

**Opdrachtgever**

**Waterschap van de Berkel**

## **Verdeelpunt Haarlo**

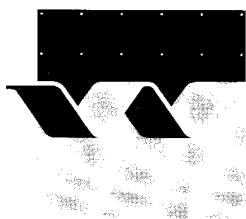
**Onderzoek naar de bepaling van de afvoerrelaties van de  
schuifstuw in de Berkel en de klepstuw in de Bolksbeek**

**Verslag onderzoek**

**Februari 1994**

## Verdeelpunt Haarlo

Onderzoek naar de bepaling van de afvoerrelaties van de  
schuifstuw in de Berkel en de klepstuw in de Bolksbeek



# Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

Symbolen en eenheden

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1 — 1</b>
<b>2</b>	<b>De schuifstuw in de Berkel</b> .....	<b>2 — 1</b>
2.1	Beschrijving van de stuw .....	2 — 1
2.2	Opzet en uitvoering modelonderzoek .....	2 — 1
2.3	Analyse van de metingen .....	2 — 3
2.4	Aanbevolen afvoerrelatie van de schuifstuw .....	2 — 3
2.5	Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie .....	2 — 5
<b>3</b>	<b>De klepstuw in de Bolksbeek</b> .....	<b>3 — 1</b>
3.1	Beschrijving van de stuw .....	3 — 1
3.2	Aanbevolen afvoerrelatie van de klepstuw .....	3 — 1
3.3	Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie .....	3 — 2
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>4 — 1</b>
4.1	Conclusies .....	4 — 1
4.2	Aanbevelingen .....	4 — 1

Literatuur

Tabellen

Figuren

Appendix I: Afstellingsschema verdeelpunt Haarlo

## Lijst van tabellen

- I. Ijkingsresultaten Berkelschuij voor een schuijhoogte NAP + 18,05 m
- II. Ijkingsresultaten Berkelschuij voor een schuijhoogte NAP + 17,55 m
- III. Ijkingsresultaten Berkelschuij voor een schuijhoogte NAP + 17,05 m
- IV. Overzicht ijkingsresultaten Berkelschuij voor drie schuijhoogtes
- V. Afvoerrelatie van de schuijstuw in de Berkel te Haarlo
- VI. Afvoerrelatie van de klepstuw in de Bolksbeek te Haarlo
- VII. Afwijking tussen de oude en de nieuwe afvoerrelatie voor de schuijstuw in de Berkel te Haarlo
- VII. De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet over de schuijstuw in de Berkel
- VIII. Afvoerrelatie van de klepstuw in de Bolksbeek
- IX. Afwijking tussen de oude en de nieuwe relatie voor de klepstuw in de Bolksbeek te Haarlo
- X. De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet over de klepstuw in de Bolksbeek.

## Lijst van figuren

1. Situatie verdeelpunt Haarlo
2. De schuifhoogte van de schuifstuw in de Berkel als functie van bovenwaterstand en debiet bij het huidige beheer van het verdeelpunt Haarlo
3. Globaal verband tussen benedenwaterstand en debiet voor de schuifstuw in de Berkel te Haarlo
4. De relatie tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt  $C$  bij een schuifhoogte NAP + 18,05 m
5. De relatie tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt  $C$  bij een schuifhoogte NAP + 17,55 m
6. De relatie tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt  $C$  bij een schuifhoogte NAP + 17,05 m
7. De relatie tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt  $C$  bij diverse schuifhoogtes
8. De aanbevolen relatie tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt  $C$  voor de schuifstuw
9. Afvoerrelatie van de schuifstuw in de Berkel te Haarlo
10. Globaal verband tussen de klephoek en de kruinhoogte van de klepstuw in de Bolksbeek te Haarlo
11. Afvoerrelatie van de klepstuw in de Bolksbeek te Haarlo

## Symbolen en eenheden

B	dagwijdte van een stuw	m
C	afvoercoëfficiënt	-
$C_C$	contractiecoëfficiënt	-
$C_D$	karakteristieke afvoercoëfficiënt van een kruinvorm	-
g	versnelling ten opzichte van de zwaartekracht	$m/s^2$
$h_1$	overstorthoogte	m
$H_1$	energiehoogte	m
L	kruinlengte in de stroomrichting	m
$n_1$	lengteschaal van een model	-
Q	debiet, afvoer	$m^3$
R	afrondingsstraal	m
x	maat paraboolvormige klep	mm
y	maat paraboolvormige klep	mm
$X_B$	onnauwkeurigheid in B	%
$X_C$	onnauwkeurigheid in C	%
$X_H$	onnauwkeurigheid in H	%
$X_Q$	fout in de bepaling van Q	%
$\alpha$	klephoek met de verticaal	graden
$\delta_h$	absolute fout in de meting van $h_1$ of $H_1$	m

# 1 Inleiding

Op 1 juli 1993 verleende het Waterschap van de Berkel per brief 913/HW/93 opdracht aan WL (Waterloopkundig Laboratorium) tot het bepalen van de afvoerrelatie van het verdeelpunt Haarlo. Het onderzoek heeft betrekking op de WL-offerte, kenmerk RS 2508/Q 1620/WB/eb, d.d. 24 maart 1993.

Het advies bestaat uit de volgende onderdelen:

- a) voorbereidende werkzaamheden, waaronder ook de analyse van de afvoerrelaties uit het afstellingsschema van het verdeelwerk Haarlo. Uit deze analyse bleek dat de bestaande afvoerrelatie van de schuif in de Berkel de werkelijke debieten met enkele tientallen procenten overschatte;
- b) ijking van de bestaande schuifstuw in de Berkel in een eenvoudig schaalmodel. Het meetbereik bedraagt  $0,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 40 \text{ m}^3/\text{s}$  bij een vrijwel ongestuwde afvoer;
- c) het opstellen van de afvoerrelatie van de klepstuw in de Bolksbeek uit speurwerkgegevens. Het meetbereik bedraagt  $0,35 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 48 \text{ m}^3/\text{s}$  bij een ongestuwde afvoer.

De locatie van het verdeelpunt is aangegeven in Figuur 1.

Het advies vond plaats vanuit WL te Wageningen door ing. W. Boiten, die ook dit rapport samenstelde.

## 2 De schuifstuw in de Berkel

### 2.1 Beschrijving van de stuw

De stuw bestaat uit twee naast elkaar gelegen doorgangen, waarin zich dubbele schuifstuwen bevinden. De tussenpijler en de landhoofden zijn royaal afgerond met een straal  $R = 0,50$  m, waardoor de verliezen ten gevolge van contractie marginaal zijn.

In elk van de doorgangen bevindt zich een regelschuif, waarvan de voorkant zich op circa 2,75 m achter de voorkant van het landhoofd en de tussenpijler bevindt. De onderschuif bevindt zich direct bovenstrooms van de regelschuif op een vast niveau van NAP + 16,85 m, en rust op een betondrempel met een niveau van NAP. + 16,20 m.

De regelschuif wordt in verticale sponningen op en neer bewogen, waarbij het bereik - afhankelijk van het afstellingsschema - in de huidige praktijk varieert tussen NAP + 17,40 m en NAP + 18,10 m. De dagwijdte van elk der beide schuiven bedraagt  $B = 5,00$  m. De kruin is rechthoekig met een lengtemaat in de stroomrichting van  $L = 0,30$  m. De werkelijke afvoerende breedte is met name voor lage afvoeren iets kleiner dan de dagwijdte door de aanwezigheid van twee schermen aan weerszijden (gezamenlijke breedte 0,195 m) en twee stooreslementen (gezamenlijke breedte op de bodem 0,210 m).

De vormgeving van de schuifstuw is in principe ontleend aan het bestek 1547, tekening 9390, bladen 9 en 10. De regelstuw zelf is echter in detail opgemeten omdat deze sterk afweek van de maatvoering volgens het bestek.

Het Waterschap heeft voor het verdeelwerk Haarlo een afstellingsschema opgesteld, waarmee de gewenste verdeling van de aanvoer uit de Boven Berkel over de Berkel en de Bolksbeek wordt gerealiseerd. Appendix I geeft het bestaande afstellingsschema, dat gedateerd is op april 1990.

Figuur 2 geeft de schuifhoogte van de schuifstuw in de Berkel als functie van de gewenste bovenwaterstand en het debiet bij het huidig beheer (het bestaande afstellingsschema). Deze grafiek is van belang om een globale indruk te hebben van de debiet-bereiken bij verschillende schuifstanden.

De bovenwaterstand voor het verdeelwerk Haarlo wordt gemeten op enige afstand bovenstrooms van beide stuwen in een zeer breed profiel.

### 2.2 Opzet en uitvoering modelonderzoek

Gezien de rustige en symmetrische aanstroming is slechts één van de beide doorgangen gemodelleerd. De lengteschaal was  $n_1 = 7,5$ .

