

AFVOEREN NIEUWE LEY TE GOIRLE

W. Bolten

RAPPORT 12

Januari 1991

**Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen**

530248

INHOUD

	blz.
1 INLEIDING	2
2 BESCHRIJVING VAN DE SCHOTBALKSTUW	3
3 EVALUATIE VAN DE GEBRUIKTE EMPIRISCHE AFVOERFORMULES	5
4 ANDERE BEWERKINGEN VAN DE UITGEVOERDE VELDMETINGEN	8
4.1 De "best fit" methode	8
4.2 De μ -methode	9
4.3 De relatie $Q = f(WS^2)$	9
4.4 Vergelijking van de vier berekeningsmethoden	10
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	11

TABEL

I OVERZICHT UITGEVOERDE METINGEN EN ANALYSE	12
---	----

FOTO'S

I DE SCHOTBALKSTUW IN DE NIEUWE LEY, TER PLAATSE VAN DE ZANDVANG TE GOIRLE	13
II GESTUWDE AFVOER OVER DE SCHOTBALKSTUW	

1 INLEIDING (Foto's I en II)

Op 29 oktober 1990 werd door het waterschap de Dommel - per brief 90.3706/soe - opdracht verleend aan de Landbouwuniversiteit tot onderzoek naar de afvoeren door de Nieuwe Ley, ter plaatste van de zandvang te Goirle.

Het waterschap voert waterbalansstudies uit voor een aantal stroomgebieden. Voor het stroomgebied van de Nieuwe Ley, afvoermeetpunt P04, sluit de waterbalans niet erg fraai.

Over de periode 1980-1988 waren de gemiddelde waarden voor de neerslag afvoer en verdamping als volgt:

$$P = 905,7 \text{ mm}$$

$$Q = 290,1 \text{ mm}$$

$$ET = 530,4 \text{ mm}$$

waardoor de restpost $R = 85,2 \text{ mm}$ bedraagt.

Het afvoermeetpunt is een schotbalkstuw. Vooral bij de lagere standen treedt geregeld gestuwde afvoer op (zie de foto's I en II).

De maximale afvoer wordt geschat op $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Het waterschap heeft empirische afvoerformules opgesteld, gebaseerd op debietmetingen met een propeller snelheidsmolen vanaf de brug bovenstrooms van de zandvang, gedurende de periode 1981-1988.

Het huidige onderzoek beoogt na te gaan, in hoeverre de afvoerformules correct zijn, en desgewenst verbeterde afvoerformules te leveren op basis van literatuuronderzoek.

Het onderzoek is uitgevoerd door de vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica van de Landbouwuniversiteit, en stond onder leiding van ing. W. Boiten, die ook de auteur van dit rapport is.

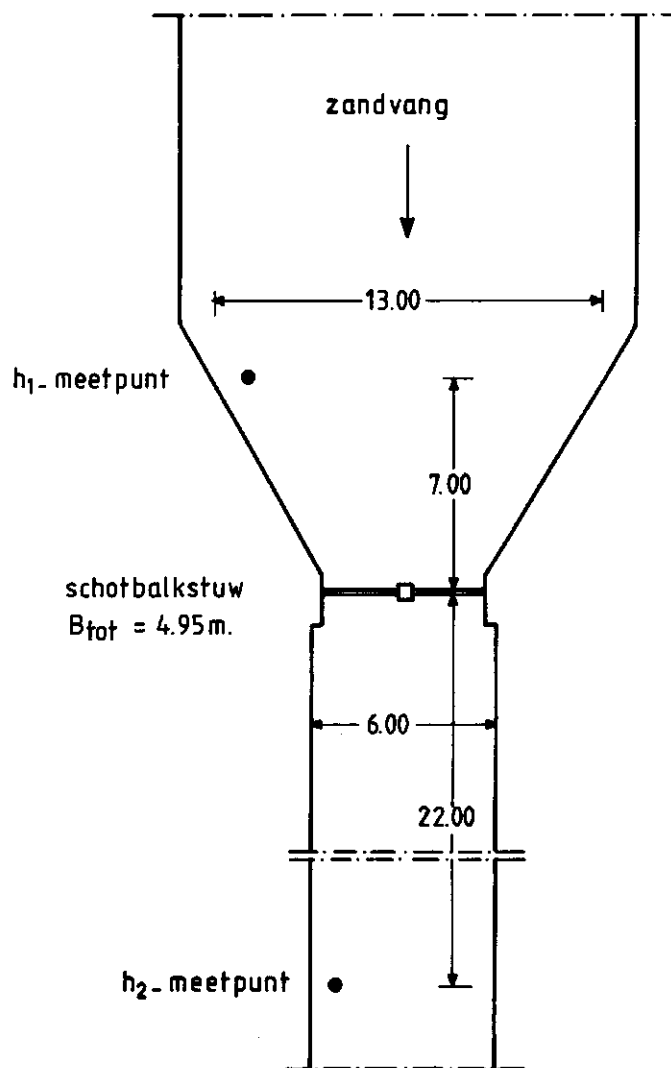
Paragraaf 5 meldt de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek.

