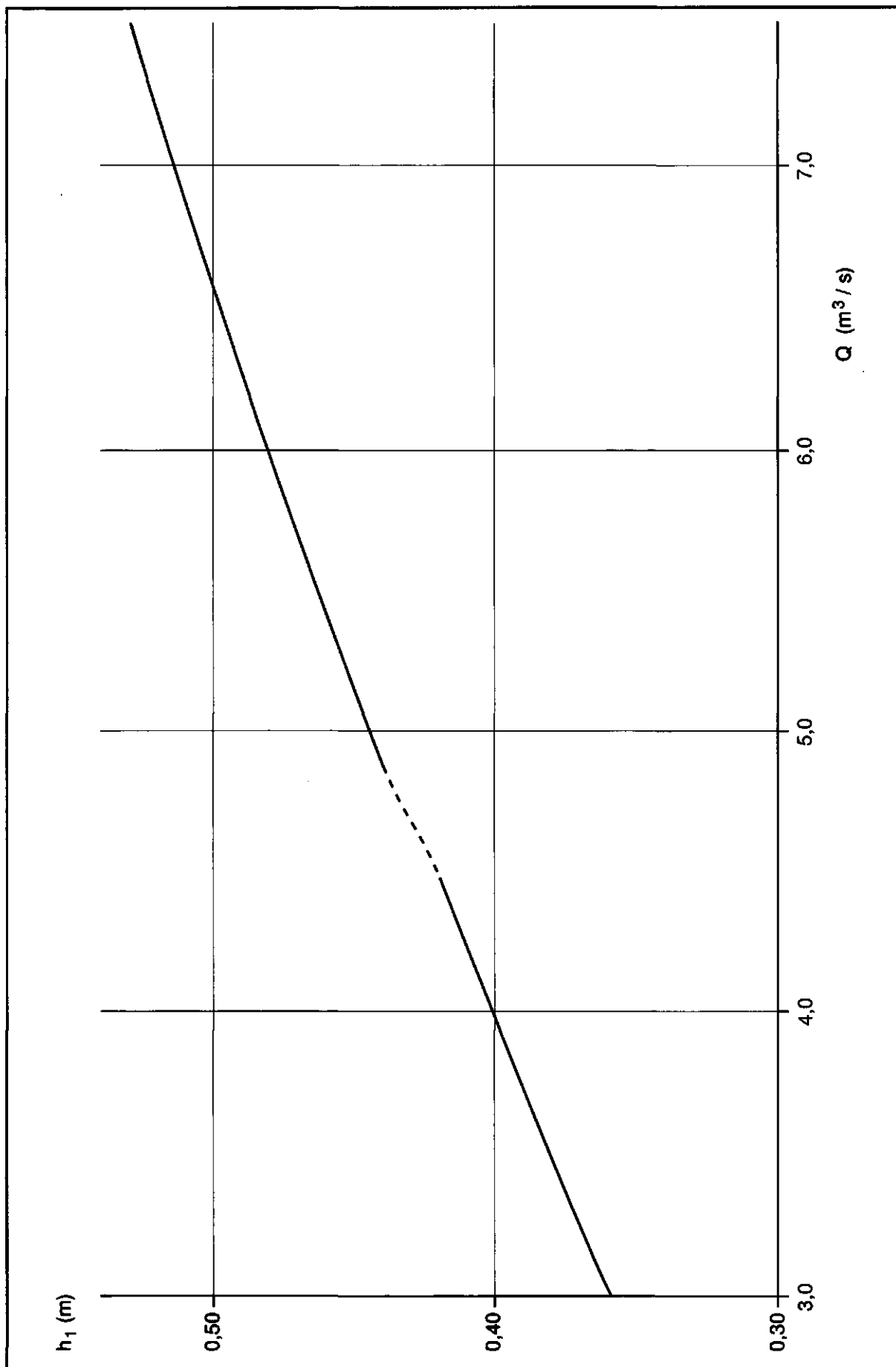
**Figuur 4a**  $Q$ - $h_1$ -relatie voor het verlaagde gedeelte



