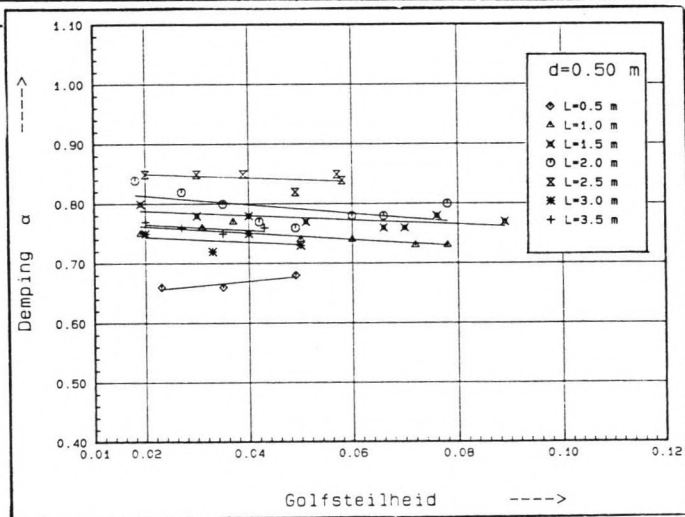
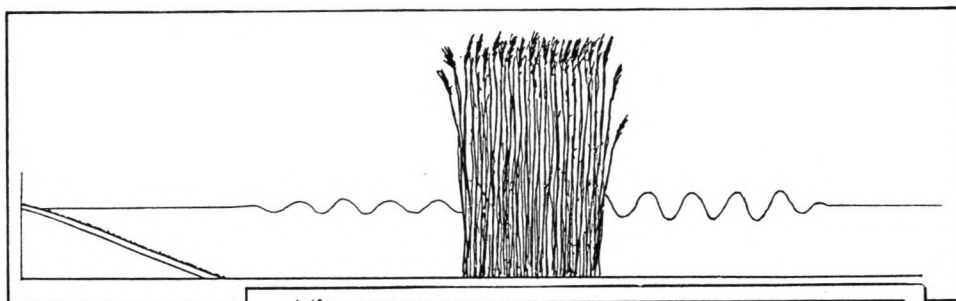


# Golfdemping door riet

September 1989

E.E. Bouter



# Golfdemping door riet

Afstudeercommissie : Prof.dr.ir. E.W. Bijker  
Ir. J. Bouwmeester  
Dr.ir. H.L. Fontijn

Student : E.E. Bouter



'..en het gloeiende zand zal tot een plas worden en het dorstige land tot waterbronnen; waar de jakhalzen verblijven en legeren zal gras met riet en biezen zijn.'

(Jes.35:7)

## Voorwoord

Of de wijsheid van de Ouden dat het einde van een zaak beter is dan haar begin ook voor het afstuderen geldt, zou ik niet durven stellen. Wel is het zo dat het einde van een zaak dit voor heeft op het begin, dat men in de gelegenheid is om een blik terug te werpen en het achterliggende te overzien.

In feite is het schrijven van een afstudeerverslag een terugblik: men overziet het onderzoek dat gedaan is en rapporteert daarover. Het lijkt me dan een goede zaak om het voorwoord van deze scriptie als een dankwoord te wijden aan hen die het onderzoek mede hebben mogelijk gemaakt.

Met name denk ik hierbij aan ir. Proost (van de RIJP) en ir. Koolen (van RWS-DWW) die voor het benodigde riet en het transport daarvan naar Delft hebben gezorgd. Dank ook aan dr. Verkaar (RWS) voor de adviezen met betrekking tot het verzorgen van de rietkraag en aan Ingeborg Bax (LU-Wageningen) voor het onderzoeken van de karakteristieke parameters van het riet.

Een bijzondere dank zou ik willen aan mijn begeleiders en met name ir. Bouwmeester, die mij op de aangelegen momenten met raad en daad geholpen heeft.

# Inhoud

## Voorwoord

## Inhoud

### 1 Inleiding

1.1	algemeen .....	1
1.2	probleemstelling .....	2
1.3	doelstelling .....	2
1.4	korte beschrijving onderzoek .....	2

### 2 Riet

2.1	algemeen .....	3
2.2	beschrijving gebruikte riet .....	5
2.2.1	algemeen .....	5
2.2.2	parameters gebruikte riet .....	6

### 3 Golftheorie

3.1	korte golf-theorie .....	7
3.1.1	algemeen .....	7
3.1.2	reflectie en breking .....	10
3.1.3	bodemwrijving .....	11
3.2	scheepsgolven .....	11
3.3	windgolven .....	13
3.4	golfkrachten op palen .....	15

### 4 Voorbereiding proeven

4.1	beschouwing over parameters die de interactie beïnvloeden .....	17
4.2	inventarisatie onder welke omstandigheden riet voorkomt .....	18
4.3	inventarisatie eerder gedane onderzoeken en aanbevelingen .....	19
4.4	berekening voorkomende golven .....	19
4.4.1	scheepsgolven .....	19
4.4.2	windgolven .....	21
4.5	keuze golven .....	23
4.6	keuze opstellingen .....	25

## 5 Uitvoering proeven

5.1	overzicht uitgevoerde proeven en meetopstellingen .....	26
5.2	opmerkelijk fenomeen .....	30
5.3	reflectiemetingen .....	31
5.4	bodemsamenstelling en -ligging .....	32
5.5	referentieproeven .....	33

## 6 Presentatie meetresultaten

6.1	dempingsproeven .....	34
6.2	stromingsproeven .....	42
6.3	spiegeldalingsproeven .....	47
6.4	rietparameters .....	50
6.5	bodemonderzoek .....	51

## 7 Interpretatie resultaten

7.1	inleiding .....	53
7.2	schematisering rietstengel en aanpassing Morison .....	53
7.3	beweging rietstengel .....	59
7.4	interpretatie meetresultaten .....	59
7.5	overeenkomstige experimenten .....	62

<u>Conclusies</u> .....	64
-------------------------	----

<u>Aanbevelingen voor verder onderzoek</u> .....	66
--	----

<u>Gebuurde symbolen en afkortingen</u> .....	67
---	----

<u>Literatuur</u> .....	69
-------------------------	----

<u>Overige bronnen</u> .....	72
------------------------------	----

<u>Bijlagen</u> .....	73
-----------------------	----

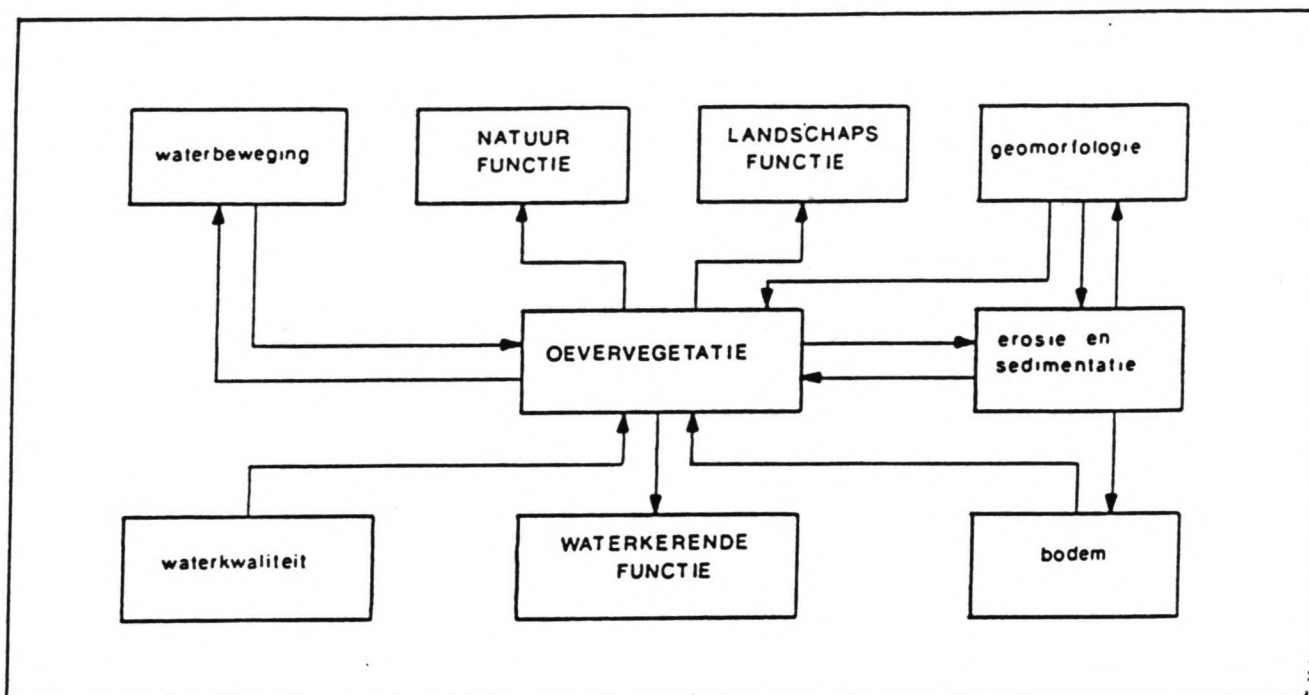


fig.1 Oevervegetatie en de belangrijkste relaties met andere oeverfuncties en milieufactoren.

Een horizontale waterstraal van constante snelheid werd op de planten gericht, vanaf bovenstrooms, op de grond aan de basis van de scheuten. De tijd nodig om de plant te eroderen werd hierbij genoteerd. De classificatie is gebaseerd op deze tijden. De gebruikte habitats waren typerend voor elke soort.

<b>1. Erg gemakkelijk te eroderen</b>	
Agrostis stolonifera	(Epilobium hirsutum, wortelstukken)
Ceratophyllum demersum	Rorippa amphibia
Elodea canadensis	Rorippa nasturtium-aquaticum agg.
<b>2. Gemakkelijk te eroderen</b>	
Callitriche spp.	Myriophyllum spicatum
Epilobium hirsutum	Sparganium erectum
Myosotis scorpioides	Zannichellia palustris
<b>3. Tamelijk moeilijk te eroderen</b>	
Apium nodiflorum	Potamogeton perfoliatus
Berula erecta	Schoenoplectus lacustris
Potamogeton crispus	Sparganium emersum
<b>4. Moeilijk te eroderen</b>	
Glyceria maxima	Potamogeton pectinatus
Nuphar lutea	Ranunculus calcareus
Oenanthe fluviatilis	Ranunculus fluitans
Phalaris arundinacea	Ranunculus penicillatus
→ Phragmites australis	Ranunculus trichophyllus

fig.2 Anti-erosie capaciteiten van oevervegetatie.

---

## 1 Inleiding

### 1.1 algemeen

De belangstelling voor milieuvriendelijke oevers is de laatste jaren sterk toegenomen. Binnen de waterbeherende instanties op zowel provinciaal- als rijksniveau is een sterke interesse voor dit type oever gegroeid. Er zijn meerdere redenen voor deze milieubewuste ontwikkeling aan te geven. Vooreerst zijn er de esthetisch-landschappelijke overwegingen, die er voor pleiten om oeververdedigingen zoveel mogelijk in het landschap in te passen op een natuurlijke en voor het oog aantrekkelijke wijze. Daarnaast bestaat de indruk dat de met natuurlijke begroeiing verdedigde oevers goedkoper zouden kunnen zijn dan de klassieke, die verdedigd zijn met bijv. gezette steen of asfalt.

Een zeer belangrijke ontwikkeling is de bewustwording dat het milieu niet alleen mooi en geschikt is voor een vakantie of een dagje uit, maar dat de natuurlijke leefomgeving van de mens een levensnoodzakelijke voorwaarde is. Zonder een gezond milieu vaart niemand wel! Daarom zijn het vooral milieu-technische afwegingen die wijzen in de richting van milieuvriendelijke oevers.

Het 'Project Milieuvriendelijke Oevers', uit de koker van de Rijkswaterstaat, moet dan ook in samenhang met het veelomvattende 'Integraal Waterbeheer' worden gezien. Vanuit deze filosofie is een natuurlijke oevervegetatie een noodzakelijke voorwaarde voor het instand houden van een subtiele samenleving van allerlei levensvormen rond de oeverzone. Plantengroei in het water vormt enerzijds een zeer aantrekkelijke biotoop voor in het water levende organismen, maar heeft tevens een waterzuiverende werking.

Ook vanuit civiel-technisch oogpunt gezien heeft een natuurlijke oeverbegroeiing een aantal aantrekkelijke karakteristieken. Waar enerzijds de bovengrondse biomassa (stengels, bladeren) van de plantenpopulatie een levende, golfdempende constructie vormt, bewerkt anderzijds de ondergrondse biomassa (wortels, wortelstokken) een hechte wapening van de grond: gronddeeltjes worden vooral door de kleine worteltjes zeer goed vastgehouden en voor uitspoeling (erosie!) behoed (zie fig.1 en 2).

---

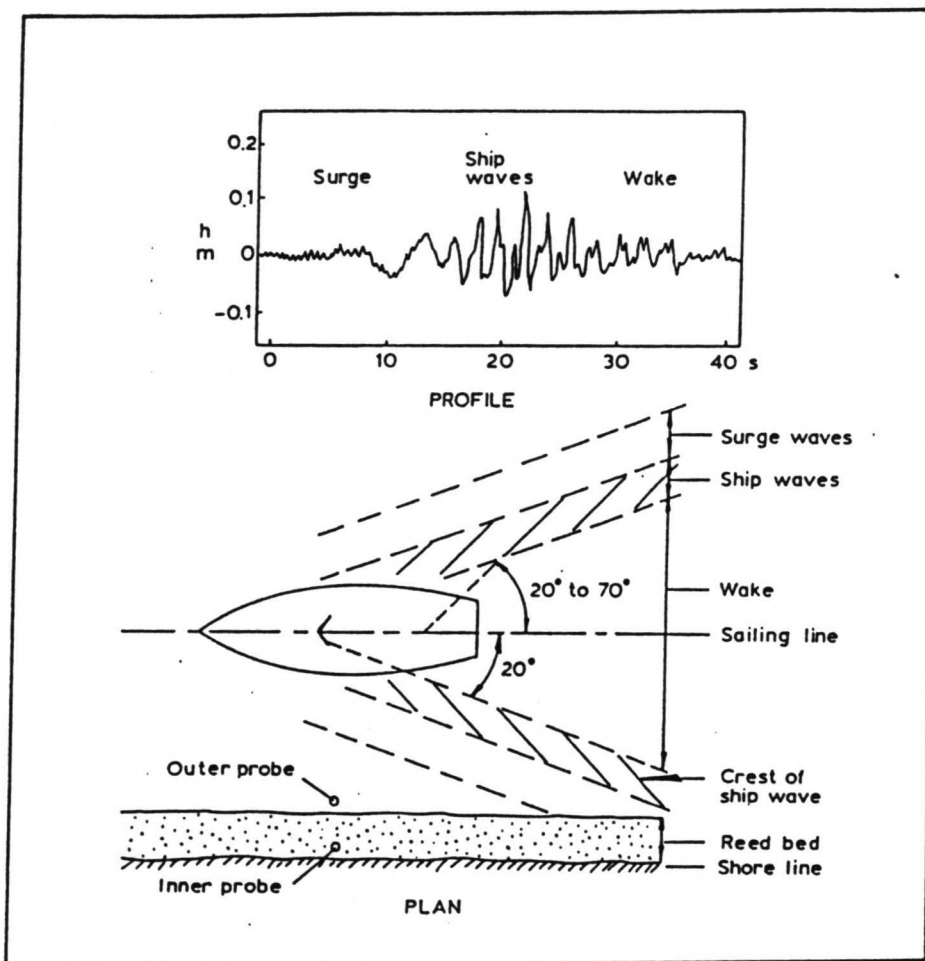


fig.3 Meetopstelling en registratie bij Bonham, 1983.

## 1.2 probleemstelling

Reeds eerder zijn onderzoeken naar de golfdempende werking van rietkragen uitgevoerd. In 1981 is een aantal metingen verricht in het Waardkanaal door een samenwerkingsverband van de Landbouwhogeschool en de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Bonham publiceerde in 1983 de resultaten van een onderzoek naar golfdemping in een oeverzone van de Thames. Vervolgens is in 1984 opnieuw een onderzoek in het Waardkanaal uitgevoerd, ditmaal door de Rijkswaterstaat (dienst Verkeerskunde) en de TU-Delft. Vooral na deze laatste metingen bleek de noodzaak van een meer 'klinisch' onderzoek van rietkragen. Proeven die in-situ worden uitgevoerd geven meetresultaten waarin een aantal neveneffecten zijn verborgen (zie ook fig.3):

- de oever is meestal niet vlak; hierdoor ontstaat een vertekend beeld van de demping (shoaling-effect)
- de gemeten golftreinen zijn vrij kort, daardoor ook de meetduur
- windgolven geven verstoringen op de gemeten scheepsgolven
- niet alle parameters die van belang zijn voor de demping kunnen gevarieerd worden (bijv. waterdiepte)

Bovendien is het onder natuurlijke omstandigheden slechts mogelijk om een beperkt aantal type golven (wat betreft lengte en hoogte) te onderzoeken.

Dit alles pleitte voor een onderzoek onder laboratoriumomstandigheden.

## 1.3 doel onderzoek

Het doel van het onderhavige onderzoek is om te bepalen welke parameters een rol spelen in de interactie tussen waterbeweging en rietstengel. Getracht is om door middel van een systematisch onderzoek naar de invloed van die parameters tot een aantal conclusies omtrent de golfdemping door rietkragen te komen. Met behulp van de verzamelde gegevens en de conclusies wordt een aanzet gegeven voor de modellering van de onderzochte interactie.

## 1.4 korte beschrijving onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in een experimenteergoot in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica te Delft. De experimenten zijn verricht met een gedeelte van een werkelijke rietkraag uit Zuid-Flevoland. Hoewel het hoofdonderzoek golfdemping door riet betrof is eveneens aandacht besteed aan stroming door riet.

---



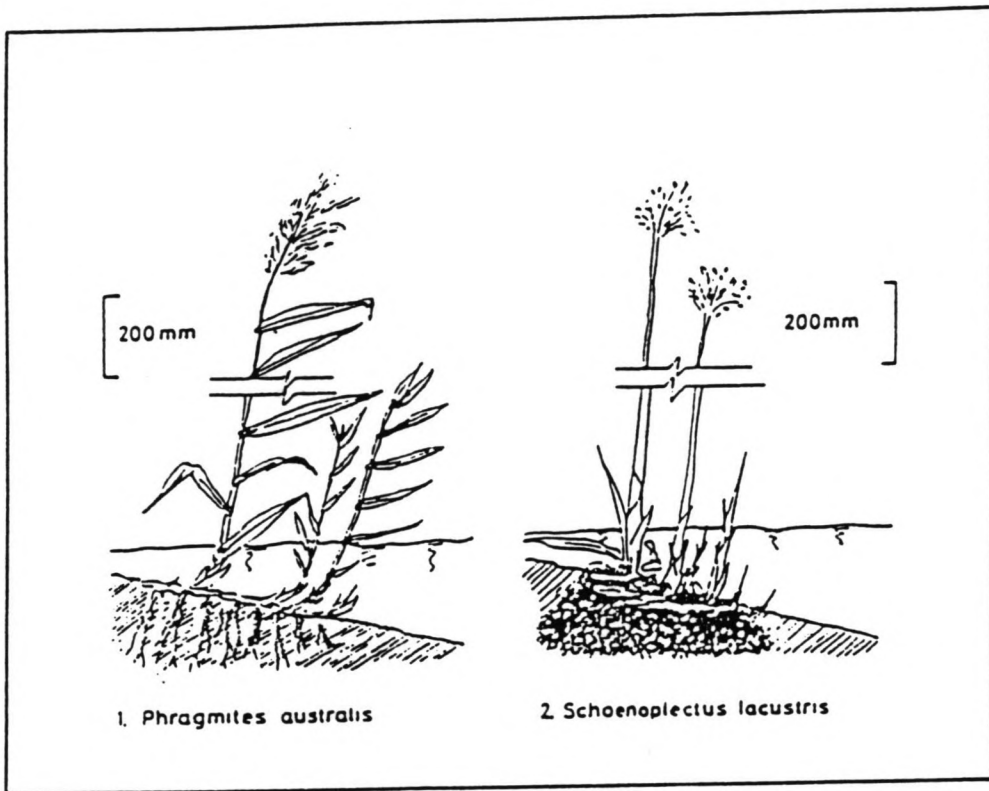


fig.4 Oeverplanten

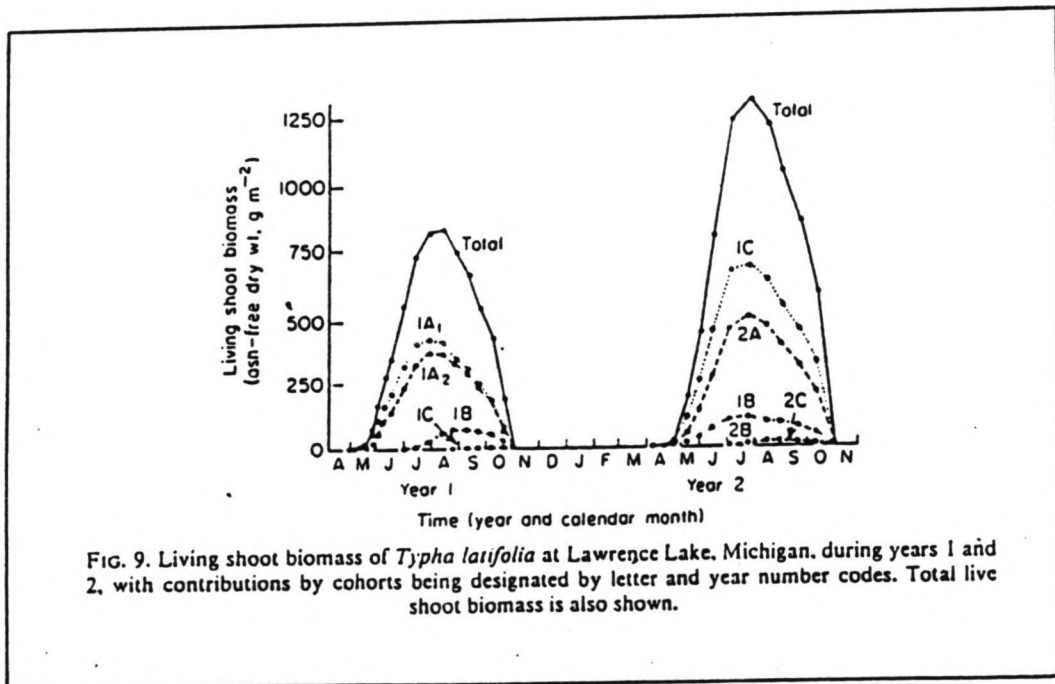


fig.5 Groeiseizoen Grote Lisdodde (vergelijkbaar met riet).

