

Inrichting debietmeetnet Vallei en Eem

Vooronderzoek, richtingsadvies en ontwerp van een lange overlaat achter de Grebbesluis

W.Boiten

Rapport 102

Sectie Waterhuishouding
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen
Internet: www.dow.wau.nl/whh

ISSN 0926-230X

1635815

INHOUD

1.	Inleiding	1
2.	Klepstuwen en vispassages	2
	2.1 <i>Klepstuwen</i>	2
	2.2 <i>Vispassages</i>	3
3.	Richtingsadviezen	5
	3.1 <i>de Groep</i>	5
	3.2 <i>Vlieterstuw</i>	5
	3.3 <i>Geerenstein</i>	5
	3.4 <i>Asschat</i>	6
	3.5 <i>Driftakkerweg</i>	6
	3.6 <i>Balladelaan</i>	7
4.	Grebbe sluis	8
	4.1 <i>Beschrijving van de Grebbe sluis</i>	8
	4.2 <i>Debietmeting in de Grebbe sluis</i>	8
	4.2.1 <i>Calibratie bestaande verticale schuiven</i>	9
	4.2.2 <i>Akoestisch debietmeten</i>	10
	4.2.3 <i>Lange overlaat</i>	10
	4.2.4 <i>De gevolgen van een waterstandsverhoging achter de schuif</i>	11
	4.2.5 <i>Aanbeveling</i>	12
	4.3 <i>Hydraulisch ontwerp lange overlaat</i>	13
	Literatuur	15

INRICHTING DEBIETMEETNET VALLEI EN EEM

Vooronderzoek en richtingsadvies

1. Inleiding

Op 25 april 2001 verleende het Waterschap Vallei en Eem opdracht aan de Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit, per brief 2001/2077, tot het uitvoeren van een vooronderzoek en het geven van een richtingsadvies over het inrichten van debietmeetstations.

De opdracht was conform de offerte 01 130 WB/hw d.d. 10 april 2001, waarin de volgende werkzaamheden waren beschreven:

- het beoordelen op hun geschiktheid als debietmeetstation van een aantal reeds bestaande stuwen en het doen van voorstellen tot eventuele aanpassingen
- voor het meetpunt Grebbesluis zal worden nagegaan of de bestaande verticale schuiven kunnen worden gecalibreerd en worden de mogelijkheden van andere meetmethoden onderzocht.

Voorafgaand aan de opdracht heeft een vrij intensief vooroverleg inclusief drie veldbezoeken plaats gehad op 24 januari, 5 februari en 5 april 2001. Naar aanleiding daarvan zijn door het waterschap tekeningen en andere gegevens toegezonden op 29 januari en 12 maart 2001.

De volgende stuwen zijn bezocht en besproken.

- Grebbesluis, Rhenen, inlaat uit de Neder Rijn
- klepstuw de Groep in het Valleikanaal bij Scherpenzeel (incl. vispassage)
- klepstuw Vlieterstuw in de Lunterse Beek bij Scherpenzeel
- klepstuw Geerenstein in de Woudenbergse Grift bij Woudenberg
- stuw Asschat in het Valleikanaal bij Leusden
- klepstuw Driftakkerweg in de Barneveldse Beek bij Amersfoort (incl. vispassage)
- klepstuw Balladelaan in het Valleikanaal te Amersfoort (incl. vispassage)

Paragraaf 2 behandelt de klepstuwen en vispassages

Paragraaf 3 geeft richtingsadviezen over de klepstuwen

Paragraaf 4 gaat over de Grebbesluis en de aanbevolen lange overlaat

Het gehele onderzoek stond onder leiding van ing. W. Boiten, gastmedewerker bij de Sectie Waterhuishouding van de Wageningen Universiteit.

2. Klepstuwen en vispassages

2.1 Klepstuwen

Klepstuwen zijn in essentie regelstuwen: ze draaien om een laag gelegen horizontale as en ze hebben een grote afvoerende breedte, waardoor variaties in debiet bij een gelijk blijvende klepstand resulteren in relatief geringe variaties in waterstand. Vooral in Nederland waar het beschikbare verval doorgaans enkele decimeters bedraagt, is de klepstuw een zeer populaire stuw voor het regelen van een bovenwaterstand.

Het draaimechanisme, maar vooral de grote afvoerende breedte maken de klepstuw minder geschikt als meetstuw: gedurende lange periodes zal de overstorthoogte h_1 gering zijn waardoor de bepaling van het debiet relatief onnauwkeurig wordt. Niettemin zijn er in Nederland zeer veel klepstuwen ingericht als debietmeetstation.

Klepstuwen, verschillen in ophanging van de klep (vorm en dikte ophangarmen) en in kruinvorm (paraboolvormig, cilindrisch, balkvorming, plaatvormig, en een gekartelde rand).

Voor het opstellen van $Q - h_1$ relaties wordt doorgaans de afvoerformule voor horizontale lange overlaten gebruikt:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot C_{dr} \cdot h_1^{3/2}$$

met	Q	debiet (m ³ /s)
	g	versnelling zwaartekracht (9,81 m/s ²)
	B	breedte tussen de betonwanden (m)
	C	afvoercoëfficiënt (-)
	C_{dr}	coëfficiënt voor stuwde afvoer (-)
	h_1	de overstorthoogte (m)

De afvoercoëfficiënt C is samengesteld uit drie componenten, $C = C_D \cdot C_C \cdot C_V$.

C_D	karakteristieke afvoercoëfficiënt, als functie van kruinvorm, klephoek en h_1
C_C	contractie-coëfficiënt, bepaald door ophanging, klephoek en h_1
C_V	coëfficiënt voor de aanstroomsnelheid ter plaatse van de h_1 -meting

De coëfficiënt C_{dr} voor gestuwde afvoer is een functie van de verdrinkingsgraad $S = 100 h_2/h_1$ en de klephoek α . Voor ongestuwde afvoer is $C_{dr} = 1$.

Voor 80 à 90% van de klepstuwen kunnen de afvoerrelaties worden berekend met behulp van literatuurgegevens. Een volledige beschrijving van de berekeningswijze én informatie over de coëfficiënten C_D , C_C en C_{dr} wordt gegeven in "Het opstellen van de afvoerkrommen van klepstuwen" [4].