**Figuur 4b** Karakteristieke afvoercoëfficiënt  $C'$  voor het verlaagde gedeelte als functie van de overstortheogte

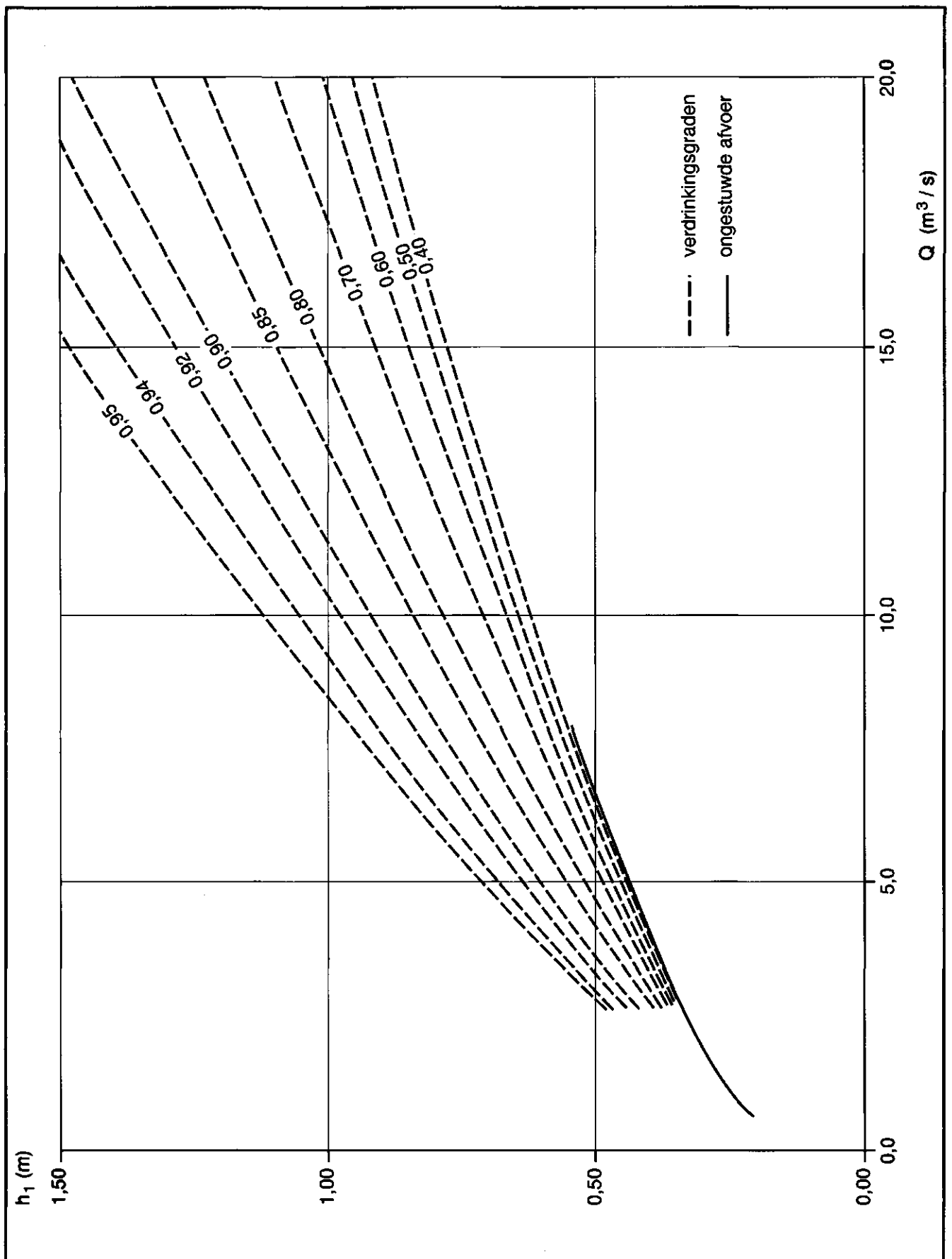


**Figuur 5a Afvoerrelatie bij overgang van verlaagde gedeelte