## 2 Riet

### 2.1 algemeen

Riet behoort tot de familie der grassen. In Nederland is één rietsoort dominant aanwezig: *Phragmites Australis* (fig.4). Over het algemeen onderscheidt men vier soorten riet: zandriet, veenriet, rivierriet en zoutriet. RWS stelt in 'De invloed van een rietkraag op scheepsgolven'[10], dat in ons land veenriet en rivierriet het meest voorkomen.

*Phragmites Australis* is een overblijvende plant, die over de gehele wereld voorkomt. De plant heeft in de bodem gelegen, horizontale, sterk vertakte en holle wortelstokken (tot 3 cm dik), welke een dichte mat vormen. Op een afstand van 10 tot 20 cm bevinden zich ringvormige verdikkingen, de zogenaamde knopen. Deze wortelstokken hebben een betekenis als opslagplaats van reservevoedsel, als overwinteringsorgaan, voor de verankering van de plant in de bodem en voor de vegetatieve uitbreiding van de plant.

Vanuit de wortelstokken ontspringen op de knopen de wortels die diep in de vaste bodem doordringen (soms tot meer dan 2 m). De wortelstokken worden meestal in een dicht netwerk in de bovenste 20-30 cm van de bodemlaag aangetroffen. De horizontale vertakkingen van de wortelstokken kunnen verticaal gaan groeien en stengels vormen.

Op deze verticale wortelstokken en het basisgedeelte van de stengels komen vele fijne, korte wortels voor, die tezamen een dicht wortelvilt vormen en de bodemdeeltjes goed vasthouden. Deze fijne wortels dienen vooral voor de voedsel- en watervoorziening van de plant, terwijl de grote, diepe wortels een stevige verankering van de plant in de grond bewerkstelligen. Door de aanwezigheid van luchtkanalen in de stengels en de wortelstokken kan riet in volledig ongeaëreerde grond groeien.

Ook in de winter blijven de wortelstokken in contact met de lucht door middel van verhoude halmen of de stoppels ervan. Door het jaarlijks afsterven van de halmen worden de wortelstokken tot vertakking geprikkeld, waardoor het rietbestand verdicht wordt.

---

## Moeras achter zuiveringsinstallatie

Op Texel zijn voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater vijf installaties. De grootste, die van Eversteekoo, is sinds 1979 in bedrijf en zuivert 's-winters 10.000 i.e. en 's-zomers tijdens het badseizoen 30.000 i.e. In het jaar na de inbedrijfstelling werd aan de installatie een defosfateringsinrichting toegevoegd omdat het effluent op een kwetsbare polder wordt geloosd en daar eutrofiëring veroorzaakt. Hierdoor is het fosfaatgehalte in het oppervlaktewater van 7 tot 0,9-1 mgr per liter teruggebracht. Het vereiste gehalte van 0,2 mgr per liter is echter niet bereikt. Verder is het effluent nagenoeg zuurstofloos met het gevolg dat vanaf het lozingspunt de afvoersloot over 2 km praktisch zonder leven is. Daarna komt door de grote hoeveelheid voedingsstoffen een explosieve groei van algen voor. En dit polderwater kan niet worden weggespoeld c.q. ververst omdat Texel rondom door zout water is omgeven.

Om toch tot een verbetering van de waterkwaliteit te komen is de waterkwaliteitsbeherende instantie het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen van Kennemerland van plan achter de zuiveringsinstallaties een moeras van 10 ha te creëren met daarin een netwerk van kleine slootjes waardoor het effluent kan trekken. In het eerste deel van het traject wordt riet gepland. Daarna komen allerlei moerasplanten op afgegraven grond, waarop ook watervogels kunnen verblijven.

Na passage van het moeras heeft het water waarschijnlijk zoveel aan kwaliteit gewonnen, dat het voor watersuppletie kan worden gebruikt. Een voordeel hierbij is dat bij watertekort in een droge zomer de aanvoer van afvalwater juist het grootst is.

Als voorbeeld voor dit onderwerp heeft de nazuivering van het effluent van de Westduitse gemeente Münster gediend. Hier verwerkt een moeras van 223 ha het gezuiverd afvalwater met een capaciteit van 48.000 m<sup>3</sup> per dag. Dank zij de optredende waterkwaliteitsverbetering is de vogelrijkdom in het moeras zo groot geworden dat het tot een zogenaamd Europa-reservaat is uitgeroepen.

fig.6 Riet als waterzuiveraar (I<sup>2</sup>, 10-1987).

---

De riethalm kan onder gunstige condities (vruchtbare bodem, lichte belasting) aanzienlijke lengten (tot 4 m) bereiken. Gewoonlijk is de lengte echter zo'n 2 - 2.5 m. De diameter is maximaal 1-1.5 cm.

In het voorjaar, vanaf midden april, treedt een zeer snelle groei van de jonge scheuten op, die tot eind juni doorgaat. De bloei vindt plaats van eind juli tot in september. Daarna sterft de stengel en treedt het verhoutingsproces inwerking (zie fig.5).

In een zout milieu kan riet niet meer groeien indien het bodemvocht meer dan 20 gram NaCl per liter bevat. Evenzo kan riet niet meer groeien als de pH lager dan 4 is. Zure kwelderklei en keileemafzettingen kunnen een belemmering vormen voor de rietgroei. De meest geschikte grondsoort is: klei, vervolgens zandige klei, zand en tenslotte veen [8].

Rietplanten gedijen het best op natte of zeer vochtige terreinen. In de praktijk betekent dit dat riet vooral groeit nabij de oeverzone van sloten, kanalen, meren en rivieren. Hetzij in het water, hetzij er dichtbij. Riet kan tot in 50 cm diep water nog goed wortelen. Is het water dieper dan gaan stengel en wortel aan de oppervlakte drijven: de vorming van de zogenaamde kraggen. Het aldus drijvende riet vormt een steeds dichter wordende mat van wortels, die na een aantal jaren te betreden is [7].

Een belangrijk criterium of riet wel of niet bij een bepaalde waterdiepte groeit is de grootte van de belasting: In rustig water groeit riet wel tot in 2 m diep water, in druk bevaren rivieren en kanalen loopt is dit maximaal zo'n 60 cm. Riet kan waterstandswisselingen tot 50 cm tamelijk goed verdragen. Het effect van waterpeilverlaging is indirect: een verzwakking van de concurrentiepositie ten opzichte van andere soorten. Het effect van waterpeilverhoging kan soms zeer direct zijn: een massaal afsterven van de planten.

Naast de, in dit onderzoek bestudeerde, golfdempende werking van riet, heeft het riet nog twee eigenschappen die het als oeverbegroeiing zeer aantrekkelijk maken. Als eerste is te noemen het uitgebreide wortelstelsel van de planten, dat de bodem een doelmatige wapening verschaft. De gronddeeltjes worden goed vastgehouden en uitspoeling verminderd.

Verder vergroot het riet het zelfreinigend vermogen van het water: enerzijds door de plant zelf, anderzijds door micro-organismen die in de rietkraag een aantrekkelijke biotoop vinden. De toepassing van rietvelden voor de waterzuivering, in binnen- en buitenland, spreekt wat dat betreft boekdelen (fig.6).

Om verlanding van de rietkraag te voorkomen, alsmede om de rietkraag vitaal te houden, is regelmatig onderhoud in de vorm van jaarlijks maaien, noodzakelijk.

---

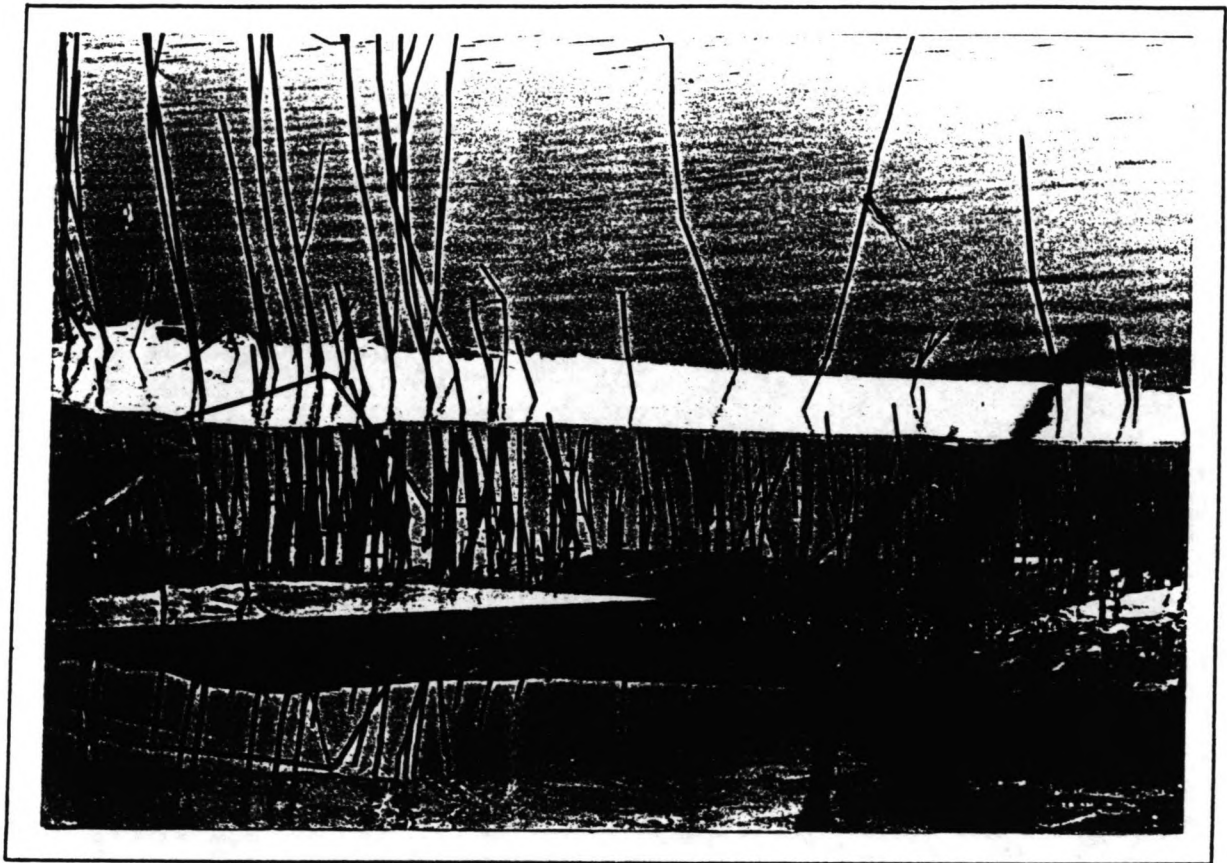


fig.7 Waterpeil op tijd verlaagd.

---

Afbranden is eenvoudiger, maar het bezwaarlijke daarvan is dat door de vuurzee ook de fauna in de rietkraag vernietigd wordt. Riet is over het algemeen gemakkelijk aan te planten, het zaaien van riet is moeilijk.

Een gezonde rietkraag kan vorst goed doorstaan. Voorwaarde hierbij is evenwel dat direct na het intreden van de dooi het waterpeil verlaagd wordt (fig.7). Gebeurt dit niet, dan dreigt bij een stijgend waterpeil de rietkraag opgedreven te worden. Drijfvuil beschadigt de rietkraag zeer sterk: het voordurende 'heen-en-weer-rijden' van bijv. een plank of een bierblikje beschadigt de stengels op een onoverkomelijke wijze.

Belangrijke factoren voor oevervegetatie in het algemeen zijn:

- waterdiepte
- stroming
- waterstandswisseling (grootte en duur)
- substraat
- wind
- licht
- oevervorm en taludhelling
- betreding (o.a. recreatie)
- begrazing
- eutrofiëring en vervuiling
- beheer

## 2.2 beschrijving gebruikte riet

### 2.2.1 algemeen

De voor het onderhavige onderzoek gebruikte rietkraag was afkomstig uit de Noorderplas in Zuid-Flevoland. De kraag dateert van 1983 en is spontaan gegroeid. De rietkraag stond grotendeels boven water: juist rond de waterlijn en was gedurende zijn vijfjarig bestaan slechts licht-geëxponerd geweest.

Om de proeven in het laboratorium te kunnen uitvoeren is in opdracht van de TUD door de R.IJ.P. een zware, stalen bak gemaakt met aan één kant een uitneembare wand. Afmetingen van de bak waren: (LxBxH) 100x68x50 cm. In het voorjaar van 1988 is de bak met behulp van een graafmachine met de geopende zijde in de oever geduwd.

---



Op 13 oktober 1988 is de bak met het riet vervolgens weer uitgegraven en naar het laboratorium voor Vloeistofmechanica te Delft getransporteerd alwaar de proeven zijn uitgevoerd. Op deze manier was het mogelijk een levensechte, in biologisch evenwicht verkerende rietkraag aan een onderzoek te onderwerpen. Met het uitgraven van de bak met riet is bewust gewacht tot het najaar: het groeiseizoen is dan voorbij en het riet verkeert dan in het stadium van verhouting. Op deze wijze werd het veranderen van de sterkteparameters van het riet gedurende de proeven (veroorzaakt door het afstervingsproces) zoveel mogelijk beperkt.

### 2.2.2 parameters gebruikte riet

De typische kenmerken van het riet (stengellengte en -diameter) zijn door een studente uit Wageningen (I. Bax) vastgesteld. Daartoe is van de rietkraag een steekproef genomen, die ongeveer de helft van de kraag besloeg ( $\pm 0.4 \text{ m}^2$ ). De resultaten hiervan worden vermeld in hoofdstuk 6.

---

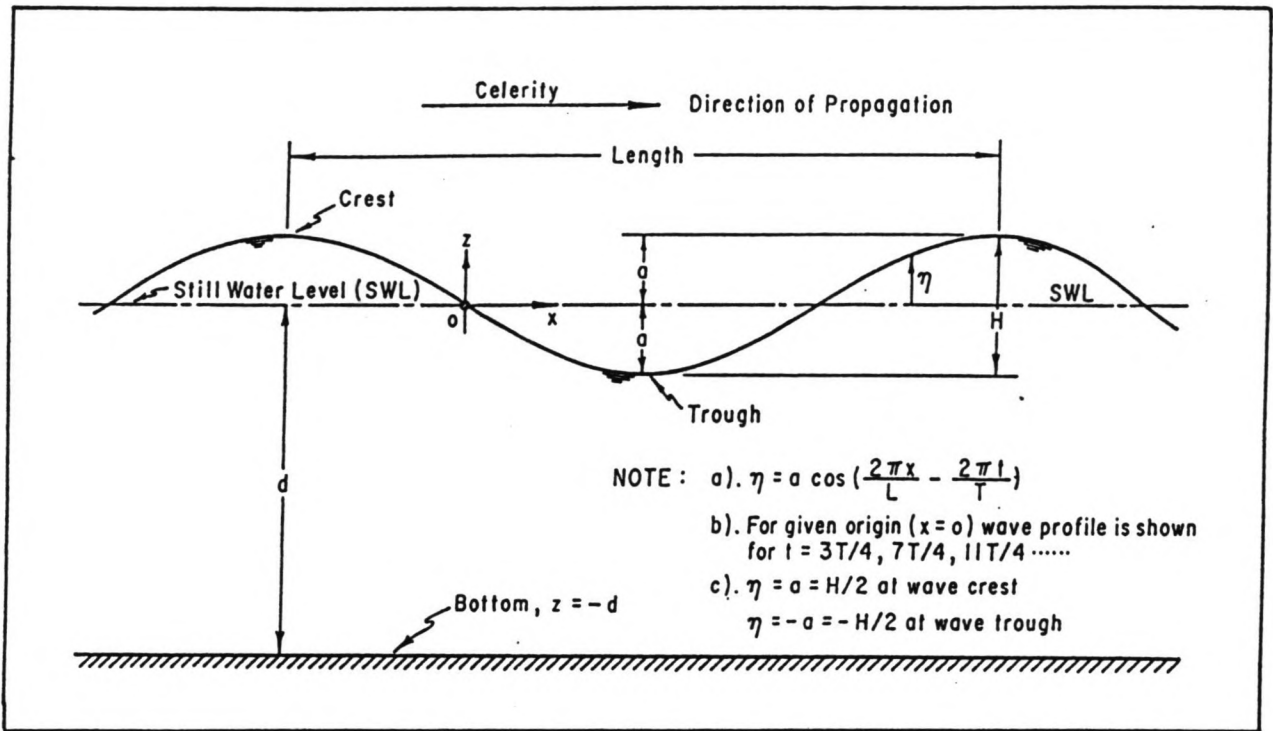


fig.8 Definities golftheorie.

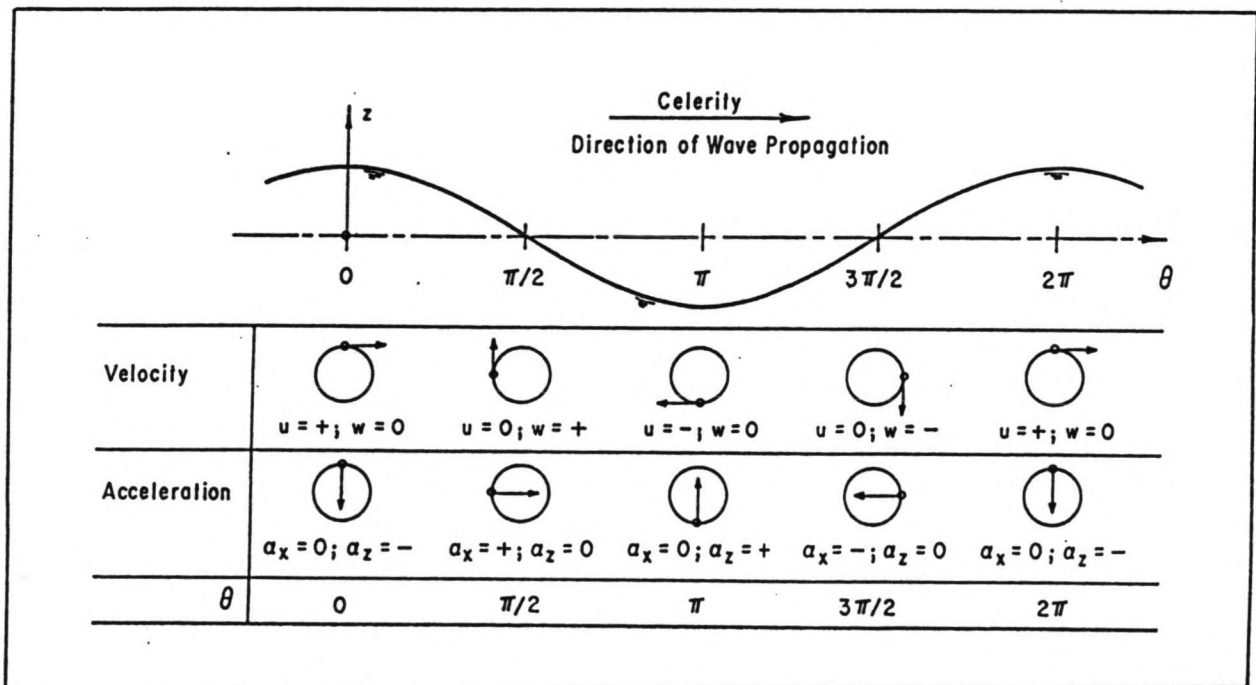


fig.9 Snelheid en versnelling onder een golf.