In het model werden de debieten gemeten met een electro-magnetische flowmeter, en werd de bovenwaterstand gemeten met een peilnaald.

Op basis van de informatie uit Figuur 2 werd besloten om ijkingen uit te voeren bij drie verschillende standen van de regelschuif:

NAP + 18,05 m	bereik	$0,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 40 \text{ m}^3/\text{s}$
NAP + 17,55 m	bereik	$6,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 40 \text{ m}^3/\text{s}$
NAP + 17,05 m	bereik	$12,0 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 46 \text{ m}^3/\text{s}$

Reeds tijdens het begin van de metingen in het model bleek dat de benedenwaterstand - zelfs bij standen, lager dan de schuifstand - een gering maar duidelijk meetbaar effect had op de afvoerrelatie.



Figuur 3 geeft een globaal verband tussen de benedenwaterstand en het debiet, gebaseerd op informatie van het Waterschap. Hiermee werd het mogelijk de ijkingen uit te voeren met passende benedenwaterstanden.

De afvoerrelatie van een stuw met horizontale kruin luidt als volgt:

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot H_1^{1.50}$$

Hierin zijn:

- Q debiet (m<sup>3</sup>/s)
- g versnelling ten gevolge van de zwaartekracht  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- B dagwijdte (m)
- C karakteristieke afvoercoëfficiënt (-)
- H<sub>1</sub> energiehoogte bovenstrooms

In het model was de dagwijdte  $B = 5,00/7,5 = 0,667 \text{ m}$ .

Uit de metingen in het model van de overstorthoogte  $h_1$  werd de energiehoogte  $H_1$  berekend. Dit werd gedaan omdat – gezien de lage stroomsnelheden ter plaatse van de waterstandsmeting in het veld – daar in feite de energiehoogte wordt gemeten.

Zoals bij modelonderzoek gebruikelijk is, werd van elke Q-H<sub>1</sub> meting de afvoercoëfficiënt C teruggerekend. Want juist de waarde van deze coëfficiënt geeft inzicht in het gedrag van de overstortende straal boven de stuwkruin.

Bij de uitvoering van het modelonderzoek bleek dat het gedrag van de overstortende straal boven de kruin van de regelschuif primair wordt bepaald door de grootte van het debiet en in mindere mate ook door de benedenwaterstand. De volgende vormen van overstort deden zich voor:

Wijze van belichting overstortende straal	Plaats waar de straal loslaat op de kruin	Bereik in energiehoogte (werkelijkheid)	Aanduiding in de tabellen
natuurlijke belichting	achterkant	$H_1 \leq 0,60 \text{ m}$	3
onderbeluchte straal	achterkant	$0,60 \text{ m} < H_1 < 0,80 \text{ m}$	4
onderbeluchte straal	voorkant	$0,75 \text{ m} < H_1 < 0,85 \text{ m}$	5
onbelucht	achterkant	$H_1 \geq 0,80 \text{ m}$	6
kunstmatig belucht	achterkant		7
kunstmatig belucht	voorkant		8

De vormen 3, 4, 5 en 6 deden zich in het model spontaan (zonder kunstmatige ingrepen) voor. De vormen 3 en 6 geven een stabiel stroombeeld te zien. De vormen 4 en 5 zijn instabiel vanwege een fluctuerende onderdruk onder de straal.

De ijkingresultaten zijn beschreven in de Tabellen I, II en III. De debieten en de waterstanden hebben betrekking op de werkelijkheid:

- Tabel I schuifhoogte NAP +18,05 m
- Tabel II schuifhoogte NAP +17,55 m
- Tabel III schuifhoogte NAP +17,05 m

In de volgende paragraaf worden de ijkingresultaten toegelicht.

## 2.3 Analyse van de metingen

Bij de ijkingsresultaten, zoals gegeven in de Tabellen I, II en III worden de volgende kanttekeningen gemaakt:

- Voor lage debieten,  $H_1 < 0,60$  m, wordt de overstortende straal natuurlijk belucht, hoofdzakelijk door de schermen ter weerszijden van de schuiven. Bij deze debieten is de benedenwaterstand zó laag, dat deze geen enkel effect heeft op de  $Q-H_1$  relatie.
- Zodra echter de straal onderbelucht is, en ook bij de onbeluchte straal is er wel sprake van een gering effect van de benedenwaterstand op de  $Q-H_1$  relatie, zelfs al staat de benedenwaterstand lager dan de schuifstand. Voor deze debieten,  $H_1 > 0,60$  m is voor elk van de metingen de benedenwaterstand gevarieerd, rondom de relatie tussen de benedenwaterstand en het debiet volgens Figuur 3.
- Bij het merendeel van de uitgevoerde metingen is de straal ook kunstmatig belucht (de stromingsvormen 7 en 8, die overigens niet realistisch zijn voor de werkelijkheid).

Tabel IV geeft het overzicht van de ijkingsresultaten van de Berkelschuiif voor de drie schuifhoogtes. De hierin vermelde waarden van C zijn de gemiddelden van de met \* aangegeven waarden uit de Tabellen I, II en III, die gelden voor de bijbehorende benedenwaterstanden.

De in Tabel IV gegeven relaties tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt C zijn grafisch weergegeven in de volgende figuren:

- Figuur 4 schuifhoogte NAP + 18,05 m  
 Figuur 5 schuifhoogte NAP + 17,55 m  
 Figuur 6 schuifhoogte NAP + 17,05 m

Deze relaties vormen de basis voor de  $Q-H_1$  relatie van de schuifstuw bij een bepaald afstellingsschema.

## 2.4 Aanbevolen afvoerrelatie van de schuifstuw

In werkelijkheid varieert de schuifhoogte tussen de drie standen waarin ze geijkt is. De gewenste schuifhoogte volgt uit het afstellingsschema, waarvan de uitgangspunten zijn aangegeven in Figuur 2. Kort samengevat houdt dit het volgende in:

Debiet Boven Berkel $Q$ ( $m^3/s$ )	Debiet Berkel $Q$ ( $m^3/s$ )	Debiet Bolksbeek $Q$ ( $m^3/s$ )	Bovenstrooms peil (m NAP)
$1,00 < Q < 12,35$	$0,65 < Q < 12,00$	0,35	+18,20
$12,35 < Q < 20,54$	12,00	$0,35 < Q < 8,54$	+18,20 - +18,80
$20,54 < Q < 40,00$	12,00	$8,54 < Q < 28,00$	+18,80
$40,00 < Q < 68,00$	$12,00 < Q < 40,00$	28,00	+18,80
$68,00 < Q < 88,00$	40,00	$28,00 < Q < 48,00$	+18,80 - +19,38

Zodra de  $Q-H_1$  relaties van zowel de schuifstuw in de Berkel als de klepstuw in de Bolksbeek bekend zijn, kunnen nu de schuifhoogte en de klepstand worden vastgesteld. Voor de schuifstuw in de Berkel wordt daartoe eerst de  $C-H_1$  relatie opgesteld, waarbij  $C$ -waarden worden geïnterpoleerd uit de  $C-H_1$  relaties van de Figuren 4, 5 en 6.

Figuur 7 toont naast de  $C-H_1$  relaties voor de drie gecalibreerde (vaste) schuifhoogtes ook de geïnterpoleerde  $C-H_1$  relatie voor een glijdende schuifhoogte, die past bij het afstellingsschema.

Figuur 8 geeft de aanbevolen relatie tussen de energiehogte  $H_1$  en de afvoercoëfficiënt  $C$  voor de schuifstuw. Deze relatie is geldig onder de volgende twee randvoorwaarden:

- het afstellingsschema is globaal conform het huidige beheer (Appendix I)
- de relatie tussen de benedenwaterstand en het debiet is conform die van Figuur 3.

Een geringe bijstelling van het afstellingsschema zal slechts een marginaal effect hebben op de grootte van de afvoercoëfficiënt.

Een geringe wijziging in de relatie tussen de benedenwaterstand en het debiet kan – afhankelijk van de stromingsvorm – wel enig effect hebben op de grootte van de afvoercoëfficiënt.

Globaal geldt het volgende:

- stromingsvorm 3, natuurlijk beluchte straal,  $0,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ : de benedenwaterstand heeft geen effect op de afvoercoëfficiënt  $C$
- stromingsvorm 4/5, onderbeluchte straal,  $8,0 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ : een verlaging van de benedenwaterstand met 0,10 m resp. 0,20 m leidt tot een afname van de afvoercoëfficiënt  $C$  met 0,5% resp. 1,0% een verhoging van de benedenwaterstand met 0,10 m resp. 0,20 m leidt tot een toename van de afvoercoëfficiënt  $C$  met 0,5% resp. 1,0%
- stromingsvorm 6, onbeluchte straal,  $15 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 40 \text{ m}^3$  een verlaging van de benedenwaterstand met 0,10 m resp. 0,20 m leidt tot een toename van de afvoercoëfficiënt  $C$  met 1,0% resp. 2,0% een verhoging van de benedenwaterstand met 0,10 m resp. 0,20 m leidt tot een afname van de afvoercoëfficiënt  $C$  met 1,0% resp. 2,0%.