naar gehele breedte van de overlaat**

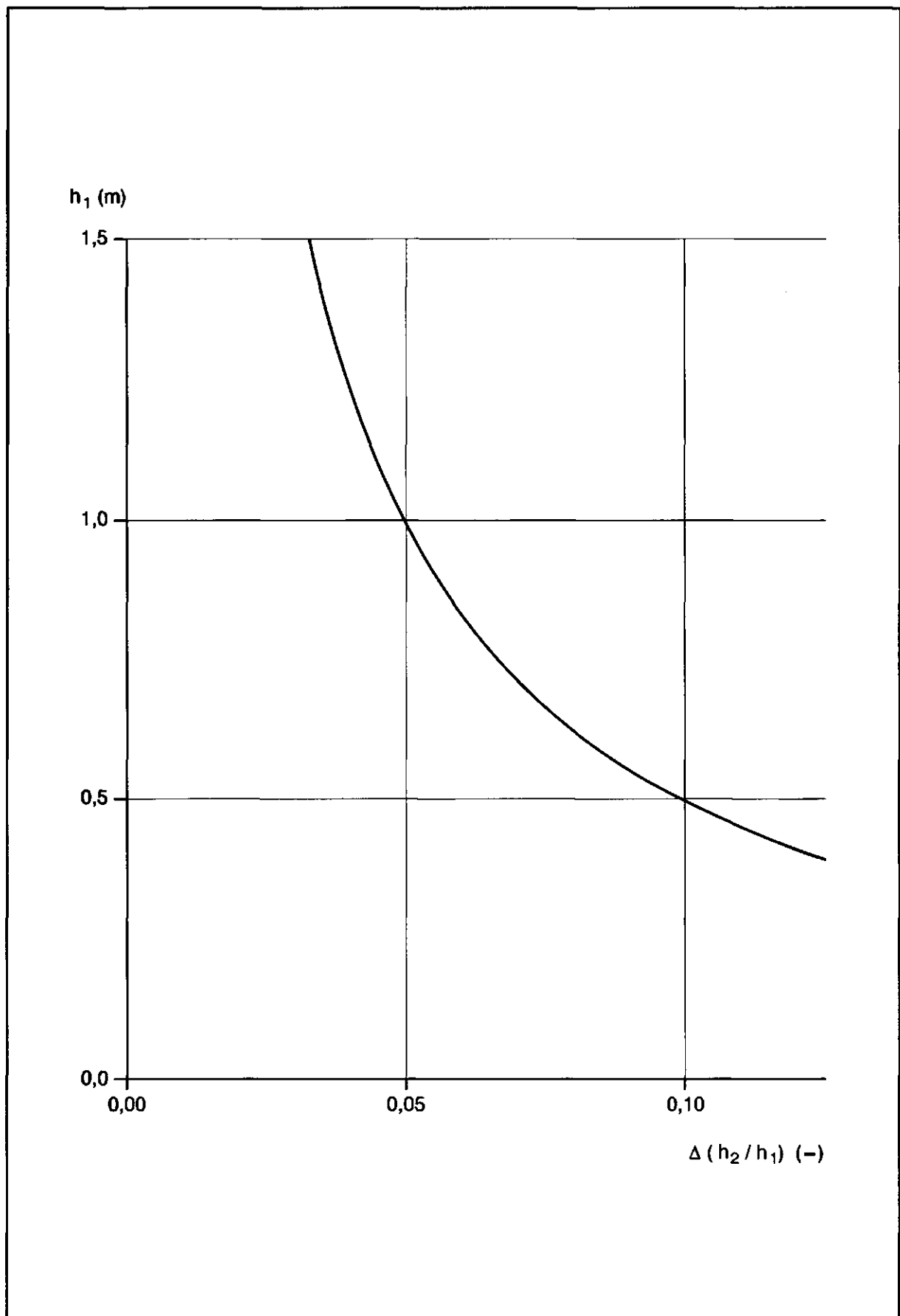


**Figuur 5b Afvoerrelatie voor gehele breedte van de overlaat bij ongestuwde afvoer voor debieten groter dan  $3 \text{ m}^3/\text{s}$**