2 BESCHRIJVING VAN DE SCHOTBALKSTUW (Figuur 1 en 2)

De schotbalkstuw bevindt zich aan het eind van de zandvang in de Nieuwe Ley te Goirle.

De stuw bestaat uit twee doorstroomopeningen, $B_{\text{totaal}} = 4,95 \text{ m}$.

Figuur 1 geeft de plattegrond van de schotbalkstuw met aansluitende panden. Het h_1 -meetpunt ligt op circa 7 meter bovenstrooms van de stuw, het h_2 -meetpunt op circa 22 meter benedenstrooms.



Figuur 1 Plattegrond van de stuw.

De schotbalken zijn rechthoekig met $L = 0,075$ m in de stroomrichting.

Er zijn in principe vier stuwstanden.

Figuur 2 geeft de dwarsdoorsnede over de schotbalkstuw.

De vier stuwstanden zijn globaal (gemiddelden van de gemeten kruinhoogtes) als volgt:

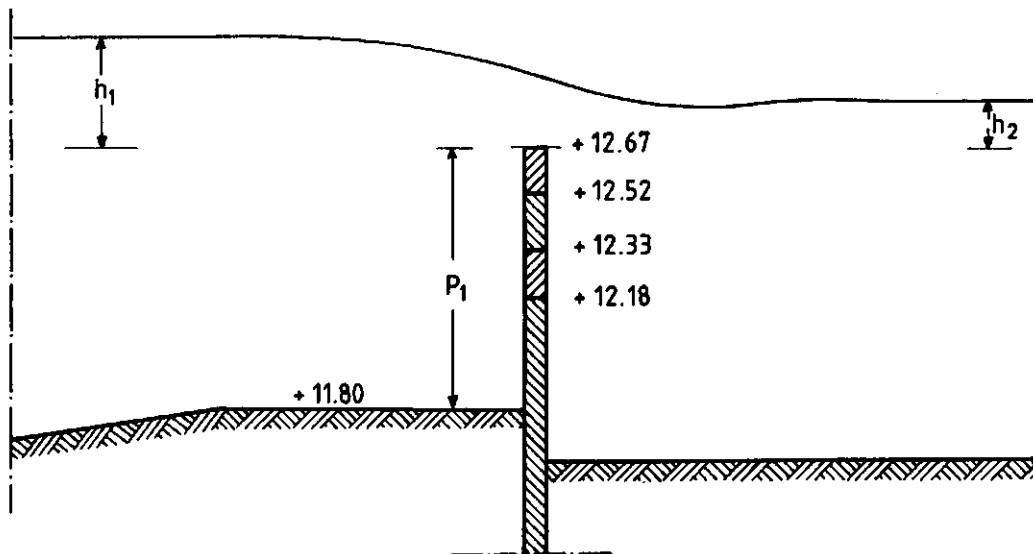
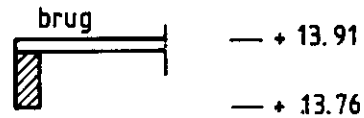
N.A.P. + 12,18 m

N.A.P. + 12,33 m (normale winterstand)

N.A.P. + 12,52 m

N.A.P. + 12,67 m (normale zomerstand)

Er wordt aangenomen dat de hoogteligging van de voetbrug boven de stuw geen belemmering vormt voor de afvoer.