Figuur 9 toont de afvoerrelatie van de schuifstuw in de Berkel. Deze is opgesteld met de in paragraaf 2.2 gegeven afvoerformule

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot H_1^{1,50}$$

De afvoerende breedte bedraagt  $B = 10,00 \text{ m}$ .

De afvoercoëfficiënt  $C$  is ontleend aan Figuur 8.

Tabel V geeft deze afvoerrelatie in gedetailleerde vorm.

Tabel VI vermeldt de afwijking tussen de oude en de nieuwe afvoerrelatie voor de schuifstuw in de Berkel. Hieruit blijkt dat de oude relatie de debieten over het gehele bereik overschatte. De zeer lage debieten  $0,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  werden in het verleden zelfs met 30% à 20% overschat.

## 2.5 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie

De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet volgens de formule  $Q = (2/3)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot H_1^{1,50}$  wordt als volgt geschreven:

$$X_Q = \sqrt{X_B^2 + X_C^2 + (1,5 X_{H1})^2} \%$$

Hierin zijn:

$X_Q$  de fout in het debiet  $Q$

$X_B$  de fout in de afvoerende breedte  $B$

$X_C$  de onnauwkeurigheid in de afvoercoëfficiënt  $C$

$X_H$  de onnauwkeurigheid in de bepaling van de energiehogte  $H_1$

Als de stuw vrij is van drijvend vuil (begroeiing, hout, etc. dat op de stuw kan blijven liggen) dan is  $X_B = 0$ .

De onnauwkeurigheid in de afvoercoëfficiënt  $C$  wordt bepaald door de zorgvuldigheid waarmee de ijking is uitgevoerd en door de gevoeligheid van de relatie voor afwijkingen in de benedenwaterstand.

De onnauwkeurigheid in de bepaling van de energiehogte  $H_1$ , voor dit onderzoek gelijk aan de overstorthoogte  $h_1$ , wordt gedefinieerd als:

$$X_H = 100(\delta_h/H_1) \% \text{ met } \delta_h \text{ als de absolute fout in } H_1.$$

Voor de zeer lage aanstroomsnelheden wordt aangehouden  $\delta_h = 0,005$  m.

Tabel VII geeft een overzicht van de berekende onnauwkeurigheden. Hieruit blijkt onder meer het volgende:

$$\begin{aligned} X_Q &> 5\% \text{ voor } H_1 \leq 0,155 \text{ m ofwel } Q \leq 0,9 \text{ m}^3/\text{s} \\ X_Q &\leq 5\% \text{ voor } H_1 > 0,155 \text{ m ofwel } Q > 0,9 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

### 3 De klepstuw in de Bolksbeek

#### 3.1 Beschrijving van de stuw

De klepstuw heeft een dagmaat  $B = 7,02$  m die ter plaatse is opgemeten. De klep is opgehangen aan twee rechthoekige armen, die gezamenlijk 0,40 m breed zijn. De kruinvorm is parabolisch met  $y = 375$  mm en  $x = 401$  mm.

Op de kruin bevinden zich twee stooreslementen, elk met een basisbreedte van 0,165 m.

De landhoofden zijn royaal afgerond waardoor de verliezen ten gevolge van contractie minimaal zijn.

De vormgeving van de stuw is ontleend aan het bestek 1549, tekeningen 9591 blad 8 en 9601 blad 2. De klep zelf is in detail opgemeten, omdat deze afweek van de maatvoering volgens het bestek.

De verdeling van de afvoer over de Berkel en de Bolksbeek is gebaseerd op het bestaande afstellingsschema (appendix I).

Figuur 10 geeft een globaal verband tussen de klephoek  $\alpha$  en de kruinhoogte. Deze relatie is gebaseerd op de geometrie van de klep. Tevens is in deze figuur het verloop van de bovenstroomse waterstand aangegeven, zoals vastgesteld is in het huidige afstellingsschema. Deze grafiek is van belang voor het opstellen van de  $Q-H_1$  relatie van de klepstuw.

#### 3.2 Aanbevolen afvoerrelatie van de klepstuw

De afvoerrelatie van de klepstuw luidt als volgt:

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot H_1^{1,50}$$

De afvoercoëfficiënt is samengesteld:  $C = C_D \cdot C_C$

Hierin zijn:

$C_D$  karakteristieke afvoercoëfficiënt van een klep met parabolvormige kruin.  $C_D = f(H_1, \alpha)$

$C_C$  contractie coëfficiënt, die de verliezen ter plaatse van de ophangarmen in rekening brengt.  $C_C = f(H_1, \alpha)$

Informatie over de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_C$  is verkregen uit speurwerkgegevens. Tabel VIII geeft een overzicht van de berekende debieten.

Figuur 11 is een grafische weergave van deze relatie.

Tabel IX vermeldt de afwijking tussen de oude en de nieuwe afvoerrelatie voor de klepstuw in de Bolksbeek. Hieruit blijkt dat de oude relatie de debieten over het gehele bereik goed aangaf.

### 3.3 Nauwkeurigheid van de afvoerrelatie

De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet volgens de formule  $Q = (2/3)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot H_1^{1,50}$  wordt als volgt geschreven:

$$X_Q = \sqrt{X_B^2 + X_C^2 + (1,5 X_H)^2} \%$$

Als de klep vrij is van drijvend vuil en andere verontreinigingen, dan is  $X_B = 0$ .

De onnauwkeurigheid in de afvoercoëfficiënt C uit de speurwerkgegevens wordt geschat op  $X_C = 3\%$ .

De onnauwkeurigheid in de bepaling van de energiehogte  $H_1$  is  $X_H = 100(\delta_H/H_1) \%$  met als absolute fout  $\delta_H = 0,005$ .

Tabel X geeft een overzicht van de berekende onnauwkeurigheden. Hieruit blijkt onder meer het volgende:

$$\begin{aligned} X_Q &> 5\% \text{ voor } H_1 \leq 0,19 \text{ m ofwel } Q \leq 0,9 \text{ m}^3/\text{s} \\ X_Q &\leq 5\% \text{ voor } H_1 > 0,19 \text{ m ofwel } Q > 0,9 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

- **Schuifstuw in de Berkel**

De afvoerrelatie van de stuw werd vastgesteld met behulp van een ijking in een schaalmodel,  $n_1 = 5$ . Uit het onderzoek is gebleken dat er zich boven de kruin van de stuw drie verschillende stromingsvormen voordoen – natuurlijk belucht, onderbelucht en onbelucht – die karakteristiek zijn voor de korte overlaat met rechthoekige kruin. Ook bleek dat de benedenwaterstand bij de onderbeluchte en de onbeluchte overstort een gering effect heeft op de afvoerrelatie.

Tabel V en Figuur 9 geven de afvoerrelatie die geldig is onder de volgende randvoorwaarden:

- het afstellingsschema is globaal conform het huidige beheer (Appendix I)
- de relatie benedenwaterstand-debiet is conform die van Figuur 3.

Onder deze voorwaarden en bij een adequaat onderhoud zal het mogelijk zijn de debieten af te leiden uit de gemeten bovenwaterstand met een nauwkeurigheid, zoals is aangegeven in Tabel VII.

Tabel VI laat zien dat de debietbepaling met de oude afvoerrelatie tot systematisch te hoge debieten leidde, met name voor de lage afvoeren.

- **Klepstuw in de Bolksbeek**

De afvoerrelatie van de stuw werd vastgesteld met behulp van spuurwerkgegevens. Tabel VIII en Figuur 11 geven de afvoerrelatie voor ongestuwde afvoer. Bij een adequaat onderhoud zal het mogelijk zijn de debieten af te leiden uit de gemeten bovenwaterstand met een nauwkeurigheid, zoals is aangegeven in Tabel X.

Tabel IX laat zien dat de debietbepaling met de oude relatie in grote lijnen correct is geweest.

### 4.2 Aanbevelingen

- Meestal worden de grootste systematische fouten in de debietbepaling gemaakt bij de lagere afvoeren, als gevolg van het gedeeltelijk blokkeren van de doorstroomopening boven de kruin: hout, maaisel, etc. Het verdient aanbeveling de stuwen met grote regelmaat te inspecteren op dit euvel, en ze zo nodig schoon te maken. Nalatigheid zal altijd tot overschatting van de debieten leiden.
- Als er in de toekomst ideeën zouden worden ontwikkeld om de huidige schuifstuw uit te rusten met een gestandaardiseerde meetrand, dan verdient het ontwerp van een Hobrad-overlaat de voorkeur.