De klepstuwen Balladelaan, Vlieterstuw en de Groep hebben een balkvormige kruin met een geringe afronding. Deze kruinvorm is niet de meest geschikte om twee redenen:

- bij lage afvoeren (overstorthoogte $h_1 < 0,10$ m) is de overstort ambivalent: de overstortende straal volgt de kopse kant van de balk zonder beluchting óf ze springt los van de kruin. Het gevolg is een extra systematische fout in de afvoerbepaling. Voor overstorthoogtes $h_1 > 0,10$ m is er een éénduidig losspringen van de straal.
- de betrekkelijk scherpe kruin is vuilgevoeliger dan de paraboolvormige en de cilindrische kruinvormen.

De klepstuw Driftakkerweg heeft een gekartelde (zaagvormige) rand, die zeer vuilgevoelig is en waarvan in de literatuur geen informatie is over de coëfficiënten C_D , C_C en C_{dr} . De klepstuw Geerenstein is voorzien van een paraboolvormige kruin.

2.2 Vispassages

De klepstuwen Balladelaan, Driftakkerweg en de Groep hebben een vispassage die enigszins lijkt op de vertical slot vispassage. Ook van deze constructies moet een afvoerrelatie bekend zijn.

In de literatuur over vispassages is de vertical slot beschreven als een rechthoekige hellende goot, met een breedte B , die door het plaatsen van X dwarsschotten in $(X-1)$ compartimenten is verdeeld. Het water passeert door smalle verticale sleuven (slots) in de schotten. De vertical slots kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

- de sleuven reiken tot de bodem van de goot, en zijn open aan de bovenkant. De randen zijn hoekig of afgeschuind
- meestal is er één sleuf per schot (single slot), en dan meestal aan dezelfde zijkant, maar soms ook verspringend links en rechts. Daarnaast is er ook double slot.
- de breedte b_0 van een sleuf varieert als volgt $0,1 B < b_0 < 0,167 B$
Voor een verspringende single slot is $b_0 = 0,125 B$
- de lengte L van een compartiment varieert als volgt $5 b_0 L < 15 b_0$
Voor een verspringende single slot is $L = 10 b_0$
- de waterdiepte Y_0 in een compartiment varieert als volgt $2,3 b_0 < Y_0 < 25,8 b_0$.
Dit bereik geldt ook voor een verspringende single slot (Y_0 is de waterdiepte benedenstrooms van een schot).
- het verval ΔY per compartiment bedraagt $\Delta Y = L \cdot S_0$ (S_0 is de helling van de goot, in principe $S_0 = \Delta h_{tot}/L_{tot}$ waarin Δh_{tot} het verschil tussen de streefpeilen bovenstrooms en benedenstrooms, en waarbij L_{tot} de gootlengte is).

De helling van de goot varieert als volgt $5\% < S_0 < 15\%$.

De maximale snelheid in een sleuf bedraagt $V_{max} = \sqrt{2g\Delta y}$

Het debiet door een sleuf (en dus door de vispassage) kan worden afgeleid uit ontwerpformules voor vispassages uit de literatuur. Deze leiden echter tot onderlinge verschillen van 15 a 20%.

De vispassages bij de klepstuwen Balladelaan en Driftakkerweg lijken wel enigszins op vertical slots, maar wijken met name in twee opzichten duidelijk af van wat de literatuur beschrijft:

- de sleuven zijn niet open aan de bovenkant
- de goot aan de Balladelaan is niet hellend, heeft één trap van 0,60 m in plaats van 15 trappen van 0,06 m. Door het aanbrengen van grind is de bodem doorgaand hellend gemaakt. Bij de goot aan de Driftakkerweg is het de vraag of de helling $S_0 = 2\%$ aansluit bij het verschil in streefpeilen.

Conclusies:

- 1) Uit de - in de literatuur [1] bekende - ontwerpformules van 'echte' vertical slot vispassages kan het debiet worden afgeleid, hoewel de uitkomsten onderling 15 à 20% verschillen.
- 2) De vispassages aan de Balladelaan en de Driftakkerweg wijken principieel af van die uit de literatuur, hetgeen de debietbepaling nog iets lastiger maakt.
Wij schatten de capaciteit van de vispassage aan de Balladelaan op circa $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een totaal verval van 0,90 m.
- 3) Gezien bovenstaande is ijking van de vispassages in een schaalmodel de meest betrouwbare weg om een relatie te leggen tussen het verval Δh_{tot} en het debiet Q .

In Nederland zijn de afgelopen 10 à 15 jaren meerdere vertical slot vispassages ontworpen en gebouwd in opdracht van waterschappen. De diversiteit aan ontwerpen is groot door het ontbreken van duidelijke ontwerpregels en een éénduidig ontwerp. De belangstelling van de waterschappen voor zo'n eenduidig ontwerp is groot, en dan met name ook voor de afvoerrelatie ervan. De Sectie Waterhuishouding van Wageningen Universiteit zal waarschijnlijk een enigszins aangepaste "de Wit" vertical slot vispassage testen in een speciaal voor dit doel gebouwde meetgoot, waarbij ook de $Q - h_1$ relatie zal worden vastgesteld.

Na voltooiing van dit onderzoek (2002) blijft deze meetgoot beschikbaar voor het ijken van reeds bestaande vertical slot vispassages, die naast meetstuwen zijn gebouwd.

3. Richtingsadviezen

In deze paragraaf wordt een globaal advies gegeven over de vraag hoe de zes in de inleiding genoemde klepstuwen geschikt kunnen worden gemaakt als debietmeetstation.

3.1 de Groep

Stuw de Groep in het Valleikanaal bij Scherpenzeel is samengesteld uit een klepstuw met balkvormige kruin, $B = 2 \times 4,00$ m, en een vertical slot vispassage in de middenpijler, $B = 1,20$ m.