---

### 3 Golftheorie

#### 3.1 korte golftheorie

##### 3.1.1 algemeen

Voor het juiste begrip van het hierna beschreven onderzoek en de resultaten daarvan is enige kennis van de korte-golftheorie onontbeerlijk. Daarom zal hieronder een summiere verhandeling daaromtrent plaatshebben. De beschrijving van de theorie is zeker niet uitputtend; voor een dieper inzicht in de problematieken wordt de geïnteresseerde lezer verwezen naar het dictaat Korte Golven [15].

In de gelineariseerde korte golf-theorie is de golfbeweging  $n(t)$  te beschrijven als (zie ook fig.8)

$$n(t) = a \cdot \sin(Wt - kx)$$

waarin  $a$  de golfamplitude voorstelt,  $W$  de hoekfrequentie en  $k$  het golfgetal ( $k = 2\pi/L$ ; waarin  $L$  de golflengte is). De waterdeeltjes onder de golf voeren een rondgaande beweging uit in het verticale vlak: de orbitaalbeweging (zie fig.9 en 10). De grootte van de horizontale watersnelheid  $u(t)$  resp. de verticale watersnelheid  $w(t)$  wordt beschreven als

$$u(t) = W \cdot a \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cdot \sin(Wt - kx)$$

en

$$w(t) = W \cdot a \cdot \frac{\sinh k(d+z)}{\sinh kd} \cdot \cos(Wt - kx)$$

waarin  $d$  de waterdiepte is, en  $z$  de verticale coördinaat ten opzichte van de ongestoorde waterlijn.

---

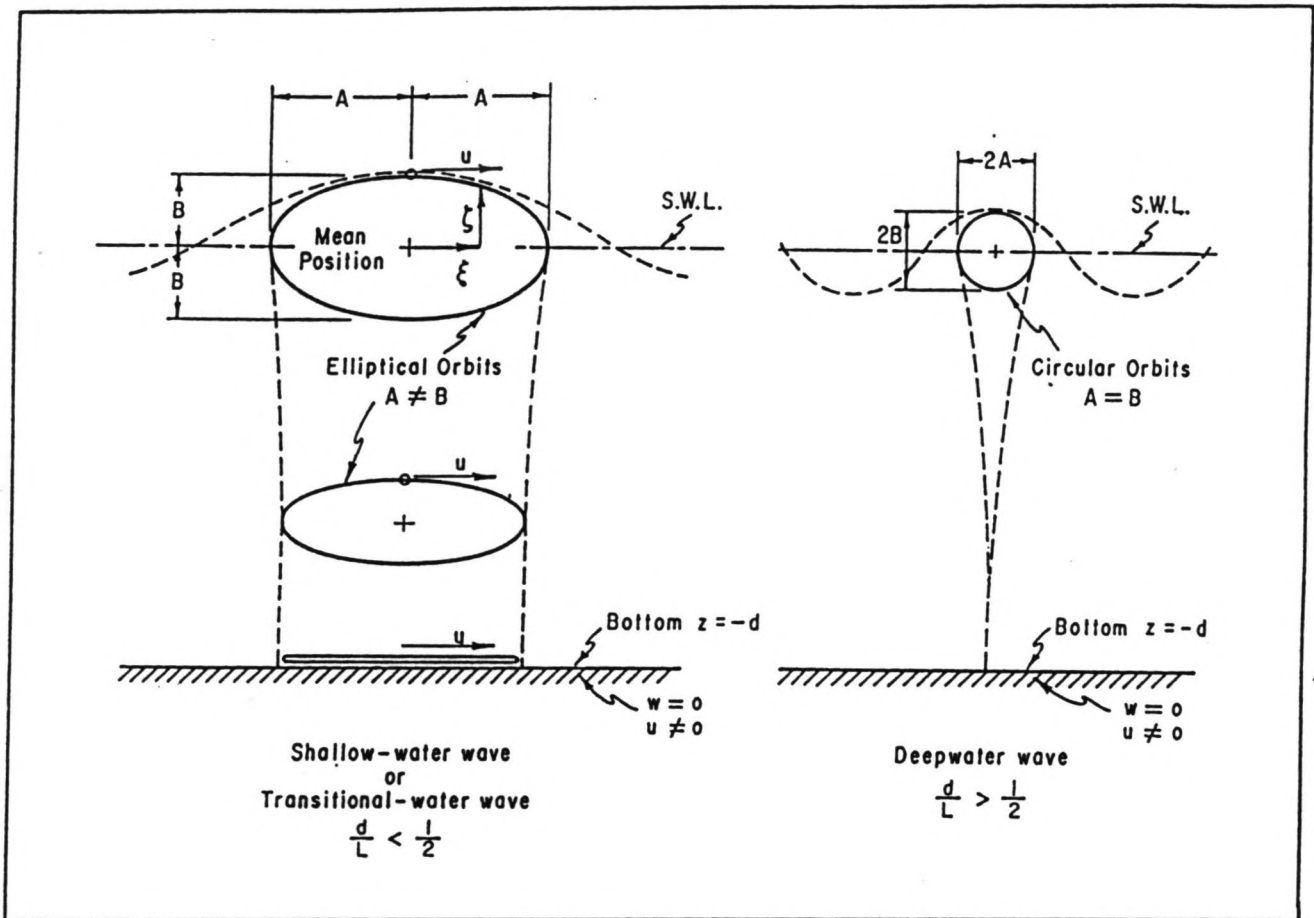


fig.10 Verplaatsing bij diep en ondiep water.

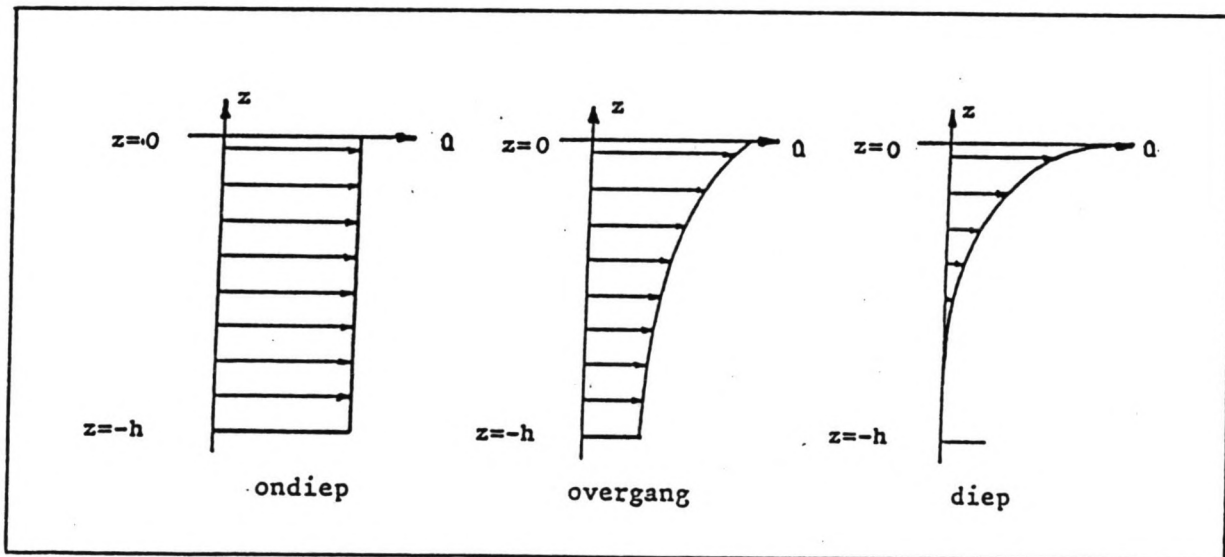


fig.11 Hor. snelheidsprofiel onder een golf.

In de korte golf-theorie wordt onderscheid gemaakt tussen diep- en ondiep wateromstandigheden. Dit onderscheid is daarom zo belangrijk omdat hiermee het criterium wordt aangegeven waarbij de golf de bodem wel of niet 'voelt'. De toetssteen voor diep of ondiep is de verhouding  $d/L$ . Indien  $d/L > 0.5$  dan is er sprake van diep wateromstandigheden. Is  $d/L < 0.5$  dan is er of sprake van ondiep wateromstandigheden of van het overgangsgebied. Loopt een golf in diep water dan zijn de watersnelheden aan de bodem vrijwel nul. De snelheidsverdeling onder de golf is dan sterk gekromd. Loopt een golf echter in ondiep water of in het overgangsgebied, dan zijn de watersnelheden aan de bodem van aanzienlijke grootte en de snelheidsverdeling wordt dan bijna uniform (zie fig.11).

Een soortgelijke verhandeling geldt voor de verplaatsing van de waterdeeltjes onder de golf. In diep water is de beweging bijna cirkelvormig en aan de bodem weer bijna gelijk aan nul, in de overige omstandigheden is de baan van de deeltjes veel sterker ellipsvormig en 'platter' en is de verplaatsing aan de bodem betrekkelijk groot (fig.10).

De golflengte  $L$  is als volgt te beschrijven

$$L = L_0 \cdot \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

waarin

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

Hierin is  $T$  de golfperiode. Het subscript 'o' duidt de diep watersituatie aan. De loopsnelheid  $c$  van de golf is

$$c = c_0 \cdot \tanh kd$$

waarin

$$c_0 = \frac{g \cdot T}{2\pi}$$

De snelheid van de golfgroep is een andere dan die van de golf in de groep. De golf loopt sneller dan de groep. Terwijl dus de

---

golfgroep zich verplaatst lopen door de groep heen voortdurend golven van achteren naar voor en verdwijnen daar.

De groepssnelheid  $c_g$  wordt voorgesteld door

$$c_g = n \cdot c$$

Hierin is  $n$

$$n = 0.5 + \frac{k \cdot d}{\sinh 2kd}$$

Loopt een golf vanuit diep water het overgangsgebied in (bijv. een zee golf die de kust nadert) dan gaat de golf de bodem 'voelen' en veranderen er een aantal karakteristieken:

- de golflengte wordt kleiner
- de golfhoogte neemt, afhankelijk van de plaats op de overgang, toe of af
- de golfsnelheid neemt af

Voor zeer flauwe bodemhellingen (bijv. zandstranden) waarbij de overgang van diep wateromstandigheden naar het overgangsgebied en naar ondiep wateromstandigheden zeer geleidelijk verloopt kan de 'shoalingtheorie' worden toegepast.

Deze shoalingtheorie is gebaseerd op de aanname dat het vermogen per eenheid kamlengte  $F_k$  constant is

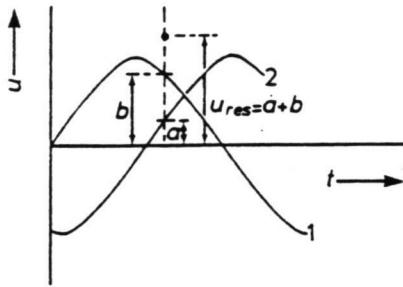
$$F_k = E_g \cdot n \cdot c = \text{constant}$$

Hierin is  $E_g$  de totale gemiddelde golfenergie per oppervlak

$$E_g = \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot g \cdot a^2$$

waarin  $\sigma$  het soortelijk gewicht voorstelt. Met behulp van deze theorie is het mogelijk de uiteindelijke golfkarakteristieken ( $L$ ,  $H$ ,  $c$ ) in het ondiepere water te berekenen.

---



- Bij het samenstellen van 2 harmonische trillingen met dezelfde trillingsrichting en dezelfde frequentie, is de resulterende beweging weer een harmonische trilling met dezelfde frequentie. De amplitude hangt af van het faseverschil van de 2 oorspronkelijke trillingen.

fig.12 Reflectie.

---

### 3.1.2 reflectie en breking

Ontmoet een golf op zijn pad een obstakel dan kan reflectie tegen dat obstakel optreden. In het geval van kaatsing tegen een gladde, verticale wand treedt volledige reflectie op. Het golfpatroon voor het obstakel laat dan punten zien waar de uitwijking maximaal is (buiken) en punten waar de uitwijking nul is (knoten). Dit fenomeen wordt een staande golf genoemd. De maximaal optredende amplitude is het dubbele van die van de ingestraalde golf.

Als de hoek  $\alpha$  ten opzichte van de verticaal echter toeneemt neemt de reflectie af en ontstaat bovendien een faseverschuiving tussen de ingekomen en de gereflecteerde golf. Daalt de hoek  $\alpha$  tot beneden een zekere waarde, die voornamelijk afhangt van  $H/L_0$ , dan verliezen de golven hun stabiliteit en breken zij. Dit veroorzaakt energieverlies, zodat de oploop en de terugkaatsing dan verminderen. Voor voldoende flauwetaluds gaat vrijwel alle inkomende energie verloren. Voor het talud zijn dan lopende golven aanwezig i.p.v. staande. Of een golf al dan niet breekt op een talud wordt bepaald door de grootte van een parameter, gedefinieerd als

$$\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$$

Dit is de parameter van Irribarren (1949). Deze parameter is overigens bepalend voor veel meer verschijnselen verband houdend met het breken van golven op een helling, zoals de vorm van de brekende golf, de terugkaatsing, de oploop en de stabiliteit van een deklaag van bijv. een golfbreker.

Als een golf reflecteert en de gereflecteerde golf heeft dezelfde periode als de ingestraalde golf, dan treedt, afhankelijk van het faseverschil tussen de twee golven, een vergroting of een verkleining van de golfhoogte op. De periode van de samengestelde golf is dezelfde als die van de oorspronkelijke golf (fig.12).

---

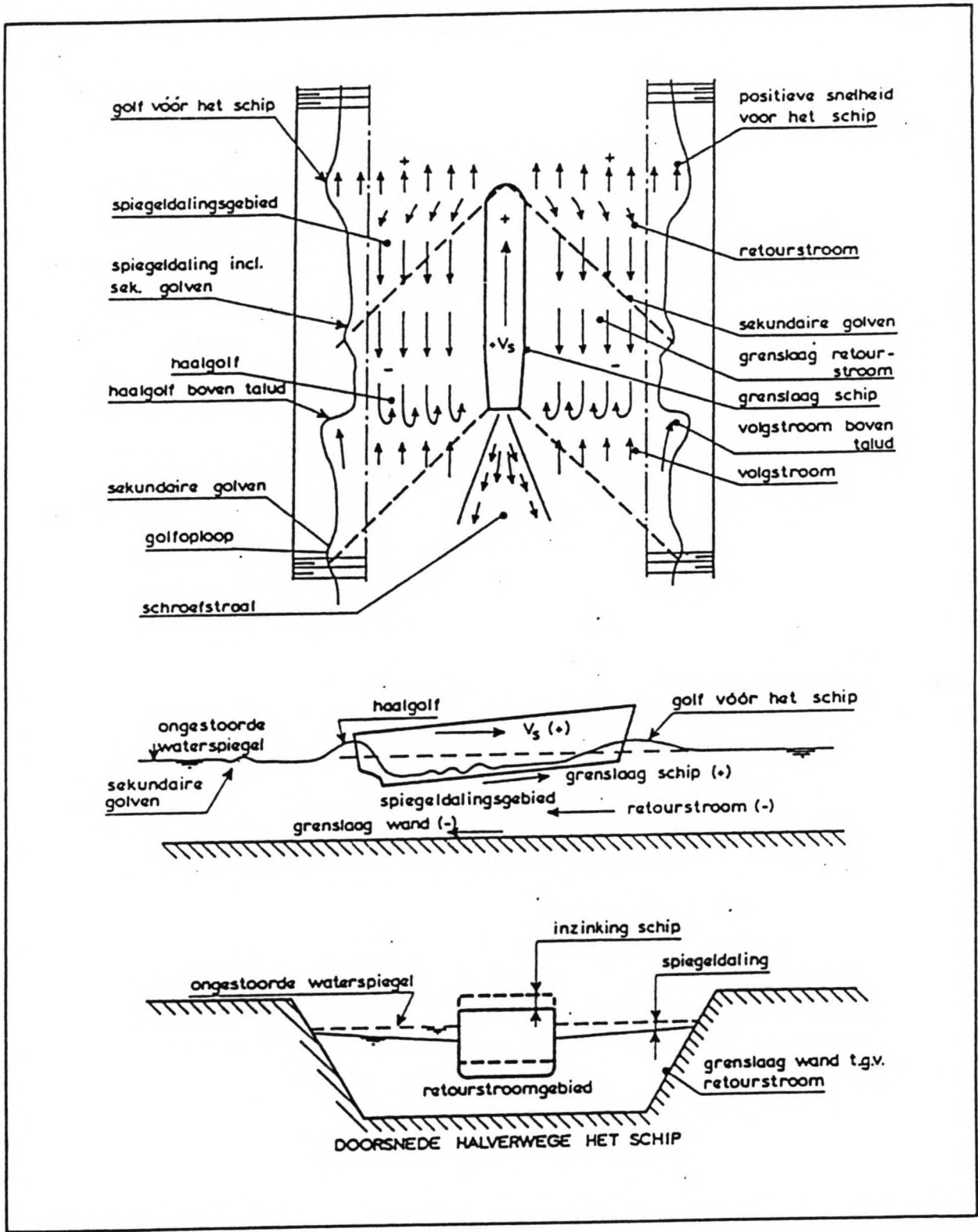


fig.13 Primaire waterbeweging.

---

### 3.1.3 bodemwrijving

Door wrijving langs de bodem wordt golfenergie gedissipeerd. De grootte van deze wrijving wordt sterk bepaald door de grootte van de watersnelheid bij de bodem:  $u_b$ . Over het algemeen is de grenslaag bij de bodem onder golven turbulent. De schuifspanning langs de bodem  $\tau_{bg}$  wordt gegeven door

$$\tau_{bg} = C_f \cdot \sigma \cdot u_b^2$$

Hierin is  $C_f$  een weerstandscoefficiënt. Het tijdsgemiddelde vermogen  $D_b$  dat in de grenslaag gedissipeerd wordt is per oppervlakte-eenheid gelijk aan

$$D_b = \tau_{bg} \cdot u_b$$

Bij toenemende watersnelheid aan de bodem neemt het gedissipeerde vermogen dus met de snelheid tot de derde macht toe!

### 3.2 scheepsgolven

Een varend schip beïnvloedt op verschillende wijzen het water waarin het vaart. Te onderscheiden zijn hierin: de primaire en de secundaire waterbeweging (fig.13). Er zal bij een varend schip een zekere waterverplaatsing optreden, welke groter wordt naarmate de snelheid van het schip toeneemt. Bij de boeg van het schip zal tijdens het varen voortdurend water verdrongen worden, terwijl tegelijkertijd een zelfde hoeveelheid water achter het schip moet worden aangevuld. Hierdoor zal er onder en naast het schip een stroming optreden, welke tegengesteld is aan de vaarrichting van het schip.

