

ONTWERP VAN EEN VISPASSEERBARE KANTELSTUW: DE V-STUW



RAPPORT

2007

04

ONTWERP VAN EEN VISPASSEERBARE KANTELSTUW: DE V-STUW

RAPPORT

2007

04

ISBN 978.90.5773.350.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 00 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

Utrecht, januari 2007

UITGAVE Stowa, Utrecht

AFBEELDING OMSLAG

P.G.M. Heuts (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

AUTEURS

A.J.F. Hoitink (Wageningen Universiteit-WUR)

A. Dommerholt (Wageningen Universiteit-WUR)

P.G.M. Heuts (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

F.G.W.A. Ottburg (Alterra-WUR)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

H. Smeets (Waterschap Rivierenland)

M. Talsma (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer)

W. de Wit (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

G. de Laak (Sportvisserij Nederland)

G.J. Versluis (Waterschap Rivierenland)

DRUK

Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA Rapportnummer 2007-04

ISBN 978-90-5773-350-5

TEN GELEIDE

Waterschappen streven ernaar om het peilbeheer zo optimaal mogelijk te maken. In plaats van overtollig regenwater af te voeren in tijden van te veel water en water in te laten ten tijde van water tekort, streeft men naar het bergen en vasthouden van gebiedseigen en regenwater. Uit ecologisch oogpunt is het gewenst om de inlaat van 'gebiedsvreemd water' zo veel mogelijk te voorkomen. Veelal worden stuwen als kunstwerk geplaatst om water 'vast te kunnen houden' om de toevoer van water te beperken. Stuwen hebben als nadeel dat deze niet passeerbaar zijn voor vissen met als gevolg dat achterliggende gebieden niet bereikbaar zijn. Om dit te voorkomen is een nieuw soort kunstwerk ontwikkeld, de zogenaamde vispasseerbare kantelstuw, ook wel V-stuw genaamd. Deze stuw bestond alleen nog maar als concept.

Het voorliggende rapport legt verslag van een studie resulterend in een principe ontwerp van een vispasseerbare stuw. De studie is uitgevoerd in opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) en is onderdeel van het kantelstuwproject, wat bestaat uit een ontwerpfase, een fase waarin laboratoriumexperimenten worden gedaan en een veldexperiment. De initiatiefnemer van het kantelstuwproject is het waterschap Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. De ontwerpfase en laboratoriumexperimenten zijn uitgevoerd door de leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer aan de Wageningen Universiteit en een veldexperiment wordt voorzien.

Utrecht, december 2006
De directeur van STOWA
ir. J.M.J. Leenen

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ONTWERP VAN EEN VIS- PASSEERBARE KANTELSTUW: DE V-STUW

INHOUD

	VOORWOORD	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	GENERIEK ONTWERP	4
	Aspecten van stabiliteit	4
2.1	Initiël ontwerp	5
	2.1.1 Zwaartekracht en opdrijven van de kantelkleppen	5
	2.1.2 Hydrostatische drukverschillen	6
	2.1.3 Stuwdruk en druk in wervels	7
	2.1.4 Functioneren van het initiële ontwerp	8
2.2	Aangepast ontwerp	9
	2.2.1 gewicht aan twee koorden en drijflichamen	9
	2.2.2 momentenverloop	10
	2.2.3 generieke aspecten	11
3	LABORATORIUMEXPERIMENTEN	12
3.1	Beperkingen theorie	12
3.2	Meetopstelling	12
3.3	Meetprogramma	13
	3.3.1 Uitvoering kleppen	13
	3.3.2 Waterstanden	14

4	RESULTATEN	19
4.1	Initieel Ontwerp	19
4.1.1	Invloed waterstand	19
4.1.2	Invloed soortelijke massa	20
4.1.3	Stabiliteit	21
4.2	Aangepast Ontwerp	22
4.2.1	Invloed waterstand	24
4.2.2	Invloed aanpassing	24
4.2.3	Stabiliteit	24
5	FUNCTIONALITEIT EN VRAAGSTELLING VELDONDERZOEK	26
6	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	28
APPENDIX A	VOGELPLAS 'DE EEND' (BEEK, 2003)	30
APPENDIX B	VISMIGRATIE	33
	LITERATUUR	35

1

INLEIDING

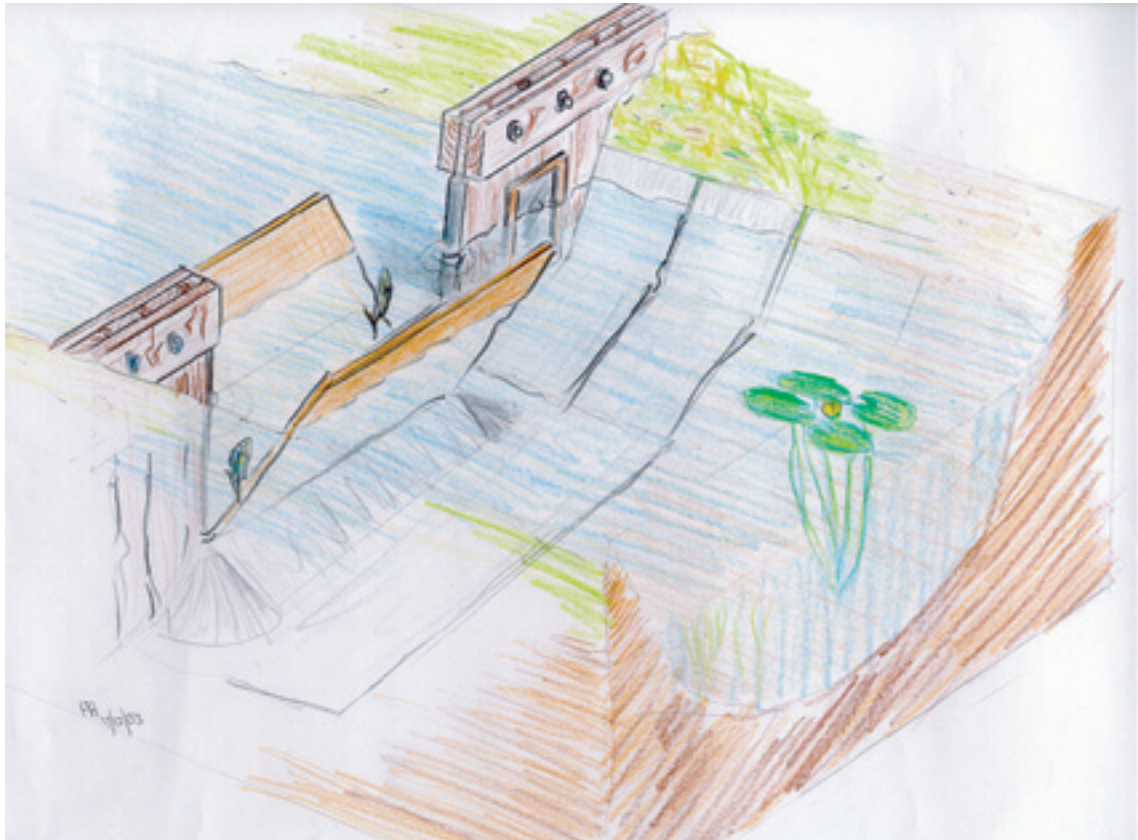
Vissen volbrengen hun levenscyclus van paaien, foerageren en migreren tussen diverse habitat in een aaneengesloten netwerk (zie bijvoorbeeld Northcote, 1978; Ottburg 2004, Ottburg en De Jong 2005). Het plaatsen van hydraulische kunstwerken zoals stuwen en dammen heeft met zich meegebracht dat veel van de oorspronkelijke habitat binnen het netwerk van een specifieke vissoort slecht of helemaal niet meer met elkaar zijn verbonden. Zo liggen veel sloten en polders geïsoleerd in het landschap, waarbij de vis in sommige gevallen het gebied wel in maar niet meer uit kan komen. Waterschappen willen kunstwerken zo veel mogelijk passeerbaar maken voor vis waardoor gebieden worden ontsloten, met als doel de visdiversiteit te verhogen. In dit kader zijn diverse typen vispassages ontwikkeld, zoals de bekkenvistrap en de 'De Wit' vispassage (Boiten en Dommerholt, 2006). Kenmerkend voor de bestaande oplossingen om vis migratie mogelijk te maken is dat het hydraulische kunstwerk wordt voorzien van een extra faciliteit waar vis kan passeren. Het voor liggende rapport beschrijft een nieuw ontworpen kandelstuw die alleen stuwt indien dat nodig is, en daarbuiten geopend en daarmee voor vis passeerbaar is.

Hydraulische kunstwerken beïnvloeden de visdiversiteit niet alleen doordat zij migratie verhinderen, maar ook doordat zij de waterkwaliteit mede bepalen. Binnen diverse kaders (Natura 2000¹, Kader Richtlijn Water²) wordt het streven geformuleerd om in natuurgebieden water te bergen, met het doel de inlaat van gebiedsvreemd water van een lagere kwaliteit te beperken. Indien een natuurgebied is verbonden met het omliggende stedelijke, of poldergebied, is dit vaak niet het geval. Bij aanhoudende regenval wordt doorgemalen water met een relatief goede kwaliteit aan de polder of het stedelijk gebied onttrokken, waardoor ook water uit het natuurgebied wordt afgevoerd. Anderzijds wordt in de zomer rivierwater ingelaten om de tekorten door verdamping en berging aan te vullen. Indien men peilverschillen teweeg kan brengen door het natuurgebied te isoleren, kan regenwater worden vastgehouden en opgeslagen voor tijden van droogte, zodat men dan geen of minder gebiedsvreemd water hoeft in te laten. Echter, hydrologische isolatie van een deel van de polder heeft als nadeel dat de waterfauna, met name vis, in zijn leefgebied wordt beperkt. Het doel is dat een nieuw te ontwerpen kunstwerk hier uitkomst voor biedt door alleen gesloten te zijn indien regenwater dient te worden geborgen, of als gebiedsvreemd water dient te worden geweerd.

1 Natura2000Doelendocument, Ministerie van LNV, juni 2006

2 <http://www.kaderrichtlijnwater.nl/>

FIGUUR 1.1 SCHETS VAN DE V-STUW (TEKENING P. HEUTS)



Het uitgangspunt bij het ontwerp is dat de stuw autonoom mechanisch dient te functioneren, zonder elektronische voorzieningen. Een initieel ontwerp is geschetst in Fig.1.1 (Heuts,2005a). Het ontwerp bestaat uit een V-vormig element, opgebouwd uit twee kantelkleppen, dat aan de onderzijde scharniert. De totale constructie heeft een lagere soortelijke massa dan water en heeft daarmee drijfvermogen, waardoor bij gelijke waterniveaus de stuw in neutrale stand zal blijven. In deze neutrale stand kunnen vissen en andere waterorganismen de stuw passeren doordat deze aan de zijkanten open is. Ingeval van aanhoudende regenval wordt het gemaal in de polder in werking gesteld om het overtollige water uit de polder te verwijderen. In de watergang tussen het natuurgebied en de polder ontstaat een waterstroom door de stuw, richting de polder, die wordt bemalen. Deze waterstroming en het hiermee samenhangende waterspiegelverhang dient tot gevolg te hebben dat de stuw zich sluit. De hoogte van elk van de kantelkleppen is zodanig dat bij het overschrijden van de maximaal toegestane peilhoogte, water over de stuw stroomt. Wanneer de niveaus weer gelijk zijn geworden na verloop van tijd (bijvoorbeeld door verdamping van het water) zal de stuwconstructie weer in de neutrale stand terugkeren. Wanneer in neutrale stand het polderpeil meer stijgt dan het peil aan de zijde van het natuurgebied zal een tegengesteld waterspiegelverhang ontstaan dat de stuw naar de andere zijde zal doen sluiten. Hierdoor zal geen gebiedsvreemd water het betreffende gebied instromen.

Het doel van de studie beschreven in dit rapport is om het functioneren van de stuw theoretisch en experimenteel te analyseren. Op basis daarvan wordt een aangepast ontwerp voorgesteld. Bij het opzetten van de laboratoriumexperimenten dienen keuzes te worden gemaakt ten aanzien van de dimensionering, en de resultaten zullen deels slechts van toepassing zijn op het ontwerp met de specifieke afmetingen zoals getest. Daarbij is het in het bijzonder van

belang wat de uitgangpunten zijn voor de maximale en minimale waterstanden die kunnen optreden op de locatie van de stuw. In dit rapport wordt als randvoorwaarde verondersteld dat de waterstand maximaal 20 centimeter fluctueert. Dit komt overeen met de situatie van de vogelplas 'De Eend' bij Woerden (Beek,2003). Een kantelstuw kan daar in de toekomst de verbinding met de omringende Kamerik polder periodiek doorbreken. De situatie in de vogelplas De Eend is de aanleiding geweest van het ontwerpen van de stuw en komt in aanmerking om een veldexperiment uit te voeren. In Appendix A wordt de hydrologische situatie van 'De Eend' in kort bestek beschreven.

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt een theoretische analyse van de kantelstuw gepresenteerd, die mede de basis vormt voor het laboratoriumontwerp. In hoofdstuk 3 worden de laboratoriumexperimenten met een model van een stuw beschreven, waarvan de resultaten in Hoofdstuk 4 worden gerapporteerd. In hoofdstuk 5 wordt de te verwachten hydraulische en ecologische functionaliteit van de stuw beschreven, waar onderzoeksvragen met betrekking tot veldexperimenten uit voortvloeien. Hoofdstuk 6 besluit dit rapport met een samenvatting en conclusies.