Beschikbare informatie:

- tekening 7010605-201, TAUW, steltekening vloer, 1996.
- tekening 7010605-601, TAUW, staalconstructie vispassage, 1996
Afmetingen vispassage: $B = 1,20$ m, $b_0 = 0,24$ m, $X = 15$, $L = 0,65$ m/ $0,75$ m. Sprong van $0,50$ m in de bodem en sleuven open aan de bovenkant.
- tekening 517687-1000-A, Jansen Venneboer, stuwkleppen, 1996
- debietbereik $1 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$ met $Q_{\text{norm}} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Advies

- klepstuw: opstellen afvoerrelaties voor de bestaande kruinvorm met behulp van [4].
De nauwkeurigheid kan worden verbeterd door het aanbrengen van een paraboolvormige kruin.
- vispassage: opstellen globale afvoerrelatie uit ontwerpformules die in de literatuur [1] worden gegeven voor soortgelijke vertical slot vispassages.
De nauwkeurigheid kan worden verbeterd door calibratie in een model

3.2 Vlieterstuw

De Vlieterstuw aan het eind van de Lunterse Beek bij Scherpenzeel is een klepstuw met balkvormige kruin, $B = 5,85$ m.

Beschikbare informatie:

- tekening 517707-400-B, Jansen Venneboer, stalen stuwklep, 1996.
- debietbereik $0 < Q < 11 \text{ m}^3/\text{s}$ met $Q_{\text{norm}} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Advies

- klepstuw: opstellen afvoerrelaties voor de bestaande kruinvorm met behulp van [4].
De nauwkeurigheid kan worden verbeterd door het aanbrengen van een paraboolvormige kruin.

3.3 Geerenstein

Stuw Geerenstein in de Woudenbergse Grift bij Woudenberg is een klepstuw met paraboolvormige kruin.

Informatie over maatvoering en debietbereik ontbreekt op dit moment.

Advies

- klepstuw: vaststellen maatvoering en opstellen afvoerrelaties voor de bestaande parabolische kruin met behulp van [4]

3.4 Asschat

Stuw Asschat in het Valleikanaal bij Leusden is nu nog een dubbele schuifstuw, waarschijnlijk van het type Hobrad overlaat, en dus zeer geschikt als debietmeetstuw. De bestaande constructie zal op zeer korte termijn echter worden vervangen door een nieuw te bouwen klepstuw met vispassage.

Advies

- klepstuw: sterke voorkeur voor een paraboolvormige kruin, waarvoor de afvoerrelaties kunnen worden opgesteld met behulp van [4].
- vispassage: sterke voorkeur voor de vertical slot vispassage, die zal worden aanbevolen na voltooiing van het onderzoek dat de Sectie Waterhuishouding van Wageningen Universiteit in voorbereiding heeft.

3.5 Driftakkerweg

Stuw Driftakkerweg aan het eind van de Barneveldse Beek bij Amersfoort is samengesteld uit een klepstuw met een gekarteld kruin, $B = 8,00$ m, een een vertical slot vispassage langs de linker oever, $B = 1,20$ m.

Beschikbare informatie:

- tekening 218086-3000, Jansen Venneboer, samenstelling stuw, 1997
- tekening 218086-3600A, Jansen Venneboer, vistrap, 1997.
Afmetingen vispassage: $B = 1,20$ m, $b_0 = 0,24$ m, $X = 10$, $L = 1,25$ m. Hellende bodem en sleuven afgesloten aan de bovenkant.
- debietbereik $0,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 23 \text{ m}^3/\text{s}$ met $Q_{\text{norm}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Weinig verval waardoor grotere kans op gestuwde afvoer en een geheel gestreken klep.

Advies

- klepstuw: verwijderen kartelrand en opstellen afvoerrelaties voor de vrijkomende waarschijnlijk balkvormige kruinvorm met behulp van [4].
De nauwkeurigheid kan worden verbeterd door het aanbrengen van een paraboolvormige kruin.
Bij gestuwde afvoer geldt voor de klephoek $\alpha \leq 82^\circ .30'$ en voor de verdrinkingsgraad $S \leq 95\%$
- Vispassage: schatten van een zeer globale afvoerrelatie.
Mede vanwege de afgesloten bovenkant van de sleuf wordt calibratie in een model sterk aanbevolen om een betrouwbare afvoerrelatie te verkrijgen.

3.6 Balladelaan

Stuw Balladelaan in het Valleikanaal te Amersfoort is samengesteld uit een klepstuw met een balkvormige rand, $B = 2 \times 8,00$ m en een vertical slot vispassage in de middelpijler, $B = 1,20$ m.

Beschikbare informatie:

- tekening 218990-10000A, Jansen Venneboer, overzicht, 2000
- tekening 218990-3000A, Jansen Venneboer, vistrap, 2000
Afmetingen vispassage: $B = 1,20$ m, $b_0 = 0,25$ m, $X = 15$, $L = 1,00$ m. Sprong van 0,60 m in de bodem en sleuven afgesloten aan de bovenkant.
- debietbereik $2 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 80 \text{ m}^3/\text{s}$ met $Q_{\text{norm}} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$
Naar verwachting is er ongestuwde afvoer voor $Q \leq 25 \text{ m}^3/\text{s}$

Advies

- klepstuw: opstellen afvoerrelaties voor de bestaande kruinvorm met behulp van [4]
De nauwkeurigheid kan worden verbeterd door het aanbrengen van een paraboolvormige kruin.
- vispassage: schatten van een globale afvoerrelatie
Vanwege de afgesloten bovenkant van de sleuf en de horizontale bodem met bodemsprong wordt de calibratie in een model sterk aanbevolen om een betrouwbare afvoerrelatie te verkrijgen.
- het nog aanwezige akoestisch debietmeetstation bovenstrooms van de stuw nog even in tact laten om lering te trekken uit vergelijkende meetresultaten.

4. Grebbesluis

4.1 Beschrijving van de Grebbesluis

Met de Grebbesluis, gelegen tussen Wageningen en Rhenen, kan water worden ingelaten vanuit de Neder Rijn naar het Valleikanaal.