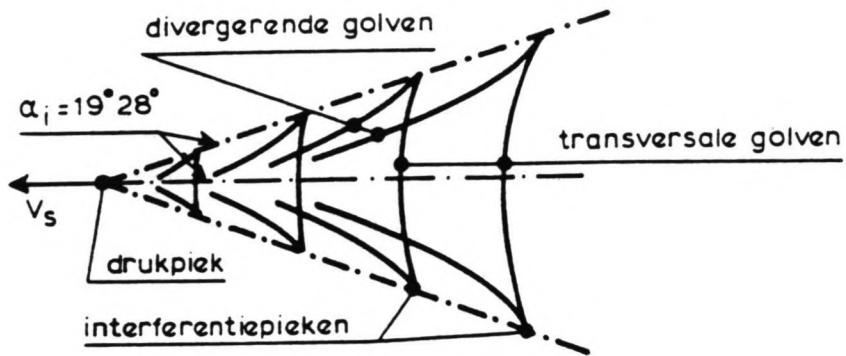
Deze zogenaamde retourstroom gaat gepaard met een daling van de waterspiegel. Deze combinatie van verschijnselen (retourstroom en spiegel daling) wordt de primaire waterbeweging genoemd.

Onder de secundaire waterbeweging wordt het golfsysteem begrepen (fig.14). De secundaire waterbeweging kan op zijn beurt weer worden onderverdeeld in divergerende en transversale golven en interferentiepieken. Vooral de interferentiepieken kunnen een aanzienlijke hoogte bereiken.

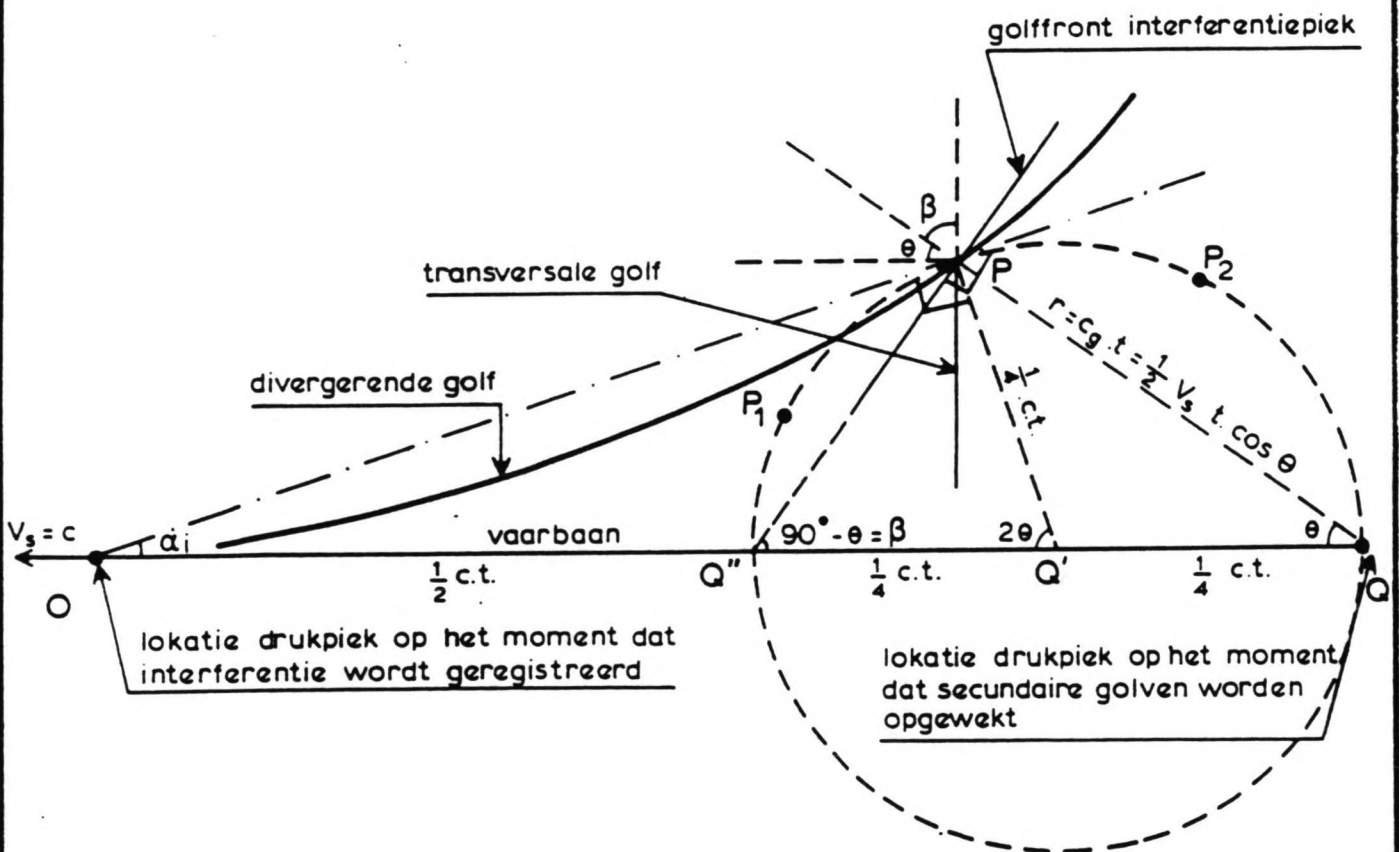
De hoogte van de door het schip geïnduceerde golven wordt in sterke mate bepaald door de scheepssnelheid, maar is ook afhankelijk van de vorm en de hoofdafmetingen van het schip.

---





A KELVIN - GOLFPATROON (schip geschematiseerd als drukpiek)



B DETAIL GOLFPATROON RONDOM INTERFERENTIEPIEK

fig.14 Secundaire waterbeweging.

De secundaire waterbeweging wordt mede bepaald door de grootte van de primaire waterbeweging. Experimenten hebben uitgewezen dat de kleine, snelle schepen veelal verantwoordelijk zijn voor de grootste golfaanval op de oevers van de vaarweg, terwijl de langzame schepen de grootste stroomaanval ten gevolge van retourstroom en spiegeldaling veroorzaken. Daarom kan globaal worden gesteld dat naarmate de retourstroom en de spiegeldaling groter worden, de invloed van de secundaire waterbeweging steeds verder afneemt.

De golflengte van de gegenereerde golf is evenredig met het kwadraat van de scheepssnelheid  $V_s$ . Dit betekent dat vooral de kleine schepen met een relatief groot geïnstalleerd vermogen, en daarmee grote vaarsnelheden, lange golven opwekken [12]. In het W.L.-rapport M 1115 deel VI [11] luiden de formules voor interferentiepieken

$$H_i = d \cdot \alpha_1 \cdot (s/d)^{-1/3} \cdot Fr^4$$

$$T_i = 5.1 \cdot \frac{V_s}{g}$$

$$L_i = 0.67 \cdot 2\pi \cdot \frac{V_s^2}{g}$$

Het subscript 'i' duidt aan dat het hier om interferentiepieken gaat,  $s$  is de afstand van de golf tot het schip.

Dit alles geldt onder de beperking dat  $Fr < 0.8$  ( $F_r$  stelt het Froude-getal voor;  $F_r = u/\sqrt{g \cdot d}$ , dit is het diep water-criterium voor scheepvaart) en voor een onbeperkte breedte van de vaarweg. Zodra de breedte niet 'onbeperkt' meer is, zal het grenscriterium kleiner worden dan 0.8.

De golflengte en de golfhoogte van transversale golven (subscript t) worden voorgesteld door

$$L_t = \frac{2\pi}{g} \cdot V_s^2 \cdot \sec^2 \theta$$

en

$$H_t = \beta \cdot \frac{V_s^2}{g}$$

Hierin is  $\beta$  een waarde die per scheepstype verschillend is [12].

<u>wind</u>	<u>golven</u>	<u>effecten</u>
windsnelheid windrichting windduur		erosie- en sedimentatie- processen in de oeverzone
<u>dimensies v/h waterlichaam</u>	golfhoogte golflengte golfsnelheid	mechanische beschadiging van de vegetatie beïnvloeding van de (ben- thische) macrofauna in de oeverzone (Smit, 1985)
<u>scheepvaart</u>		indirecte effecten van spat- en stuifwater op de oever
vaarsnelheid rompvorm scheepslenkte		

fig.15 Golven en hun effecten op de oever.

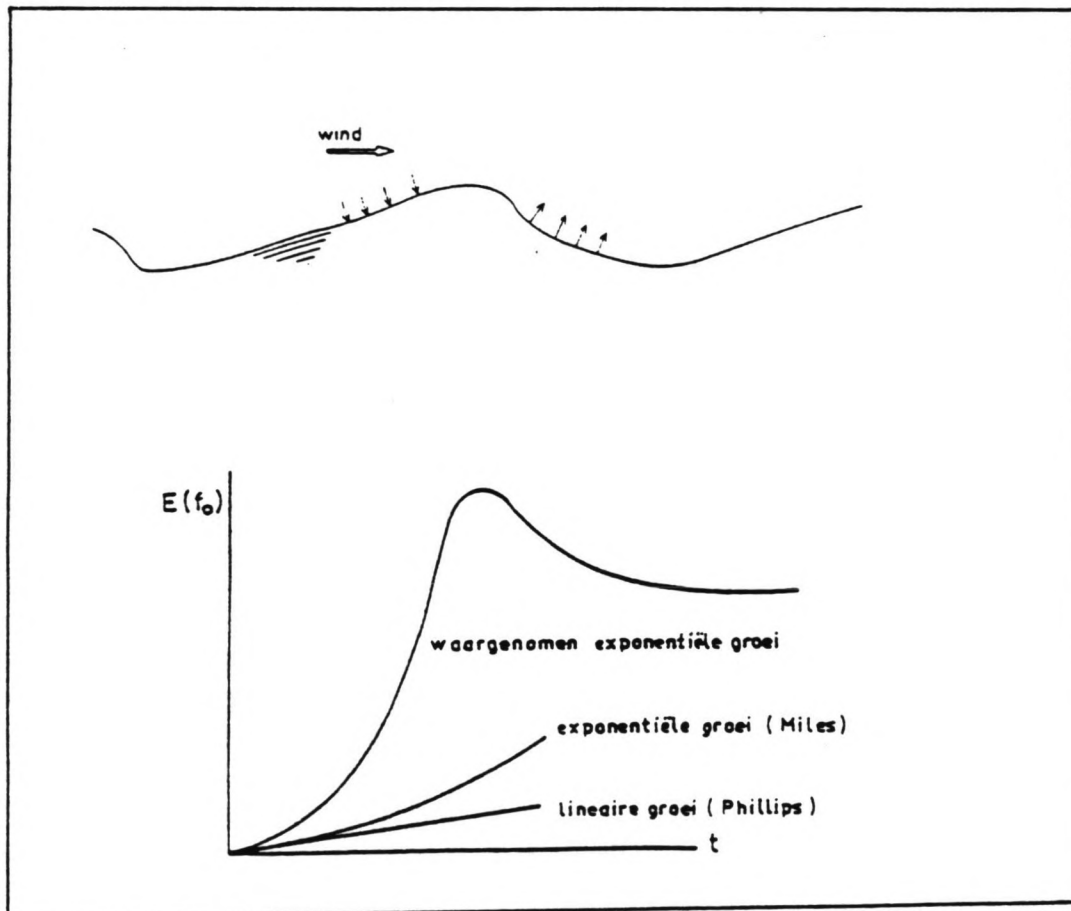


fig.16 Windgolven.

---

### 3.3 windgolven

De werking van de wind op het water bestaat uit twee effecten: het drukeffect en het meesleepeffect (fig.16). Beide effecten veroorzaken een versnelling van de waterdeeltjes onder de golf. Het drukeffect bestaat hieruit dat aan de lijzijde van de golf een onderdruk ontstaat en aan de loefzijde een overdruk. Hierdoor wordt de golfbeweging (orbitaalpad) van de waterdeeltjes gestimuleerd. Door wrijving tussen wind en water worden de golven als het ware meegesleept door de wind. Dit vindt voornamelijk aan de toppen van de golven plaats.

Kenmerkende woorden voor de windgolftheorie zijn: de windbaan (ook wel strijklengte of Fetch genoemd) en de windduur. De strijklengte is de lengte waarover de wind op het water werkt. De windduur is de tijdsduur van die werking.

Als de strijklengte of de duur van de wind toeneemt, neemt de golflengte ook toe, evenals de periode en de golfhoogte. Omdat de golflengte toeneemt, neemt ook de loopsnelheid van de golf toe. Hierdoor wordt het verschil  $[U - c_g]$  (windsnelheid-golfsnelheid=relatieve snelheid) kleiner en daarmee de kracht van de wind op het water. De golf kan dus niet onbeperkt door blijven groeien, ook al niet omdat de windbaan beperkt is.

Niet alleen de lengte van de windbaan maar ook de breedte van het wateroppervlak is belangrijk. Waait de wind in de lengterichting van een smal, recht kanaal dan zijn de golven aanmerkelijk kleiner en korter dan op een vierkant meer met dezelfde windbaan en windsnelheid. Dit vindt zijn oorzaak mede hierin dat door refractie t.g.v. het talud nabij de oever de golven voortdurend wegdraaien van de kanaalas en de oever oplopen. Dit betekent uiteraard een beperking van de golfaangroei.

Groen en Dorrestein geven in 'Zeegolven' als oorzaak dat de energie wordt opgebouwd uit componenten die lopen in een waaier van hoeken aan weerszijden van de richting waarin de wind waait, zodat men dus eigenlijk moet rekenen met een windbaanlengte die een gemiddelde is over een zekere richtingssector. Uit empirische gegevens is gebleken dat men ruwweg de beperkte breedte van een windveld kan corrigeren door de windbaan, gemeten langs de windrichting, te vermenigvuldigen met een factor die afneemt naarmate de breedte-lengte-verhouding van het windveld kleiner is. Bij een breedte-lengte-verhouding van resp. 0,1-0,25-0,5-0,75-1,0 zou de windbaanlengte moeten worden vermenigvuldigd met resp. 0,26-0,46-0,67-0,82-0,90 [19].

---

---

De maximale golfhoogte van de berekende windgolven is bepaald met [10]

$$H = 0.283 \cdot \frac{U^2}{g} \cdot \tanh\left[0.53 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.75}\right] \cdot \tanh\left[\frac{0.0125 \left(\frac{gF_w}{U^2}\right)^{0.42}}{\tanh\left[0.53 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.75}\right]}\right]$$

en de periode van de berekende windgolven met

$$T = 2.4\pi \cdot \frac{U}{g} \cdot \tanh\left[0.833 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.375}\right] \cdot \tanh\left[\frac{0.077 \left(\frac{gF_w}{U^2}\right)^{0.25}}{\tanh\left[0.833 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.375}\right]}\right]$$

hierin is  $U$  de windsnelheid en  $F_w$  de 'fetch' van de wind.

---

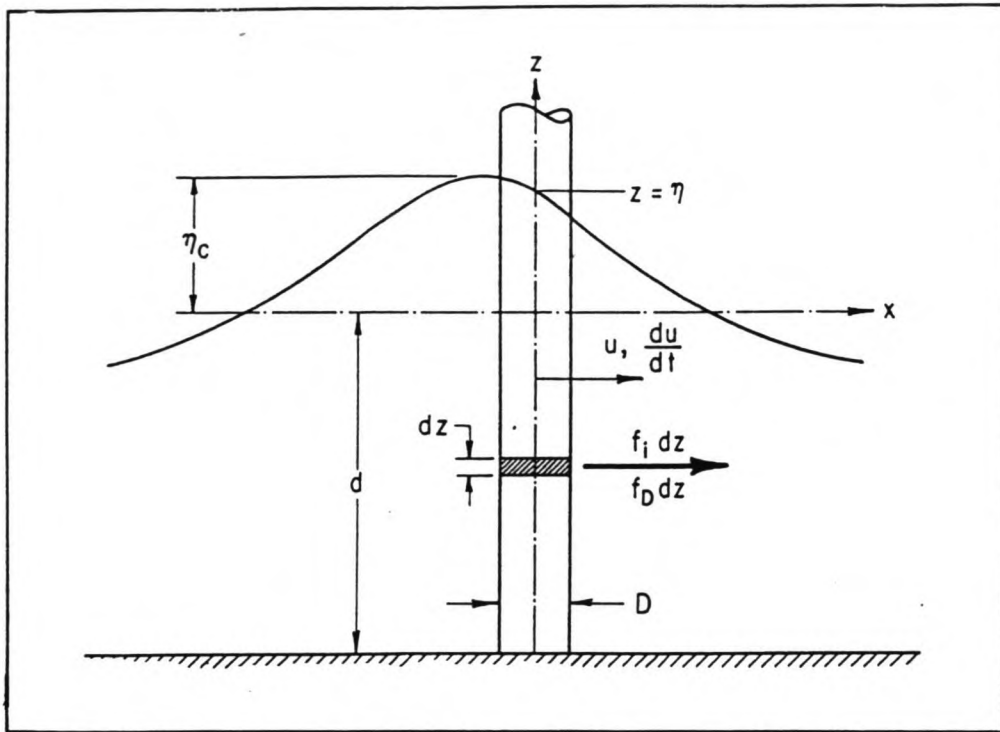
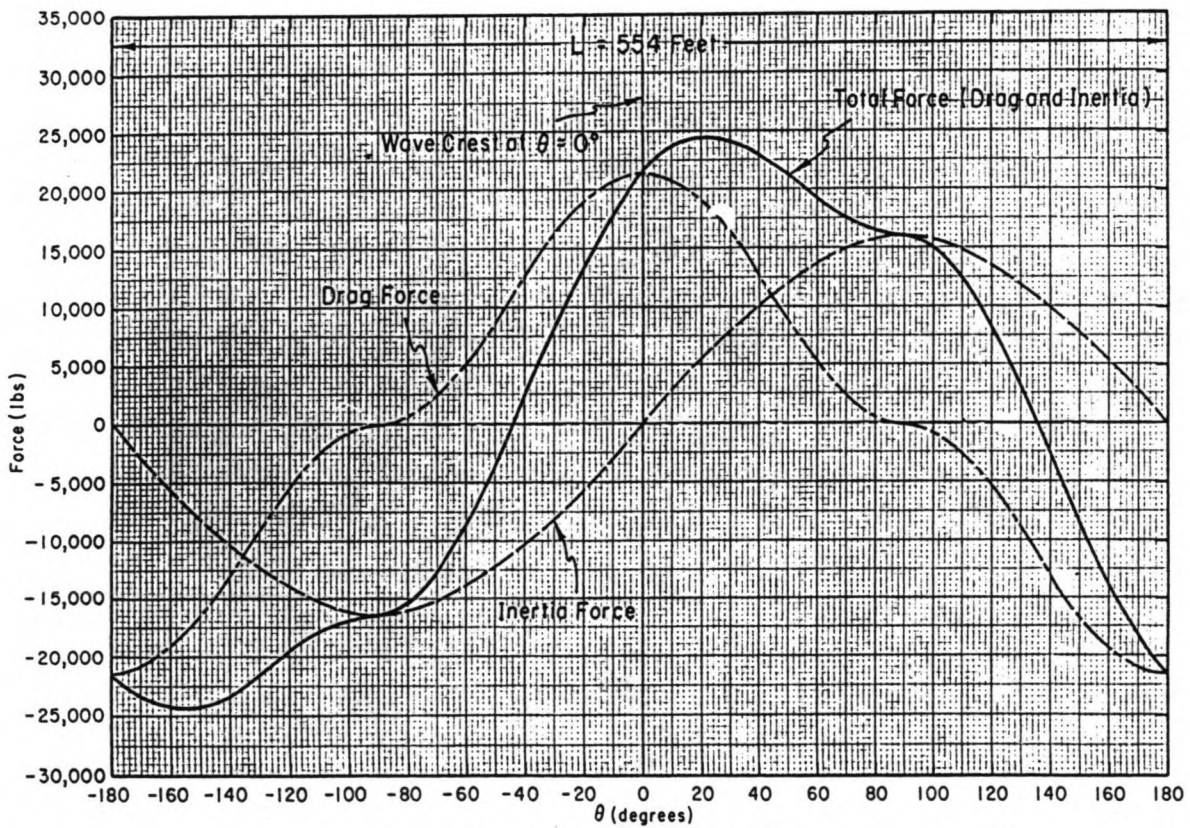


fig.17 Definities golfkrachten volgens Morison.



Example Variation of Drag, Inertia and Total Wave Forces with Phase Angle,  $\theta$ , for a Circular Pile

fig.18 Tijdsvariatie van de golfkracht volgens Morison.