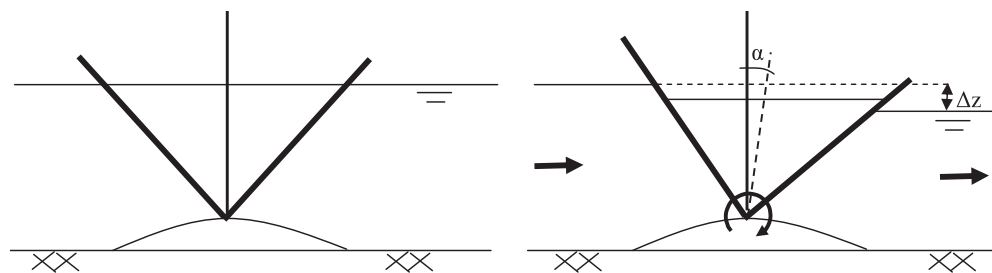
2

GENERIEK ONTWERP

ASPECTEN VAN STABILITEIT

De stabiliteit van de kanelstuw hangt af van momenten om de centrale as van het scharnier, waar de twee kanelkleppen samenkomen. In de neutrale stand is de situatie volstrekt symmetrisch en zal de som van de draai momenten gelijk zijn aan nul, wat kenmerkend is voor de stabiele situatie. Indien er een beperkt waterstandsverhang over de stuw ontstaat zal er water langs de zijkanten door de stuw gaan stromen, en zal zich een nieuw evenwicht instellen waarbij de centrale as van de kanelkleppen onder een hoek α met de verticaal komt te staan (Fig.2.1). Hierbij is er evenwicht tussen enerzijds de momenten als gevolg van hydrostatische drukverschillen tussen beide zijden van elk van de kanelkleppen(1) en als gevolg van directe stuw druk door waterstroming (2) en anderzijds de netto oprijvende kracht die nu niet meer verticaal boven het scharnier aangrijpt (3). Van de eerste twee dichtdraaiende momenten is het eerste moment, als gevolg van hydrostatische drukverschillen, het grootst. Bij het initiële ontwerp is er van uitgegaan dat beide stuwkleppen in de neutrale stand boven water uitsteken. Aangenomen kan worden dat het waterstandsverschil Δz over de stuw in een gelijk waterstandsverschil resulteert aan weerszijde van elk van de kanelkleppen. Hydrostatische drukverschillen resulteren daarom in twee momenten: een als gevolg van het waterstandsverschil $\Delta z/2$ over de bovenstroomse klep en een over de benedenstroomse klep. In de navolgende sectie zullen, op basis van een stabiliteitsberekening, theoretische achtergronden van het dynamisch functioneren van het initiële ontwerp worden beschreven. Op basis daarvan wordt vastgesteld dat het dicht- en weer opengaan niet afzonderlijk is te controleren door het aanbrengen van een gefixeerd extra gewicht of extra drijfvermogen. In de daarop volgende sectie wordt een alternatief ontwerp voorgesteld, waarbij een hangend gewicht aan twee koorden het probleem met het initiële ontwerp oplost.

FIGUUR 2.1 SCHEMATISCHE DWARSDOORSNEDE VAN HET INITIELE KANTELSTUW ONTWERP. LINKS: STABIELE SITUATIE WANNEER DE STUW GEOPEND IS. RECHTS: EEN WATERSTANDSVERSCHIL TUSSEN BEIDE ZIJDEN VAN DE STUW DOET DE STUW ONDER EEN HOEK α KANTELEN



2.1 INITIEEL ONTWERP

2.1.1 ZWAARTEKRACHT EN OPDRIJVEN VAN DE KANTELKLEPPEN

Bij het kantelen van de stuw zijn er vier resulterende krachten ten gevolge van het eigen gewicht. Gezien de uitvoering van de kleppen in hout heeft het deel onder water drijfvermogen, resulterend in een netto kracht verticaal omhoog, terwijl het deel boven water een kracht netto verticaal naar beneden ondervindt (Fig.6.1). De vierkrachten (per strekkende meter) kunnen als volgt worden berekend:

$$F_{bu} = d_{bu}\phi(\rho_{water} - \rho_{hout})g \quad (2.1)$$

$$F_{bd} = d_{bd}\phi(\rho_{water} - \rho_{hout})g \quad (2.2)$$

$$F_{gu} = d_{gu}\phi(\rho_{hout} - \rho_{water})g \quad (2.3)$$

$$F_{gd} = d_{gd}\phi(\rho_{hout} - \rho_{water})g \quad (2.4)$$

waarin ϕ de dikte van de houten klep is, ρ voordichtheid staat en g de valversnelling aanduidt. Zodra de benedenstroomse klep volledig onder water komt te staan neemt de opwaartse kracht F_{bd} niet verder toe en is F_{gd} tot 0 gereduceerd. Het linksdraaiend moment dat door F_{gu} en F_{bu} wordt uitgeoefend op de bovenstroomse klep is:

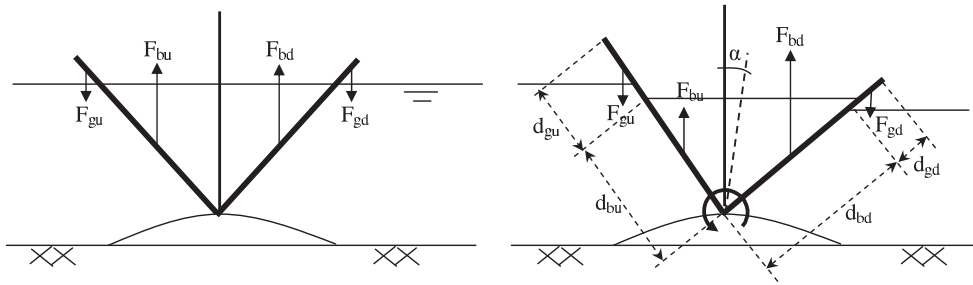
$$M_{egu} = \frac{1}{2}d_{gu}F_{gu} - \frac{1}{2}d_{bu}F_{bu} \quad (2.5)$$

Analoog is het moment dat door zwaartkracht en opwaartse kracht wordt uitgeoefend op de benedenstroomse klep gelijk aan:

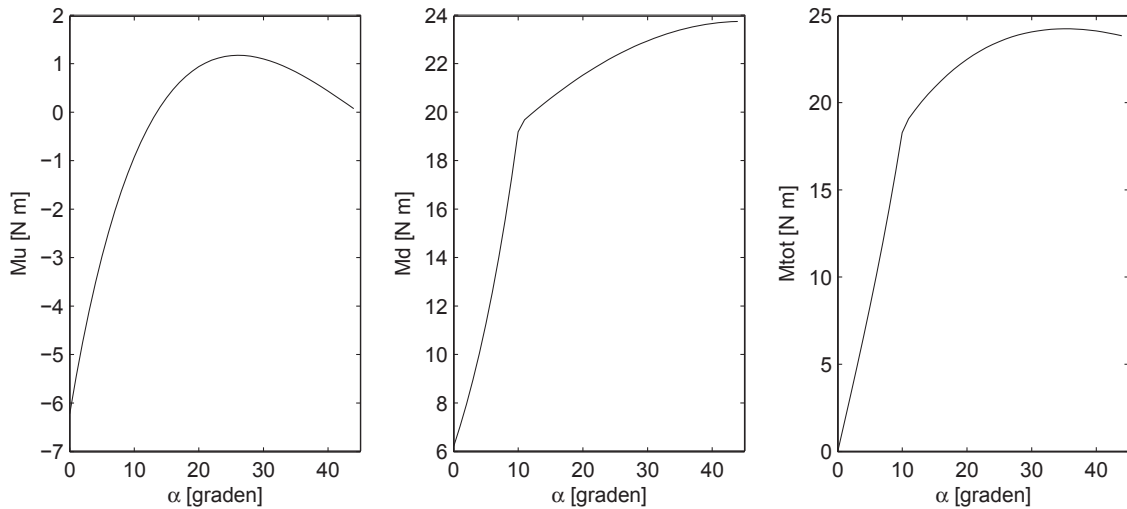
$$M_{egd} = \frac{1}{2}d_{bd}F_{bd} - \frac{1}{2}d_{gd}F_{gd} \quad (2.6)$$

FIGUUR 2.2

MOMENTEN DOOR ZWAARTEKRACHT EN OPDRIJVEN VAN DE KANTELKLEPPEN



FIGUUR 2.3 MOMENTEN ALS GEVOLG VAN HET EIGEN GEWICHT VAN DE STUWKLEPPEN, DIE DEELS BOVEN WATER KUNNEN UITSTEKEN.
LINKS: MOMENT VAN DE BOVENSTROOMSE KLEP. MIDDEN: MOMENT VAN DE BENEDENSTROOMSE KLEP. RECHTS: SOM DER MOMENTEN

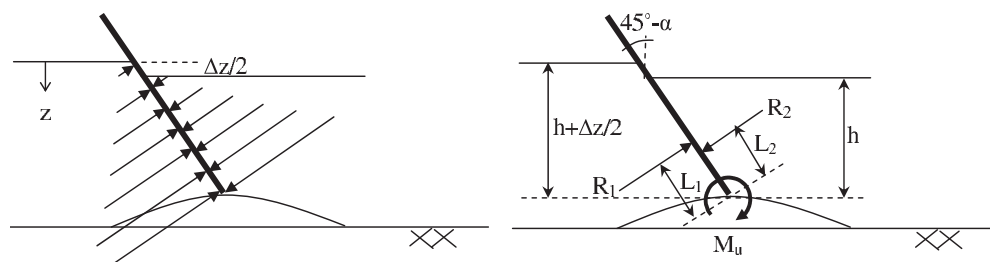


Het totale moment is de som van M_{egu} en M_{egd} . Uitgaande van een materiaaldichtheid van 450 kg/m^3 en een dikte van de klep van 18 mm (conform het uiteindelijke ontwerp) laat Fig. 2.3 de momenten ten gevolge van eigen gewicht en drijfvermogen zien, als functie van de hoek α .

2.1.2 HYDROSTATISCHE DRUKVERSCHILLEN

Het verschil in waterstand tussen de bovenstroomse en benedenstroomse zijde wordt voor zowel de bovenstroomse als de benedenstroomse klep $\Delta z/2$ verondersteld (Figuren 2.1 en 2.4). Daarbij is een eventuele waterstandsvaling tussen de stuwkleppen verwaarloosd. In Fig. 2.4 wordt het draaimoment als gevolg van het waterstand verschil bij een van de twee kantelkleppen toegelicht. De hydrostatische druk bovenstrooms en benedenstrooms van de stuwklep resulteert in de krachten R_1 en R_2 (respectievelijk, per meter breedte), die als volgt kunnen worden berekend:

FIGUUR 2.4 MOMENTEN DOOR HYDROSTATISCHE DRUKVERSCHILLEN



$$R_1 = \frac{1}{2} \rho g \cos(45^\circ - \alpha) (h + \Delta z)^2 \quad (2.7)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \rho g \cos(45^\circ - \alpha) h^2 \quad (2.8)$$

Hierin is ρ de dichtheid van water en g de zwaartekrachtsversnelling. De resultanten R_1 en R_2 grijpen op $1/3$ maal de onderwaterlengtes bovenstrooms en benedenstrooms van de stuwklep aan, respectievelijk aangegeven met L_1 en L_2 :

$$L_1 = \frac{1}{3} \cos(45^\circ - \alpha)(h + \Delta z/2) \quad (2.10)$$

$$L_2 = \frac{1}{3} \cos(45^\circ - \alpha)h \quad (2.11)$$

Het rechtsdraaiend moment als gevolg van het waterstandsverschil rond de bovenstroomse stuwklep M_u is gelijk aan:

$$M_u = L_1 R_1 - L_2 R_2 \quad (2.12)$$

$$\frac{1}{6} \rho g \cos^2(45^\circ - \alpha) ((h + \Delta z/2)^3 - h^3) \quad (2.13)$$

Het moment als gevolg van het waterstandsverschil rond de benedenstroomse stuwklep M_d is gelijk aan:

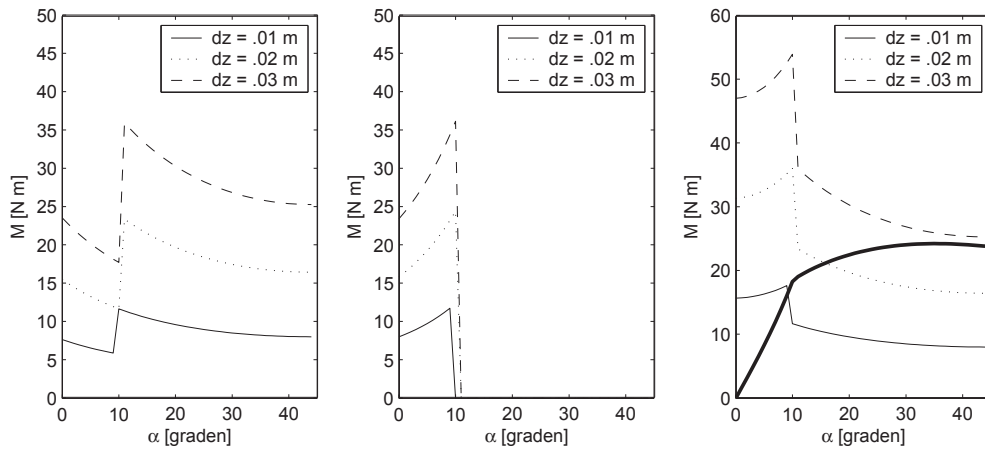
$$M_d = \frac{1}{6} \rho g \cos^2(45^\circ + \alpha) (h^3 - (h - \Delta z/2)^3) \quad (2.14)$$

Het totale moment als gevolg van waterstandsverschillen is de som van M_u en M_d . Uitgaande van een diepte $h = 0.4$ m en een lengte van de stuwkleppen van 0.7 m laat Fig. 2.5 het totale moment zien als functie van de hoek α , voor drie verschillende waterstandsverschillen. Dit laat zien dat het kantelmoment door hydrostatische drukverschillen voor een kleine hoek α sterk toeneemt met α . Zodra de benedenstroomse klep onder water komt te staan, rond $\alpha=10^\circ$, neemt het dichtdraaiend moment abrupt af doordat het waterstandsverschil over de benedenstroomse klep wordt opgeheven. Het resulterende moment van de benedenstroomse klep reduceert dan tot 0.

2.1.3 STUWDRIK EN DRUK IN WERVELS

Stuwdrukken zijn variabel en moeilijk te voorspellen. In het verticale vlak zullen zich wervels vormen met een onregelmatig karakter. Een ordegruote berekening kan worden uitgevoerd op basis van de wet van Bernoulli. Uitgaande van een maximale snelheid van $u=0.25$ m/s kan in theorie een stuwdruk worden gegenereerd gelijk aan $p=0.5\rho u^2=31.25$ N/m². Voor een diepte van $h=0.4$ m is de oppervlakte van de klep onder water $\cos 45^\circ \cdot 0.4 = 0.28$ m² (per strekkende meter), en is de resulterende kracht in de orde van 9N. Uitgaande van een uniforme stuwdruk kan het resulterende moment worden verkregen door te vermenigvuldigen met de halve waterdiepte, wat een schatting voor het maximale moment oplevert ter grootte van 2Nm. Dit is een orde kleiner dan de momenten veroorzaakt door hydrostatische drukverschillen.