## Literatuur

Boiten, W.: De Hobrads tuw. Pt/civiele techniek, 1987 (41) 1, pp. 51-57.



## **Tabellen**

Meting nr.	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	Benedenpeil (m NAP)	Energiehoogte H <sub>1</sub> (m)	Afvoercoëff. C (-)	Gedrag straal boven de stuw
0			0,100	0,820 *	3
1	0,644		0,127	0,839 *	3
2	0,905		0,158	0,847 *	3
3	1,173		0,186	0,860 *	3
4	1,575		0,220	0,897 *	3
5	2,444		0,285	0,944 *	3
6	3,529		0,351	0,994 *	3
7	4,866		0,425	1,030 *	3
8	6,161		0,484	1,075 *	3
9	7,572		0,541	1,117 *	3
			0,544	1,107	7
			0,548	1,096	8
10	10,053	16,03	0,632	1,174 *	4
		16,13	0,631	1,176 *	4
		16,23	0,629	1,181 *	4
		16,13	0,639	1,154	7
11	11,984	16,06	0,695	1,212 *	4
		16,19	0,692	1,220 *	4
		16,32	0,689	1,230 *	4
		16,19	0,744	1,095	8
12	14,980	16,17	0,781	1,272 *	4
		16,34	0,789	1,254 *	6
		16,34	0,778	1,279 *	4
		16,51	0,789	1,254 *	6
		16,51	0,865	1,092	8
* Metingen die verder worden verwerkt voor de relatie C-H <sub>1</sub>					
Gedrag overstortende straal boven de stuwkruin			3 belucht, volgt kruin		
			4 onderbelucht, volgt kruin		
			5 onderbelucht, laat los		
			6 onbelucht, volgt kruin		
			7 kunstmatig belucht, volgt kruin		
			8 kunstmatig belucht, laat los		

Tabel I Ijkingsresultaten Berkelschuij voor een schuijhoogte NAP +18,05 m

Meting nr.	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	Benedenpeil (m NAP)	Energiehoogte H <sub>1</sub> (m)	Afvoercoëff. C (-)	Gedrag straal boven de stuw
13	19,887	16,45	0,934	1,291 *	6
		16,65	0,941	1,277 *	6
		16,85	0,967	1,277 *	6
		16,65	1,035	1,108	8
14	25,285	16,66	1,144	1,212 *	6
		16,86	1,170	1,172 *	6
		17,06	1,194	1,137 *	6
15	29,965	16,82	1,308	1,175 *	6
		17,02	1,335	1,139 *	6
		17,22	1,363	1,104 *	6
16	34,938	16,97	1,469	1,151 *	6
		17,17	1,498	1,118 *	6
		17,37	1,537	1,073 *	6
17	39,911	17,10	1,624	1,131 *	6
		17,30	1,656	1,098 *	6
		17,50	1,691	1,065 *	6
* Metingen die verder worden verwerkt voor de relatie C-H <sub>1</sub>					
Gedrag overstortende straal boven de stuwkruin			3 belucht, volgt kruin 4 onderbelucht, volgt kruin 5 onderbelucht, laat los 6 onbelucht, volgt kruin 7 kunstmatig belucht, volgt kruin 8 kunstmatig belucht, laat los		

Tabel I (vervolg) IJkingsresultaten Berkelschuif voor een schuifhoogte NAP +18,05 m

Meting nr.	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	Benedenpeil (m NAP)	Energiehoogte H <sub>1</sub> (m)	Afvoercoëff. C (-)	Gedrag straal boven de stuw
18	6,481	16,00	0,497	1,083 *	3
		16,12	0,497	1,083 *	3
19	8,002	16,00	0,561	1,117 *	3
		16,16	0,561	1,117 *	3
		16,16	0,562	1,114	7
20	9,963	16,03	0,635	1,154 *	4
		16,21	0,631	1,166 *	4
		16,21	0,655	1,103	8
21	11,968	16,06	0,707	1,180 *	5
		16,19	0,701	1,195 *	4
		16,32	0,699	1,201 *	4
		16,32	0,739	1,105	8
22	14,964	16,17	0,819	1,185 *	5
		16,34	0,816	1,190 *	5
		16,51	0,808	1,208 *	5
		16,51	0,792	1,246 *	4
		16,51	0,858	1,103	8
23	19,986	16,45	0,961	1,245 *	5
		16,65	0,946	1,275 *	6
		16,85	0,935	1,296 *	6
		16,85	0,938	1,291 *	6
		16,85	1,039	1,108	8
24	24,950	16,66	1,072	1,318 *	6
		16,86	1,078	1,307 *	6
		17,06	1,089	1,288 *	6
		16,66	1,199	1,114	8
25	29,993	16,82	1,232	1,286 *	6
		17,02	1,261	1,242 *	6
		17,22	1,284	1,209 *	6
		belucht, laat los	17,02	1,352	1,119

\* Metingen die verder worden verwerkt voor de relatie C-H<sub>1</sub>

Gedrag overstortende straal 3 belucht, volgt kruin  
 boven de stuwkruin 4 onderbelucht, volgt kruin  
 5 onderbelucht, laat los  
 6 onbelucht, volgt kruin  
 7 kunstmatig belucht, volgt kruin  
 8 kunstmatig

Tabel II Ijkingsresultaten Berkelschuij voor een schuijhoogte NAP +17,55 m

Meting nr.	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	Benedenpeil (m NAP)	Energiehoogte H <sub>1</sub> (m)	Afvoercoëff. C (-)	Gedrag straal boven de stuw
26	34,966	16,97	1,410	1,224 *	6
		17,17	1,421	1,210 *	6
		17,37	1,454	1,169 *	6
		17,17	1,504	1,112	8
27	39,892	16,70	1,529	1,238	6
		16,90	1,544	1,220	6
		17,10	1,562	1,199 *	6
		17,30	1,577	1,181 *	6
		17,50	1,597	1,160 *	6
		17,70	1,620	1,135	6
		17,90	1,656	1,098	6
		17,30	1,652	1,101	8
* Metingen die verder worden verwerkt voor de relatie C-H <sub>1</sub>					
Gedrag overstortende straal boven de stuwkruin			3 belucht, volgt kruin 4 onderbelucht, volgt kruin 5 onderbelucht, laat los 6 onbelucht, volgt kruin 7 kunstmatig belucht, volgt kruin 8 kunstmatig belucht, laat los		

Tabel II (vervolg) Ijkingsresultaten Berkelschuij voor een schuijhoogte NAP +17,55 m

Meting nr.	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	Benedenpeil (m NAP)	Energiehoogte H <sub>1</sub> (m)	Afvoercoëff. C (-)	Gedrag straal boven de stuw
28	11,984	16,06	0,710	1,175 *	4
		16,19	0,707	1,182 *	4
		16,32	0,704	1,190 *	4
		16,06	0,720	1,150	7
29	14,948	16,17	0,805	1,214 *	4
		16,34	0,806	1,212 *	6
		16,51	0,810	1,203 *	6
		16,34	0,826	1,168	7
30	20,017	16,45	0,969	1,231 *	6
		16,65	0,974	1,221 *	6
		16,85	0,980	1,210 *	6
		16,45	0,991	1,190	7
31	24,922	16,66	1,116	1,240 *	6
		16,86	1,125	1,225 *	6
		17,06	1,134	1,210 *	6
		16,66	1,143	1,196	7
32	30,006	16,82	1,263	1,240 *	6
		17,02	1,271	1,228 *	6
		17,22	1,283	1,211 *	6
		16,82	1,288	1,204	7
33	34,944	16,97	1,395	1,244 *	6
		17,17	1,408	1,227 *	6
		17,37	1,427	1,203 *	6
		16,97	1,410	1,224	7
34	39,985	16,70	1,506	1,269	6
		16,90	1,516	1,256	6
		17,10	1,525	1,245 *	6
		17,30	1,537	1,231 *	6
		17,50	1,561	1,203 *	6
		17,70	1,599	1,160	6
		17,90	1,635	1,121	6
35	46,411	17,24	1,686	1,244 *	6
		17,44	1,712	1,216 *	6
		17,64	1,746	1,180 *	6

\* Metingen die verder worden verwerkt voor de relatie C-H<sub>1</sub>

Gedrag overstortende straal boven de stuwkruin	3 belucht, volgt kruin 4 onderbelucht, volgt kruin 5 onderbelucht, laat los 6 onbelucht, volgt kruin 7 kunstmatig belucht, volgt kruin 8 kunstmatig belucht, laat los
---	--