Beschikbare informatie:

- tekening 470001-VK 1787, Provincie Utrecht, bestektekening Grebbesluis, 1978
- tekening 10523-1000, Jansen Venneboer met $Q_{\text{norm}} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$
- waterstanden:
bovenstrooms WS 1 $\geq \text{NAP} + 5,80 \text{ m}$ (stuwpeil Amerongen is NAP + 6,00 m)
benedenstrooms WS 2 $\leq \text{NAP} + 5,00 \text{ m}$ (gemeten van juli tot/met december 2000)

Uit de tekening VK 1787 wordt de volgende maatvoering ontleend:

- vierkant sluisprofiel met een breedte $B = 1,60 \text{ m}$, een bodemhoogte NAP + 4,00 m en een plafondhoogte NAP + 5,60 m
- vóór dit profiel bevinden zich twee verticaal beweegbare schuiven op een onderlinge afstand van 2,50 m. In deze sectie is de bodemhoogte NAP + 3,75 m.
- de schuiven vinden hun aanslag op een hoogte NAP + 3,90 m, zodat de onderste stroomlijnen twee keer een drempel moeten nemen; eerst 0,15 m en dan nog eens 0,10 m. De schuiven hebben een dikte van circa 0,12 m.

Als er wordt ingelaten zal één der beide schuiven geheel getrokken zijn, terwijl de andere het inlaatdebiet regelt.

Bij een combinatie van waterstanden op de Rijn NAP + 6,00 m en op het Valleikanaal NAP + 4,90 m zullen de schuifhoogtes a ongeveer als volgt zijn, en kan achter de schuif zowel gestuwde als ongestuwde afvoer optreden:

debiet Q (m^3/s)	schuifhoogte a (m)	stroming achter de schuif
0,5	0,11	gestuwd, met verdronken watersprong
0,9	0,15 à 0,20	modulaire grens tussen ongestuwde en gestuwde afvoer
2,0	0,33	ongestuwd, met vrije watersprong

Twee soorten stroming achter de schuif maakt de debietbepaling erg gecompliceerd.

4.2 Debietmeting in de Grebbesluis

Voor het meten van de debieten in de Grebbesluis zijn er in principe de volgende mogelijkheden:

- calibratie van de bestaande verticale schuiven (par. 4.2.1)
- een akoestisch debietmeetstation aan het einde van het vierkant sluisprofiel (par. 4.2.2)

- een nieuw te bouwen lange overlaat in het open kanaalprofiel achter de sluis (par. 4.2.3)

Bij een aantal van deze voorstellen zal het ontwerp leiden tot een waterstandsverhoging van enkele decimeters achter de regelschuif. De consequenties hiervan worden besproken in par. 4.2.4.

In par. 4.2.5 zal na overleg met het waterschap de meest geschikte meetmethode worden aanbevolen.

4.2.1 Calibratie van de bestaande verticale schuiven

Voor stroming onder verticale schuiven zijn afvoerformules ontwikkeld voor zowel gestuwde als ongestuwde afvoer. Twee belangrijke voorwaarden zijn:

- de schuiven staan tussen rechte verticale wanden zonder uitstulpingen, zodat de stroming tweedimensionaal is
- de schuiven staan boven een vlakke horizontale vloer

Bij de Grebbesluis wordt aan geen van beide condities voldaan.

De afvoerrelaties voor de schuiven in de Grebbesluis zullen daarom afwijken – hoe sterk is niet te voorspellen – van wat over schuiven in de literatuur (standaard) bekend is. Zelfs valt te verwachten dat de afvoerrelaties voor elk der beide schuiven onderling – zij het in geringe mate – verschillen, gelet op de verschillende vormen van aanstroming.

De enige manier om de afvoerrelaties van de schuiven in de Grebbesluis te leren kennen, is calibratie in een hydraulisch model of in het veld.

- calibratie in een model vereist vooral een exacte opmeting van de geometrie van de sluis én de schuiven. De afvoerrelaties, verkregen uit het modelonderzoek (lengteschaal $n_1 = 4$ of 7) zijn zeer nauwkeurig ($X_Q = 5\%$). Ook wordt in het modelonderzoek de grens tussen ongestuwde en gestuwde afvoer nauwkeurig vastgelegd.

Bij de vertaling van de afvoerrelatie uit het model naar die voor de werkelijkheid kan de nulpuntsbepaling van de schuif een bron van onnauwkeurigheid zijn.

- calibratie in het veld kan door bij een groot aantal variaties in waterstanden en schuifhoogtes de debieten aan het eind van het vierkant sluisprofiel te meten met de velocity-area methode. De hieruit verkregen afvoerrelaties zullen enkele procenten meer onnauwkeurig zijn. De grens tussen ongestuwde en gestuwde afvoer kan niet worden vastgelegd, omdat het fenomeen zich aan het oog onttrekt. Maar de nulpuntsbepaling van de schuif compliceert nu niet.

Werken met twee soorten stroming – ongestuwde afvoer én gestuwde afvoer – kan bij de gegevens bewerking lastig zijn, en te meer als de grens tussen beide niet bekend is. Hier valt aan te ontkomen door er voor te zorgen dat er onder alle omstandigheden gestuwde afvoer optreedt. Dit wordt verkregen door de benedenwaterstand te verhogen tot tenminste NAP + 5,35 m bij Rijnwaterstanden NAP + 6,00 m, en tot tenminste NAP + 5,49 m bij Rijnwaterstanden NAP + 7,00 m (zie par. 4.2.4). Om deze benodigde waterstandsverhogingen te realiseren zal er een overstortrand moeten worden gemaakt aan het eind van het sluisprofiel of aan het eind van het uitlaatgedeelte. De exacte benodigde

waterstandsverhogingen, gerelateerd aan de Rijnwaterstanden, worden uitsluitend bekend in een modelonderzoek.

In de Grebbesluis bevinden zich twee achter elkaar gelegen schuiven, waarvan de afvoerrelaties onderling niet geheel gelijk zullen zijn.

Er is daarom voorkeur voor het permanent gebruik van slechts één van beide schuiven. Het om en om gebruiken van beide schuiven vereist calibratie van beide.

De keuze voor de meest gewenste aanpak wordt bepaald door de volgende factoren:

- gewenste nauwkeurigheid $X_Q = 5$ à $7,5\%$ (modelcalibratie) of $X_Q = 10$ à 15% (veldcalibratie).
- gegevensbewerking/toelaatbare waterstandsverhoging achter de schuif
- gebruik van één schuif òf van beide schuiven om en om.

4.2.2 Akoestisch debietmeten

Een akoestisch meetkruis kan worden geïnstalleerd aan het eind van het vierkant sluisprofiel. Het profiel zal dan plaatselijk versmald moeten worden - bijvoorbeeld met circa 0,10 m ter weerszijden - om de sensoren te kunnen plaatsen.