FIGUUR 2.5 MOMENTEN DOOR HYDROSTATISCHE DRUKVERSCHILLEN VOOR HET INITIËLE ONTWERP, WAARBIJ DE STUWKLEPPEN IN NEUTRALE STAND BOVEN WATER UITSTEKEN. LINKS: MOMENT ALS GEVOLG VAN HET WATERSTANDSVERSCHIL OVER DE BOVENSTROOMSE KLEP. MIDDEN: MOMENT ALS GEVOLG VAN HET WATERSTANDSVERSCHIL OVER DE BENEDENSTROOMSE KLEP. RECHTS: SOM VAN BEIDEN EN HET TEGENWERKENDE MOMENT, OVERGENOMEN UIT FIG. 2.3 (DIKKE LIJN)



2.1.4 FUNCTIONEREN VAN HET INITIËLE ONTWERP

Het functioneren van het initiële ontwerp is gezien het bovenstaande primair afhankelijk van het dichtdraaiende en het tegenwerkende moment als functie van het waterstandsverschil, dat afhangt van het debiet. In het rechterpanel van Fig. 2.5 is het tegenwerkende moment als resultaat van de som van de momenten door zwaartekracht en drijfvermogen uit Fig. 2.3 opgenomen. Deze figuur is als volgt te lezen. Bij een debiet dat een waterstandsverschil Δz van 0.01 m genereert, zijn het dichtdraaiende en het tegenwerkende moment in evenwicht bij een hoek van ongeveer 9° (waar de twee doorgetrokken lijnen elkaar kruisen). De stuw zal bij dit debiet dus kantelen tot de hoek van 9° is bereikt. Indien het debiet verder toeneemt, zodanig dat Δz een waarde van 0.02 m heeft, zal de stuw verder kantelen totdat de hoek met de uitgangspositie 15° is. Bij een debiet dat een waterstandsverschil van 0.03 m veroorzaakt klapt de stuw geheel dicht.

Vanuit een beginsituatie met stilstaand water, waarin de stuw in neutrale positie staat, zal de stuw bij toenemend debiet dus steeds iets verder dichtdraaien. Boven een hoek van ongeveer 30° zal de stuw verder in een keer dicht klappen, omdat de dichtdraaiende en tegenwerkende momentenlijnen daar vrijwel parallel lopen en de stuwdruk het verschil zal maken. Door de stuw met extra gewicht te verzwaren of door extra drijfvermogen in de vorm van schuimplaten aan te brengen zal het debiet waarbij volledig dichtklappen plaatsvindt kunnen worden beïnvloed. Echter, dit zal ook het waterstandsverschil beïnvloeden waarbij de stuw vanuit gesloten toestand weer opendraait. Bij een generiek ontwerp zijn zowel het dichtkantelen van de stuw als het weer openkantelen zo veel mogelijk afzonderlijk te controleren.

Naast het afzonderlijk kunnen controleren van open- en dichtkantelen van de stuw, is het wenselijk dat de stuw in geopende situatie ook volledig open is, omdat de opening en waardoor visfauna de stuw kan passeren beperkt van afmetingen zijn. Er kan in dit verband van worden uitgegaan dat de stuw het debiet niet of nauwelijks beïnvloedt. Bij het initiële ontwerp is het mogelijk (maar onwenselijk) dat de stuw het grootste gedeelte van de tijd een hoek van 20 tot 30° met de neutrale stand maakt. Bij het aangepaste ontwerp wordt tegemoet gekomen aan beide problemen.

2.2 AANGEPAST ONTWERP

2.2.1 GEWICHT AAN TWEE KOORDEN EN DRIJFLICHAMEN

Om aan de bovenbeschreven wensen te voldoen is gezocht naar een combinatie van voorzieningen die alleen een dichtdraaiend moment veroorzaakt wanneer de hoek α groter dan 0° en kleiner dan 45° is. Met andere woorden, zodra de stuw uit de neutrale stand is dient de voorziening een extra dichtdraaiend moment te veroorzaken, die boven een bepaalde hoek minder sterk stijgt met toenemende α . Met deze voorziening, en het kunnen variëren van de soortelijke massa van de stuwkleppen, kan het dichtkantelen en opengaan van de stuw afzonderlijk naar de wensen van de gebruiker worden gemanipuleerd.

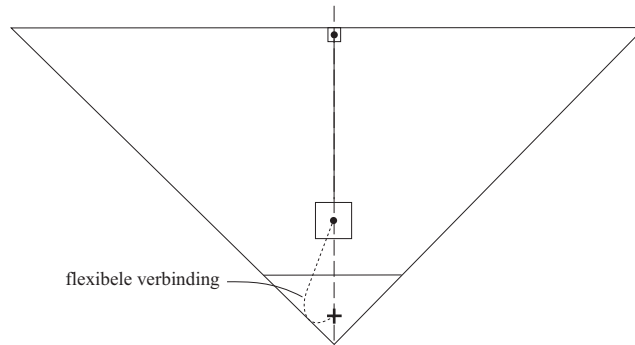
De ontworpen aanpassing bestaat uit een gewicht aan twee koorden (Fig. 2.6) en een schuimplaat om extra drijfvermogen te creëren. Het gewicht hangt in de neutrale stand verticaal naar beneden, aan een van de twee koorden dat centraal boven in de stuw aan een dwarsverbinding tussen de twee stuwkleppen is gefixeerd (Fig. 2.6a). De tweede verbinding betreft een koord naar de onderzijde van de stuw. Tot een kantelhoek van de stuw van 20° blijft het gewicht alleen aan één verticale verbinding hangen (Fig. 2.6b). Voor kantelhoeken groter dan 20° wordt ook het tweede koord gespannen, en hangt het gewicht dus tussen de bevestigingen van beide koorden in. Dit belet het gewicht om nog veel verder uit het midden te geraken, wat het opengaan van de gesloten stuw te zeer zou belemmeren.

Het gewicht aan twee koorden levert in alle posities buiten de neutrale stand een dichtdraaiend moment. Omdat dit bij de hoeken boven de 20° niet gewenst is worden ter compensatie twee drijflichamen aangebracht, aan de onderzijde van de stuwkleppen zodat zij zich te allen tijde onder water bevinden. Dit laatste vereenvoudigt de dynamische invloed van de drijflichamen op de momentenbalans.

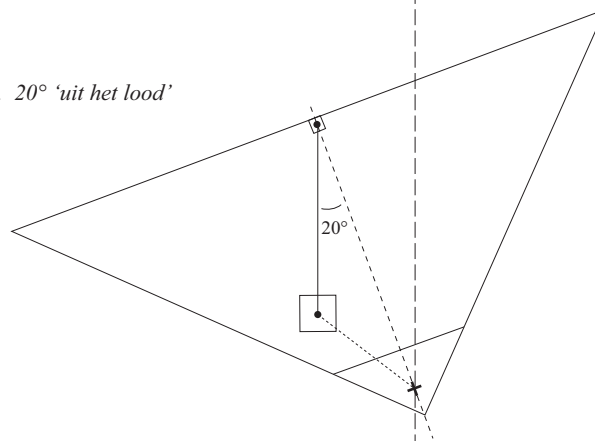
FIGUUR 2.6

WERKING GEWICHT AAN TWEE KOORDEN. BIJ EEN HOEK VAN 20° KOMT HET TWEEDE KOORD ONDER SPANNING TE STAAN, WAARDOOR HET BIJ VERDER SLUITEN VAN DE STUW NIET VEEL VERDER UITWIJKT VAN DE CENTRALE AS

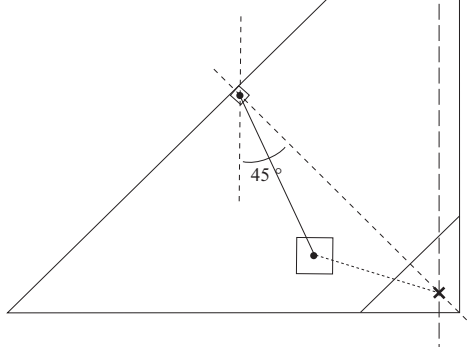
a. *neutrale stand*



b. 20° 'uit het lood'



c. *gesloten stand*

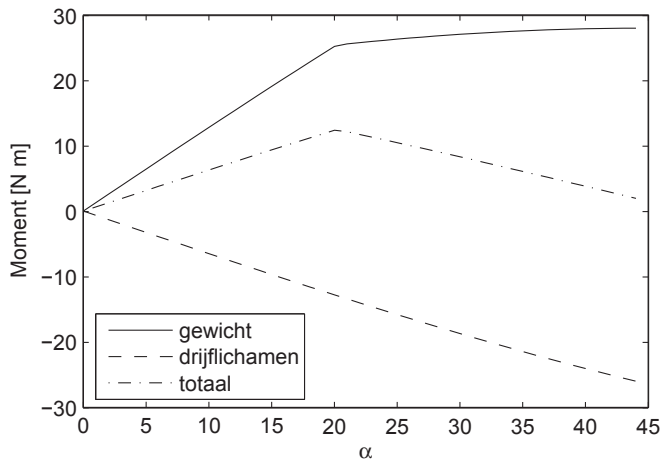


2.2.2 MOMENTENVERLOOP

In Fig. 2.7 wordt het momentenverloop als gevolg van het gewicht aan twee koorden weergegeven, uitgaande van een gewicht van 15 kg en spannen van het tweede koord bij een kantelhoek van 20° . Het dichtdraaiend kantelmoment neemt lineair toe tot 20° , waarboven het dichtkantelende moment minder sterk toeneemt. In dezelfde figuur is het momentenverloop tengevolge van twee drijflichamen weergegeven. Daarbij is uitgegaan van twee platen van 0.03 m dikte, die zijn aangebracht over de onderste 0.3 m van elk van de kantelkleppen en een verwaarloosbare soortelijke massa hebben. Het tegenwerkende moment is per strekkende meter.

FIGUUR 2.7

MOMENTENVERLOOP VAN DE AANPASSING, BESTAANDE UIT EEN GEWICHT AAN TWEE KOORDEN EN TWEE DRIJFLICHAMEN, AAN ELK VAN DE KANTELKLEPPEN. HET EFFECT VAN DE TWEE VOORZIENINGEN SAMEN IS DAT DE STUW MAKKELIJKER DICHTKLAPT, ZONDER DAT DEZE VANUIT GESLOTEN TOESTAND MOEILIJKER OPENT



Het totale moment ten gevolge van de combinatie van een gewicht aan twee koorden en de twee drijflichamen, neemt lineair toe tot 20° en daarna lineair af, waarbij het moment in gesloten toestand verwaarloosbaar is (Fig.2.7). De combinatie van gewicht en drijflichamen levert dus alleen een dichtdraaiend kantelmoment tijdens het kantelen. Het effect van de twee voorzieningen samen is daarmee dat de stuw makkelijker dichtklapt, zonder dat deze vanuit gesloten toestand moeilijker opent.

2.2.3 GENERIEKE ASPECTEN

De bovenbeschreven aanpassingen, en de mogelijkheid om de kleppen van de stuw te verzwaren of verlichten door het gefixeerd aanbrengen van extra gewicht of extra drijflichamen, bieden een ontwerper de gelegenheid om een specifieke stuw naar eigen wensen aan te passen. Zo worden binnen de context van het ontwerp voor de situatie in de vogelplas De Eend extra metalen hoeklijnen aangebracht, om het debiet waarbij de stuw dichtkantelt te verlagen. Het functioneren van de stuw hangt in hoofdzaak af van vier aspecten:

- de soortelijke massa van de stuwkleppen, die naar wens kan worden gemanipuleerd door aanbrengen van een verzwaring of verlichting over de volledige lengte van beide stuwkleppen
- de grootte van het hangende gewicht
- de lengtes van de twee koorden waar het gewicht aan hangt
- de dikte van het drijflichaam dat zich permanent onder water bevindt

Door bovengenoemde aspecten te variëren kan het debiet waarbij de stuw dichtkantelt en weer opent afzonderlijk worden beïnvloed. Het aldus verkregen generieke ontwerp zal V-stuw worden genoemd, waarbij de V de vorm van de stuw weergeeft en tevens een acroniem voor vispasseerbaar is.

3

LABORATORIUMEXPERIMENTEN

3.1 BEPERKINGEN THEORIE

De theorie beschreven in het vorige hoofdstuk geeft de algemene werking van de kantelstuw weer. De belangrijkste beperkingen van de theoretische analyse betreffen de volgende aspecten.

- De aannames ten aanzien van de waterstandsdeling voor, ter plaatse van en na de stuwkleppen zijn een benadering van de werkelijkheid.
- De invloed van het scharnier op het functioneren wordt verwaarloosd. In de praktijk zal de stuw niet wrijvingsloos scharnieren.
- De invloed van stuwdrukken, die in de dwarsrichting variëren, is niet nauwkeurig te kwantificeren.

Gezien het bovenstaande dient de theoretische beschouwing slechts als basis voor een ontwerp. Het uiteindelijke functioneren dient empirisch te worden vastgesteld, wat in het navolgende wordt gedaan voor een laboratoriummodel.