### 3.4 golfkrachten op palen

Voor het bepalen van golfkrachten op verticale palen wordt gewoonlijk de formule van Morison gebruikt [20]. Morison et al (1950) drukten de kracht per lengte-eenheid langs de paal  $f$  als volgt uit (zie ook fig.17)

$$f = f_i + f_d = \frac{1}{2}C_m \cdot \sigma \cdot \pi \cdot D^2 \cdot du/dt + \frac{1}{2}C_d \cdot \sigma \cdot D \cdot u \cdot |u|$$

waarin  $f_i$  de traagheidskracht voorstelt en  $f_d$  de 'drag'-kracht.  $D$  is de diameter van de paal en  $C_d$  en  $C_m$  zijn coëfficiënten. Deze formule is geldig indien  $D/L_a < 0.05$  (MacCamy en Fuchs, 1954), waarin  $D$ =diameter van de pijler en  $L_a$ =de Airy benadering van de golflengte. De theory van Morison is feitelijk alleen geldig voor een alleenstaande pijler, omdat de invloed van andere, in de nabije omgeving opgestelde palen, niet in de berekening wordt meegenomen.

Door het invullen van de formules voor de watersnelheden onder de golf volgt de uiteindelijke krachtsverdeling langs de paal. De formule van Morison beschrijft twee krachtcomponenten die op de paal werken: een traagheidskracht  $f_i$  en een 'drag'-kracht  $f_d$ . De traagheidskracht is alleen van belang in versnellend of vertragend water, dus ook in het geval van golven.

De 'drag'-kracht is evenredig met het kwadraat van de watersnelheid. Door loslating van de stroming achter de paal treedt wervelvorming en daarmee onderdruk op, terwijl aan de voorkant van de paal juist een overdruk ontstaat door het 'botsen' van de waterdeeltjes tegen de pijler. Op dit stuwpunt ontstaat een drukverhoging (bij starre pijlers)  $\Delta p = \frac{1}{2}\sigma \cdot u^2$ .

Uit fig.18 valt af te leiden dat de traagheidskracht maximaal is op  $T/4$  voor de passage van de golftop, terwijl de drag-force juist tijdens de passage van top maximaal is. Naarmate men verder langs de paal naar beneden gaat, neemt de snelheid onder de golf af, en daarmee neemt de totale kracht op de paal af. Echter, de drag-kracht neemt het sterkst af omdat bij deze component de snelheid kwadratisch in de formule voorkomt.

Door integratie langs de paal (van 0 tot 1) is de totale kracht  $F_t$  op de paal te berekenen

$$F = \int_0^1 f_i \cdot dz + \int_0^1 f_d \cdot dz = F_t$$

en het buigend moment  $M_t$

$$M_t = \int_0^1 (z+d) f_i \cdot dz + \int_0^1 (z+d) f_d \cdot dz = M_i + M_d$$

Substitutie van de formules van  $u$  en  $du/dt$  in Morison geeft

$$f_i = \frac{1}{2} \cdot C_m \cdot \sigma \cdot \pi \cdot D^2 \cdot W^2 \cdot a \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cdot \cos(Wt-kx)$$

$$f_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \sigma \cdot D \cdot \left[ W \cdot a \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \right]^2 \cdot \sin(Wt-kx) \cdot |\sin(Wt-kx)|$$



## 4 Voorbereiding proeven

### 4.1 beschouwing over parameters die de interactie beïnvloeden

De parameters die de interactie riet-water beïnvloeden zijn in te delen in twee groepen:

#### Parameters interactie riet-water:

##### Riet:

- diameter van de rietstengel
- lengte van de rietstengel
- vorm en ruwheid van de rietstengel
- massa van de rietstengel
- elasticiteitsmodulus van de stengel
- brosheid van de stengel
- 'diepte' van de rietkraag (d.w.z. de lengte van de kraag in de voorplantingsrichting van de golven gemeten)
- inplantingsdichtheid van de stengels in de kraag (aantal stengels per  $m^2$ )
- wortelmassa van de rietplant
- bebladering van de plant
- ruwheid bodem van rietkraag (tussen de stengels)

##### Water:

- viscositeit
- waterdiepte
- golflengte (periode van de golf)
- golfhoogte
- ratio waterdiepte-golflengte ( $d/L$ )

De combinatie van golflengte en -hoogte geeft de golfsteilheid ( $H/L$ ). De verhouding waterdiepte-golflengte is zeer belangrijk als criterium voor de bepaling van ondiep- of diep-water omstandigheden (zie hfdst.3).

---

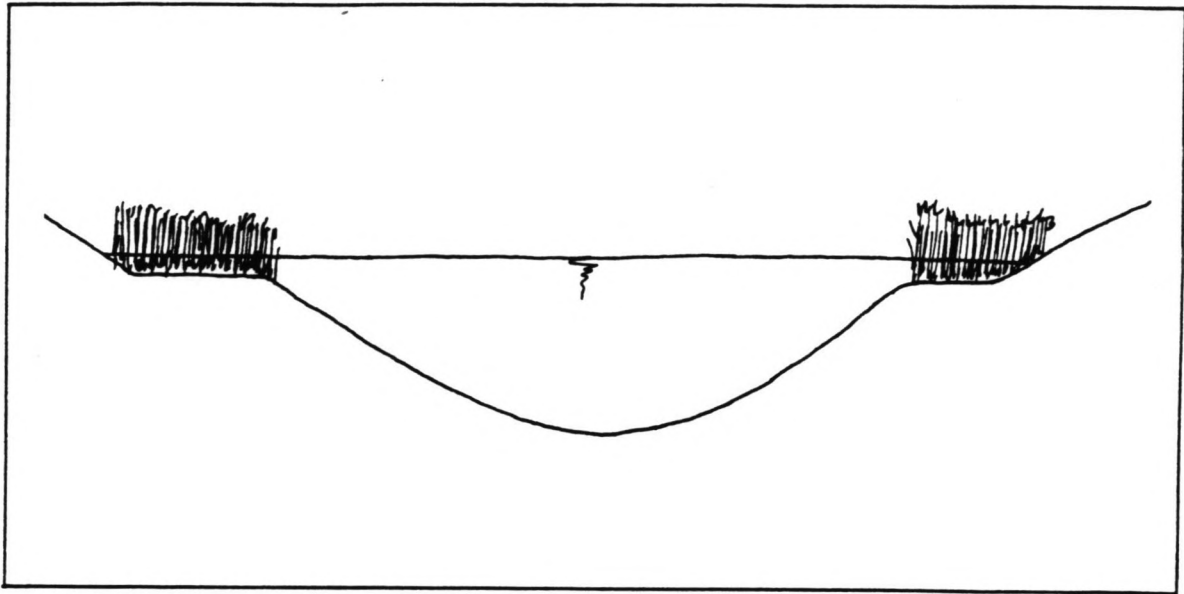


fig.19 Algemeen vaarwegprofiel.

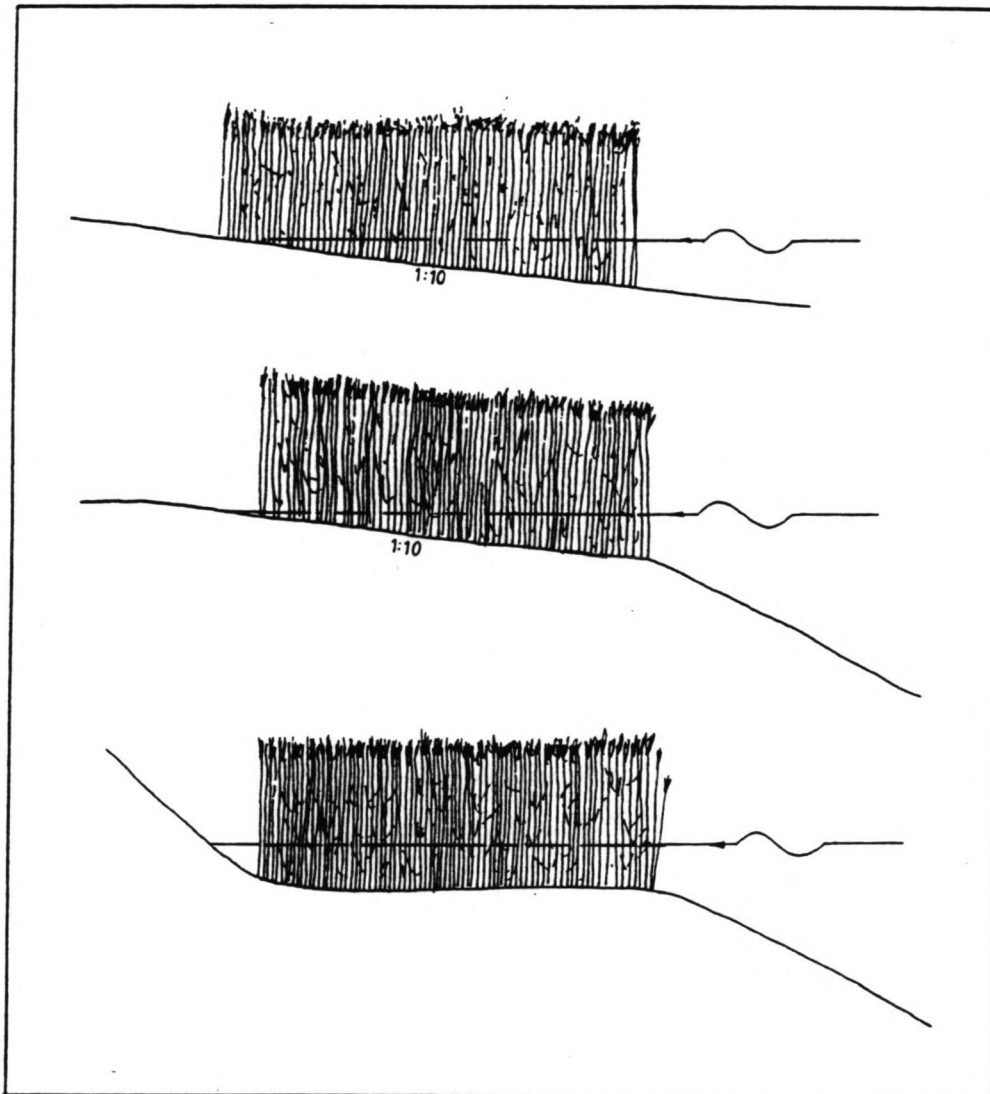


fig.20 Varianten rietoevers.

---

Een aantal van deze parameters moeten als 'gegeven' worden beschouwd, zodat als variabelen resteren:

Variabelen interactie riet-water:

Riet:

- lengte van de stengel (d.m.v. afknippen van de stengel)

Feitelijk is de diepte van de rietkraag niet te veranderen; echter, door een golfhoogtemeter op verschillende locaties in de rietkraag te plaatsen, is het toch mogelijk het lengte-effect van de kraag enigszins te onderzoeken.

Water:

- waterdiepte
- golflengte
- golfhoogte

De kinematische viscositeit van het water is temperatuurafhankelijk. Omdat gedurende de proeven de temperatuur in het laboratorium en daarmee van het water vrijwel constant zijn gebleven is de invloed van een eventueel veranderende viscositeit als verwaarloosbaar geacht. Bij de turbulente stroming in de kraag speelt de 'eddy-viscosity' mogelijk wel een rol.

4.2 inventarisatie onder welke omstandigheden riet voorkomt

Naast het riet en de waterbeweging speelt ook de ruimtelijke situering van de rietkraag een rol. De prototypeomstandigheden voor een kanaal/rivier zijn over het algemeen als volgt:

Een vaargeul met een diepte van 2.5-6 m. Via een talud van 1:3.5 gaat de geul over in een plasberm die 0-80 cm onder water ligt. Na de plasberm volgt weer een talud in de overgang naar bijv. het dijklichaam (zie fig.19). Onderzoek naar de wijze van voorkomen van met rietkragen te verdedigen oevers, alsmede aanbevelingen hiervoor, resulteerde in drie varianten [8]: (zie fig.20)

- monotoon stijgende oever onder een helling van 1:10
- oever met horizontale plasberm op 0-80 cm onder waterspiegel
- oever met hellende plasberm op 0-80 cm onder waterspiegel

Als uitgangspunt wordt gekozen voor een gemiddelde waterstand boven een plasberm van ongeveer 50 cm. De uiterste punt van een plasberm wordt nog al eens met een dam van stortsteen tegen erosie verdedigd. Deze erosie is een gevolg van de hevige dwarsstroming veroorzaakt door de spiegel daling van een passerend schip.

---

---

### 4.3 inventarisatie eerder gedane onderzoeken en aanbevelingen

In de eerder uitgevoerde onderzoeken naar/publicaties over rietkragen is een aantal aanbevelingen voor nader onderzoek gevonden:

- Onderzoek naar het gedrag van wind- en scheepsgolven boven ondiepe vooroevers met een bepaald talud (waterdiepte afnemend van 100 naar 0 cm) en hun eroderende invloed op de oever nabij de waterlijn en op de vooroever [13].
- Onderzoek naar de golfhoogten in relatie tot stroomsnelheden nabij de taludbodem van begroeide oevers in vergelijking met onbegroeid gedeelte. Het meten van de hoeveelheid geërodeerd materiaal [3].
- Onderzoek naar de waterbeweging in de rietkraag bij verschillende taluds. Ook onderzoek doen naar afgesneden riet [10].

### 4.4 berekening voorkomende golven

#### 4.4.1 scheepsgolven

Voor de bepaling van de mogelijk optredende scheepsgolven is gebruik gemaakt van het rapport 'sekundaire scheepsgolven en hun effect op de stabiliteit van taludbekledingen'[11]. Dit is het verslag van een onderzoek dat het Waterloopkundig Laboratorium heeft uitgevoerd. Verder is ook met dankbaarheid kennisgenomen van de inhoud van dictaat F 12: 'Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen' [12].

In het genoemde rapport van het WL worden een aantal interessante conclusies van het onderzoek genoemd:

- De golfhoogte van interferentiepieken kan worden berekend als functie van scheepssnelheid, waterdiepte, scheepsdiepgang, gebogen lengte van de boeg en afstand tot de vaarbaan.
  - De golflengte van interferentiepieken en transversale golven blijkt uitsluitend een functie van de scheepssnelheid te zijn.
  - Transversale golven zullen in het algemeen niet maatgevend zijn voor de stabiliteit van oeverbeschermingen. Ofwel de interferentiepieken ofwel de haalgolf zullen bepalend zijn.
  - Ten opzichte van bepaalde relaties kunnen afwijkingen voorkomen van circa 20% en 50% voor resp. de hoogte van de interferentiepieken en transversale golven.
-

kl.	type	lengte (m)	breedte (m)	diep- gang (m)	hoogte ledig (m)	laadver- mogen (ton)
0	kleinere vaartuigen		variërend			< 300
I	Spits (Peniche)	38,50	5,00	2,20	3,55	300
II	Kempenaar	50,00	6,60	2,50	4,20	600
III	Dortmund-Eemskanaalschip	67,00	8,20	2,50	3,95	1000
IV	Rijn-Hernekanaalschip	80,00	9,50	2,50	4,40	1350
V	Groot Rijschip	95,00	11,50	2,70	6,70	2000
VI	Duwvaart	185,00	22,80			

fig.21 Klasse-indeling binnenvaartschepen.

profiel	0,9.V <sub>gr</sub> km/h	norm	trapezium	gebroken	bak
Normaal	9 à 10	$h_o/d_m$	1,4	1,4	1,4
		$B_d/b$	4,1 à 4,4	ca. 4,0	ca. 4,0
		k	7	6,3 à 6,5	5,5 à 5,6
Krap	7 à 8	$h_o/d_m$	1,3	1,3	1,3
		$B_d/b$	3,0 à 3,2	ca. 3,0	ca. 3,0
		k	5	4,6 à 4,9	3,9 à 4,0
Enkel- strooks	5,5 à 6	$h_o/d_m$	1,3	1,3	1,3
		$B_d/b$	ca. 2,0	ca. 2,0	ca. 2,0
		k	3,5	3,3 à 3,7	2,6 à 2,7
retourstroom		U (m/s)	0,8 à 1,0	0,9 à 1,2	1,0 à 1,4
spiegeldaling		Z (m/s)	0,2 à 0,3	0,25 à 0,35	0,3 à 0,4

fig.22 Normen voor het vaarwegdwarsprofiel.

---

Voor het uitgevoerde onderzoek heeft het WL gebruik gemaakt van modellen van verschillende scheepstypen, variërend van een klein onderzoeksvaartuig tot een duw-combinatie. Het toepassen van rietkragen als oeververdediging zal vooral plaatshebben langs kanalen en rivieren waarop zich de kleinere scheepvaart beweegt (binnenscheepvaart-klasse 0, I en II, d.w.z. schepen tot 650 ton). Schepen die hier frequent worden aangetroffen zijn de Kempenaar en allerlei plezierboten en patrouillevaartuigen (RWS en Politie).

Daarom is bij de berekening van de optredende golven vooral gebruik gemaakt van de resultaten die betrekking hebben op kleinere binnenvaartschepen en de pleziervaart. In het WL-rapport heten die modellen: de Adriaan (Rijn-Herne kanaalschip) en de Rixt (onderzoeksvaartuig). Hoewel het Rijn-Herne kanaalschip in feite groter is dan het gemiddelde schip dat in een klasse II kanaal vaart, is dit schip toch gekozen omdat dat het enige onderzochte schip is dat de klasse Binnenvaart representeert. Om te onderzoeken in hoeverre de 'Rixt' representatief voor de klasse pleziervaart/patrouillevaart is, werden de uitkomsten van de proeven in het Waardkanaal (1986) vergeleken met de resultaten van het WL-rapport. De overeenkomst bleek redelijk goed te zijn (zie bijlage 1).

De volgende scenario's zijn dan denkbaar:

- Kempenaar, varend in midden van normaal profiel
- Kempenaar, inhaalmanoeuvre in normaal profiel
- Kempenaar, varend uit het midden in normaal profiel
- Kempenaar, varend in midden van krap profiel
- Kempenaar, inhaalmanoeuvre in krap profiel
- Kempenaar, varend in midden van éénstrooksprofiel
- Patr.boot, varend op ruime afstand van kraag in normaal profiel
- Patr.boot, varend vlak langs kraag in normaal profiel
- Patr.boot, varend op ondieper water

Voor de berekening van de vaarsnelheden is gebruik gemaakt van de vaarregelementen en de normen voor vaarwegen, behelzende:

- Bij krap profiel is voorzichtig passeren van schepen mogelijk door snelheidsreductie met 50-70%. Bij passeren in normaal profiel is een snelheidsvermindering van 30% voldoende.
- De maximum vaarsnelheid in het trapeziumvormig profiel wordt gedefinieerd als  $0.9 \cdot V_{gr}$  ( $V_{gr}$  = grenssnelheid volgens Schijf).
- De normen voor het vaarwegdwarsprofiel (zie fig.22).

Deze berekeningen (bijlage 1) leverden golflengten variërend tussen  $L=0.5$  m en  $L=7$  m en golfhoogten tussen  $H=0.03$  en  $0.50$  m; de steilheid varieerde diensgevolge tussen  $H/L=0.01$  en  $H/L=0.08$ .

---



---

	L (m)	T (s)	H (m)
1	0.46	0.53	0.004
2	1.22	0.88	0.025
3	1.29	0.90	0.025
4	1.86	1.08	0.043
5	2.63	1.29	0.096
6	2.63	1.29	0.072
7	3.79	1.54	0.144
8	3.79	1.54	0.18
9	3.79	1.54	0.22
10	5.16	1.80	0.25
11	5.16	1.80	0.32
12	5.16	1.80	0.41
13	6.74	2.06	0.46
14	6.74	2.06	0.56

tab.1 berekende scheepsgolven.

#### 4.4.2 windgolven

Omdat niet een specifieke locatie onderzocht werd (waar de strijklengte  $F$  vastligt), zijn de gedane keuzen met betrekking tot de strijklengte  $F$  tamelijk arbitrair. Uiteraard zijn de windgolven opgewekt door winden uit windrichtingen loodrecht op de kanaalas zeer ondergeschikt. De strijklengte is in zulke situaties niet groter dan 30-100 m. Er ontwikkelt zich dan geen golf van betekenis. Bij meren en plassen daarentegen zijn grote strijklengten mogelijk en dientengevolge ook hoge en lange golven. Hetzelfde geldt in mindere mate voor situaties waarin de

---

wind evenwijdig aan de kanaalas waait. Door de reeds eerder genoemde effecten (zie hfdst.3) blijft de golfhoogte dan echter beperkt. Toch kunnen zich, indien het kanaal lange, rechte stukken kent (bijv.  $F=2000$  m), ook daar aanzienlijke golven ontwikkelen. Voor de afchatting van de orde van grootte van mogelijke windgolven zijn 6 situaties onderzocht

	F (m)	u (m/s)	d(m)
1	2000	12	3.5
2	2000	20	3.5
3	1000	20	3.5
4	1000	12	3.5
5	2000	12	7.0
6	500	12	3.5

tab.2 verschillende windcondities.