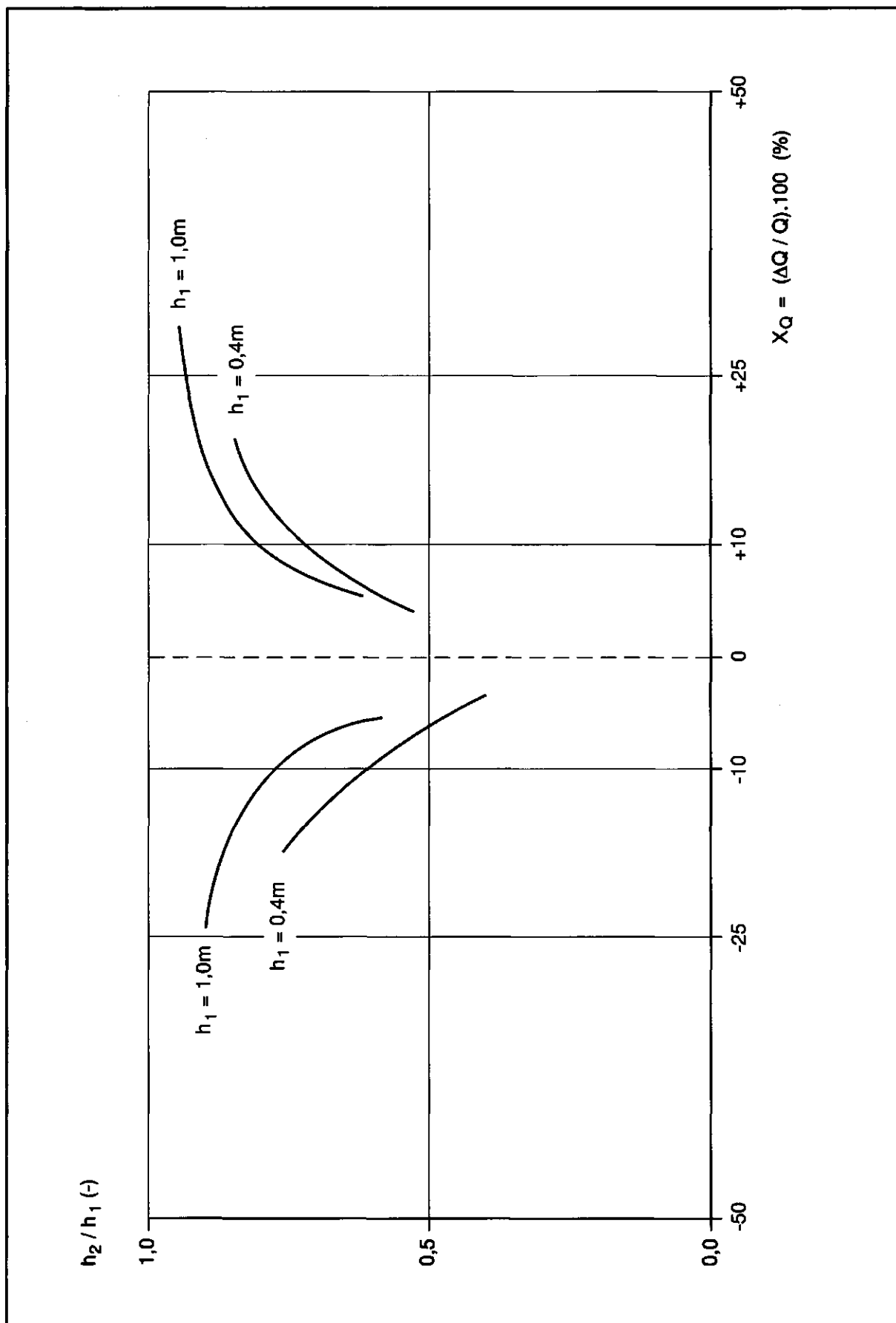




**Figuur 6** Afvoerrelatie voor de gehele overlaat bij gestuwde afvoer

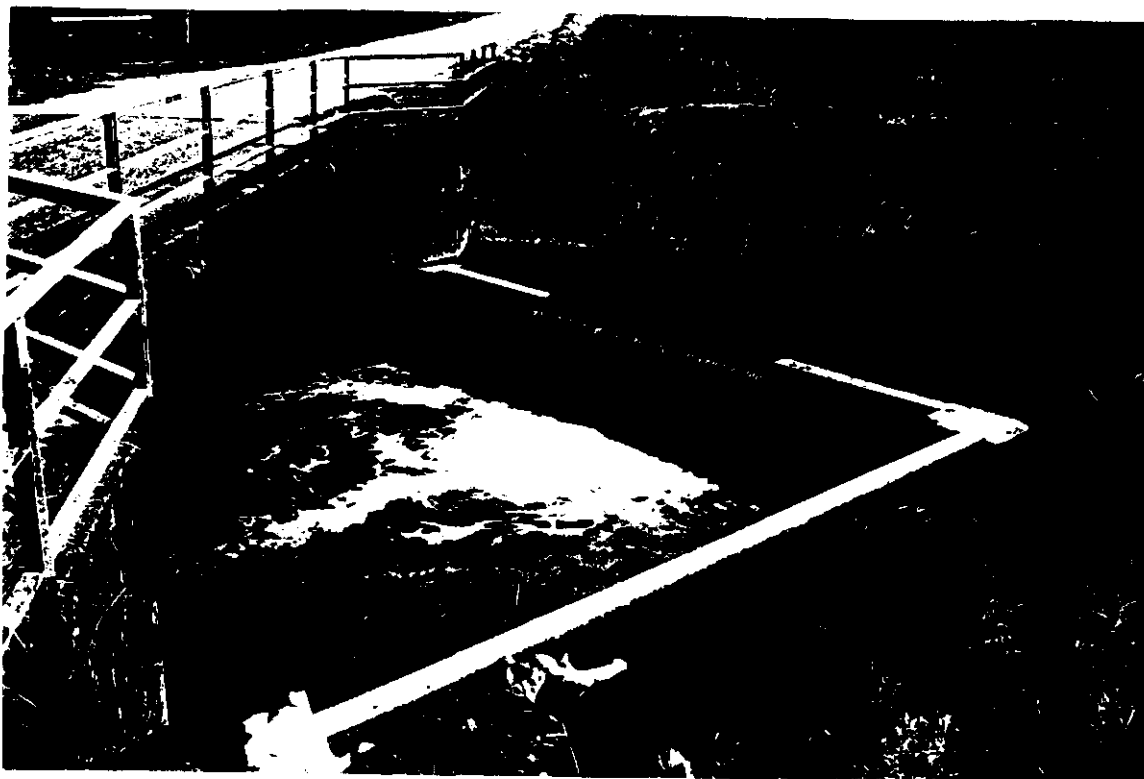


**Figuur 7** Absolute fout in de verdrinkingsgraad als functie van de