3.2 MEETOPSTELLING

Het stuwmodel is in het Hydraulica Laboratorium van Wageningen Universiteit geplaatst in een frame in een rechthoekige stroomgoot met een breedte van 2.40 m (Figuren 3.1, 3.2 en 3.3). De breedte van de stuw zelf bedraagt 1.50 m. De stuw draait om een horizontale as op een drempel op de bodem van de goot. Het hart van de as bevindt zich op ca. 0.20 m boven de bodem. De stuw zelf is V-vormig met een hoek van 90°. De kleppen van de stuw hebben een lengte van 0.70 m gemeten vanaf het draaipunt. In gesloten toestand bevindt de bovenrand van de stuw zich dus op 0.90 m boven de bodem van de goot. In neutrale stand, waarbij zich de bovenranden van de twee kleppen op hetzelfde niveau bevinden, bedraagt de afstand tot de bodem ca. 0.66 m. De kleppen van de stuw zijn vervaardigd van watervast multiplex met een dikte van 0.018 m. De twee kleppen van de stuw zijn op vier plaatsen gekoppeld aan hetzelfde type multiplexplaat voor voldoende stevigheid. Alle multiplexplaten zijn bovendien behandeld met botenlak. Met behulp van een gradenboog kan de hoek van de stuw ten opzichte van de verticaal worden afgelezen. Op ca. 2 m boven- en benedenstrooms van de stuw is een peilbuis geplaatst waarin met behulp van peilnaalden de waterhoogte kan worden gemeten. Het debiet in de goot wordt gemeten met behulp van een elektromagnetische debietmeter met een nauwkeurigheid beter dan 1%. De waterstand is benedenstrooms gefixeerd door een overlaat.

TABEL 3.1

OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE ONDERZOCHE VARIANTEN

Variant	Uitvoering	Waterstanden
A	initieel ontwerp, kleppen van 18 mm multiplex, gelakt	I t/m IV
B	initieel ontwerp, beide kleppen verzwaard met 4 stalen hoeklijnen met een lengte van 0.60 m (gewicht ca. 9.2 kg per klep)	I t/m IV
C	initieel ontwerp, beide kleppen verzwaard met 6 stalen hoeklijnen met een lengte van 0.60 m (gewicht ca.13.8 kg per klep)	I t/m IV
D	initieel ontwerp, beide kleppen verzwaard met 8 stalen hoeklijnen met een lengte van 0.60 m (gewicht ca. 18.4 kg per klep)	I t/m IV
E	aangepast ontwerp, scharnierend opgehangen gewicht van ca. 15 kg. Bij een hoek van ca. 20° wordt het gewicht gefixeerd	I t/m IV
F	aangepast ontwerp, verhoogd drijfvermogen door strook Styropur met een breedte van 0.20 m aan de onderzijde van de kleppen	I t/m IV
G	aangepast ontwerp, verhoogd drijfvermogen door strook Styropur met een breedte van 0.29 m aan de onderzijde van de kleppen.	I t/m IV

3.3 MEETPROGRAMMA

3.3.1 UITVOERING KLEPPEN

Eerst is een viertal varianten van het initiële ontwerp doorgemeten, waarbij steeds de soortelijke massa van de kleppen van de stuw is verhoogd. Dit is bereikt door stalen hoeklijnen (50x50x5 mm) met een lengte van 0.60 m aan de binnenzijde van de kleppen te bevestigen, waarbij een uiteinde gelijk lag met de bovenrand van de klep van de stuw (Figuren 3.4 en 3.5). Vervolgens is een serie metingen met het aangepaste ontwerp uitgevoerd, waarbij in het hart van de stuw gewichten scharnierend zijn opgehangen aan kettingen (totaal ca. 15 kg, zie Figuren 3.6 en 3.8). Het ophangpunt bevindt zich een aantal centimeters onder het niveau van de bovenkant van de stuw. De tweede ketting komt onder spanning bij een kanteelhoek van ca. 20°. Het aangepaste ontwerp is voor twee varianten gecombineerd met een verhoging van het drijfvermogen, door langs de onderkant aan de buitenzijde van de kleppen Styrodurplaat (schuimplaat) met een dikte van 0.03 m en breedtes van 0.20 m en 0.29 m aan te brengen (zie Figuren 3.7 en 3.8). Voor een overzicht van de verschillende onderzochte varianten zie Tabel 3.1.

TABEL 3.2

OVERZICHT VAN DE ONDERZOCHE BENEDENSTROOMSE WATERHOOGTES

Waterstand	Waterhoogte
I	laagste onderzochte waterhoogte, ca. 0.25 m boven hart as (0.45 m boven de bodem van de goot).
II	0.05 m hoger dan stand I (0.50 m boven de bodem van de goot).
III	0.10 m hoger dan stand I (0.55 m boven de bodem van de goot).
IV	0.20 m hoger dan stand I, nog juist onder de bovenrand van de kleppen van de stuw (0.65 m boven de bodem van de goot).

3.3.2 WATERSTANDEN

De verschillende varianten zijn doorgemeten voor vier verschillende waterstanden (Tabel 3.2). De benedenstroomse waterstand werd aan het einde van de goot ingesteld met houten schotjes in een sponning en tijdens een meting niet meer veranderd. Dat betekent dat bij een toenemend debiet de benedenstroomse waterstand niet constant was, maar toenam met de overstorthoogte. De waterhoogtes in Tabel 3.2 zijn de niveaus van de overstortrand van de schotten.

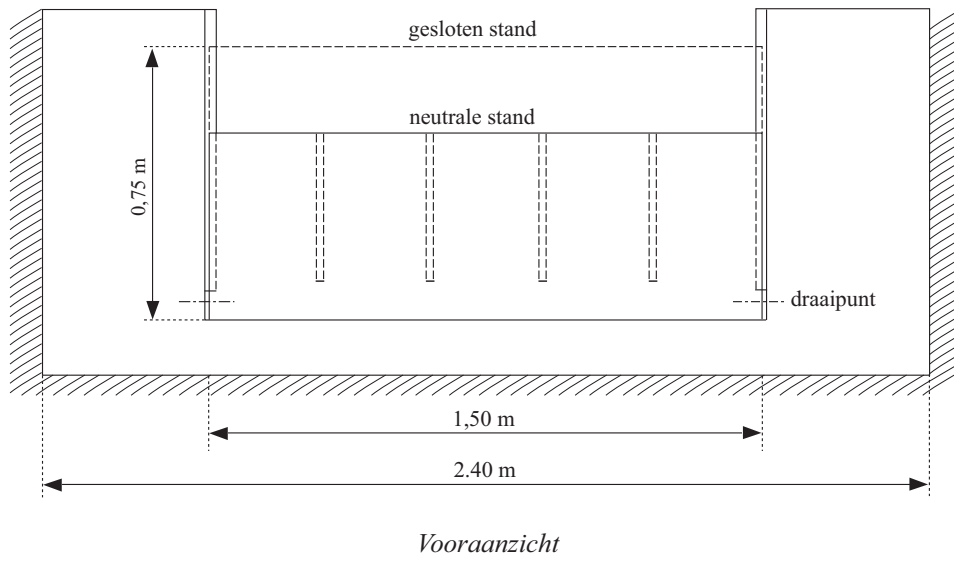
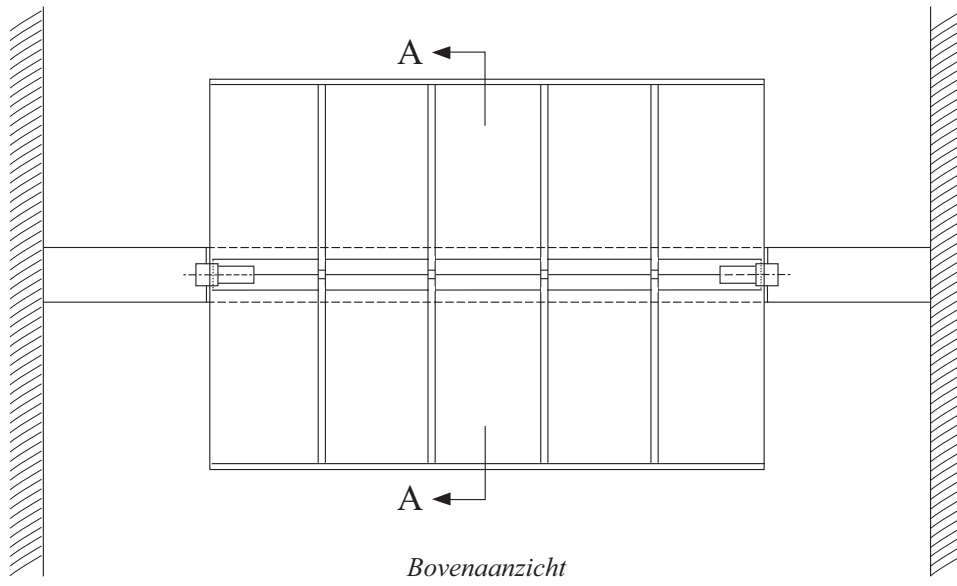
FIGUUR 3.1

OVERZICHT VAN DE LABORATORIUMOPSTELLING



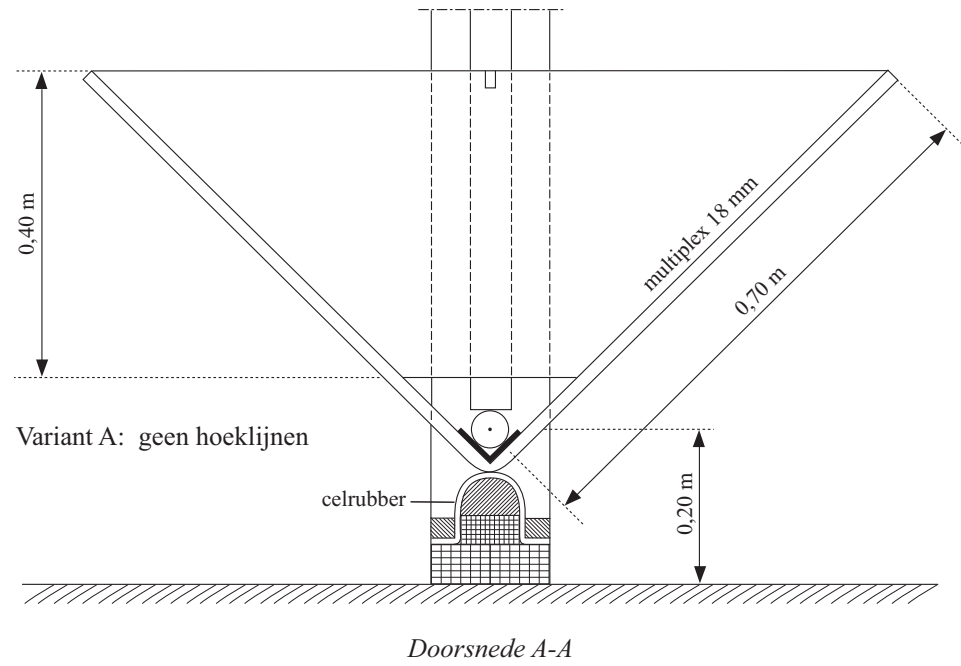
FIGUUR 3.2

BOVEN- EN VOORAANZICHT VAN DE LABORATORIUMOPSETTING



FIGUUR 3.3

ZIJAANZICHT VAN DE DWARSDOORSNEDE A-A IN FIGUUR 3.2



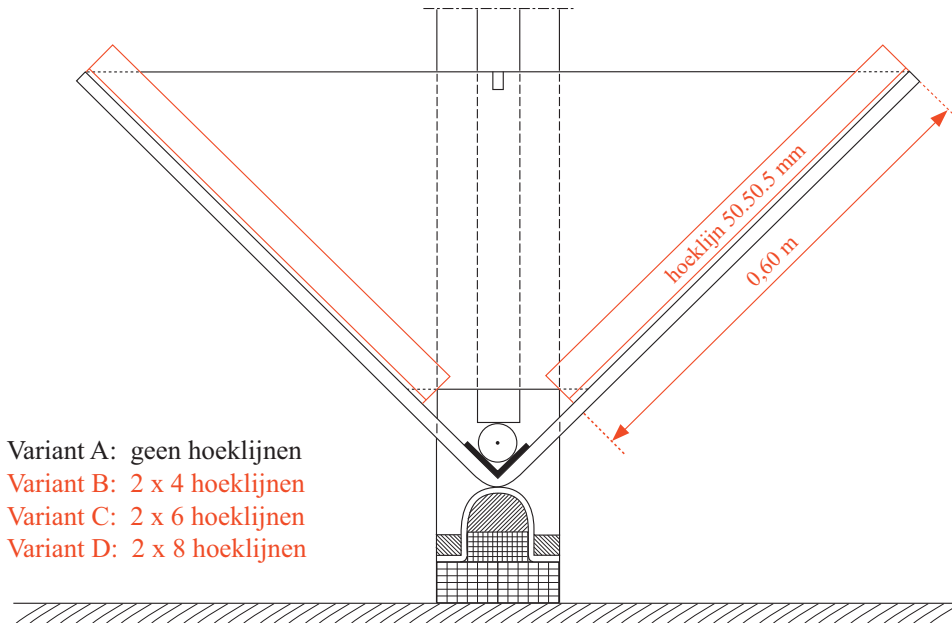
FIGUUR 3.4

FOTO VAN HET MODEL. DOOR HET WIJZIGEN VAN HET AANTAL STALEN HOEKLIJNEN KUNNEN DE STUWKLEPPEN NAAR WENS WORDEN VERZWAARD



FIGUUR 3.5

DIMENSIONERING HOEKLIJNEN TER VERZWARING VAN DE STUW



FIGUUR 3.6

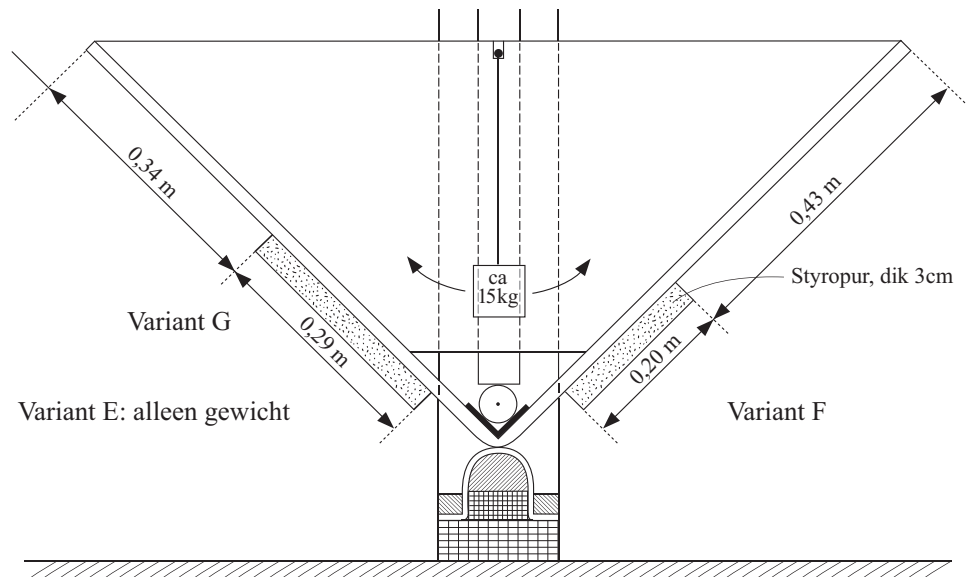
DETAILFOTO VAN SCHARNIEREND OPGEHANGEN GEWICHTEN. BIJ EEN KANTELHOEK VAN ONGEVEER 20° KOMEN DE KLEINERE, GOUDKLEURIGE KETTINGEN ONDER SPANNING TE STAAN. HIERDOOR KOMT HET GEWICHT NA HET DICHTKLAPPEN MINDER VER UIT HET MIDDEN TE LIGGEN WAARDOOR DE STUW MAKKELIJKER WEER OPENT