Figuur 2 Dwarsdoorsnede over de schotbalkstuw.

3 EVALUATIE VAN DE GEBRUIKTE EMPIRISCHE AFVOERFORMULES (Tabel I)

Het waterschap beschikt over circa 35 afvoermetingen, uitgevoerd in de periode 1981-1988, bij verschillende stuwstanden.

Tabel I (voorste gedeelte) geeft een overzicht van deze veldmetingen.

De gebruikelijke afvoerformule voor dit soort stuwen is als volgt:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot C_V \cdot C_f \cdot h_1^{1,50}$$

Hierin zijn:

- Q debiet (m³/s)
- g zwaartekrachtversnelling $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$
- B breedte van de stuw (m)
- C_D karakteristieke afvoercoëfficiënt (-)
- C_V coëfficiënt voor de aanloopsnelheid (-)
- $C_V = (H_1/h_1)^{1,50}$
- C_f reductiecoëfficiënt voor gestuwde afvoer (-)
- h₁ overstorthoogte (m)

Voor de stuw in de Nieuwe Ley geldt:

- B = 4,95 m waarbij wordt aangenomen dat er geen verliezen zijn tengevolge van contractie of vervuiling ter plaatse van de middenpijler en de zij-kanten.
- De gecombineerde coëfficiënt $m = C_D \cdot C_V$ is niet goed bekend. Volgens de literatuur geldt $0,9 < m < 1,35$.
- C_f is in hoofdzaak afhankelijk van de verdrinkingsgraad $S = 100 h_2/h_1$. De literatuur geeft hierover enige informatie.

Met deze informatie kan de afvoerformule worden vereenvoudigd tot:

$$Q = 8,44 \text{ m} \cdot C_f \cdot h_1^{1,50}$$

Het waterschap heeft op basis van de in tabel I genoemde metingen de volgende afvoerformules opgesteld voor de vier verschillende stuwstanden:

kruinhoogte	empirische afvoerformule
NAP + 12,18 m	$Q_I = C_f \cdot 14,595 h_1^{1,309}$
NAP + 12,33 m	$Q_{II} = C_f \cdot 12,768 h_1^{1,544}$
NAP + 12,52 m	$Q_{III} = C_f \cdot 11,502 h_1^{1,478}$
NAP + 12,67 m	$Q_{IV} = C_f \cdot 12,095 h_1^{1,582}$

Voor alle formules geldt $C_f = 0,489 \log (100 - S) - 0,034$

In tabel I is de berekeningsmethode a, "De Dommel" de uitwerking van bovenstaande formules. De afwijking X_{Qa} is als volgt gedefinieerd:

$$X_Q = 100(Q_a - Q_{gem})/Q_{gem}$$

Kanttekeningen

- De formules Q_I t/m Q_{IV} geven aanzienlijke verschillen in debieten te zien. Ter illustratie worden voor vier overstorthoogtes h_1 de debieten ongestuwde afvoer berekend bij toepassing van de formules I t/m IV.

h_1 (m)	Q_I	Q_{II}	Q_{III}	Q_{IV}
0,05	0,29	0,13	0,14	0,11
0,10	0,72	0,36	0,38	0,32
0,25	2,38	1,50	1,48	1,35
0,75	10,02	8,19	7,52	7,67

Voor de aanzienlijke verschillen tussen de vier formules is geen fysische verklaring.

Er is nauwelijks reden om aan te nemen dat er voor verschillende kruinhoogtes ook verschillende afvoerformules zullen gelden.