overstorehoogte

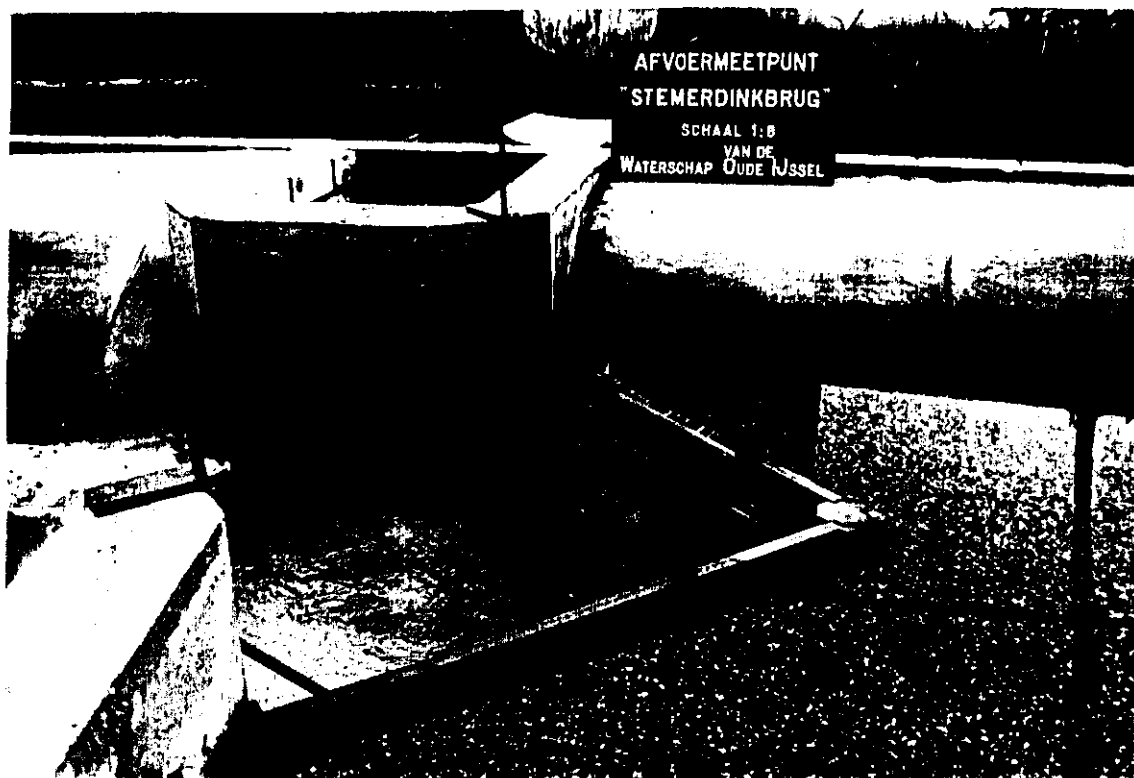


**Figuur 8** Procentuele fout in het debiet als functie van de verdrinkingsgraad

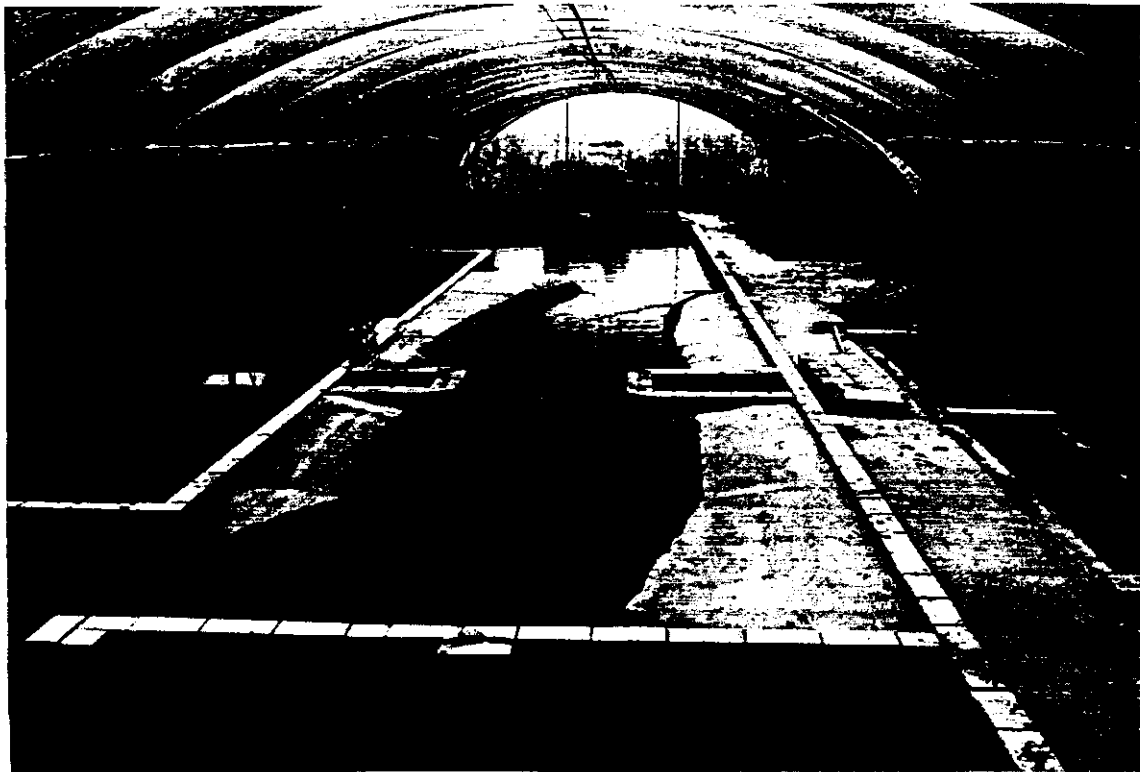
Fotopagina 1



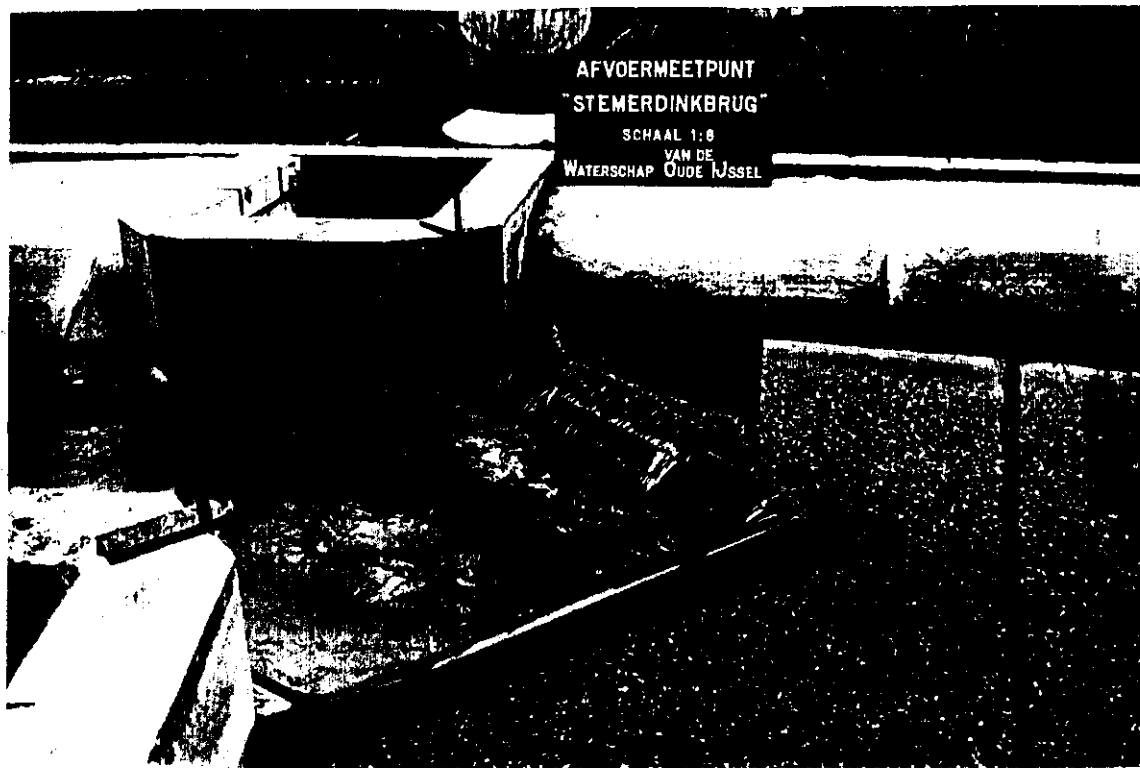
Prototype - alleen afvoer over het verlaagde gedeelte



Model - alleen afvoer over het verlaagde gedeelte:  $Q = 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$



Overzichtsfoto van de modelopstelling



Model - ongestuwde afvoer:  $Q = 5,1 \text{ m}^3/\text{s}$



Model - gestuwde afvoer:  $Q = 12,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_2/h_1 = 0,63$



Model - gestuwde afvoer:  $Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_2/h_1 = 0,89$