FIGUUR 3.5 DE WITTE STYRODUR-PLAAT IN DE FOTO LEVERT EXTRA DRIJFVERMOGEN



FIGUUR 3.6 DIMENSIONERING VAN DE AANPASSINGEN, DIE BESTAAN UIT EXTRA GEWICHT EN STYRODUR PLATEN DIE VOOR EXTRA DRIJFVERMOGEN ZORGEN



4

RESULTATEN

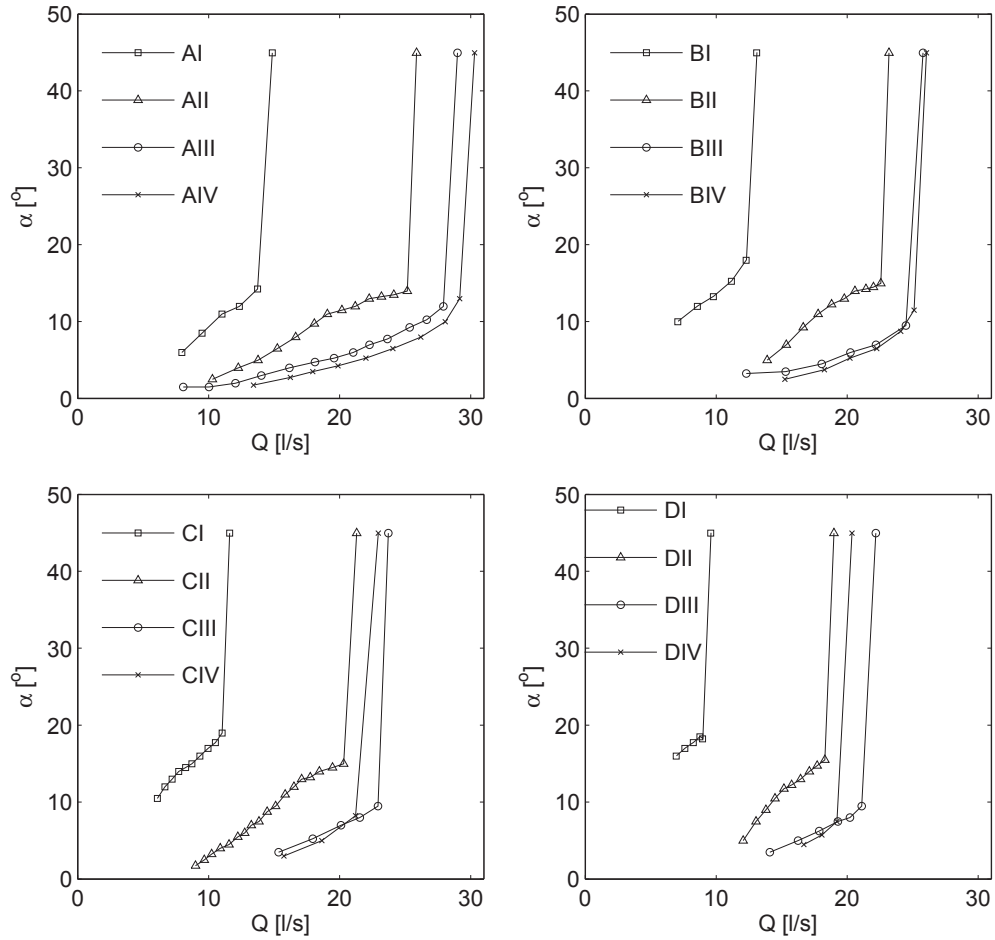
4.1 INITIEEL ONTWERP

Bij de eerste serie metingen (varianten A t/m D) is onderzocht in hoeverre de soortelijke massa van de kleppen van de stuw en de waterhoogte invloed hebben op het debiet (Q) cq. het waterhoogteverschil (Δh) waarbij de stuw gaat sluiten en wanneer deze weer opengaat. Tevens is gekeken naar de stabiliteit van de stuw in neutrale stand, dat wil zeggen wanneer er geen stroming plaatsvindt. Bij een bepaalde benedenstroomse waterstand (h_2) werd het debiet trapsgewijs verhoogd. Wanneer een stabiele toestand was verkregen, werden de hoek met de verticaal en de beneden- en bovenstroomse waterstand (h_1) gemeten. Zowel h_1 als h_2 zijn gemeten ter plaatse van de as waar de stuw om kantelt. Bij een zeker debiet werd geen stabiele toestand meer verkregen, maar nam de hoek met de verticaal (α) steeds verder toe, eerst langzaam en bij een bepaalde hoek steeds sneller, totdat de stuw geheel was gesloten. Dit is een dynamisch proces, waarbij de doorstroomopening steeds kleiner wordt en daardoor de bovenstroomse waterstand steeds verder toeneemt. Het waterhoogteverschil wordt dus steeds groter en de sluiting gaat steeds sneller. Omdat niet continu werd gemeten, is alleen het waterhoogteverschil bekend, waarbij de stuw op het punt staat te sluiten.

Dit verschijnsel zal waarschijnlijk in het veld niet of in mindere mate plaatsvinden, omdat daar het reservoir bovenstrooms vele malen groter zal zijn. Waarschijnlijk zal daardoor in het veld het sluiten van de stuw veel langzamer verlopen en bovendien bij een iets hoger debiet. Het zou mogelijk geweest zijn dit in het laboratorium te onderzoeken, maar dan zou voor een veel gecompliceerdere meetopstelling gekozen moeten zijn, waarbij ook de bovenstroomse waterstand op een vastpeil kon worden gehouden, bijvoorbeeld door een instelbare overstortrand. De debietmeting door de stuw werd dan ook lastiger. Hier is echter bij de voorbereidende besprekingen niet voorgekozen, aangezien hierdoor de bouwkosten veel hoger zouden zijn uitgevallen.

4.1.1 INVLOED WATERSTAND

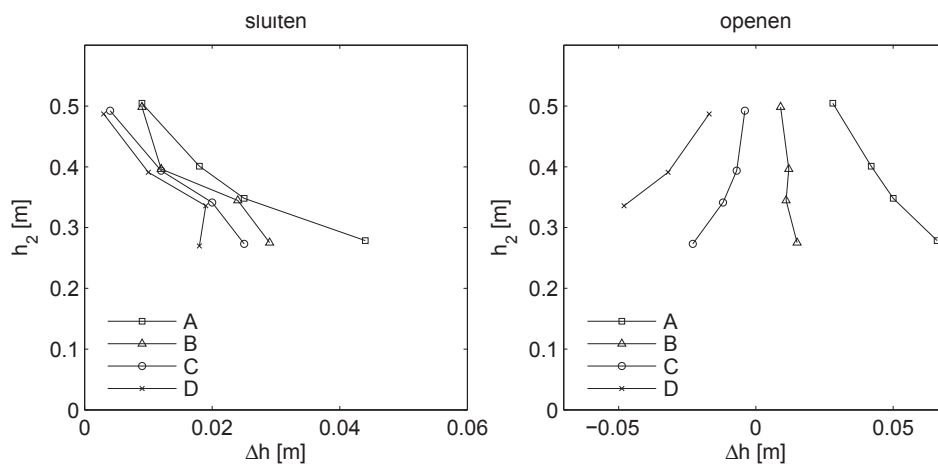
In Fig. 4.1 is te zien dat het benodigde debiet om de stuw te sluiten toeneemt met de waterhoogte. Dit is te verklaren uit het feit dat bij een kleinere waterhoogte de doorstroomopening disproportioneel kleiner wordt en dus het waterhoogteverschil toeneemt. Bovendien bevindt zich een groter deel van de stuw boven water, waardoor het kantelmoment groter zal zijn dan wanneer de stuw voor het grootste deel onder water is. In het linkerpaneel van Fig. 4.2 is het waterhoogteverschil (Δh) weergegeven bij de laatste stabiele situatie juist voordat de stuw gaat sluiten. Zoals eerder vermeld neemt daarna het waterhoogteverschil verder toe. Het benodigde waterhoogteverschil neemt toe met afnemende waterhoogte. Dit wordt veroorzaakt door de statische krachten op de stuw en de hierdoor veroorzaakte kantelmomenten. Na het sluiten van de stuw is de bovenstroomse waterstand verlaagd tot de stuw weer open ging. In het rechterpaneel van Fig. 4.2 is weergegeven bij welk waterhoogteverschil de stuw weer opende. Het is duidelijk dat bij de hogere waterstanden de stuw bij het verkleinen van het (absolute) waterstandsverschil in een eerder stadium weer opent, als gevolg van het grotere drijfvermogen.

FIGUUR 4.1 INVLOED VAN DE WATERSTAND OP DE KANTELHOEK α ALS FUNCTIE VAN HET DEBIET Q VOOR HET INITIËLE ONTWERP

4.1.2 INVLOED SOORTELIJKE MASSA

In Fig. 4.3 is te zien dat het benodigde debiet om de stuw te sluiten afneemt met een toenemende soortelijke massa van de kleppen. Dus hoe zwaarder de kleppen (hoe dichter de soortelijke massa bij 1), hoe gemakkelijker de stuw sluit. Een zwaardere stuw heeft echter als nadeel, zoals in Fig 4.2 te zien is, dat het weer openen, zeker bij de lagere waterstanden een stuk moeilijker gaat. Bij de varianten C en D moet zelfs de benedenwaterstand hoger zijn dan de bovenwaterstand. Bij variant D opende de stuw slechts enkele centimeters, waarna lekkage van beneden- naar bovenstrooms ontstond en de stuw niet verder meer open ging.

FIGUUR 4.2 LINKS: WATERSTANDSVerschil Δh WAARBIJ NA VERDER OPVOEREN VAN HET DEBIET DE STUW DICHTKLAPT, VOOR HET INITIËLE ONTWERP. RECHTS: WATERSTANDSVerschil Δh WAARBIJ DE STUW WEER OPENT



4.1.3 STABILITEIT

Onder stabiliteit wordt hier verstaan hoe de stuw zich voor de verschillende varianten en bij de vier onderzochte waterhoogtes gedraagt wanneer er geen stroming plaatsvindt. Stabiël wil in deze context zeggen dat wanneer een van de kleppen een duw krijgt, de stuw weer terugkeert in de oorspronkelijke positie. Instabiël wil zeggen dat de stuw niet terugkeert in de oorspronkelijke stand.

Handmatig is vastgesteld welke hoeken de stuw kan aannemen in stroomopwaartse (-) en stroomafwaartse (+) richting en daarbij in dezelfde positie blijft.

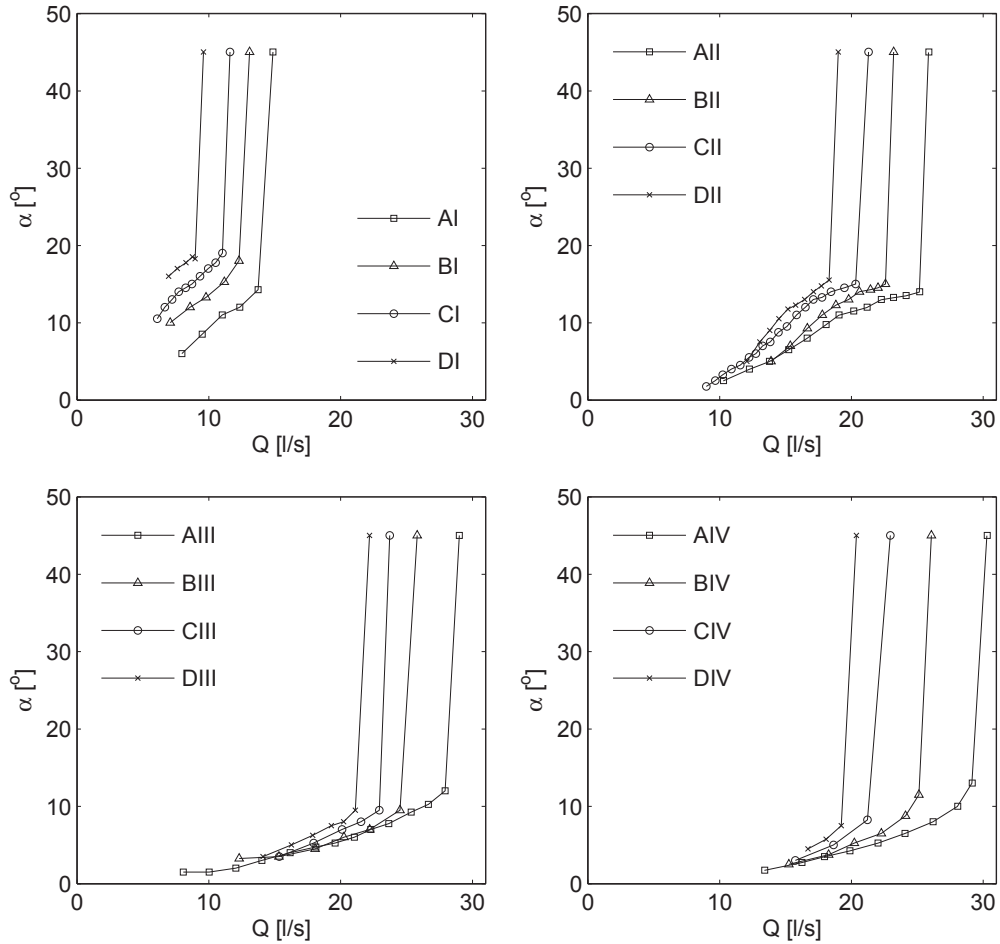
Bij kleine hoeken speelt het kantelmoment slechts een beperkte rol en overheersen waarschijnlijk de wrijvingskrachten in het scharnier met afdichting. De in Tabel 4.1 gegeven waarden gelden dan ook alleen voor het onderzochte model, maar geven een algemeen inzicht in het te verwachten gedrag bij verschillende waterhoogtes en soortelijke massa. Het verschil in de twee richtingen wordt waarschijnlijk veroorzaakt door kleine verschillen in wrijving in de twee richtingen en het niet geheel symmetrisch zijn van het model (vooral bij het aanbrengen van de gewichten).