- Ook de reductie coëfficiënt voor gestuwde afvoer, C_f is fysisch niet geheel correct.

Met $C_f = 0,489 \log (100 - S) - 0,034$ wordt:

$$C_f = 0,944 \text{ voor } S = 0 \text{ (geen verdrinking)}$$

$$C_f = 1 \text{ voor } S = -30,2$$

hetgeen fysisch niet verklaarbaar is.

Conclusies

1. De empirische afvoerformules, zoals gebruikt door het waterschap, zijn fysisch gezien niet logisch.

De oorzaken hiervan kunnen zijn:

- een te gering aantal metingen in een te klein bereik
- onvolkomenheden in de debietmetingen (was de afvoer steeds permanent tijdens de meting?)
- fouten in de gemeten waterstanden en kruinhoogtes
- onvolkomenheden aan de schotbalkstuw (lek of vervuiling)

2. Bovenstaande conclusie hoeft niet te betekenen dat toepassing van de vier afvoerformules tot foutieve debieten zal leiden. De fysische onjuistheid komt vooral door een puur wiskundige bewerking van de metingen. Hierdoor leidt met name de formule Q_I tot sterk afwijkende, ongeloofwaardige resultaten.

In de volgende paragraaf worden een aantal bewerkingen uitgevoerd met de 35 veldmetingen, om te komen tot fysisch goed onderbouwde afvoerformules.

4 ANDERE BEWERKINGEN VAN DE UITGEVOERDE VELDMETINGEN

In deze paragraaf worden de 35 afvoermetingen nog eens bewerkt op drie verschillende manieren:

- best fit. Getracht wordt één eenduidige afvoerrelatie te vinden van dezelfde basisformule als gebruikt in paragraaf 3, maar nu geldend voor alle stuwstanden (paragraaf 4.1)
- μ -methode. Hier wordt een geheel andere afvoerformule toegepast die alleen voor gestuwde afvoer met hoge verdrinkingsgraden geldig is (paragraaf 4.2).
- $Q = f(WS2)$. Nu wordt het verband bepaald tussen het debiet en de benedenwaterstand, waarbij in het geheel geen gebruik wordt gemaakt van de schotbalkstuw (paragraaf 4.3).

In paragraaf 4.4 worden de verschillende berekeningsmethoden onderling vergeleken. Dit leidt tot een aanbevolen methode. Tevens ontstaat enig zicht op de kwaliteit van de 35 afvoermetingen.

In paragraaf 5 worden de conclusies samengevat.

4.1 De "best fit" methode

Uitgangspunt is de reeds eerder beschreven afvoerformule

$$Q = 8,44 \text{ m} \cdot C_f \cdot h_1^{1,50}$$

Hierin zijn m en C_f nog onbekend.

- m wordt bepaald uit de metingen, waarin $C_f = 1$ is (ongestuwde afvoer). Als gemiddelde waarde is gevonden $m = 1,30$. De onnauwkeurigheid in deze coëfficiënt wordt geschat op $X_m = \pm 5\%$.
Vergeleken met literatuurgegevens is deze waarde vrij hoog, maar toch wel mogelijk.
- C_f wordt nu teruggerekend voor de metingen met gestuwde afvoer. Als gemiddelde is gevonden $C_f = 0,5 \log(100 - S)$.
Vergeleken met de resultaten van een eenvoudig twee dimensionaal modelonderzoek (LU speurwerk) met een zuiver rechthoekige overlaat is deze relatie zeer acceptabel.

Conclusie

Voor alle stuwstanden geldt de formule:

$$Q = 10,97 C_f \cdot h_1^{1,50}$$

$$\text{met } C_f = 0,5 \log (100 - S) \quad (S \geq 0)$$

In tabel I is de "best fit" methode uitgewerkt onder b.

$$X_{Q_b} = 100 (Q_b - Q_{gem})/Q_{gem}$$

4.2 De μ -methode

Voor gestuwde afvoer bij hoge verdrinkingsgraden wordt de volgende afvoerformule wel gebruikt:

$$Q = B \cdot h_2 \cdot \mu \cdot \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

De coëfficiënt μ is een functie van de verdrinkingsgraad S .