Gezien de meetlocatie ruim 30 meter achter de schuiven ligt, wordt aangenomen dat de snelheidsverdeling in de verticaal bij benadering parabolisch is. Als dat niet zo is, dan zullen twee meetkruizen nodig zijn.

Het feit dat er ruim 6 meter voor het eind van het sluisprofiel, een geringe knik in de koker zit, zal waarschijnlijk een geringe verstoring van het stroombeeld veroorzaken.

Vóórdat voor akoestisch debietmeten wordt gekozen, is het raadzaam de snelheidsverdeling aan het eind van het sluisprofiel bij een redelijk hoog debiet te meten in het veld.

4.2.3 Lange overlaat

Een nieuw te bouwen overlaat kan worden gebouwd in een daarvoor benodigde damwand in het open kanaalprofiel, op circa 10 meter achter het uitlaatgedeelte van de sluis.

De voorkeur gaat dan uit naar een gestandaardiseerde meetstuw: de horizontale lange overlaat met afgeronde kruin [2].

De kruinhoogte h_K zal gelijk zijn aan de – tijdens het inlaten – maximaal te verwachten waterstand op het Valleikanaal: het ontwerppeil NAP + 5,00 m òf het gemeten maximum NAP + 4,90 m.

Door het plaatsen van de overlaat in een damwand, zal de waterstand bovenstrooms ervan met enkele decimeters worden verhoogd, afhankelijk van de te kiezen breedte B voor de overlaat.

Als wordt gekozen voor een kruinlengte $L = 0,80$ en een kruinbreedte $B = 4,00$ m dan ziet de berekende $Q - h_1$ relatie er als volgt uit.

debiet Q (m ³ /s)	overstort hoogte h_1 (m)	bovenstrooms peil bij $h_K = \text{NAP} + 4,90$ m	meetfout X_Q (%)
0,2	0,097	NAP + 5,00	7,0
0,4	0,154	NAP + 5,05	4,8
0,8	0,244	NAP + 5,14	3,5
2,0	0,445	NAP + 5,35	2,6
3,0	0,574	NAP + 5,47	2,5

4.2.4 De gevolgen van een waterstandsverhoging achter de schuif

Zowel in par. 4.2.1 (calibratie schuiven) als in par. 4.2.3 (lange overlaat) is er sprake van een waterstandsverhoging achter de schuif. In deze paragraaf wordt nagegaan welke consequenties een waterstandsverhoging in het sluisprofiel heeft op de inlaatcapaciteit: een hogere benedenwaterstand WS2 vraagt een grotere schuifopening a .

De hierna volgende berekeningen zijn gebaseerd op informatie uit de literatuur [3] waarbij de schuif tussen rechte wanden en boven een vlakke vloer staat (de werkelijke schuifopeningen a zullen waarschijnlijk groter zijn).

De benodigde schuifopeningen a zijn berekend voor de volgende situaties:

- de huidige situatie
- na installatie van de lange overlaat (par. 4.2.3)
- minimale benedenwaterstand om gestuwde afvoer achter de schuiven te hebben (par. 4.2.1)

a) Rijnwaterstand NAP + 6,00 m	inlaat $Q = 0,8$ m ³ /s			inlaat $Q = 2,0$ m ³ /s		
	WS 2 (m NAP)	a (m)	stroming	WS 2 (m NAP)	a (m)	stroming
situatie						
huidige	+4,90	0,18	gestuwd	+4,90	0,33	ongestuwd
lange overlaat	+5,14	0,20	gestuwd	+5,35	0,58	grens
schuif, gest. afvoer	+4,84	0,17	grens	+5,35	0,58	grens

b) Rijnwaterstand NAP + 7,00 m	inlaat $Q = 0,8$ m ³ /s			inlaat $Q = 2,0$ m ³ /s		
	WS 2 (m NAP)	a (m)	stroming	WS 2 (m NAP)	a (m)	stroming
situatie						
huidige	+4,90	0,11	ongestuwd	+4,90	0,27	ongestuwd
lange overlaat	+5,14	0,14	gestuwd	+5,35	0,27	ongestuwd
schuif, gest. afvoer	+4,92	0,13	grens	+5,49	0,38	grens

Uit deze berekeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

- om gestuwde afvoer achter de schuif te verkrijgen, moet de benedenwaterstand worden verhoogd tot maximaal NAP + 5,49 m. Deze grenswaarde is niet meer dan een indicatie. Alleen via modelonderzoek kan ze exact worden vastgesteld.
- een waterstandsverhoging tot NAP + 5,49 m gaat nauwelijks ten koste van de inlaatcapaciteit, maar nadert wel dicht het plafond van het sluisprofiel (NAP + 5,60 m).
- de installatie van een overlaat leidt tot een maximale benedenwaterstand van NAP + 5,35 m.

4.2.5 Aanbeveling

Op basis van wat in de voorgaande paragrafen 4.2.1 t/m 4.2.4 is besproken, zijn er tien mogelijkheden om de Grebbesluis als debietmeetstation in the richten. Deze worden nu samengevat met een overzicht van de te verwachten onnauwkeurigheid X_Q in het gemeten debiet én de advieskosten met betrekking tot calibratie/ontwerp door de Wageningen Universiteit (gebaseerd op tarieven 2001).

a) calibratie van de bestaande verticale schuiven

optie	soort calibratie	beneden waterstand WS2	aantal schuiven	onnauwkeurigheid X_Q	advieskosten
a ₁	veld	normaal	één	15%	f 74.400,-
a ₂	veld	normaal	twee	15%	f 112.900,-
a ₃	veld	verhoogd	één	10%	f 57.000,-
a ₄	veld	verhoogd	twee	10%	f 104.000,-
a ₅	model	normaal	één	7,5%	f 101.700,-
a ₆	model	normaal	twee	7,5%	f 140.200,-
a ₇	model	verhoogd	één	5%	f 92.700,-
a ₈	model	verhoogd	twee	5%	f 131.200,-

b) akoestisch debietmeten

- onnauwkeurigheid bij twee meetkruizen $X_Q = 5\%$
- advieskosten opvragen bij de leverancier

c) hydraulisch ontwerp van een lange overlaat

WS1 max. + 5,50 m

- onnauwkeurigheid $X_Q = 5\%$ voor debieten $Q \geq 0,37 \text{ m}^3/\text{s}$
- advieskosten hydraulisch ontwerp (incl. afvoerrelatie) f 5000,-

Na overleg met het waterschap is de aanbeveling:

optie c, het ontwerp van een lange overlaat, zoals aangegeven in paragraaf 4.2.3, voor een maximum debiet $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ en met een kruinhoogte NAP + 4,90 m.