De stuw wordt instabiël erbij toenemend gewicht, hetgeen ook het geval is als de waterhoogte afneemt. Wanneer de neutrale stand teveel afwijkt van 0° , wordt de doorzwemopening asymmetrisch en bovendien aan een zijde aanmerkelijk kleiner. Vanuit dit oogpunt is de vispasseerbaarheid bij waterhoogte I beperkt en verdient het de voorkeur om de soortelijke massa van de kleppen klein te houden (dus veel drijfvermogen).

4.2 AANGEPAST ONTWERP

Een zware stuw heeft als voordeel dat hij bij een kleiner debiet en waterhoogteverschil sluit dan een lichte. Het nadeel is echter een grotere instabiliteit en het moeilijk weer opengaan.

FIGUUR 4.3 INVLOED VAN VERZWAREN VAN DE STUWKLEPPEN OP DE KANTELHOEK α ALS FUNCTIE VAN HET DEBIET Q VOOR HET INITIËLE ONTWERP.

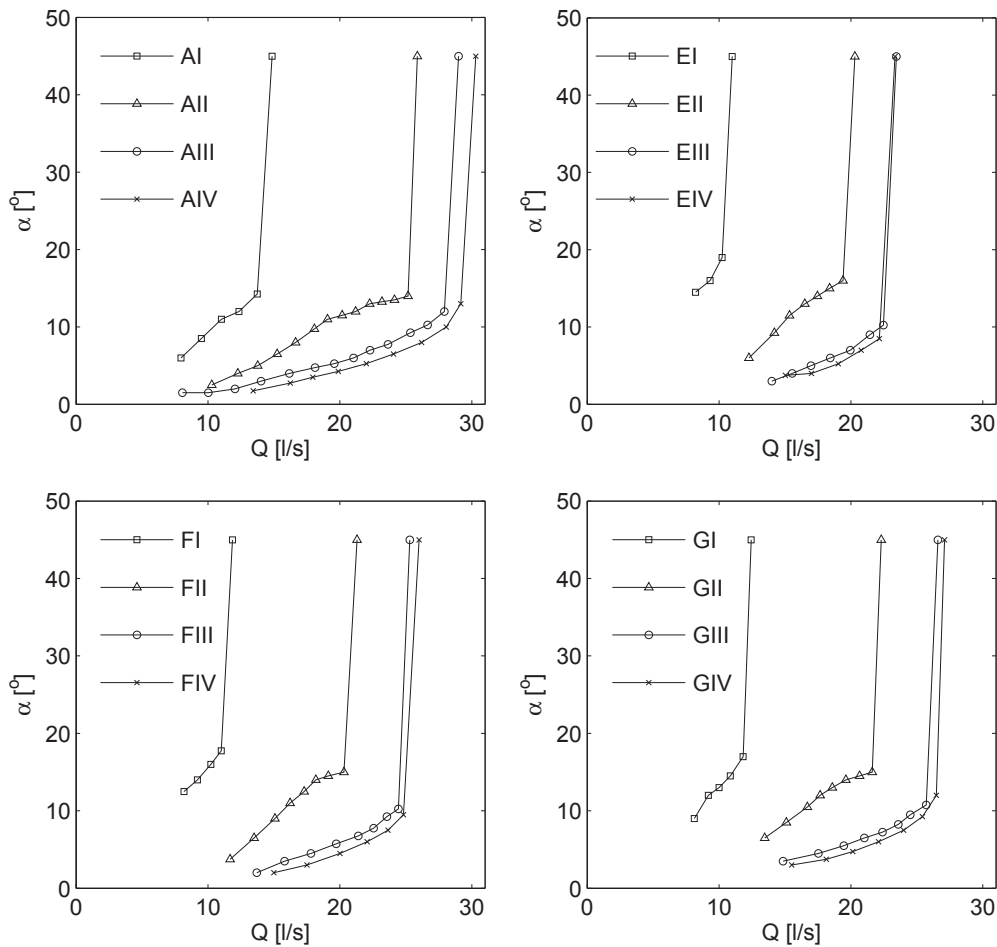


TABEL 4.1 BEREIK VAN DE KANTELHOEKEN WAARBINNEN DE STUW DOOR WRIJVING IN HET SCHARNIER NIET TERUGKEERT IN DE NEUTRALE POSITIE, VOOR HET INITIËLE ONTWERP. POSITIEVE EN NEGATIEVE HOEKEN STAAT RESPECTIEVELIJK VOOR STROOMAFWAARTS EN STROOMOPWAARTS KANTELEN

Variant	Waterhoogte	Instabiel van	tot
A	I	-7.5 ⁰	+12 ⁰
	II	-2.5 ⁰	+7 ⁰
	III	-1 ⁰	+4 ⁰
B	IV	-0 ⁰	+2 ⁰
	I	-14 ⁰	+17 ⁰
	II	-6.5 ⁰	+10 ⁰
	III	-2 ⁰	+5.5 ⁰
C	IV	-0 ⁰	+2 ⁰
	I	-16 ⁰	+18 ⁰
	II	-8 ⁰	+11 ⁰
	III	-4 ⁰	+7 ⁰
D	IV	-0 ⁰	+2 ⁰
	I	-20 ⁰	+21 ⁰
	II	-13 ⁰	+14.5 ⁰
	III	-5 ⁰	+8.5 ⁰

Tijdens de besprekingen met de begeleidingscommissie is de mogelijkheid besproken om een scharnierend gewicht in het midden van de stuw te hangen. Dit heeft echter hetzelfde effect als het verzwaren van de kleppen, zoals onderzocht bij de varianten B t/m D. Bij de varianten E t/m G is wel dit scharnierend opgehangen gewicht toegepast, maar met een modificatie zoals beschreven in Hoofdstuk 2 onder 'aangepast ontwerp'. Het verticaal hangend gewicht van ca. 15 kg heeft ongeveer hetzelfde effect als 6 hoeklijnen (variant C). Wanneer de stuw een bepaalde hoek heeft bereikt bij toenemend debiet, wordt het gewicht tegengehouden, zodat het nog maar beperkt verder uit het hart van de stuw komt te hangen. De gekozen hoek was ca. 20°. Bij het overschrijden van deze hoek wordt de beweging die is ingezet niet gecompenseerd door extra drijfvermogen. Het kantelmoment is in gesloten toestand kleiner dan het geval is bij de varianten B t/m D (bij vergelijkbare gewichten), waardoor het openen gemakkelijker gaat. Bij de varianten F en G is bovendien het opdrijvend vermogen vergroot door aan de buitenkanten van de kleppen, en wel zo laag mogelijk, stroken Styrodur aan te brengen met een zeer lage soortelijke massa. Doordat deze laag zijn aangebracht en dus altijd aan beide zijden onder water blijven, is er bij kleine hoeken bij het sluiten weinig tegenwerkend moment. Bij het openen echter is er wel een aanzienlijk moment dat helpt bij het openen. In het navolgende wordt wederom beschreven wat voor de verschillende varianten het effect is van de verschillende waterhoogtes op het gedrag van de stuw en de stabiliteit van de stuw. Hierbij wordt steeds de basis variant A, in de vergelijking betrokken.

FIGUUR 4.4 INVLOED VAN DE WATERSTAND OP DE KANTELHOEK α ALS FUNCTIE VAN HET DEBIET Q VOOR HET AANGEPASTE ONTWERP



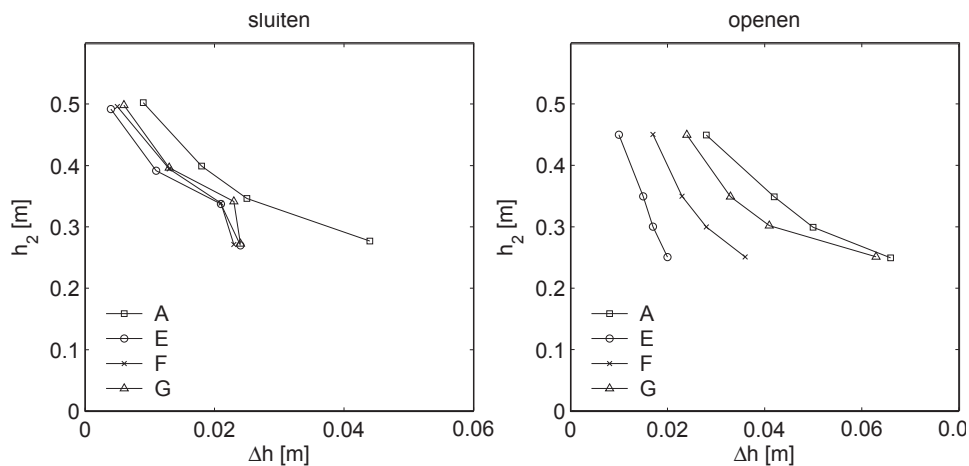
4.2.1 INVLOED WATERSTAND

In Fig. 4.4 is te zien dat ook hier geldt dat het benodigde debiet om de stuw te sluiten toeneemt met de waterhoogte. In het linkerpaneel van Fig. 4.5 is het waterhoogte verschil weergegeven bij de laatste stabiele situatie juist voordat de stuw gaat sluiten. Na het sluiten van de stuw is de bovenstroomse waterstand daarna verlaagd tot de stuw weer open ging. In het rechterpaneel van Fig. 4.5 is weergegeven bij welk waterhoogteverschil de stuw weer opende. Het is duidelijk dat bij de hogere waterstanden het (absolute) waterstandverschil meer moet afnemen voordat de stuw weer opent.

4.2.2 INVLOED AANPASSING

Variant E vertoont bij het sluiten nagenoeg eenzelfde gedrag als variant C, zoals verwacht. De stuw sluit duidelijk bij lagere debieten dan de basis variant A. Wanneer extra drijfvermogen is aangebracht (varianten F en G), nemen deze debieten enigszins toe als gevolg van een tegenwerkend moment, maar blijven duidelijk lager sluiten openen dan bij de basis variant. In Fig. 4.6 is duidelijk het effect van het tegenhouden van het gewicht en het extra drijvend vermogen van de Styropur-platen te zien. De stuw opent veel gemakkelijker dan het geval was met alleen een verzwaring van de kleppen (varianten B t/m D) (zie ook Fig. 4.2).

FIGUUR 4.5 LINKS: WATERSTANDVERSCHIL Δh WAARBIJ NA VERDER OPVOEREN VAN HET DEBIET DE STUW DICHTKLAFT, VOOR HET AANGEPASTE ONTWERP. RECHTS WATERSTANDVERSCHIL Δh WAARBIJ DE STUW WEER OPENT



4.2.3 STABILITEIT

Voor wat betreft de stabiliteit gelden dezelfde opmerkingen zoals gemaakt bij de varianten A t/m D (Subsection 4.1.3). In Tabel 4.2 zijn de waarden voor de verschillende waterhoogtes vermeld. De aanpassingen bieden daarmee geen uitkomst ten aanzien van dit aspect. Om het bereik van kantelhoeken waarbinnen de stuw bij een gegeven debiet kan variëren te beperken zal het scharnier zelf moeten worden aangepast.

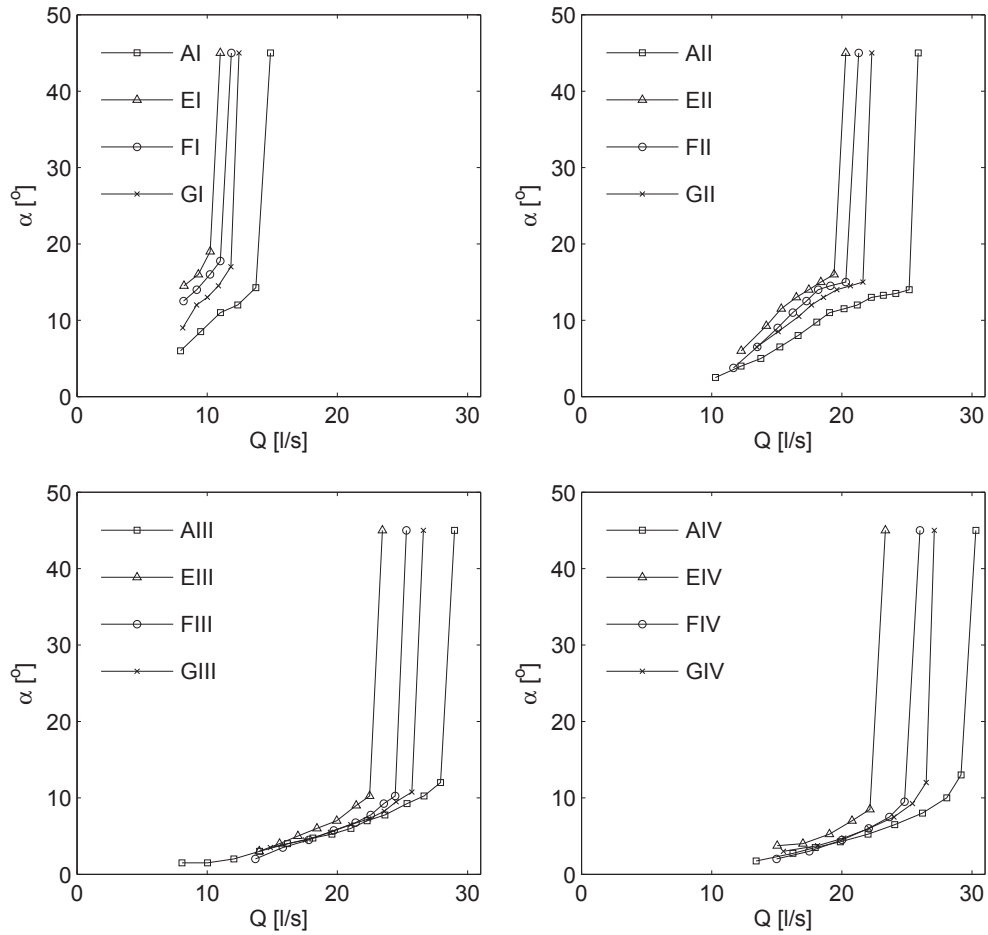
TABEL 4.2

BEREIK VAN DE KANTELHOEKEN WAARBINNEN DE STUW DOOR WRIJVING IN HET SCHARNIER NIET TERUGKEERT IN DE NEUTRALE POSITIE, VOOR HET AANGEPASTE ONTWERP. POSITIEVE EN NEGATIEVE HOEKEN STAAT RESPECTIEVELIJK VOOR STROOMAFWAARTS EN STROOMOPWAARTS KANTELEN