Voor $S \geq 80\%$ bereikt deze coëfficiënt een constante waarde.

Teruggerekend uit de metingen van tabel I volgt een gemiddelde $\mu = 0.91$.

Conclusie

Voor gestuwde afvoer met $S \geq 80\%$ geldt de formule

$$Q = 4,50 h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

In tabel I is deze formule uitgewerkt onder c

$$X_{Q_c} = 100(Q_c - Q_{gem})/Q_{gem}$$

4.3 De relatie $Q = f(WS2)$

Voor elke waterloop met vrije (niet gestuwde) afvoer, een constant dwarsprofiel en een weinig variërende ruwheid geldt, dat er een eenduidig verband bestaat tussen het debiet en de waterstand.

Voor het beekpand benedenstrooms van de stuw geldt globaal

$$Q = f(WS2)$$

waarbij WS2 de waterstand is in het h_2 -meetpunt.

Teruggerekend uit de metingen van tabel I volgt de formule

$$Q = 4,303 (WS2 - 12,155)1,526$$

In tabel I is deze formule uitgewerkt onder d

$$X_{Q_d} = 100 (Q_d - Q_{gem})/Q_{gem}$$

4.4 Vergelijking van de vier berekeningsmethoden

Methode a, tot nu toe gebruikt door het waterschap, vertoont slechts enkele grote afwijkingen X_Q , mogelijk veroorzaakt door meetfouten, maar in de serie met $h_k = +12,18$ m zeker ook door een te korte meetreeks, en de puur wiskundige bewerking van meetgegevens.

Bij de onderlinge vergelijking van de vier berekeningsmethoden wordt vooral gekeken naar de vier afwijkingen X_a , X_b , X_c en X_d , en in welke mate deze per meting met elkaar overeenkomen.

De beste overeenkomst is er tussen de "best fit" methode (b) en de μ -methode (c). Het merendeel van de metingen met de $Q = f(WS2)$ methode sluit zich hierbij aan.

Tevens is in tabel I - op grond van de onderlinge vergelijking - aangegeven, welke metingen mogelijk fout zijn (*) en voor welke metingen de overeenkomst tussen de vier bewerkingsmethodes heel goed is (**).

Duidelijke onzekerheid over de betrouwbaarheid van de metingen is er voor de meetserie met $h_k = +12,18$ m, waarin de vervallen $h_1 - h_2$ slechts enkele centimeters bedragen.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het huidige onderzoek leidt tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

1. De door het waterschap gebruikte afvoerformules zijn fysisch gezien niet correct. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door mogelijke fout-metingen, anderzijds door te korte meetreeksen.
Niettemin zijn ze wiskundig wel correct.
2. Van de alternatieve berekeningsmethoden verdient de "best-fit"-methode aanbeveling te worden toegepast voor de huidige schotbalkstuw.
Deze methode is fysisch correct, de formule heeft betrouwbare coëfficiënten, en is in principe geldig voor alle stuwstanden.
3. Beide voorgaande conclusies houden tevens in dat de juistheid van de post Q in de waterbalans niet in twijfel behoeft te worden getrokken, mits vast staat dat de schotbalk constructie niet noemenswaardig lekt, en de 35 afvoermetingen geen systematische fouten herbergen.
4. Het meten van afvoeren met een kruinhoogte $h_k = + 12,18$ m moet worden vermeden vanwege de te geringe vervallen over de stuw, en de daaruit voortvloeiende onnauwkeurigheden. Tevens geldt voor alle stuwstanden de aanbeveling om de kruinhoogte voor de linker- en de rechterdoorgang nagenoeg gelijk te houden.
5. Op termijn verdient het aanbeveling de huidige schotbalkstuw in de Nieuwe Ley - en soortgelijke constructies in andere belangrijke meetlocaties - te vervangen door de Hobrad-overlaat. Dit is een gestandaardiseerde meet- en regelstuw, die ook in Nederland door veel waterbeheerders wordt toegepast.