Tabel III IJkingsresultaten Berkelschuif voor een schuifhoogte NAP +17,05 m

Meting nr.	Schuifhoogte (m NAP)	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)	Benedenpeil (m NAP)	Energiehoogte H <sub>1</sub> (m)	Afvoerco-eff.C (-)	Gedrags-traal
0				0,100	0,820	3
1	+18,05	0,644		0,127	0,839	3
2		0,905		0,158	0,847	3
3		1,173		0,186	0,860	3
4		1,575		0,220	0,897	3
5		2,444		0,285	0,944	3
6		3,529		0,351	0,994	3
7		4,866		0,425	1,030	3
8		6,161		0,484	1,075	3
9		7,572		0,541	1,117	3
10		10,053	+16,13	0,631	1,177	4
11		11,984	+16,19	0,692	1,220	4
12		14,980	+16,34	0,784	1,265	6
13		19,887	+16,65	0,946	1,268	6
14		25,285	+16,86	1,169	1,173	6
15		29,965	+17,02	1,335	1,139	6
16		34,938	+17,17	1,500	1,115	6
17	+18,05	39,911	+17,30	1,657	1,098	6
18	+17,55	6,481	+16,06	0,497	1,083	3
19		8,002	+16,08	0,561	1,117	3
20		9,963	+16,12	0,633	1,160	4
21		11,968	+16,19	0,702	1,193	4
22		14,964	+16,34	0,815	1,193	5
23		19,986	+16,65	0,938	1,289	6
24		24,950	+16,86	1,079	1,305	6
25		29,993	+17,02	1,259	1,244	6
26		34,966	+17,17	1,426	1,203	6
27	+17,55	39,892	+17,30	1,578	1,180	6
28	+17,05	11,984	+16,19	0,707	1,182	4
29		14,948	+16,34	0,807	1,210	6
30		20,017	+16,65	0,974	1,221	6
31		24,922	+16,86	1,125	1,225	6
32		30,006	+17,02	1,272	1,227	6
33		34,944	+17,17	1,409	1,225	6
34		39,985	+17,30	1,540	1,227	6
35	+17,05	46,411	+17,44	1,714	1,214	6
Gedrag overstortende straal boven de stuwkruin				3 belucht, volgt kruin 4 onderbelucht, volgt kruin 5 onderbelucht, laat los 6 onbelucht, volgt kruin		

Tabel IV Overzicht ijkingsresultaten Berkelschuij voor drie schuijhoogtes

Energiehoogte $H_1$ (m)	Debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)	Verwachte stromingsvorm
0,10	0,44	belucht
0,12	0,59	"
0,15	0,84	"
0,20	1,34	"
0,25	1,95	"
0,30	2,66	"
0,35	3,48	"
0,40	4,40	"
0,45	5,42	"
0,50	6,56	"
0,55	7,78	"
0,60	9,05	onderbelucht
0,65	10,43	"
0,70	12,01	"
0,75	13,80	"
0,80	15,43	onbelucht
0,85	16,98	"
0,90	18,55	"
0,95	20,13	"
1,00	21,74	"
1,05	23,35	"
1,10	24,96	"
1,15	26,58	"
1,20	28,15	"
1,25	29,62	"
1,30	31,11	"
1,35	32,63	"
1,40	34,23	"
1,45	36,02	"
1,50	37,87	"
1,55	39,75	"

Tabel V Afvoerrelatie van de schuifstuw in de Berkel



Energiehoogte $H_1$ (m)	Debiten Berkelschuijf		Afwijking in debiet $X_Q = 100[(Q_{ijk} - Q_{BK})/Q_{BK}]$ %
	oude relatie $Q_{BK}$ (m <sup>3</sup> /s)	nieuwe relatie $Q_{ijk}$ (m <sup>3</sup> /s)	
0,10	0,65	0,44	-32,0
0,20	1,90	1,34	-29,3
0,30	3,56	2,66	-25,2
0,40	5,55	4,40	-20,8
0,50	7,83	6,56	-16,2
0,60	10,38	9,05	-12,8
0,66	12,00	10,72	-10,6
0,76	14,98	14,15	- 5,5
0,86	18,10	17,30	- 4,4
0,96	21,30	20,45	- 4,0
1,05	24,59	23,35	- 5,0
1,14	27,96	26,21	- 6,3
1,23	31,40	29,03	- 7,6
1,32	34,92	31,70	- 9,2
1,40	38,52	34,23	-11,1
1,44	40,00	35,65	-10,9

Tabel VI Afwijking tussen de oude en de nieuwe afvoerrelatie voor de schuifstuw in de Berkel te Haarlo

Energiehoogte $H_1$ (m)	$X_H$ (%)	$X_C$ (%)	$X_Q$ (%)
0,10	5,00	1,0	7,6
0,15	3,33	1,0	5,1
0,25	2,00	1,0	3,2
0,55	1,00	1,5	2,1
0,60	1,00	2,0	2,5
0,75	1,00	2,0	2,5
0,80	1,00	3,0	3,4
1,10	1,00	3,0	3,4
1,55	1,00	3,0	3,4

Tabel VII De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet over de schuifstuw in de Berkel

Klephoek $\alpha$	Energiehoogte $H_1$ (m)	Debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)
40°	0,10	0,34
	0,12	0,45
	0,15	0,65
	0,20	1,02
	0,30	1,98
	0,40	3,18
	0,50	4,60
	0,60	6,24
	0,70	8,06
45°	0,80	10,31
	0,90	12,46
	1,00	14,72
52°30'	1,10	17,63
	1,20	20,13
	1,30	22,72
60°	1,50	29,00
	1,60	32,09
	1,70	35,22
	1,80	38,49
	1,90	41,83
	2,00	45,28
	2,10	48,82

Uit een regressie-berekening van deze reeks kunnen de volgende formules worden afgeleid:

$$Q = 14,46 \cdot H_1^{1,639} \quad 0,10 \text{ m} < H_1 < 0,70 \text{ m}$$

$$Q = 14,67 \cdot H_1^{1,680} \quad 0,70 \text{ m} < H_1 < 1,50 \text{ m}$$

$$Q = 15,46 \cdot H_1^{1,551} \quad 1,50 \text{ m} < H_1 < 2,10 \text{ m}$$

Tabel VIII Afvoerrelatie van de klepstuw in de Bolksbeek

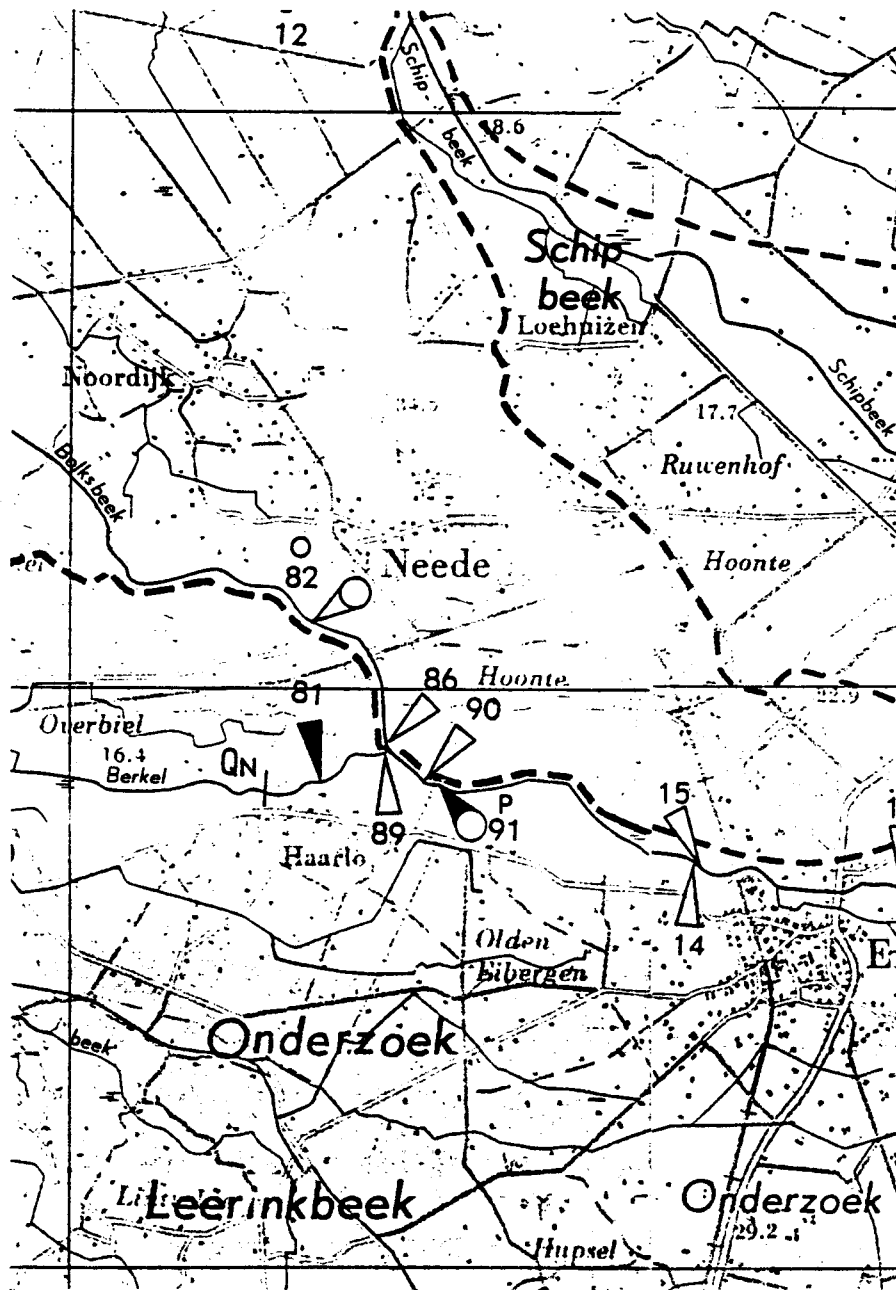
Energiehoogte $H_1$ (m)	Debieten Bolksbeek		Afwijking in debiet $X_Q = 100[(Q_{ijk} - Q_{BK})/Q_{BK}] \%$
	oude relatie $Q_{BK}$ (m <sup>3</sup> /s)	nieuwe relatie $Q_{ijk}$ (m <sup>3</sup> /s)	
0,10	0,35	0,34	- 2,9
0,28	1,88	1,77	- 6,0
0,49	4,61	4,45	- 3,4
0,67	7,74	7,49	- 3,2
0,80	10,28	10,31	0,3
0,98	14,27	14,26	- 0,1
1,17	18,90	19,37	2,5
1,35	24,11	24,22	0,5
1,50	28,44	29,00	2,0
1,69	34,37	34,90	1,6
1,91	42,09	42,17	0,2
2,08	48,46	48,10	- 0,7