Variant	Waterhoogte	Instabiel van	tot
A	I	-7.5 ⁰	+ 12 ⁰
	II	-2.5 ⁰	+ 7 ⁰
	III	-1 ⁰	+ 4 ⁰
B	IV	-0 ⁰	+ 2 ⁰
	I	-17 ⁰	+ 19 ⁰
	II	-7 ⁰	+ 11 ⁰
	III	-2 ⁰	+ 6 ⁰
C	IV	-0 ⁰	+ 2 ⁰
	I	-15 ⁰	+ 17 ⁰
	II	-6 ⁰	+ 10 ⁰
	III	-2 ⁰	+ 6 ⁰
D	IV	-0 ⁰	+ 2 ⁰
	I	-6 ⁰	+ 12 ⁰
	II	-0 ⁰	+ 7 ⁰
	III	-0.5 ⁰	+ 3 ⁰
	IV	-0 ⁰	+ 2 ⁰

FIGUUR 4.6

INVLOED VAN VERZWAREN VAN DE STUWKLEPPEN OP DE KANTELHOEK α ALS FUNCTIE VAN HET DEBIET Q VOOR HET AANGEPASTE ONTWERP



5

FUNCTIONALITEIT EN VRAAGSTELLING VELDONDERZOEK

Het concept van de kanelstuw is in diverse typen waterrijke milieus toepasbaar. Naast natuurgebieden valt te denken aan de situatie van een voor waterfauna geïsoleerd stedelijk gebied. De belangrijkste voorwaarden zijn dat het gebied waar water dient te worden geborgen en gebiedsvreemd water dient te worden geweerd via een enkele watergang in verbinding staat met de rest van het peilgebied, en dat in het bergingsgebied peilfluctuaties kunnen worden toegestaan. De V-stuw kan een belangrijke bijdrage leveren aan het vergroten van het gebied waarbinnen poldervissen kunnen foerageren en verblijven. Met de V-stuw kan een oude migratie route weer worden hersteld of nieuwe migratie en habitatplekken ontstaan.

De mogelijke beperkingen van het huidige ontwerp hebben betrekking op de lokstroom, op vuilophoping en op de mate waarin het open en gesloten zijn van de stuw beïnvloedbaar is. De stuw is geopend in periode van lage afvoer, dus in periodes waarin de lokstroom beperkt is. Daarbij kan worden opgemerkt dat niet alleen stroming een rol speelt bij de richting die vissen kiezen, maar ook andere factoren zoals geur en temperatuurverschillen. Bovendien is het mogelijk om door een kleine aanpassing aan de V-stuw een lokstroom te creëren in de periodes dat de stuw gesloten is. Dit kan bijvoorbeeld door een uitsparing aan de bovenkant van de kleppen te maken. Hierbij gaat de stuwwerking echter deels verloren.

In praktische zin kan vuilophoping een probleem vormen. Daarbij is met name drijvend vuil een probleem, wat de stuw niet eenvoudig kan passeren doordat de stuwkleppen boven het wateroppervlak uitsteken. Vuil dat tussen de kleppen en de damwand komt, kan tot gevolg hebben dat de stuw niet goed sluit. In een eerder stadium is onderzocht of een ontwerp mogelijk zou zijn waarbij de stuwkleppen in de geopende stand van de stuw geheel onder water staat. Uit een analytische berekening is gebleken dat bij een dergelijk ontwerp het tijdig dichtvallen van de stuw niet te verenigen valt met het tijdig weer openen van de stuw, nadat deze is gesloten. Dit komt omdat het resultante kantelmoment een relatief grote sprong maakt op het moment waarop de benedenstroomse klep onder water komt te staan. Ondanks het boven water uitsteken van de kleppen in de neutrale stand, is bij het ontwerp zoals dat in het laboratorium is getest vuilophoping mogelijk in de ruimtes waar de gewichten hangen. Deze ruimtes zijn echter eenvoudig af te sluiten.

De hiervoor beschreven mogelijke beperkingen van het ontwerp kunnen worden onderzocht in veldexperimenten. Bij deze experimenten kunnen zowel hydraulische als ecologische aspecten van het functioneren van de V-stuw in de specifieke situatie centraal staan. Voor wat betreft ecologische aspecten is de migratie van vissoorten een cruciaal thema. Appendix B geeft een korte inleiding op dit onderwerp. Vanuit een algemeen perspectief, waarbij zowel hydraulische als ecologische aspecten zijn betrokken, zullen veldexperimenten erop gericht zijn antwoord te geven op de volgende vragen:

- In welke mate wordt regenwater in het doelgebied in kwantitatieve zin geborgen?
- In welke mate wordt gebiedsvreemd water in kwantitatieve zin geweerd?
- Wat is in de praktijk de minimale waterdiepte voor een goed functionerende V-stuw?
- Welk onderhoud vergt de stuw met betrekking tot vuilophoping?
- In welke perioden staat de V-stuw open in het voorjaar? Geeft dit de vissen voldoende tijd voor de voorjaarstrek, onder andere richting paaigebieden?
- In welke mate kan het periodiek geïsoleerde gebied als overwinteringsgebied functioneren?
- Welke soorten hebben het meeste baat bij de periodes waarin de stuw geopend staat?
- Voor welke gewichten en drijfvermogen moet worden gekozen opdat de V-stuw de meest optimale situatie oplevert?

Op basis van ervaringen in het veld kan de stuw verder worden ontwikkeld. Wanneer in de praktijk blijkt dat de stuw vooral gedurende de paaitrek van een belangrijke soort dicht staat, is er altijd de mogelijkheid deze tijdelijk handmatig open te zetten. Het is mogelijk ook van belang om de bodem van de watergang op een specifieke manier vorm te geven. Door bijvoorbeeld een geleidelijk oplopende helling van de bodem van de watergang naar de onderkant van de V-stuw te creëren, wordt de passeerbaarheid wellicht verhoogd. Slib en ander fijn materiaal kan langs deze helling omlaag glijden naar de bodem. Bij het in beschouwing nemen van de ecologische functionaliteit van de V-stuw wordt duidelijk dat het ontwerp bij elke toepassing voor de specifieke situatie dient te worden geoptimaliseerd. Het al dan niet adequaat functioneren van de stuw zal sterk afhankelijk zijn van de omgeving waarin de stuw wordt geplaatst.

6

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Het voorliggende rapport legt verslag van een theoretische en experimentele analyse van een nieuw ontworpen vispasseerbare kanelstuw: de V-stuw. Daarbij is voor wat betreft de dimensionering uitgegaan van een toekomstige verbinding tussen de vogelplas De Eend bij Woerden en de omringende polder, waartussen de eerste V-stuw kan worden geplaatst door het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. De V-stuw voldoet aan de volgende specifieke gebruikerseisen:

- Het kunnen vasthouden van regenwater (dus berging) in de vogelplas.
- Het kunnen tegenhouden van de instroom van gebiedsvreemd water.
- Het gebied toegankelijk houden voor de visfauna ten tijde van gelijke waterniveaus aan weerszijden van de stuw.

Het ontwerp bestaat uit een V-vormige stuw, opgebouwd uit twee kleppen onder een hoek van 90° , die onderling zijn verbonden door een scharnier. De kleppen hebben drijfvermogen waardoor de stuw bij lage afvoeren geopend blijft, waarbij visfauna langs de zijkanten van de kleppen kan passeren. Bij toename van de afvoer door de stuw ontstaat een waterstandsverschil over de stuw, waardoor zich bij een bepaalde kanelhoek een nieuw evenwicht instelt. Boven een kritische grens van het debiet kanelt de stuw geheel dicht.

Het bovenbeschreven functioneren is theoretisch gekwantificeerd, waarbij is vastgesteld dat de waterstandsverschillen een dominante rol spelen. De invloed van stuw drukken is een ordegrrootte kleiner. Bij een hogere waterstand sluit de stuw pas bij een hoger debiet, omdat de doorstroom opening boven proportioneel toeneemt met de waterstand. Hierdoor neemt het waterstandsverschil dat nodig is om een zeker debiet door de stuw op te leggen af met de waterstand. Het openen van de stuw gaat eenvoudiger bij grotere waterdiepte, omdat eenzelfde waterstandsverschil bij een hogere waterstand een groter moment levert. Verzwaren van de stuw zorgt ervoor dat het sluiten van de stuw bij een kleiner waterstand verschil plaatsvindt, terwijl de stuw vanuit een gesloten toestand pas bij een relatief groot waterstandsverschil weer opent.

Doordat de stuw niet wrijvingsloos scharniert is voor een gegeven waterstandsverschil de stuw niet bij één enkele kanelhoek stabiel, maar binnen een bereik van kanelhoeken. In de praktijk betekent dit dat het debiet door de stuw bij een gegeven waterstandsverschil kan variëren. Deze kwestie is onderzocht door de boven en ondergrens vast te stellen van de kanelhoeken die de stuw in geval van stilstaand water kan aannemen. Dit bereik van kanelhoeken wordt groter bij een lagere waterstand en/of een hogere soortelijke massa van de kleppen.

Een beperking van het initiële ontwerp is (1) dat de debieten waarbij de stuw open- en dichtgaat niet afzonderlijk zijn te beïnvloeden en (2) dat de kanelhoek in geopende toestand aanzienlijk kan zijn, waardoor de opening voor vispassage wordt beperkt. Om deze redenen is een aanpassing bedacht die de maximale kanelhoek in de geopende toestand van de stuw

verkleint, zonder dat de stuw moeilijker opent. Deze aanpassing bestaat uit extra gewicht en extra drijfvermogen aan de onderzijde van de stuwkleppen, dit laatste langs het gedeelte van de stuwkleppen dat permanent onderwater staat. Het gewicht hangt in neutrale stand aan een verticaal koord. Bij een door de ontwerper te kiezen kantelhoek (20° in het geteste model) komt een tweede koord onder spanning te staan. Het tweede koord belet het gewicht om veel verder van de centrale as verwijderd te raken.

Ook het aangepaste ontwerp is analytisch en experimenteel onderzocht en voldoet aan de verwachtingen. De stuw sluit bij lagere debieten en een kleinere kantelhoek, zonder dat hij moeilijker opent. De aanpassing biedt geen uitkomst voor het feit dat de kantelhoek bij gegeven debiet niet geheel eenduidig is, als gevolg van wrijving in het scharnier. Om dit aspect te beïnvloeden zal het scharnier zelf moeten worden aangepast.

In het veld zal de V-stuw moeten worden gedimensioneerd op basis van de specifieke waterstandsfluctuaties en de doelen die in het gebied worden gesteld ten aanzien van vismigratie. Een veldevaluatie van de hydraulische en ecologische functionaliteit van de V-stuw zal specifiek zijn voor de omgeving waarin de stuw wordt geplaatst. Mogelijke beperkingen hebben betrekking op het ontbreken van een lokstroom, vuilophoping bovenstrooms van de stuw, en de kans dat de stuw gesloten is in belangrijke periodes zoals tijdens de voorjaartrek. Het is te verwachten dat verdere aanpassingen gewenst zullen zijn om de vismigratie verder te bevorderen. Daarbij is opgemerkt dat het altijd mogelijk is om de stuw in cruciale migratieperiodes handmatig open te stellen.

APPENDIX A

VOGELPLAS 'DE EEND' (BEEK, 2003)

Het gebied rondom de Eend is als voorbeeld gekozen waar een V-stuw geplaatst kan worden. Dit gebied is gebruikt om de randvoorwaarden vast te stellen waaraan de V-stuw zal moeten voldoen om in vergelijkbare (polder-)gebieden te kunnen worden toegepast. De Eend is een vierkante vogelplas met een oppervlakte van circa 10 ha en heeft een gemiddelde diepte van ongeveer 10 m (Fig. 6.1). In de huidige situatie vindt er een diagonale doorstroom door de plas plaats, waarbij polderwater door een verbinding in het noordoosten de plas binnenstroomt en door een verbinding in het zuidwesten uitstroomt. In de zuidwestelijke uitstroom tussen de plas en de omringende polder kan de kanelstuw komen te functioneren, in een waterloop van ca. 1 m diep. Fig. 6.2 geeft de variatie in de waterpeilen van De Eend en van de polder Kamerik-Teylingens, ter plaatse van het gemaal Teylingens (Fig. 6.1). Het streefpeil in de polder ligt op -1.96 m NAP in de zomer en -2.06 m NAP in de winter. Er wordt een tolerantie van +/-5 cm gehanteerd. Het centrale uitgangspunt is dus dat het peil in de plas te allen tijde tussen -2.11 m en -1.91 m NAP dient te blijven.