4.3 Hydraulisch ontwerp lange overlaat

Figuur 1 geeft de locatie van de lange overlaat in het open kanaalprofiel benedenstrooms van de Grebbesluis. De overlaat zal worden bevestigd aan een te bouwen damwand op 10,70 m achter de laatste drempel in de sluisbodem. Deze afstand is gekozen omdat volgens de bestektekening van de Provinciale Waterstaat van Utrecht (1978) er tot 10 meter achter de sluis een 0,50 m dikke puinbestorting ligt op een bodemniveau NAP + 3,00 m.

De overlaat ligt in de lengte-as van de sluis.

Voor het meten van de bovenstroomse waterstand is de locatie van de peilschaal, zoals vermeld op de oude bestektekening, een geschikte locatie.

Figuur 2 geeft de maatvoering van de lange overlaat.

- kruinlengte $L = 0,80 \text{ m}$, bovenstrooms afgerond met $R = 0,10 \text{ m}$.
- kruinhoogte NAP + 4,90 m
- kruinbreedte $B = 4,00 \text{ m}$, begrensd door twee zijvleugels S1
- de vleugels S1 strekken zich in lengterichting uit van 0,20 m vóór het kruinblad tot 0,20 m achter het kruinblad, met een bovenstroomse afronding $R = 0,10 \text{ m}$, waardoor de gewenste tweedimensionale stroming over het kruinbed wordt verkregen. In hoogterichting strekken de vleugels zich uit van NAP + 4,30 m tot NAP + 5,50 m (dit is ook de hoogte van de nieuw te bouwen damwand én de bestaande beschoeiing).
- de verticale plaat onder het kruinblad, waarmee de overlaat op de damwand wordt bevestigd is, 1,00 m hoog genomen. De kruin zal zuiver horizontaal worden gesteld. De steun-strips S2 en S3, aan te brengen h.o.h. 1,00 m, zijn bedoeld om het in twee richtingen horizontale blad voldoende stijfheid te geven.
- de damwand, waarin de overlaat wordt aangebracht moet zuiver verticaal staan, óók onder een maximaal verval van circa 0,60 m.

De afvoerrelatie van de lange overlaat is als volgt:

$$Q = m \cdot h_1^b$$

hierin zijn:

- Q het debiet (m^3/s)
- m gecombineerde afvoercoëfficiënt (m^{3-b}/s)
- h_1 de overstorthoogte (m)
- b machtscoëfficiënt (-)

Voor het meetbereik $0,20 < Q < 3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ zou het gebruik slechts één afvoerrelatie de meetnauwkeurigheid onnodig veel geweld aan doen, reden waarom deze in de volgende drie deelrelaties is opgeknipt:

deelrelatie	bereik in overstorthoogte (m)	bereik in debiet (m^3/s)
$Q = 6,670 h_1^{1,503}$	$0,100 < h_1 < 0,286$	$0,20 < Q < 1,02$
$Q = 6,899 h_1^{1,530}$	$0,286 < h_1 < 0,466$	$1,02 < Q < 2,14$
$Q = 7,328 h_1^{1,609}$	$0,466 < h_1 < 0,574$	$2,14 < Q < 3,00$

Met de lange overlaat kan het inlaatdebiet nauwkeurig worden gemeten. De meetfout is vermeld in paragraaf 4.2.3.

Het verdient aanbeveling het kruinblad regelmatig te inspecteren op vuilafzetting, om systematische fouten in de debietbepaling zoveel mogelijk te elimineren: vervuiling van de kruin leidt altijd tot een systematische overschatting van het debiet.