Berekening van de windgolven onder die randvoorwaarden geeft de volgende golven

	L (m)	T (s)	H (m)
1	4.18	1.62	0.22
2	6.75	2.06	0.39
3	4.99	1.77	0.30
4	3.03	1.38	0.17
5	4.30	1.65	0.23
6	2.19	1.17	0.13

tab.3 berekende windgolven.



Hierbij moet worden vermeldt dat bij de berekening van deze golven een reductie ten gevolge van het 'kanaaleffect' is toegepast (zie hfdst.3-windgolven) door vermenigvuldiging van de strijklengte met een factor  $\beta=0.26$ .

#### 4.5 keuze golven

In de prototype-situatie lopen de, op diep water opgewekte, golven in de richting van de oever en worden, als zij de bodem gaan voelen, korter. In geval van een flauw hellende bodem is deze overgang goed te berekenen met de shoalingtheorie (zie hfdst 3.1). Taluds langs waterwegen zijn echter meestal niet zo flauw. Hellingen van 1:3-1:5 zijn meer gebruikelijk. De vraag, in hoeverre de golven dan de gelegenheid krijgen om zich aan te passen aan de ondiep wateromstandigheden ( $d \approx 0.5$  m) die boven de plasberm heersen, blijft dan onbeantwoord.

Om echter een ingang te hebben in deze materie is besloten om toch alle golven naar de ondiep watersituatie om te rekenen via de shoalingtheorie. De aanname wordt dan gedaan dat de golven op het relatief steile talud toch voldoende gelegenheid krijgen om zich aan te passen.

Worden de berekende scheeps- en windgolven omgerekend naar de situatie met een waterdiepte  $d=0.5$  m dan volgt voor de windgolven

	L (m)	T (s)	H (m)
1	3.16	1.62	0.20
2	4.27	2.06	0.37
3	3.55	1.77	0.28
4	2.55	1.38	0.16
5	3.16	1.65	0.21
6	2.00	1.17	0.12

tab.4 windgolven op ondiep water.

---

De omgerekende scheepsgolven zijn

	L(m)	T(s)	H(m)
1	0.46	0.53	0.004
2	1.20	0.88	0.024
3	1.27	0.90	0.024
4	1.76	1.08	0.04
5	2.31	1.29	0.088
6	2.31	1.29	0.066
7	2.96	1.54	0.132
8	2.96	1.54	0.165
9	2.96	1.54	0.202
10	3.59	1.80	0.23
11	3.59	1.80	0.30
12	3.59	1.80	0.384
13	4.26	2.06	0.44
14	4.26	2.06	0.54

tab.5 scheepsgolven op ondiep water.

Omdat de mogelijkheden van het gebruikte golfschot beperkt waren werd uiteindelijk gekozen voor een meetserie waarbij de golflengte varieerde tussen  $L=0.5$  m en  $L=3.5$  m met tussenstappen van 0.5 m. De steilheid varieerde tussen 0.02 en 0.08.

---

---

#### 4.6 keuze opstellingen

In ogenschouw nemend het feit dat een aantal parameters (stengeldiameter e.d.) niet te verscalen zijn, was de meest voor de hand liggende conclusie dat de prototype-omstandigheden met een verhouding van 1:1 moesten worden nagebootst.

Omdat de toe te laten waterdiepte in de experimenteergoot beperkt was (max. 0.6 m) kon hiermee niet voor alle golven de werkelijke overgang vanuit een vaarweg (diep water) naar een rietkraag (ondiep water) worden gesimuleerd. Daarom werd allereerst een proevenserie met een vlakke waterbodem uitgevoerd om te onderzoeken in hoeverre de demping afhankelijk was van de golflengte en de steilheid. Voor deze opstelling zou de complete serie golven worden uitgevoerd. Voor de serie met de vlakke bodem was de waterstand  $d=0.50$  m. Echter, omdat ook de waterstand invloed heeft op de mate van demping, werd eveneens een beperkte meetserie voor een lagere (0.35 m) en een hogere (0.6 m) waterdiepte uitgevoerd.

Om de overgang van een golf van diep naar ondiep water toch natuurgetrouw na te kunnen bootsen, werd het volgende overwogen: Het golfcriterium voor diep water luidt:  $d/L > 0.5$ . Dit betekent dat, gegeven een waterdiepte van 50 cm, golven met een lengte kleiner of gelijk aan 1 m de daar heersende omstandigheden als diep zullen 'ervaren' en dus het oplopen tegen een onderwatertalud conform de werkelijkheid zullen uitvoeren. Op deze wijze is toch inzicht te verkrijgen in het gedrag van een golf die een onderwatertalud passeert en vervolgens een rietkraag inloopt. Daarom werd besloten tot het uitvoeren van een aantal proeven met relatief korte golven ( $L=1.0$  m en  $L=1.5$  m) op diep-wateromstandigheden. M.b.v. een betonnen talud en een stenen plasberm werd een kanaalsituatie nagebouwd.

Alle golfproeven werden uitgevoerd met golftreinen. Het aantal golven in een trein varieerde tussen 20 (voor de lange golven) en 60 (voor de korte golven).

Proeven met een hellende rietkraag waren niet te realiseren omdat de gebruikte rietkraag uit een vrijwel vlakke oever was genomen.

Naast de proeven om de golfdempende capaciteiten van riet te onderzoeken was het wenselijk om eveneens een aantal experimenten te nemen met betrekking tot de stroming door riet. Deze proeven bestonden enerzijds uit stroomproeven met verschillende stroomsnelheden en anderzijds uit experimenten waarbij d.m.v. een negatieve translatiegolf een plotselinge spiegelddaling werd gesimuleerd.

---

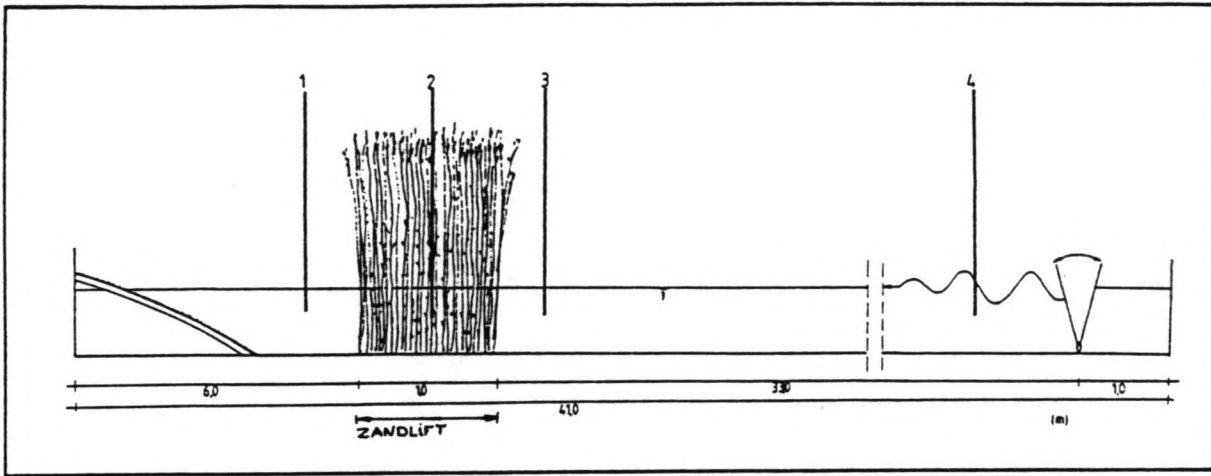


fig.23 Algemene opstelling.

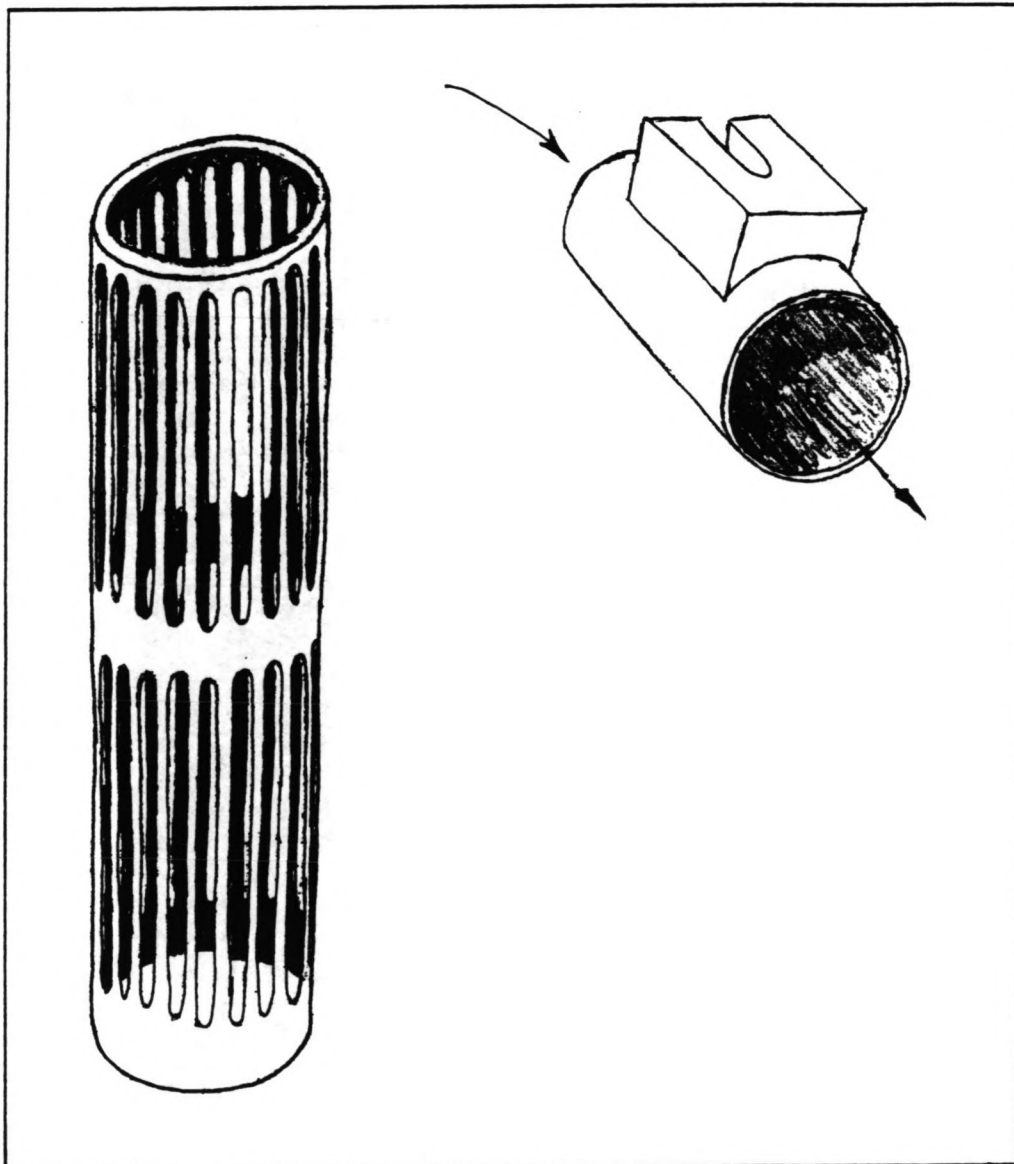


fig.24 Beschermende constructies voor meetapparatuur.

## 5 Uitvoering proeven

### 5.1 overzicht uitgevoerde proeven en meetopstellingen

Na het verrichte vooronderzoek werden verschillende configuraties samengesteld om de proeven daadwerkelijk uit te kunnen voeren. Er is gebruik gemaakt van een 38 m lange sedimentgoot met gladde, glazen wanden. De breedte van de goot was 78 cm, de hoogte 90 cm. Aan het einde van de goot, op  $x=34$  m, bevond zich een zandlift (zie fig.23; 1..4 zijn de meetlocaties). In deze zandlift werd de bak met riet geplaatst. Door middel van de zandlift was het mogelijk de rietkraag op elke gewenste hoogte in de goot te positioneren. Dit was belangrijk bij de proeven waar een plasberm was nagebouwd. De afmetingen van de bak waren: 100x70x50 cm.

Omdat de rietbak smaller was dan de goot resteerde er aan weerszijden van de bak nog een spleet van ongeveer 4 cm. Het effect hiervan op de metingen werd verwaarloosbaar geacht. De ruimte in de zandlift die 'over' was (in de lengterichting van de goot) werd afgedekt met een stalen plaat om op die wijze een gladde, doorlopende bodem te verkrijgen.

Om de golfhoogtemeter (GHM) en de twee snelheidsmeters (SHM) in de rietkraag te kunnen plaatsen werden er aan weerszijden van de zandlift twee stalen balken dwars over de goot bevestigd. Dwars over deze balken, in de lengterichting van de goot, werd een houten balk bevestigd met daarop bevestigingsmogelijkheden voor de meetapparatuur.

Omdat bij eerdere proeven met riet gebleken was dat de bladeren van de rietplanten zich rond de hoogtemeters konden vlijen, werd een beschermende korfconstructie ontworpen. Deze korven bestonden uit PVC-pijpen met een diameter van 5 cm, waarin in de lengterichting lange sleuven werden gefreesd (zie fig.24). IJkmetingen van de GHM met en zonder korf toonde aan dat het effect van de korf op de registratie van de GHM niet meetbaar was.

Evenzo werden ook speciale kokertjes voor de SHMs ontwikkeld. Ook hier liet vergelijking geen meetbare afwijking zien. De meetapparatuur was via een analoog-digitaalconverter aangesloten op een computer, die de meetsignalen op diskette bracht. Na de meetsessies werd de informatie van de diskettes op een centraal systeem overgezet, waarna de eigenlijke verwerking van de data plaatsvond.

---

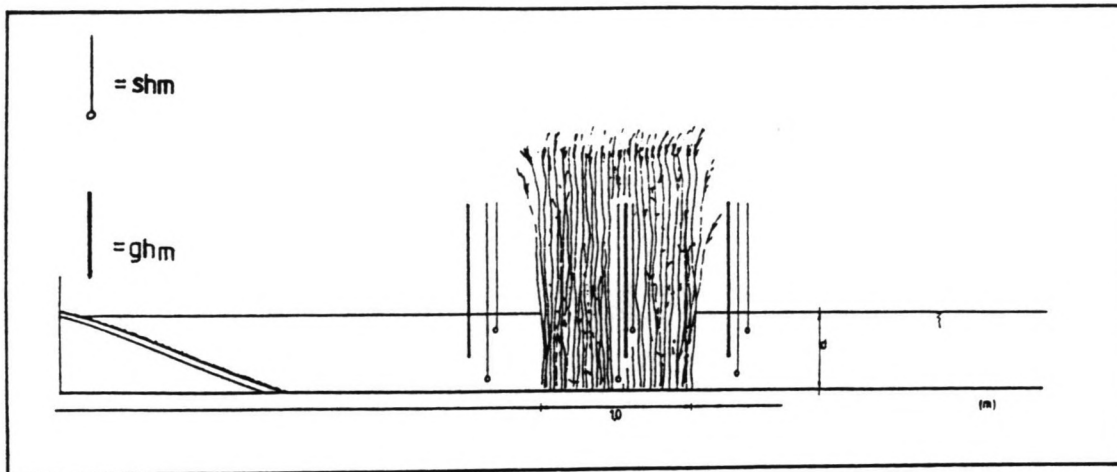


fig.25 Proefopstelling met vlakke bodem.

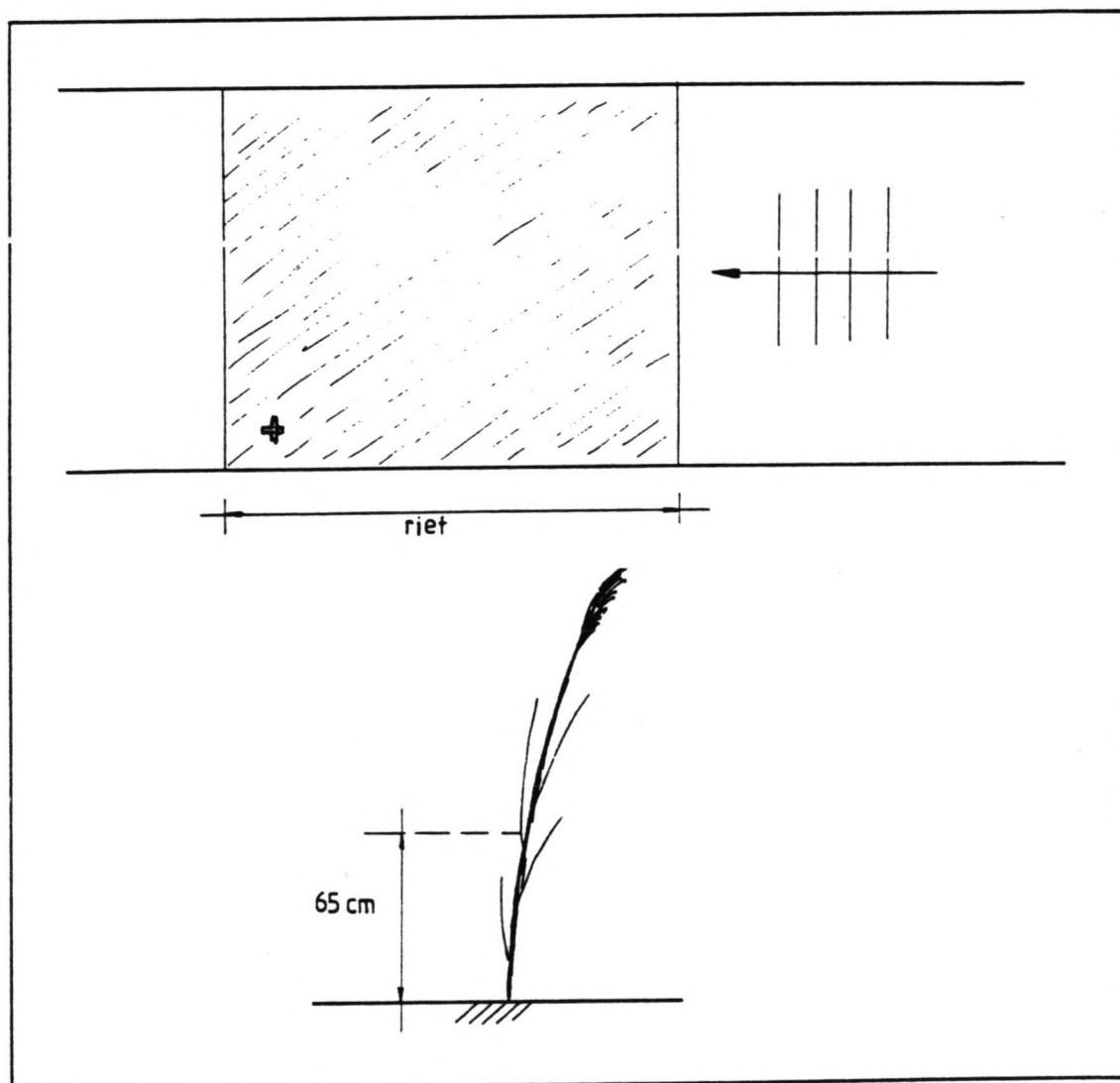


fig.26 Meting uitwijking van stengel.



---

Geheel achter in de goot was een dempend talud aangebracht. Om het golfdempende effect van dit schot te vergroten werden op het talud van het schot dakpansgewijs een drietal gaasmatten gelegd. Bij latere proeven werd een plasberm met een hoogte van 0.25 m in de goot gebouwd. Dit gebeurde m.b.v. holle, rode, poreuze steen. De plasberm sloot aan op een betonnen talud. De helling van het talud was 1:3.0.

De onderzocht proefopstellingen zijn:

-vlakke bodem, waterdiepte d=50 cm (fig.25).

Bij deze opstelling werd de complete serie golflengten ( $L=0.5 \dots L=3.5$  m) onderzocht. De golfhoogte werd voor, in en na de rietkraag gemeten en verder nog bij het golfschot om de gegenereerde golf te kunnen registreren. De watersnelheid werd op drie locaties gemeten (in, voor en na de kraag) en per locatie op twee hoogten (op 10 cm onder de waterspiegel en 10 cm boven de bodem).