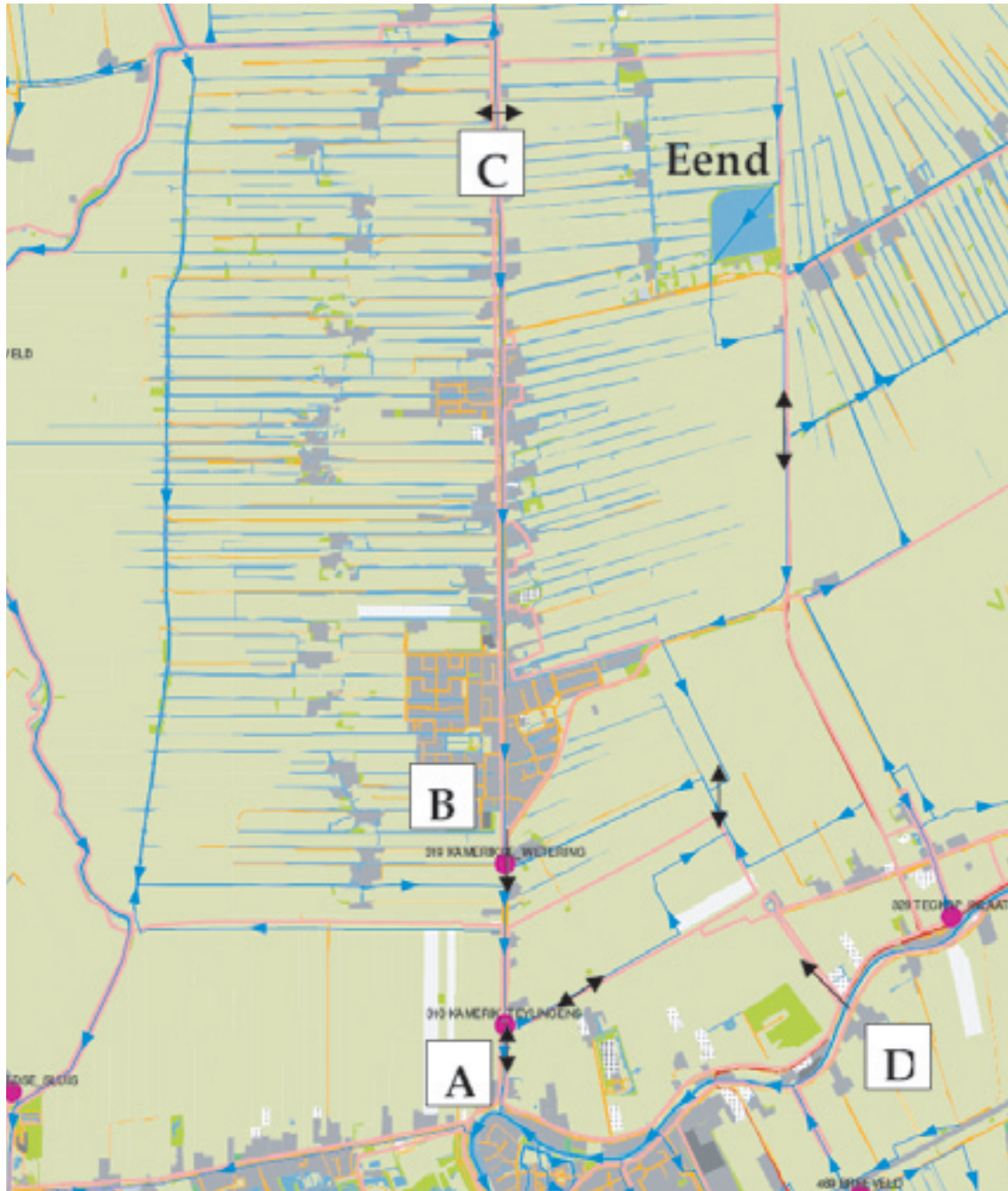
In Fig. 6.2 is te zien dat de waterstand in De Eend in de zomer incidenteel boven de -2.00 m NAP uitstijgt door regenval. Vervolgens zakt de waterstand als gevolg van bemaling, die nodig is om op kritieke plaatsen elders in de polder de waterstand niet verder te laten toenemen. Voor De Eend zou het echter goed zijn als het gebieds eigenwater zou worden vastgehouden, wat de kanelstuw zou kunnen bewerkstelligen. In maart 2006 zou de kanelstuw zijn gesloten in het geval waarbij de waterstand daalde van -1.98 m naar -2.06 m NAP. Het streefpeil is dus het streefpeil voor de polder, niet voor de vogelplas. In gesloten stand dient de kanelstuw bij een peil van -1.96 m NAP te overstromen, wat overeenkomt met de maximaal toelaatbare waterstand. Zodra het waterstandsverschil is opgeheven, als gevolg van verdamping in De Eend en/of een toename van de waterstand in de directe omgeving van De Eend, dient de stuw weer te openen.

In de periode in het voorjaar waarin niet wordt bemalen stijgt de waterstand in De Eend tot aan het zomerpeil, al dan niet door inlaten van gebiedsvreemd water. Wanneer water uit de polder wordt ingelaten dient de kanelstuw te sluiten, bijvoorbeeld in de periode tussen 10 en 14 mei in Fig. 6.2.

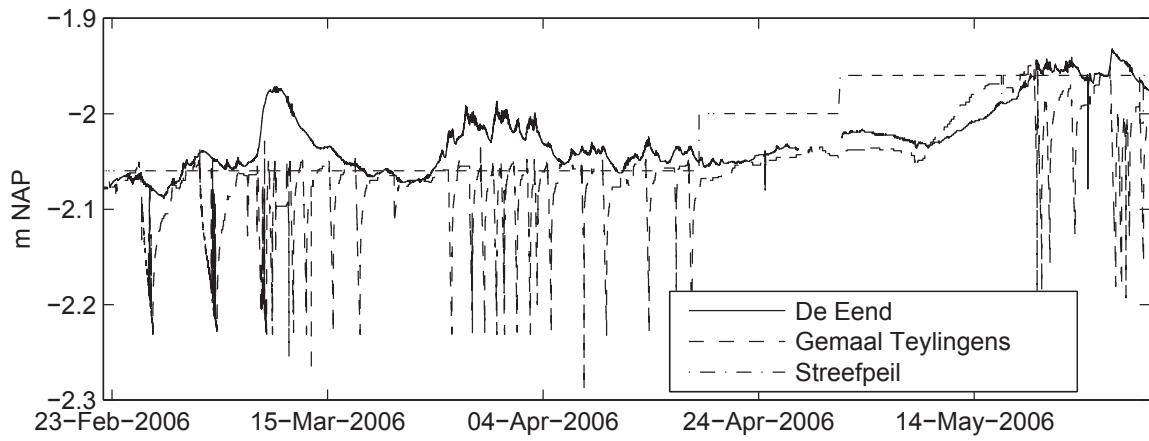
De diepte van de waterweg die De Eend verbindt met de poldersloten is nader te bepalen. In de laboratoriumexperimenten wordt uitgegaan van vier waterstanden: 0.45 m, 0.50 m, 0.55 m, 0.65 m, die respectievelijk corresponderen met de situaties van -2.26 m -2.11 m, -2.06 m en -1.96 m NAP in De Eend.

De Eend valt binnen het beheersgebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). In de watergangen in beheer bij HDSR komen eurytope vissoorten zoals blankvoorn, baars en kleine modderkruiper veelvuldig voor. Ook limnofiele soorten als snoek, zeelt, rietvoorn en bittervoorn hebben een aandeel, alsmede eurytope soorten als brasem, kolblei en karper en de rheofiele soortpaling (Heuts, 2005b).

FIGUUR 6.1 DE POLDER KAMERIK-TEYLINGENS MET DAARIN DE VOGELPLAS DE EEND EN HET GEMAAL TEYLINGENS



FIGUUR 6.2 WATERPEILVARIATIE IN DE VOGELPLAS DE EEND EN IN DE KAMERIK POLDER, TER PLAATSE VAN HET GEMAAL TEYLINGENS OP ENIGE AFSTAND VAN DE DE EEND. OOK WEERGEGEVEN IS HET POLDERSTREEFPEIL



APPENDIX B

VISMIGRATIE

Migratie en dispersie kunnen worden gezien als beweging op landschapsniveau. Beide termen zijn nauw aan elkaar verwant, maar in essentie sterk verschillend. In de onderstaande definities worden de verschillen tussen beide termen beschreven. Migratie (trek) is de periodieke beweging van dieren tussen habitatplekken¹, gebonden aan seizoen of levensfase. Er is altijd sprake van terugkeer naar de vestigingsplaats (Bergers & Opdam 1996).

Dispersie heeft betrekking op ongerichte bewegingen van een organisme naar (mogelijke) vestigingsplaats. De term ongericht laat onverlet dat de beweging door het landschappelijk patroon gestuurd kan worden, er is geen ingebouwde voorkeursrichting. Het gaat altijd om beweging tussen habitatplekken. Het kan gaan om zaad, spore, ei, dan wel om (meestal jonge) dieren. Immigratie en emigratie zijn termen die op dispersie doelen, waarbij de gebruiker vanuit de habitatplek redeneert. Bij dispersie van individuen (bijvoorbeeld jonge vissen) of zaden wordt ook gedoeld op andere vormen van verbreiding, zoals eieren of sporen, of delen van planten (Bergers & Opdam 1996, Pouwel et al. 2002).

Bij vismigratie gaat het om de verplaatsing van vissen tussen paai-, opgroei- en overwinteringsgebieden, inclusief de dagelijkse verplaatsingen die nodig zijn voor het vinden van voedsel en verplaatsing als gevolg van ongunstige omstandigheden. De aard van de verplaatsing verschilt per soorten per levensstadium. Het oplossen van migratie knelpunten gebeurt dikwijls met het oog op de echte lange afstand migrerende vissen (bijvoorbeeld zoet-zout-migrerende vissoorten) omdat deze soorten zich voor de overleving moeten kunnen verplaatsen tussen opgroei- en voortplantingsgebieden. Migratie routes voor deze soorten, zoals paling en zalm, fungeren voornamelijk als door trekroute en vervullen niet of nauwelijks een functie als leefgebied (Kroes & Monden et al., 2005).

Binnen de poldergebieden die kunnen worden beschouwd als de voormalige overstromingsvlakten van de grote rivieren, gaat het om zogeheten potamodrome verplaatsingen. Dit zijn migratie bewegingen die plaats vinden binnen het zoete water (Lucas & Baras, 2001). Voor veel van de soorten die hieronder vallen, zoals zeelt, snoek, kwabaal en brasem geldt dat deze migratiebewegingen behoren tot laterale migratiepatronen die afhankelijk zijn van de laterale connectiviteit. Dit vindt men bij grote rivieren die zijwaarts gezien slechts op enkele punten in verbinding staan met aangrenzende polders. De migratiebeweging van de snoek die in het vroege voorjaar (februari tot eind april) ondiepe en begroeide ondergelopen graslanden of oeverzones op trekt om daar te paaien is hier een voorbeeld van. Na het paaien trekken de volwassen dieren weer weg en verblijven de jonge snoeken totdat de waterspiegel weer langzaam afneemt in de dichte begroeide vegetatie. De jonge snoeken gaan dan op zoek naar nieuwe leefgebieden en dit gedrag behoort tot dispersie. De volwassen snoeken trekken het jaar erop weer naar de paaigronden.

1. Habitat of deelhabitat is een ruimtelijk gedefinieerde plek waar habitat (leefgebied) van een soort is gerealiseerd. (Pouwels et al. 2002 & 2002-A)

Migraties verschillen nogal van schaal in tijd en ruimte. Migraties van schuilplaats naar foerageergebied vinden dagelijks plaats en gaan vaak over kleine afstanden, vanuit de schuilplaats, bijvoorbeeld de oever vegetatie, naar het open water. De trek van zomer- naar winterverblijf is seizoensgebonden, evenals de meeste paaitrekken. Afhankelijk van de soort kan de ruimtelijke schaal erg variëren.

LITERATUUR

Beek van K., E. van der Pauw Kraan, 2003. Naar goed water voor Eend, Grutto en Zwaan. Voorstellen voor verbetering van de waterkwaliteit van de vogelplassen nabij Woerden. KIWA, Nieuwegein & Witteveen en Bos, Deventer. KWR 03.072.

Bergers, P.J.M. & P.F.M. Opdam, 1996. Versnippering en populaties. Een verklarende woordenlijst. IBN-rapport229. Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek (IBN-DLO), Wageningen.

Boiten, W. and Dommerholt, A., 2006, Standard design of the Dutch pool and orifice fishway. Intl. J. River Bas in Management Vol.4 No.3,pp.219-227

HDSR, 2002. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden; Waterstructuurvisie.

Heuts, P., 2005a. Ontwerp van een kantelstuw. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Houten nr. 158762.

Heuts, P., 2005b. Verbeterde 'De Wit' vispassage voor laaglandwateren. In Vissennetwerk 2004-2005. Publicatie Vismigratie, OVB, Nieuwegein.

Jong, Th. de & G. Hoogerwerf, 2002. Gebiedsgerichte knelpuntenanalyse en ontwikkelingsvisie visfauna voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Bureau Natuurbalans -Limes Divergens, Nijmegen & Bureau Viridis, Culemborg.

Kroes, M.J. & S. Monden et. al., 2005. Vismigratie -Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland. Organisatie te Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap AMINAL, afdeling water te Brussel.

Lucas M.C.&E. Baras, 2001. Migration of fresh water fishes. Blackwell science.

Ottburg, F.G.W.A., 2004 in: Rienks, W.A., A.L. Gerritsen, W.J.H. Meulenkamp, F.G.W.A. Ottburg, E.P.A.G. Schouwenberg, J.J.H. van den Akker & R.F.A. Hendriks, 2004. Veenweidegebied in Fryslan -de effecten van vier peilstrategieën. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 989 bijlagen. 130 blz.; 15 fig.; 16 tab.

Ottburg, F.G.W.A. & Th. de Jong, 2006. Vissen in poldersloten; De invloed van baggeren in 'dichte' en open sloten op vissen en amfibieën. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1349. 46 blz.; 9 fig.; 14 tab.; 8 ref.

Northcote T.G., 1978. Migratory strategies and production in freshwaterfishes. In: Ecology of Fresh water production(ed. S.D.Gerking) pp.326-359. Blackwell Oxford.

Pouwels, R., R. Jochem, M.J.S.M. Reijnen, S.R. Hensen & J.G.M. van der Gref, 2002. LARCH voor ruimtelijke ecologische beoordelingen van landschappen. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 492. 112 blz.; 49 fig.; 24 tab.; 120 ref.

Pouwels, R., S.R. Hensen, J.P.G. Klein Breteler & J. Kranenbarg, 2002-A. Praktijkstudie LARCH-vissen. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 434. 64 blz.; 25 fig.; 15 tab.; 14 ref.