metingen van debieten en waterstanden (periode 1981-1988)						berekeningmethoden								
						a) De Dommel		b) best fit		c) μ -methode		d) Q-f(Ws2)		
datum	h_{kruin} (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	$Q_{\text{gem.}}$ (m ³ /s)	S (%)	Q_a (m ³ /s)	X_{Qa} (%)	Q_b (m ³ /s)	X_{Qb} (%)	Q_c (m ³ /s)	X_{Qc} (%)	Q_d (m ³ /s)	X_{Qd} (%)	
16-06-81	↑ 12,67	0,069	-0,329	0,177		0,176	-1	0,199	12			0,314	77	
18-05-82*		0,060	-0,410	0,201		0,141	-30	0,161	-20			0,148	-26	
22-09-81		0,119	-0,285	0,412		0,417	1	0,450	9			0,442	7	
16-10-81		0,135	-0,242	0,510		0,509	0	0,544	7			0,580	14	
23-10-81**		0,233	-0,073	1,212		1,207	0	1,234	2			1,217	0	
19-10-82**		0,343	0,098	1,965	28,6	1,942	-1	2,043	4			2,024	3	
19-10-82		↓	0,364	0,132	2,015	36,3	2,074	3	2,173	8			2,204	9
11-05-82	↑ 12,52	0,084	-0,221	0,299		0,296	-1	0,267	-11			0,228	-24	
13-04-82**		0,136	-0,107	0,563		0,603	7	0,550	-2			0,551	-2	
11-11-81		0,132	-0,098	0,596		0,577	-3	0,526	-12			0,587	-2	
16-11-81		0,143	-0,088	0,650		0,649	0	0,593	-9			0,620	-5	
17-02-82		0,170	-0,035	0,861		0,838	-3	0,769	-11			0,796	-8	
02-03-82**		0,210	0,030	1,079	14,3	1,044	-3	1,021	-5			1,047	-3	
20-11-81**		0,219	0,040	1,107	18,3	1,098	-1	1,075	-3			1,096	-1	
10-03-82		0,274	0,095	1,412	34,7	1,449	3	1,428	1			1,324	-6	
23-11-82**		0,308	0,161	1,579	52,3	1,588	1	1,574	0			1,577	0	
13-12-82**		0,342	0,199	1,714	58,2	1,787	4	1,778	4			1,757	3	
17-11-82**		0,396	0,265	2,070	66,9	2,075	0	2,078	1			2,090	1	
04-01-82**		0,654	0,537	3,526	82,1	3,553	1	3,635	3	3,665	4	3,683	4	
15-12-81**		↓	0,897	0,775	5,228	86,4	5,096	-3	5,282	1	5,401	3	5,277	1
09-03-88		↑ 12,33	0,470	0,424	1,894	90,2	1,794	-5	1,752	-7	1,814	-4	1,978	4
24-01-84			0,471	0,401	2,135	85,1	2,155	1	2,081	-3	2,177	-1	1,859	-13
06-02-84	0,904		0,831	4,608	91,9	4,482	-3	4,281	-7	4,480	-3	4,349	6	
20-12-88	1,029		0,947	4,908	92,0	5,439	11	5,171	5	5,411	10	5,171	5	
11-01-88*	0,997		0,875	5,105	87,8	6,319	24	5,933	16	6,098	19	4,676	-8	
17-01-88**	1,251		1,166	6,656	93,2	6,731	1	6,390	-4	6,783	2	6,772	2	
09-02-84**	1,291		1,206	6,835	93,4	6,947	2	6,595	-4	7,015	3	7,050	3	
01-04-86	1,292		1,219	7,120	94,3	6,364	-11	6,090	-14	6,571	-8	7,167	1	
08-02-84**	↓		1,448	1,353	8,286	93,4	8,293	0	7,838	-5	8,321	0	8,226	1
10-12-84*	↑ 12,18		0,271	0,255	0,851	94,1	0,906	6	0,597	-30	0,644	-24	0,600	-29
04-12-84*		0,311	0,294	1,112	94,5	1,038	-7	0,704	-37	0,765	-31	0,745	-33	
18-12-84		0,396	0,362	1,399	91,4	1,836	31	1,277	-9	1,332	-5	0,999	-29	
05-03-85		0,425	0,391	1,473	92,0	1,941	32	1,373	-7	1,438	-2	1,116	-24	
27-11-84*		0,578	0,554	2,015	95,8	1,928	-4	1,502	-25	1,712	-15	1,844	-8	
30-01-85		↓	0,874	0,832	3,551	95,2	3,660	3	3,054	-14	3,402	-4	3,382	-5