Omdat de A/D-converter van de computer slechts acht aansluitingen had, werd iedere golf twee keer gegenereerd: de eerste keer werd de snelheid op het hoogste niveau gemeten, de tweede keer op het laagste niveau. Uit reeds eerder uitgevoerde controle-experimenten was gebleken dat de reproduceerbaarheid van de golven zeer goed was.

Bij golflengten groter dan 2 m trad een sterke opwerveling van bodemdeeltjes op: hierdoor weigerden de snelheidsmeters nog wel eens, waardoor storingen in de signalen optraden. Naast de typische golfkarakteristieken zoals de watersnelheid en de golfhoogte, werd ook bij ieder experiment de maximale verplaatsing van de rietstengel gemeten. Niet elektronisch, zoals de golfhoogte en de watersnelheid, maar meer provisorisch, met een lineaal tje naast steeds dezelfde stengel achterin de rietkraag (zie fig.26) op een vaste hoogte (65 cm boven de bodem). De karakteristieken van deze stengel waren: diameter  $\phi=3.7$  mm en de lengte  $l \approx 1.5$  m. De resultaten van deze metingen zijn uiteraard minder nauwkeurig dan die welke langs elektronische weg verkregen zijn. Desondanks geven deze gegevens een eerste inzicht in de respons van het riet op de golfbeweging.

-vlakke bodem, waterdiepte d=60 cm (zie fig.25).

Om de invloed van de waterdiepte op de interactie van riet en golf te onderzoeken werd de waterdiepte opgevoerd tot 60 cm. De meetactiviteiten bleven gelijk. De SHMs maten de snelheid op 10 cm onder de waterspiegel en op 10 cm boven de bodem. Niet alle golflengten werden hierbij onderzocht: alleen de golflengten  $L=1.5$  en  $L=2.5$  m. Ook hier werd de verplaatsing van de stengel gemeten.

---

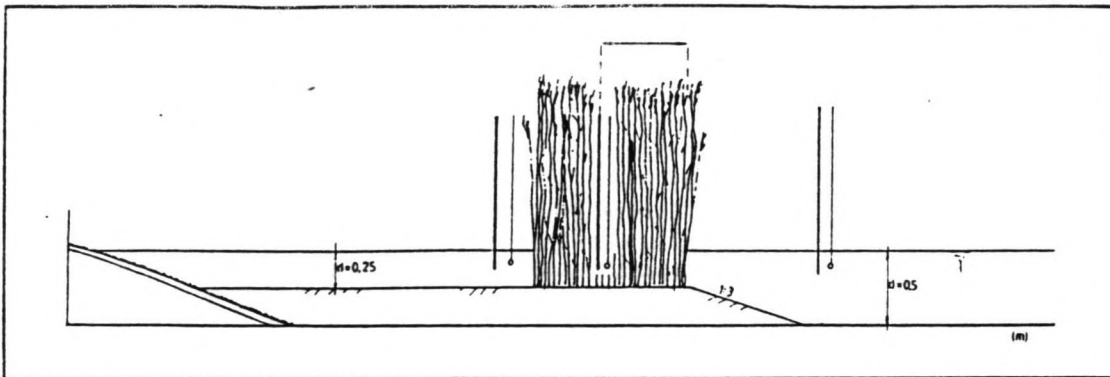


fig.27 Proefopstelling met plasberm.

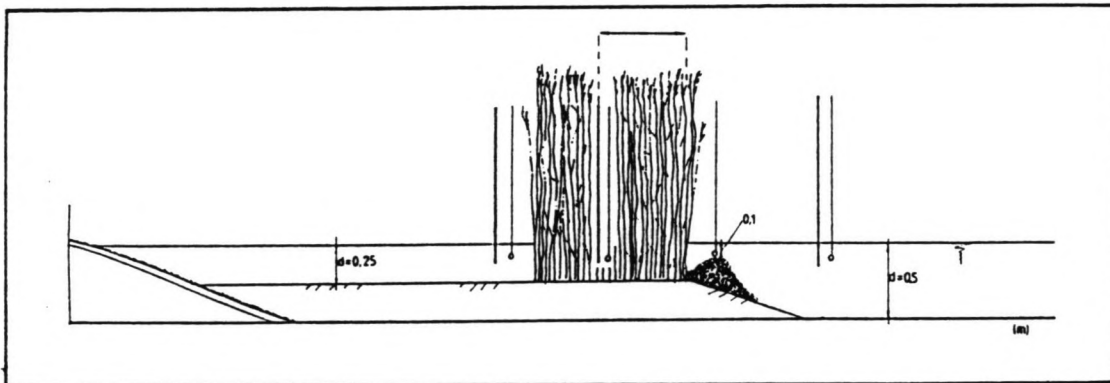


fig.28 Proefopstelling met plasberm en dam.

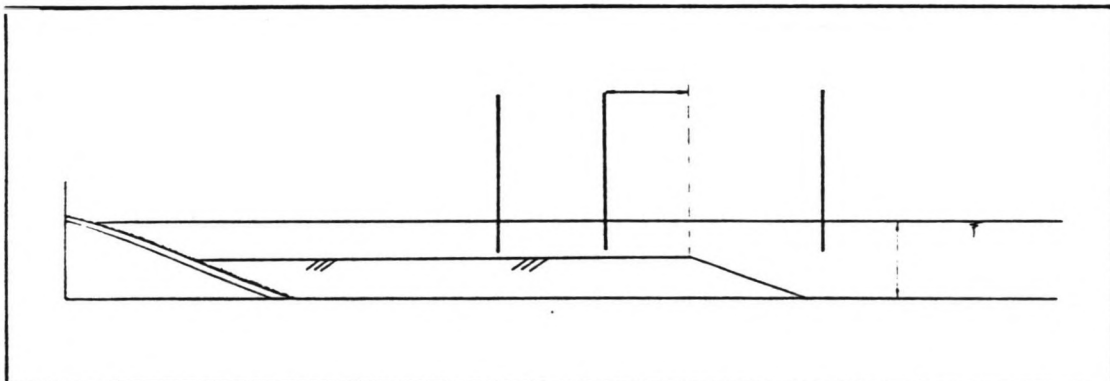


fig.29 Proefopstelling met plasberm zonder riet.

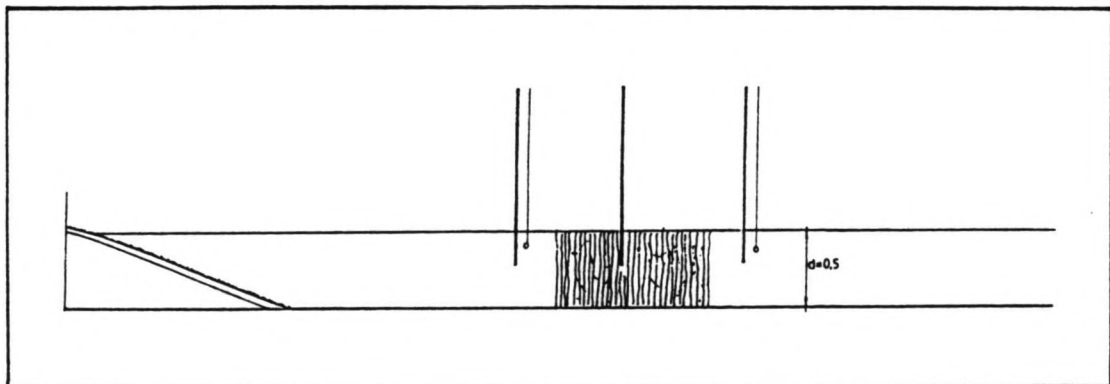


fig.30 Proeven met gemaaid riet.



---

-vlakke bodem, waterdiepte  $d=35$  cm (fig.25).

Ook hier werden dezelfde grootheden gemeten (golfhoogte, snelheid, uitwijkingen). De snelheden weer op 10 cm onder de waterspiegel en 10 cm boven de bodem. Ook hier alleen de golflengten  $L=1.5$  en  $L=2.5$  m.

-met plasberm, waterdiepte  $d=50$  cm (fig.27).

De golfhoogte werd voor, in en na de kraag gemeten, alsmede bij het golfschot. De golfhoogtemeter in de kraag nam per golf achtereenvolgens de volgende posities in: 0, 15, 30 en 50 cm in de kraag. Op deze wijze was het mogelijk de golfhoogte boven de plasberm, als functie van de positie in de rietkraag, in beeld te brengen.

De watersnelheden werden bij deze serie alleen voor en na de rietkraag gemeten en bovendien slechts op één hoogte: 10 cm onder de waterspiegel. Vanwege het diep water criterium (zie hfdst. 4.5) werden de metingen beperkt tot een serie met golflengte  $L=1.0$  m.

-met plasberm, waterdiepte  $d=60$  cm (fig.27).

Om diep wateromstandigheden te kunnen creëren werden proeven genomen met slechts één golflengte nl.  $L=1.5$  m. Dezelfde grootheden als hierboven werden gemeten.

-met plasberm en stenen dam,  $d=25$  cm (fig.28).

Bij deze serie is boven de stenen dam (die circa 15 cm hoog was) een snelheidsmeter opgehangen (10 cm onder de waterspiegel) om de watersnelheid boven de dam te meten.

-met plasberm en zonder riet, waterdiepte  $d=25$  cm (fig.29).

Om het effect van riet en talud te kunnen onderscheiden van het effect van het talud alleen, is ook een serie proeven gedaan met alleen een talud en geen rietkraag. Vier GHMs, voor, in en na de 'kraag' (die er dus niet stond) en een GHM bij het golfschot. De GHM in de 'kraag' nam weer verschillende posities in, nl. 0, 15, 30 en 50 cm in de kraag. De vaste golflengte  $L=1.0$  m. Snelheden werden hier niet gemeten.

-vlakke bodem en gemaaid riet, waterdiepte  $d=50$  cm (fig.30).

De GHMs stonden op de gebruikelijke posities: in, voor en na de rietkraag en ook vlakbij het golfschot. De watersnelheid werd voor en na de kraag gemeten op 10 cm onder de waterspiegel. Onderzochte golflengten:  $L=0.5$ ;  $L=1.0$ ;  $L=2.0$ ;  $L=3.0$  m.

---

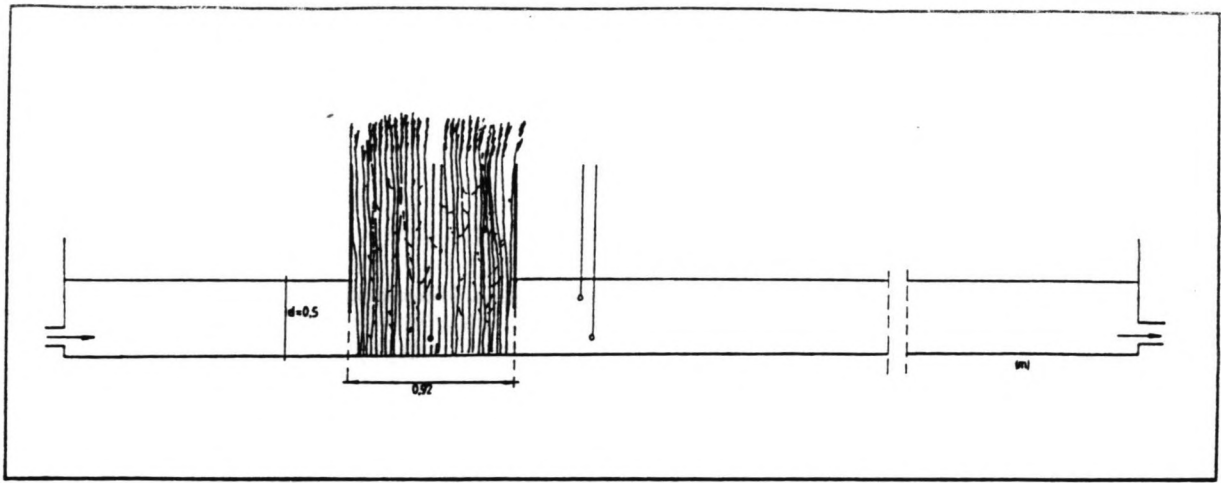


fig.31 Proefopstelling voor stroming.

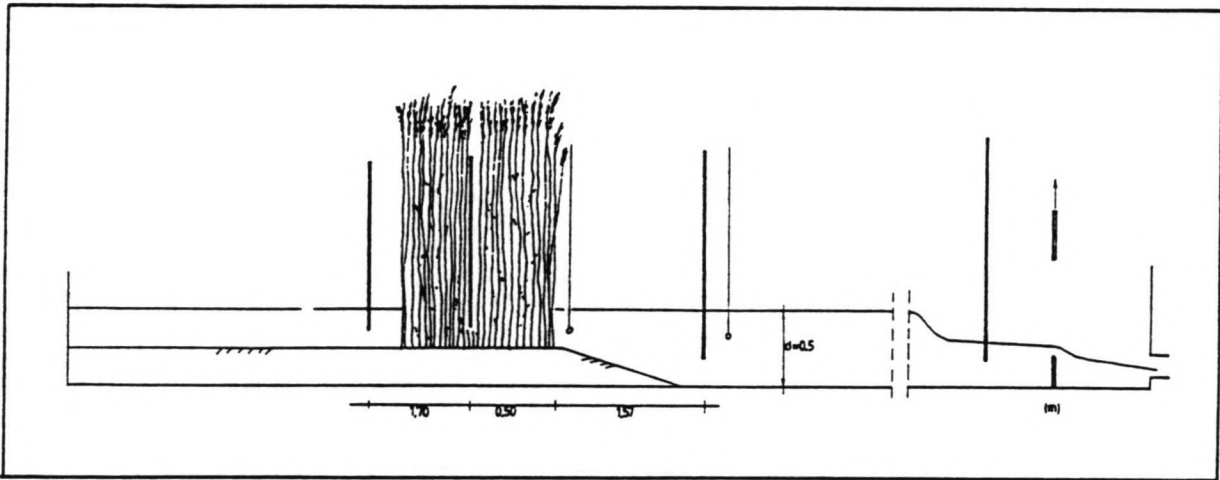


fig.32 Proeven met plotselinge spiegeldaling.

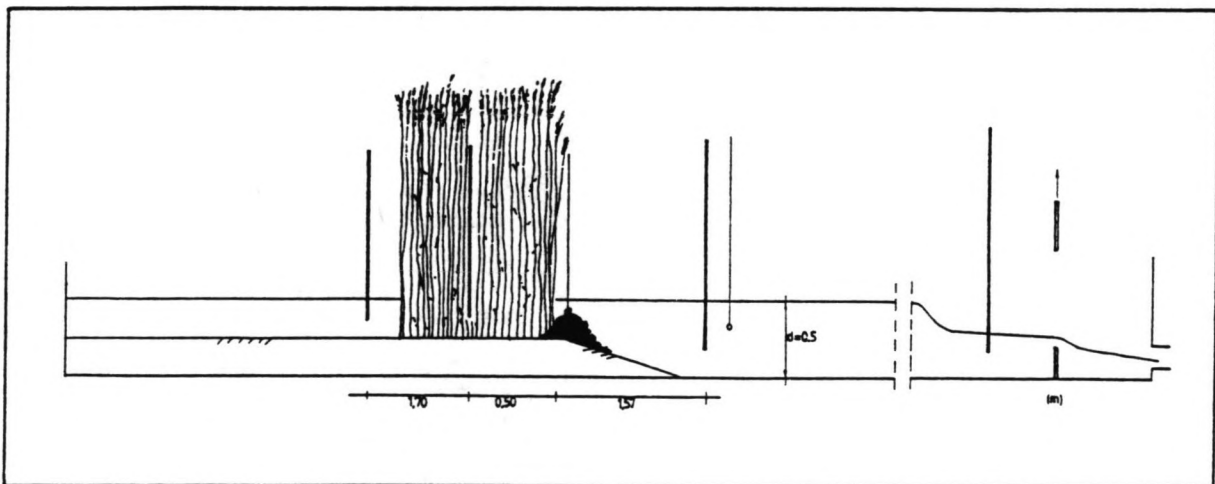


fig.33 Proeven met plotselinge spiegeldaling.

---

-vlakke bodem, stroming, waterdiepte d $\approx$ 50 cm (fig.31).

Hierbij waren twee golfhoogtemeters, één vlak voor en één vlak na de kraag, opgesteld om het verhang over de kraag te kunnen bepalen (vaste afstand 92 cm). De werkwijze daarbij was als volgt: bij stilstaand water en een waterdiepte van 50 cm werden de GHMs precies op de nulstand afgeregeld. Vervolgens werden de aan- en afvoer van het water opengedraaid en vervolgens zo afgeregeld dat de waterstand juist na de kraag (gezien vanuit de instroompijp) ongeveer 50 cm bedroeg. De watersnelheden werden hierbij zowel in als voor de kraag op twee hoogten gemeten: op 10 cm onder de waterspiegel en op 10 cm boven de bodem.

Een voorbijvarend schip veroorzaakt een spiegeldaling die een aanzienlijke stroming in de rietkraag kan opwekken. Om de reactie van de rietkraag op zo'n spiegeldaling te onderzoeken (indicatief) is een aantal spiegeldalingsproeven uitgevoerd:

-vlakke bodem, plotselinge spiegeldaling, beginwaterdiepte d=50 cm.

Bij deze serie werd er een schot aan het eind van de goot zeer snel omhoog getrokken, waardoor een negatieve translatiegolf ontstond. Hiermee werd getracht een spiegeldaling te simuleren. Twee schotten, een van 20 en een van 30 cm hoog. De watersnelheid werd voor en na de kraag gemeten op een vaste hoogte, nl. 20 cm onder de waterspiegel. De waterdiepte werd voor, in en na de rietkraag gemeten, en ook bij het golfschot.

-met plasberm, plotselinge spiegeldaling, beginwaterdiepte van 50 cm (fig.32).

Hetzelfde als voorgaande proef, alleen werd de SHM achter de kraag verwijderd en bovenaan het talud geplaatst op 20 cm onder de waterspiegel.

-met plasberm en stenen dam, plotselinge spiegeldaling, beginwaterdiepte van 50 cm (fig.33).

Identiek met boven. Alleen werd de SHM nu pal boven de stenen dam gehangen (ongeveer 10 cm onder de waterspiegel). Bij het trekken van het grote schot bezweek de dam door het grote drukverschil. De  $D_{50}$  van de stenen van de dam lag in de orde van 3-4 cm.

---

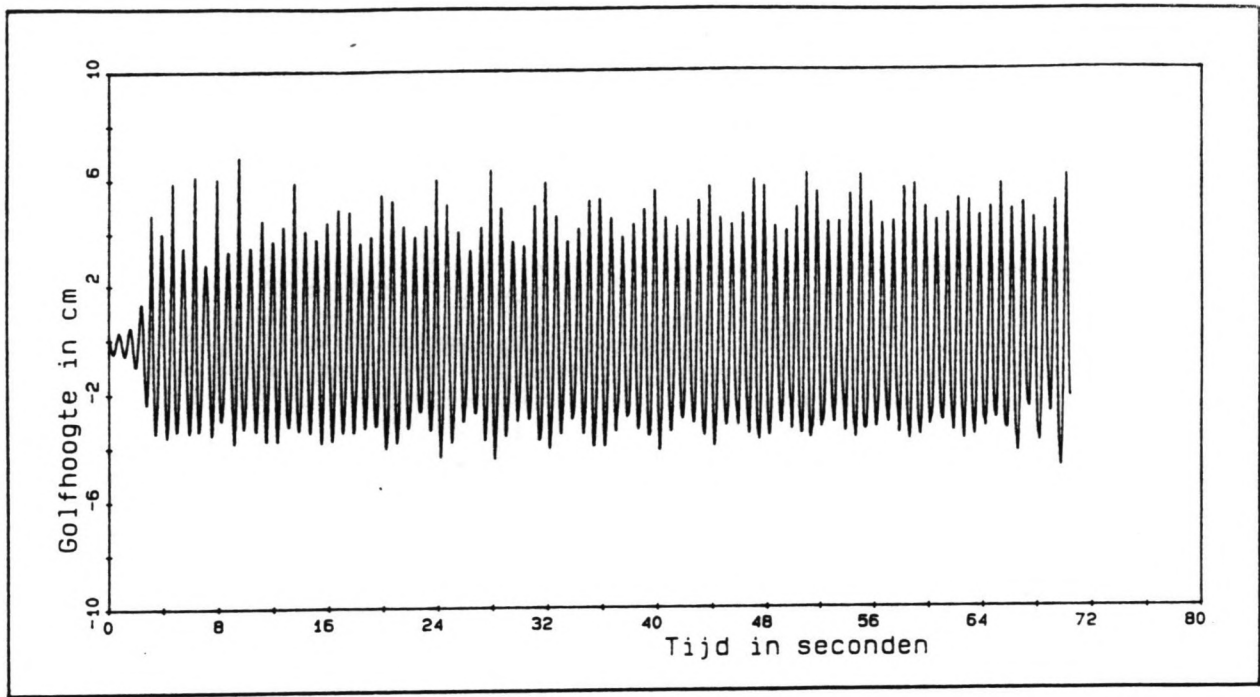


fig.34 Zwevingsverschijnsel.