Tabel IX Afwijking tussen de oude en de nieuwe afvoerrelatie voor de klepstuw in de Bolksbeek te Haarlo

Energiehoogte $H_1$ (m)	$X_H$ (%)	$X_C$ (%)	$X_Q$ (%)
0,10	5,00	3,0	8,1
0,19	2,63	3,0	5,0
0,25	2,00	3,0	4,2
0,40	1,25	3,0	3,5
0,70	1,00	3,0	3,4
0,90	1,00	3,0	3,4
1,20	1,00	3,0	3,4
1,50	1,00	3,0	3,4
1,80	1,00	3,0	3,4
2,10	1,00	3,0	3,4

Tabel X De grootste te verwachten fout in de afleiding van het debiet over de klepstuw in de Bolksbeek

## Figuren



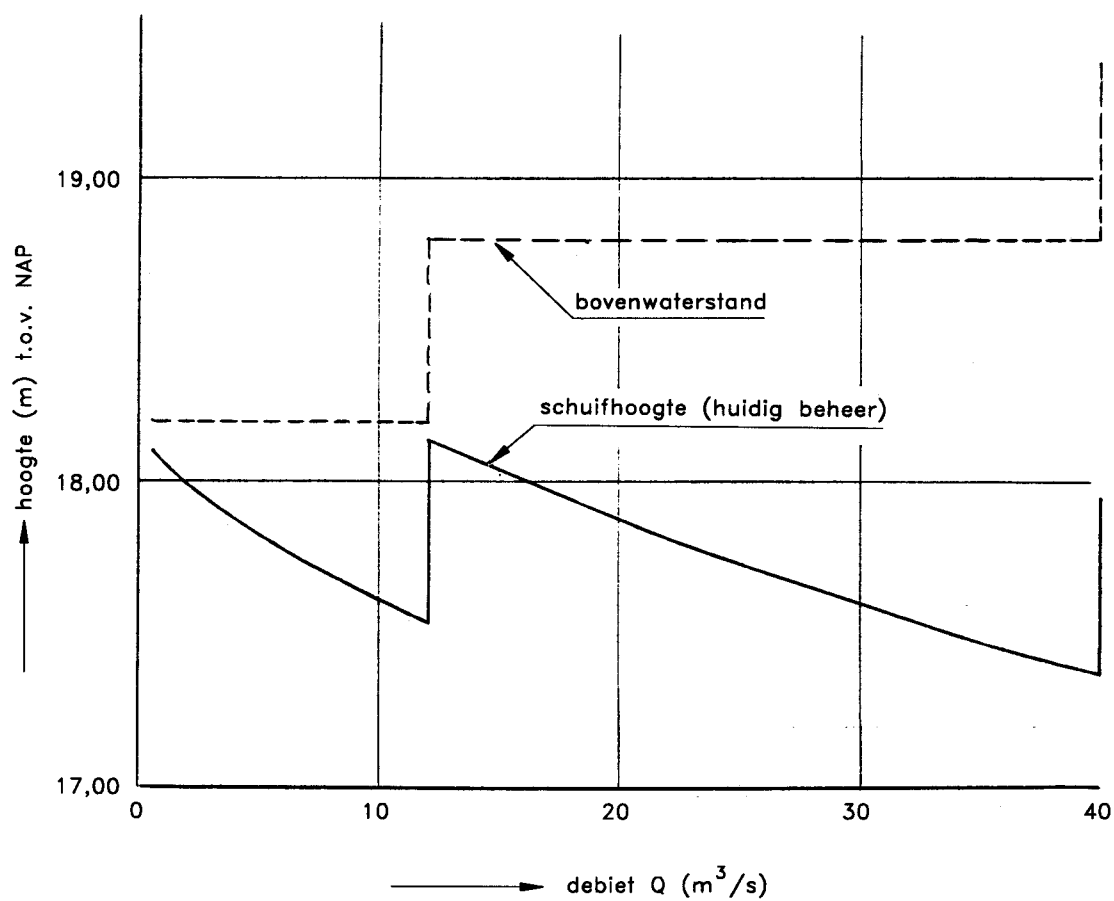
nr 89 schuifstuw in de Berkel  
 nr 86 klepstuw in de Bolksbeek

SITUATIE VERDEELPUNT HAARLO

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 1



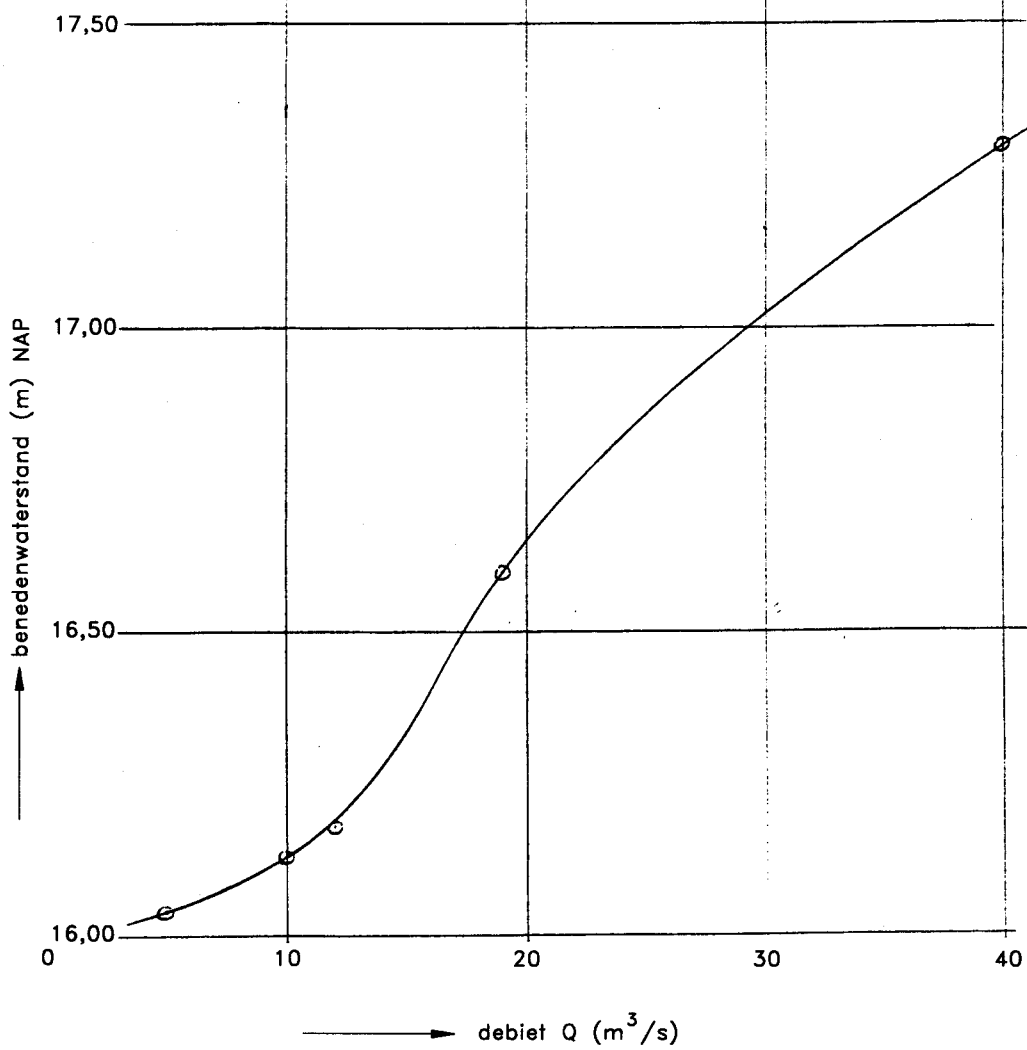
DE SCHUIFHOGTE VAN DE SCHUIFSTUW IN DE BERKEL  
 ALS FUNCTIE VAN BOVENWATERSTAND EN DEBIET BIJ  
 HET HUIDIGE BEHEER VAN HET VERDEELPUNT HAARLO