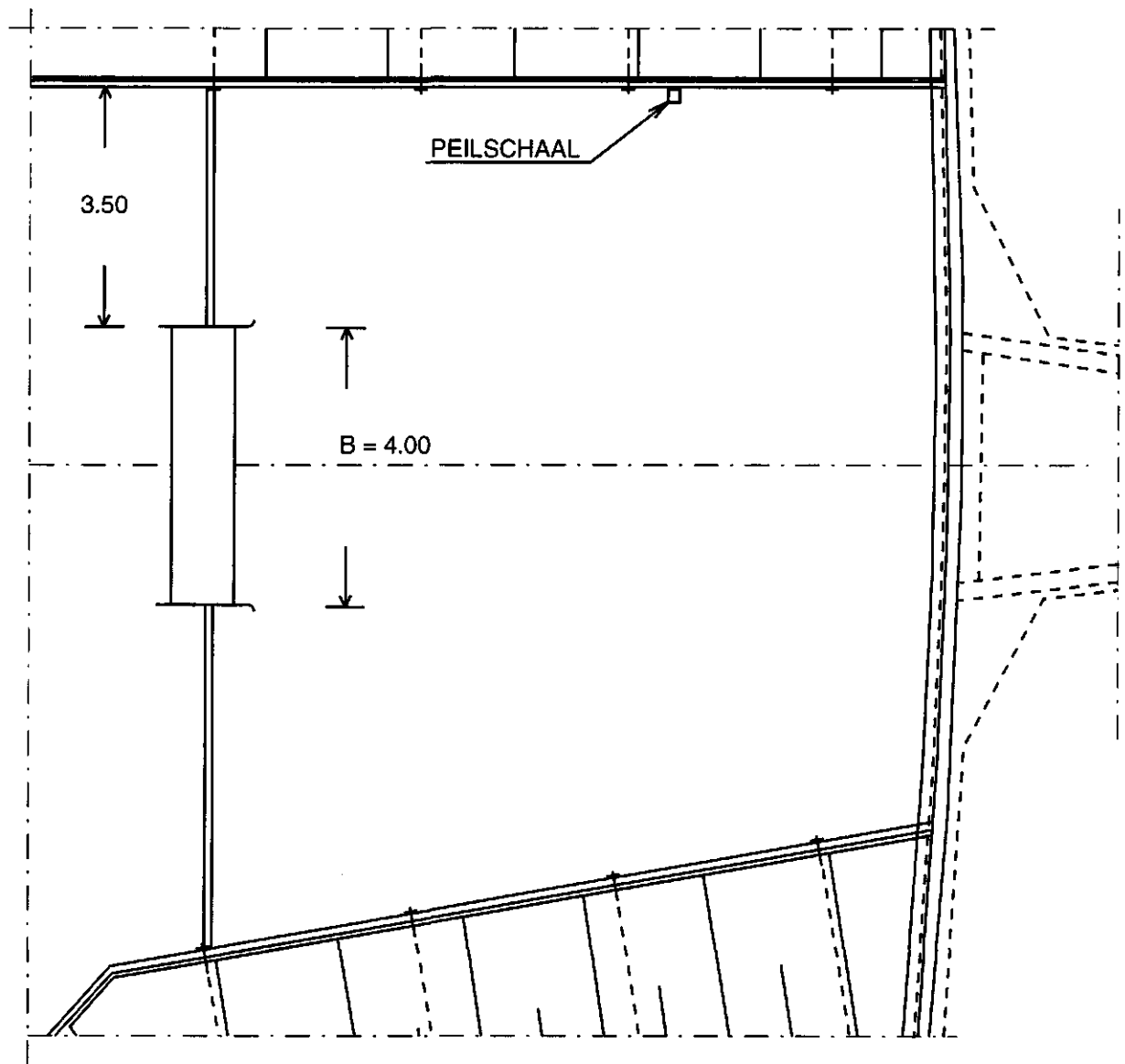
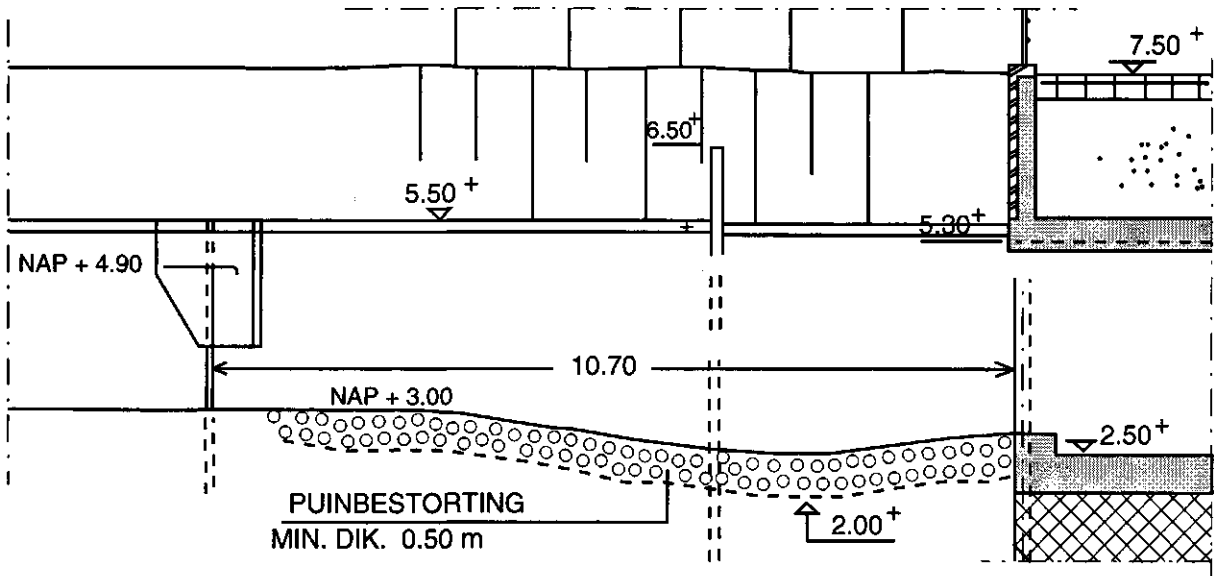
Literatuur

1. Andrew, F.J., 1990
The use of vertical slot fishways in British Columbia, Canada
in: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan

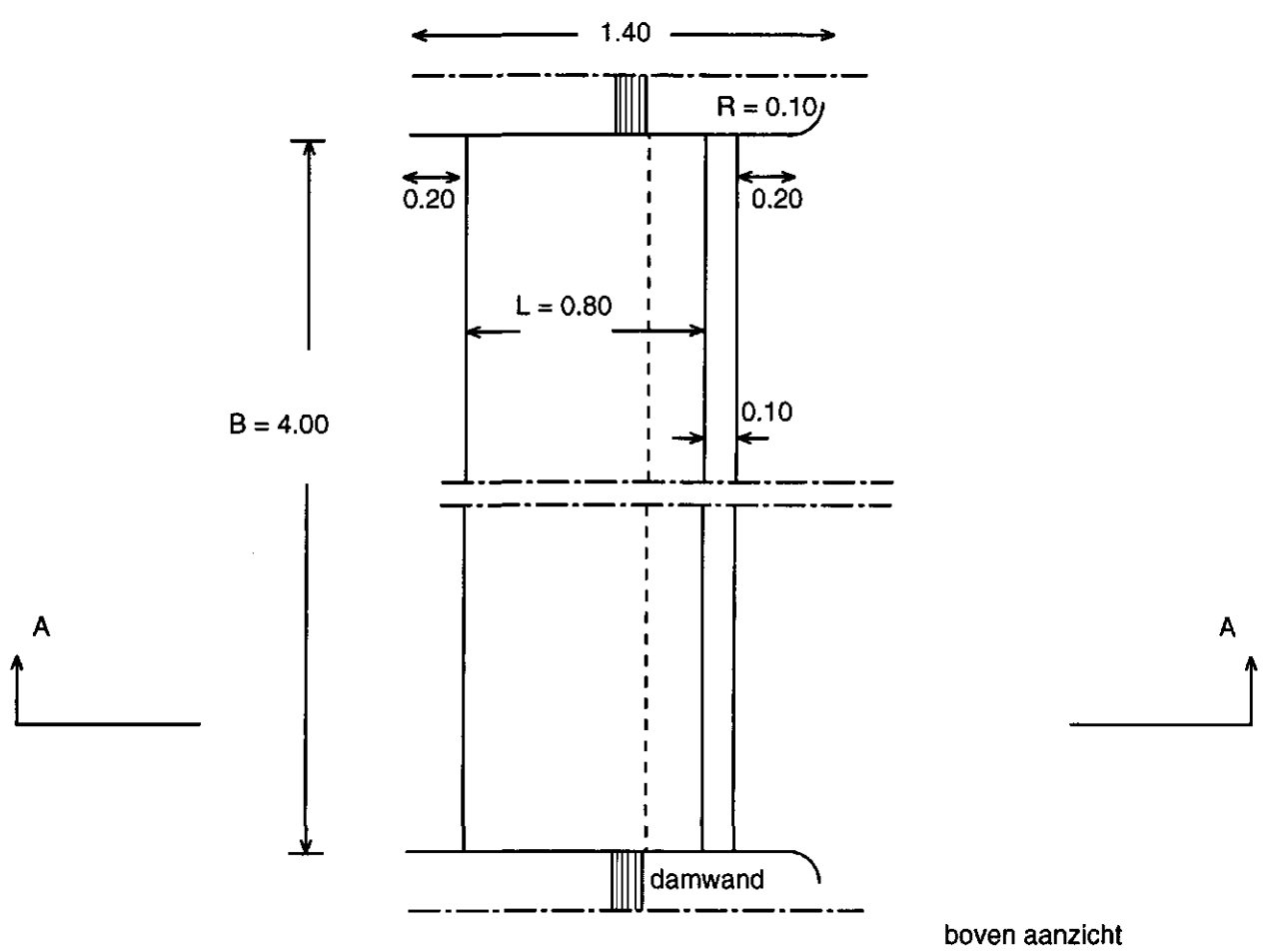
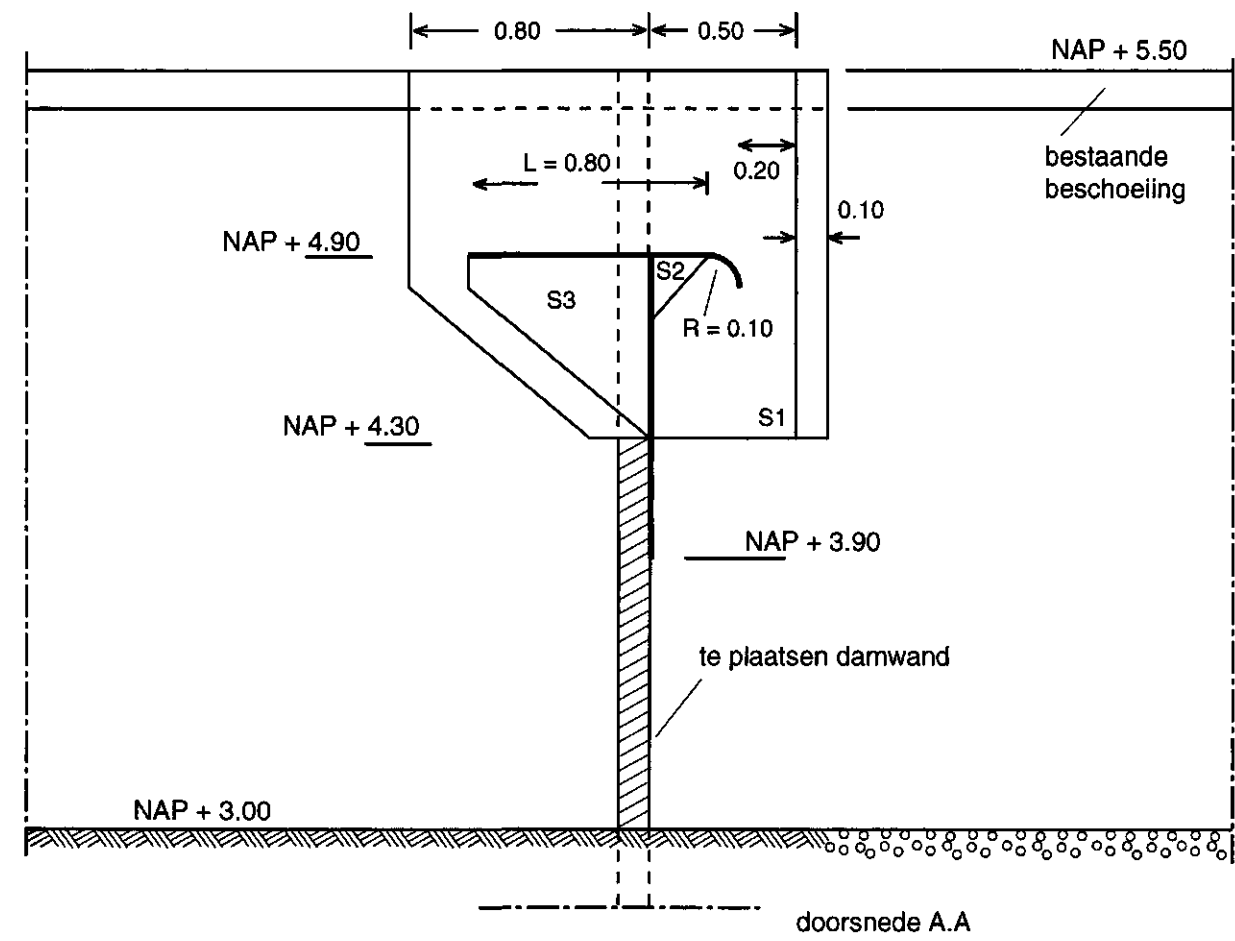
2. Boiten, W. 1987
De Hobrad stuw
in: pt/c 1987 (41) 1

3. Boiten, W, A. Dommerholt, M. Soet, 1995
Handboek debietmeten in open waterlopen
STOWA publicatie 94-13

4. Boiten, W., 1995
Het opstellen van de afvoerkrommen van klepstuwen
Rapport 52 van de Sectie Waterhuishouding van de Wageningen Universiteit



Figuur 1 Locatie lange overlaat Grebbesluis



Figuur 2 Maatvoering lange overlaat Grebbesluis