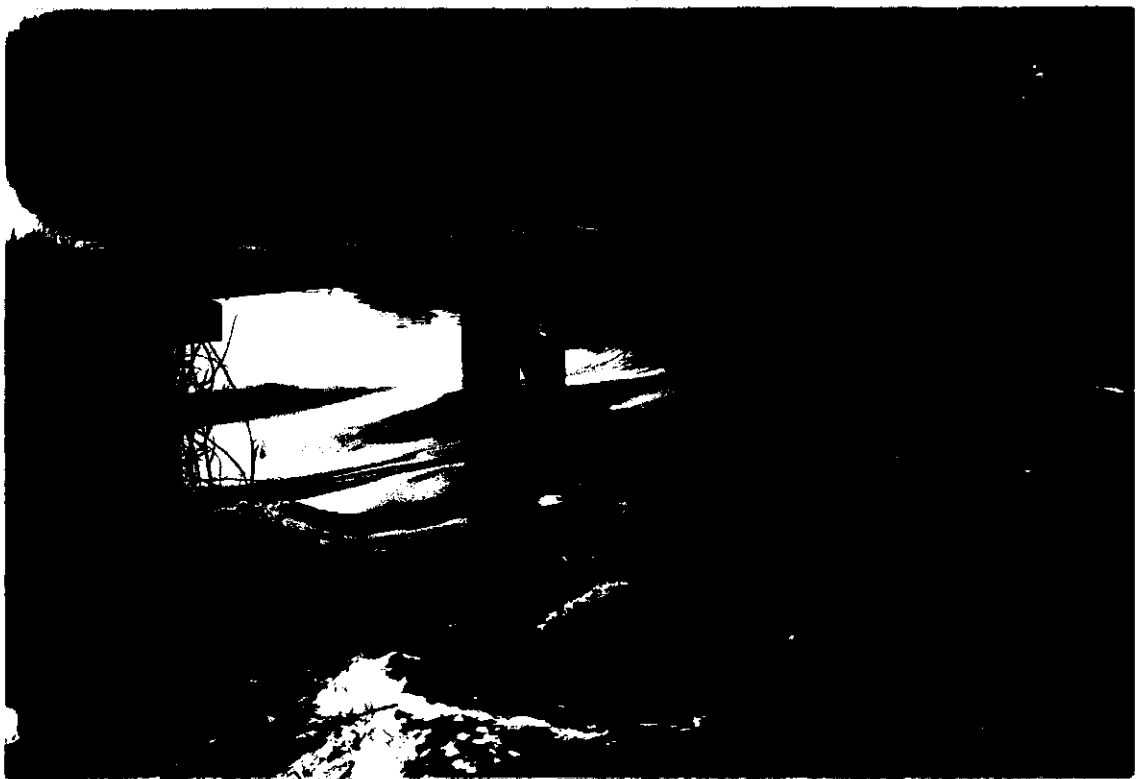
* kwaliteit twijfelachtig

** kwaliteit goed

Tabel I Overzicht uitgevoerde metingen en analyse.



I De schotbalkstuw in de Nieuwe Ley, ter plaatse van de zandvang te Goirle.



II Gestuwde afvoer over de schotbalkstuw.

27 = allgemein