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 2





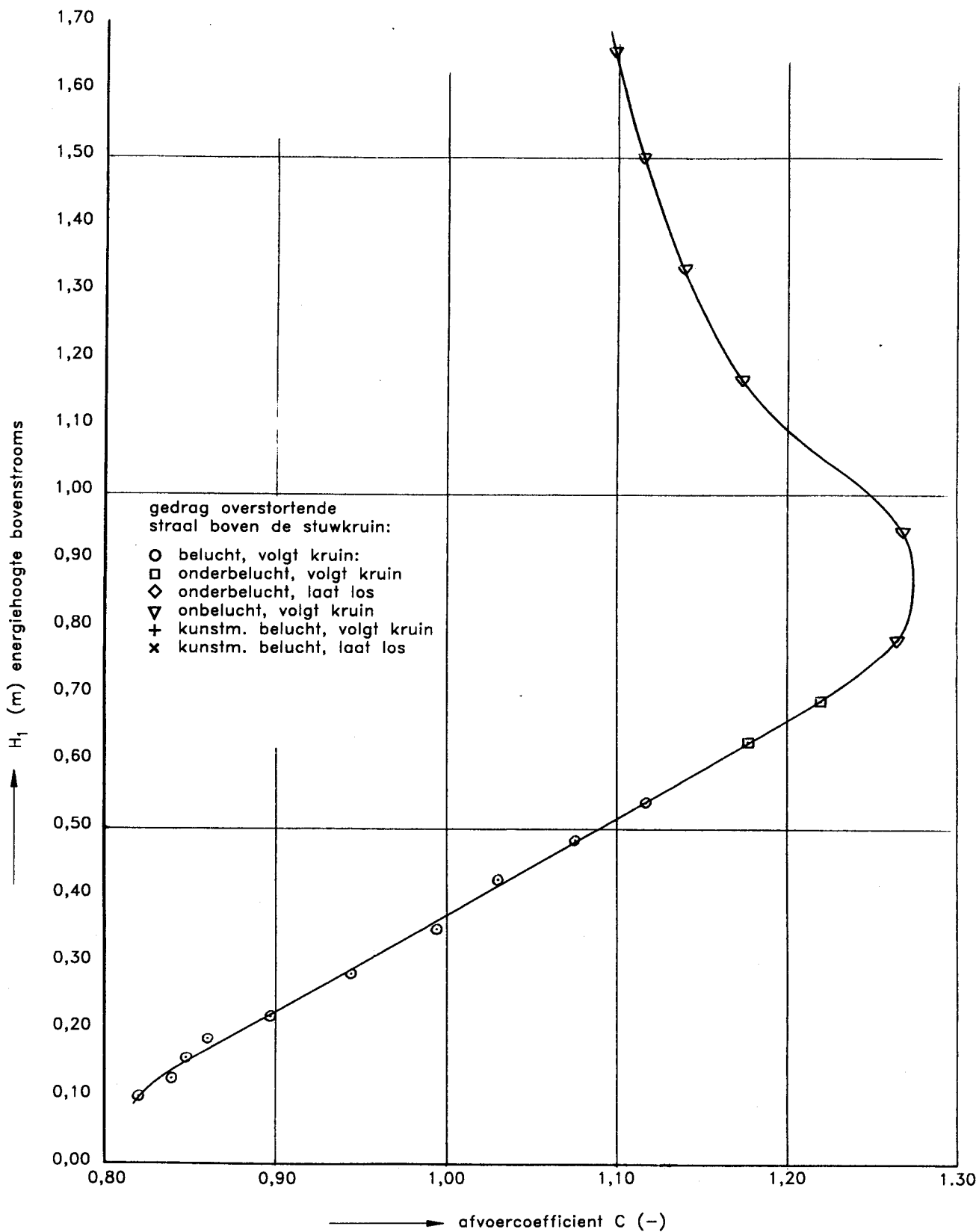
de relatie is gebaseerd op informatie van het waterschap van de Berkel voor de ijking.

GLOBAAL VERBAND TUSSEN BENEDENWATERSTAND  
 EN DEBIET VOOR DE SCHUIFSTUW  
 IN DE BERKEL TE HAARLO

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 3

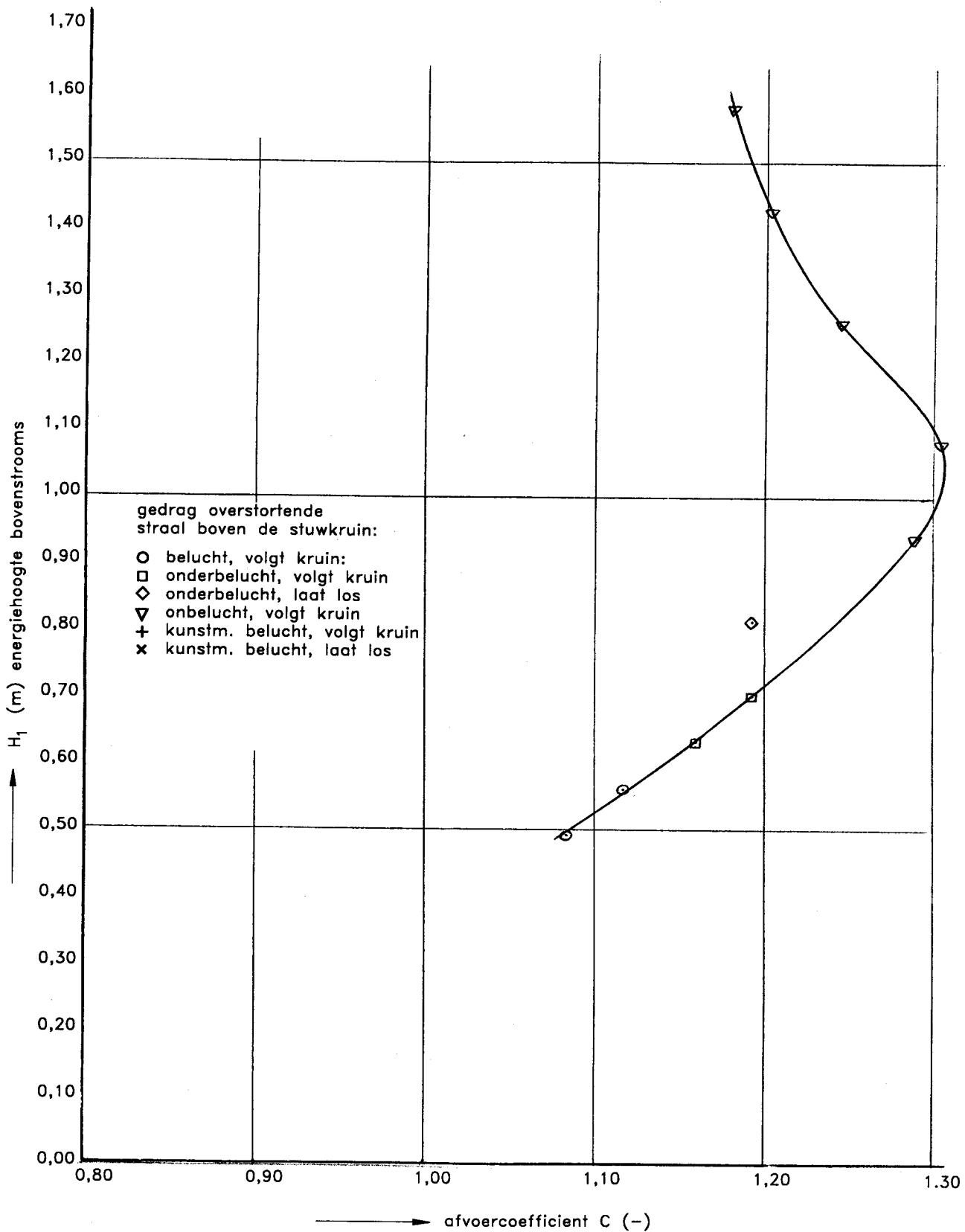


DE RELATIE TUSSEN DE ENERGIEHOOGTE  $H_1$   
EN DE AFVOERCOEFFICIENT  $C$  BIJ EEN  
SCHUIFHOOGTE NAP+18.05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 4

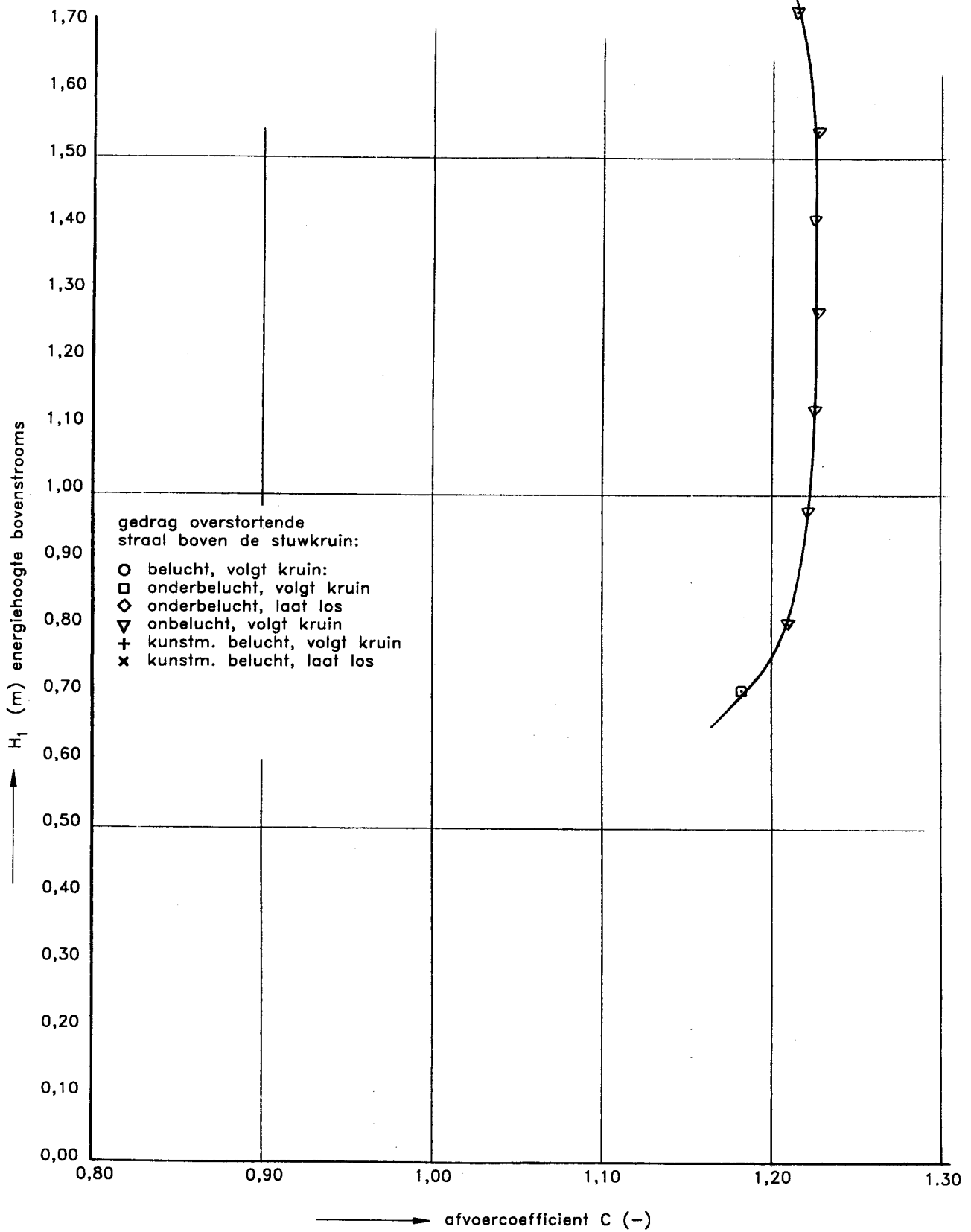


DE RELATIE TUSSEN DE ENERGIEHOOGTE  $H_1$   
EN DE AFVOERCOEFFICIENT  $C$  BIJ EEN  
SCHUIFHOOGTE NAP+17.55

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 5

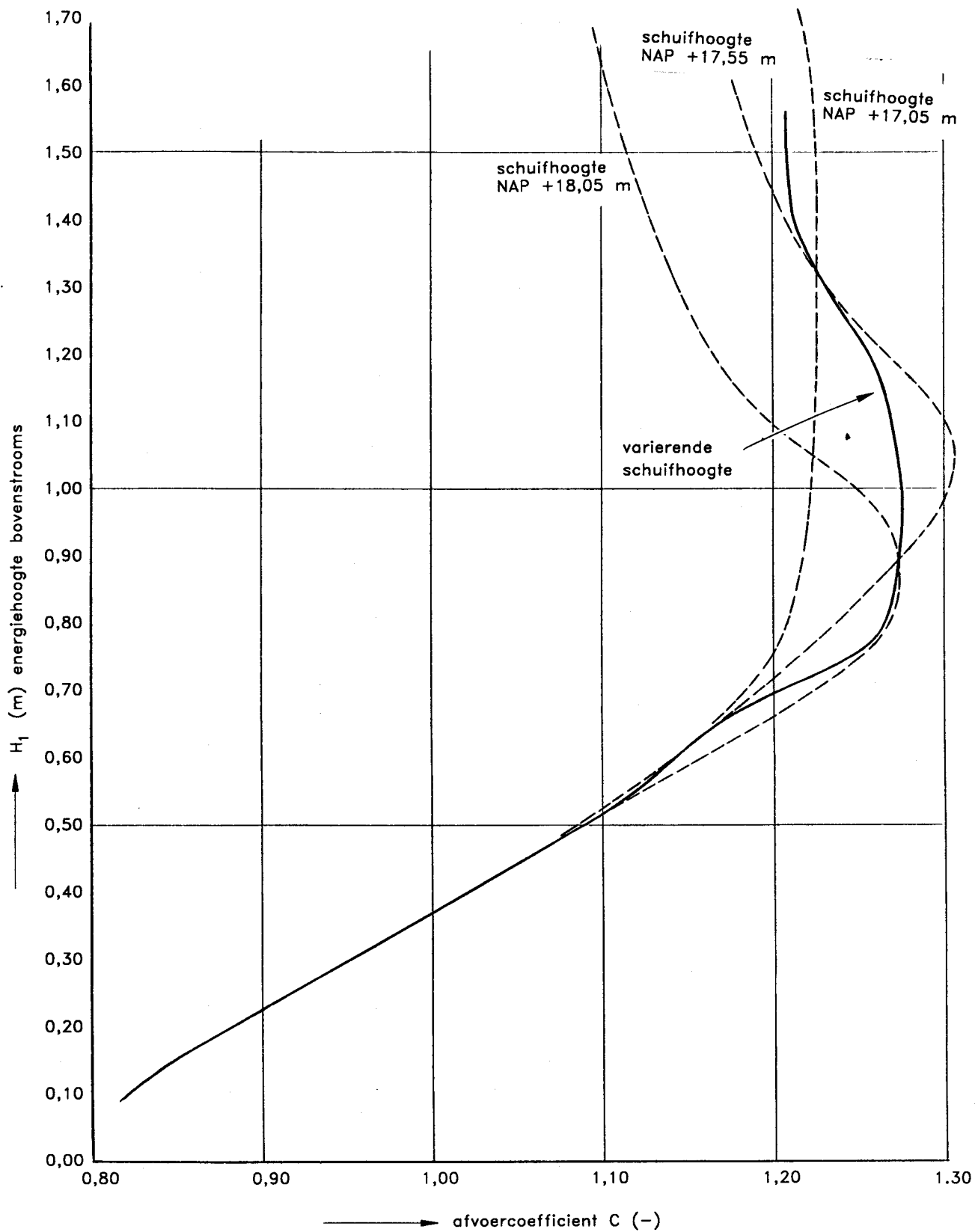


DE RELATIE TUSSEN DE ENERGIEHOOGTE  $H_1$   
EN DE AFVOERCOEFFICIENT C BIJ EEN  
SCHUIFHOOGTE NAP+17.05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 6



DE RELATIE TUSSEN DE ENERGIEHOOGTE  $H_1$   
 EN DE AFVOERCOEFFICIENT  $C$  BIJ  
 DIVERSE SCHUIFHOOGTES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1620

FIG. 7