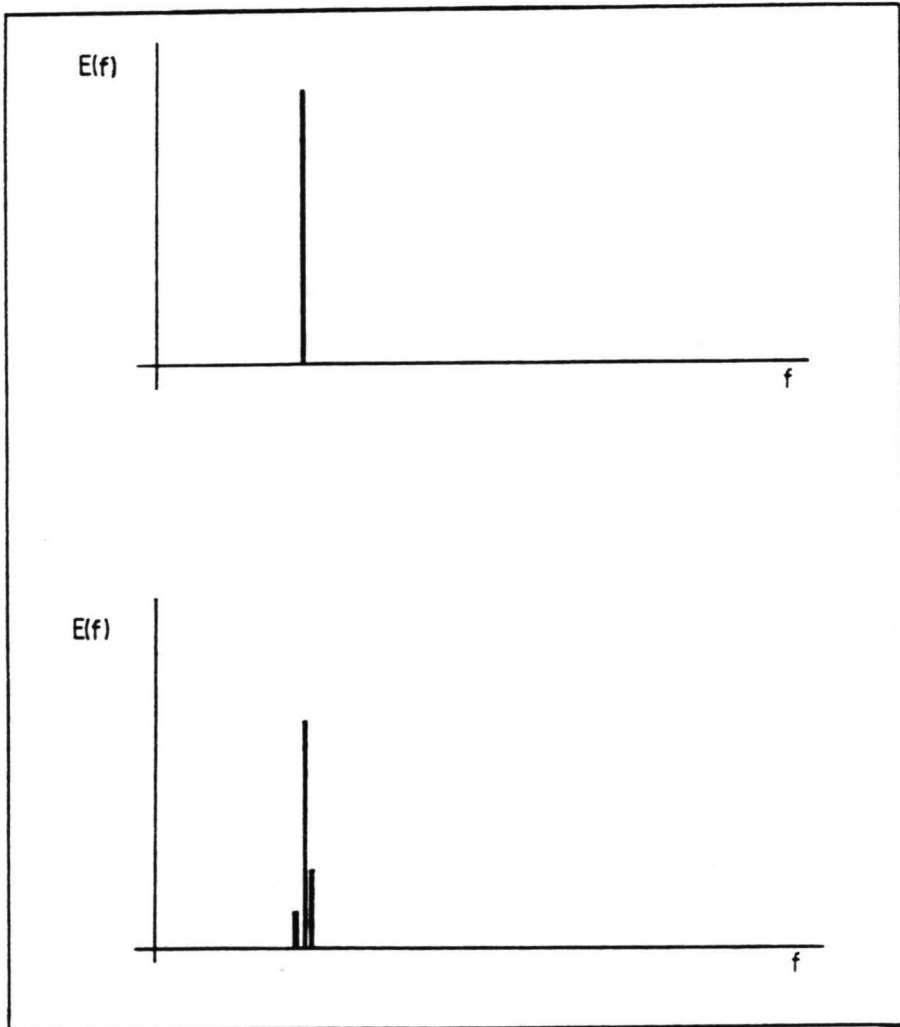


fig.36 Side-band instability.  
 (E(f) is energie; f is frequentie)

---

## 5.2 opmerkelijk fenomeen

Tijdens verschillende metingen (vooral bij de kleinere golflengten,  $L=0.5$ ,  $L=1.0$  en  $L=1.5$  m) deed een merkwaardig verschijnsel van zich spreken (fig.34). Hoewel de golfhoogte van de gegenereerde golf bijzonder strak en gelijkmatig was, registreerden de golfhoogtemeters bij de rietkraag een sterk variërende golfhoogte. Dit kon niet het gevolg zijn van een eventueel gereflecteerde golf, omdat deze eenzelfde periode  $T$  als de ingestraalde golf zou moeten hebben, en in dat geval zou er als resultante van die twee door elkaar lopende golven wéér een golf met de specifieke periode  $T$  resulteren (onder de aanname dat de golf een enkele sinus is i.p.v. een sommatie van een aantal sinussen). En dat was beslist niet zo, omdat de golfhoogtemeters een zwevingsverschijnsel registreerden en een zweving ontstaat door het samenlopen van twee golven met een klein periodeverschil (fig.35). Bovendien bleek de zweving toe te nemen met toenemende golfsteilheid en af te nemen met toenemende golflengte. Dit zou in tegenspraak zijn met de gangbare reflectietheorie, die leert dat de reflectie afneemt (i.e.g. relatief) bij toenemende golfsteilheid en juist toeneemt bij toenemende golflengte.

Het waargenomen verschijnsel bleek reeds eerder te zijn beschreven door Benjamin en Feir in 1967 en vermeld door Mei [16]. Zij ontdekten dat diep-water golven van nature instabiel zijn. Dat betekent dat deze golven, naarmate zij langer lopen, energie gaan uitwisselen met frequenties die dichtbij hun eigen frequentie liggen. Zij dragen dus energie over aan golven die, wat hun periode betreft, dichtbij de oorspronkelijke 'carrier'-golf liggen. Dit veroorzaakt een zweving (zie bijlage 4). Een andere benaming voor dit verschijnsel is 'the side-band instability of Stokes' waves'. Tijdens dit proces vindt binnen het spectrum alleen herverdeling van energie plaats, er wordt dus geen energie aan- of afgevoerd (zie fig.36).

Om de hierdoor soms erg grillige metingen toch te kunnen gebruiken, is het volgende overwogen:

de optredende zweving is het samengaan van twee of drie golfcomponenten die een bijna gelijke periode hebben. Dit geeft op regelmatige tijdstippen wederzijdse versterking en verzwakking van de golfhoogte. Als nu als gemiddelde golfhoogte wordt gekozen het gemiddelde van de zweving (zie fig.37) dan is dat geen slechte benadering: er wordt dan een constante golf verondersteld, waarop één of twee golven met een iets afwijkende periode worden gesuperponeerd.

Dat is conform de werkelijkheid, zij het dat de aldus gevonden gemiddelde golf een kleinere golfhoogte heeft dan de golf die

---

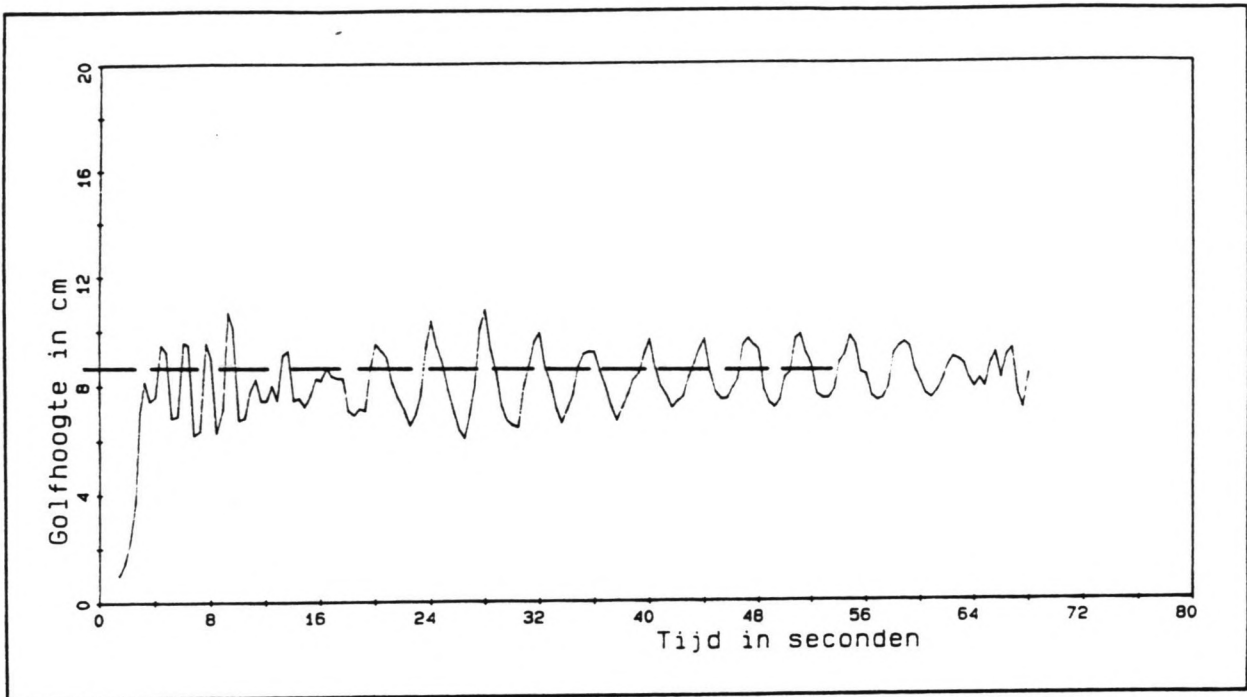


fig.37 Benadering van de golffhoogte.

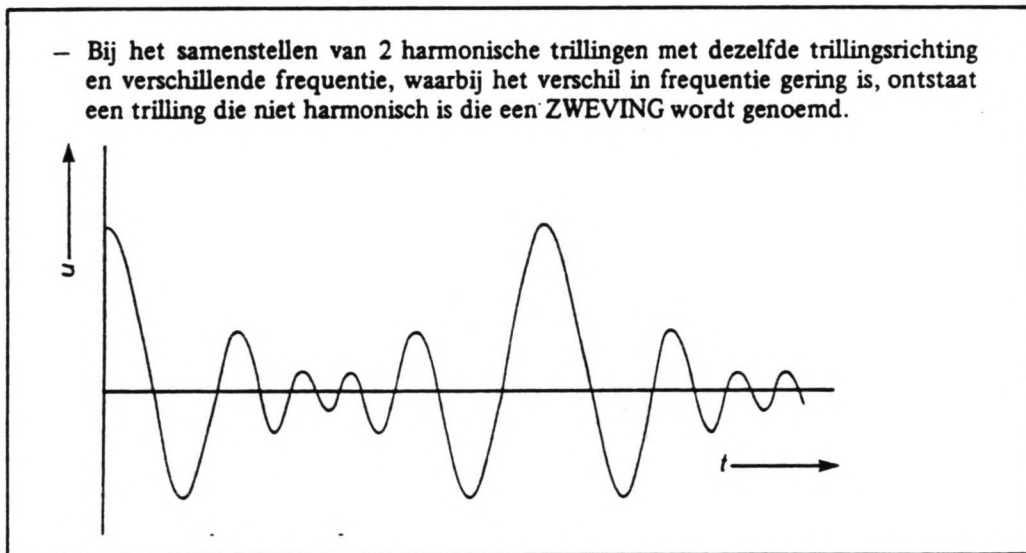


fig.35 Zweving.



door het golfschot is opgewekt. Immers, de energie die van de carrier-golf is overgedragen op een naastliggende golf wordt buiten beschouwing gelaten. Indien de demping afhankelijk van de golfsteilheid (en dus van de golfhoogte) zou blijken te zijn, dan geeft deze benadering een afwijking. Het deel van de zweeping met de grootste golfhoogte dempt dan meer uit dan het deel met de kleinste golfhoogte, ofwel het gemiddelde van de doorgelaten golf is kleiner dan die waarop geen zweeping zou zijn gesuperponeerd. Als eerste benadering voldoet deze echter wel.

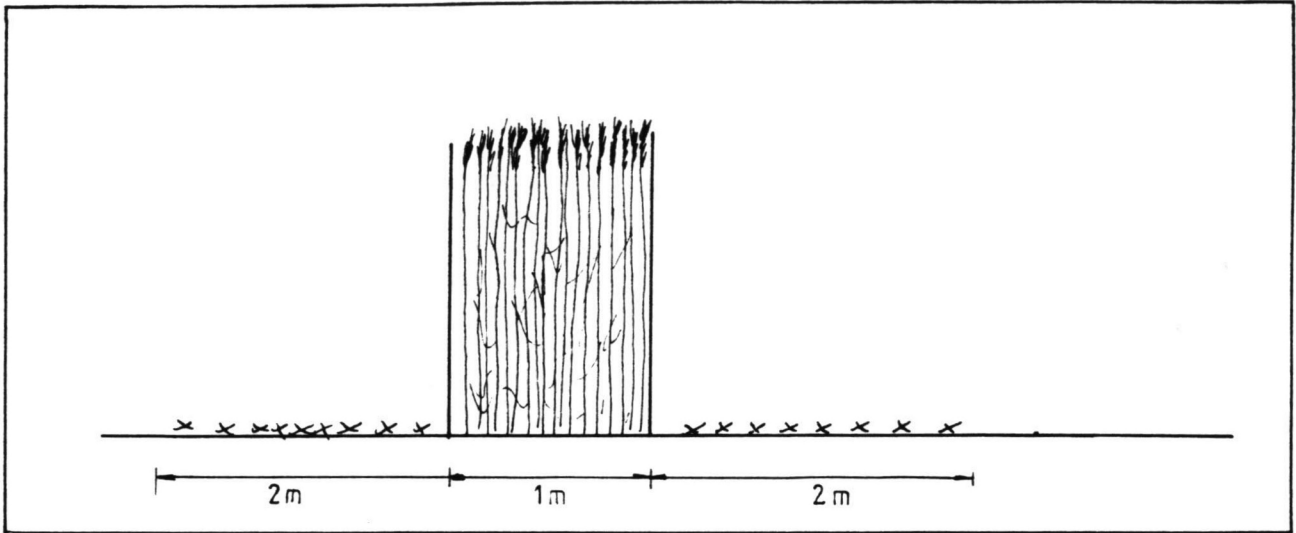
### 5.3 reflectiemetingen

Om de reflectie tegen het dempingstalud achterin de goot te bepalen is een aantal proeven genomen, waarbij er geen riet in de golfgoot aanwezig was. De golven liepen dus direct tegen het dempend talud op. Bij deze proeven werd gebruik gemaakt van twee golfhoogtemeters. GHM-2 stond weer dichtbij het golfschot, GHM-1 was op de gebruikelijke plaats vlak voor de (denkbeeldige) rietkraag gesitueerd. Er werd gegolfd met vier golflengten, te weten:  $L=0.5$ ,  $L=1.0$ ,  $L=2.0$  en  $L=3.0$  m.

Onderzoek van de reflectie was mogelijk door het analyseren van de registratie van GHM-2 (bij het golfschot). Deze registreerde immers in eerste instantie alléén de gegenereerde golf. Als na verloop van tijd de gereflecteerde golf deze golfhoogtemeter weer passeert geeft dit, indien de reflectie significant is (d.w.z. de gereflecteerde golfhoogte is niet te verwaarlozen t.o.v. de oorspronkelijke golfhoogte en de faseverschuiving is zodanig dat de reflectie 'zichtbaar' is), een duidelijke verandering in het golfbeeld. Er treedt dan een verhoging of een verlaging van de golfhoogte op. Onderzoek van de reflectieproeven op dit verschijnsel leverde:

H/L	0.035-0.045	0.045-0.055	0.055-0.065	0.065-0.075
L				
0.5				
1.0	-	-	-	-
2.0	-	-3%	-6%	-6%
3.0	-5%	-4%		

tab.6 reflectie tegen dempingstalud achterin de goot



neerslag uitgespoelde gronddeeltjes



---

De meetduur bij golflengte  $L=0.5$  m was niet lang genoeg om de eventueel gereflecteerde golf te meten. Voor  $L=1.0$  m was dit wel zo, doch daar was geen reflectie zichtbaar. In verband met de beperkte mogelijkheden van het golfschot zijn voor  $L=3.0$  m slechts twee steilheden onderzocht.

Voor de langere golven bleek de reflectie in de orde van 5% te zijn. Bij de kortere golven (0.5-1.0 m) was er geen reflectie van betekenis te ontdekken: blijkbaar dempten de, op het dempingstalud gelegde, gaasmatten de kortere golven goed uit. Voor de langere golven bleek dit effect minder sterk te zijn.

#### 5.4 bodemsamenstelling en -ligging

Zoals reeds eerder is gememoreerd houden de wortels van rietplanten de gronddeeltjes goed vast en verminderen de erosie. Omdat een uitgebreid erosieonderzoek niet mogelijk was in verband met de dichte zijwanden van de zandlift (waardoor inspectie onmogelijk was) is het uitspoelingsonderzoek beperkt gebleven tot het steken en analyseren van grondmonsters (bijlage 6).

Ondanks de versterkende werking van de wortels trad er vooral bij de lange en hoge golven toch uitspoeling van gronddeeltjes uit de rietkraag op. Deze deeltjes sloegen vervolgens rond de zandlift weer neer (zie figuur hiernaast). Om deze gronddeeltjes te kunnen onderzoeken werden ze met behulp van een aquariumslangetje van de bodem in de buurt van de zandlift opgezogen (hevel) en in een potje gestort. Vooraf waren reeds twee grondmonster uit de bodem gestoken en was de bodemligging in kaart gebracht door middel van hoogtemeting. Via een vast, op de zandlift aangebracht raster, werd op ieder knooppunt van twee lijnen een hoogtepeiling gedaan met een peilnaald met daarop een stomp dopje. Achteraf, na beëindiging van de golfproeven is dit nog eens gebeurd om aldus een indruk te krijgen van de erosie in de kraag.

---

---

### 5.5 referentieproeven

Het is voor de betrouwbaarheid van de conclusies van een onderzoek van het grootste belang dat alleen de parameters die men wil laten variëren, van waarde veranderen en dat de overige, die men constant wil houden, ook werkelijk geen andere waarden aannemen. Mag dit bij 'dode' materialen als staal, beton en water al niet eenvoudig zijn, bij levende materialen is dit schier onmogelijk. Immers al wat leeft, groeit en ondergaat veranderingen. Zo ook bij riet. Riet heeft een jaarlijkse groeicyclus van april tot september waarin het riet opgaat en blinkt. Na september treedt dan de verhouting op (zie hfdst.2). Tijdens deze groeicyclus veranderen een aantal variabelen zoals de stengellengte, de elasticiteitsmodulus en de buigstijfheid. Variabelen die de demping beïnvloeden.

Om dit effect zoveel mogelijk uit te sluiten is de rietkraag pas in oktober uit de oever gegraven en naar het laboratorium gebracht. Het riet verkeerde toen al in de verhoutingsfase. Om te onderzoeken in hoeverre de demping tijdens de metingen nog veranderde zijn regelmatig referentieproeven uitgevoerd.

Dat wil zeggen dat één speciale dempingsproef om de twee weken werd herhaald. Mochten er gedurende de onderzoeksperiode veranderingen in de dempingscapaciteit van de rietkraag optreden dan zou dit via de referentieproeven zichtbaar moeten worden. In totaal zijn er zes referentieproeven uitgevoerd. De eerste proef was, naar later zou blijken echter zonder waarde omdat de achterste golfhoogtemeter onregelmatige afwijkingen vertoonde door een onjuiste aansluiting. De vierde referentieproef is wel uitgevoerd, maar de diskette waarop de proef was opgeslagen was niet meer te vinden.

De resultaten van de referentieproeven (zie bijlage 12) laten zien dat de demping gedurende het onderzoek vrijwel constant is gebleven. De afwijkingen in de demping liggen in de orde van een procent. De spreiding in de watersnelheden is daarentegen veel groter. Variaties tot 10% zijn daar gemeten. Die spreiding komt overigens alleen in en na de kraag voor: de watersnelheden onder de nog ongestoorde golf zijn vrijwel gelijk. Dat ligt ook wel in de lijn der verwachting: de rietkraag is niet een systeem dat steeds hetzelfde reageert. Integendeel, de beweeglijke, wanordelijke stengelmasa veroorzaakt een dermate turbulente waterbeweging dat bij een herhaling van de proef een ander snelheidsbeeld kan ontstaan.

---

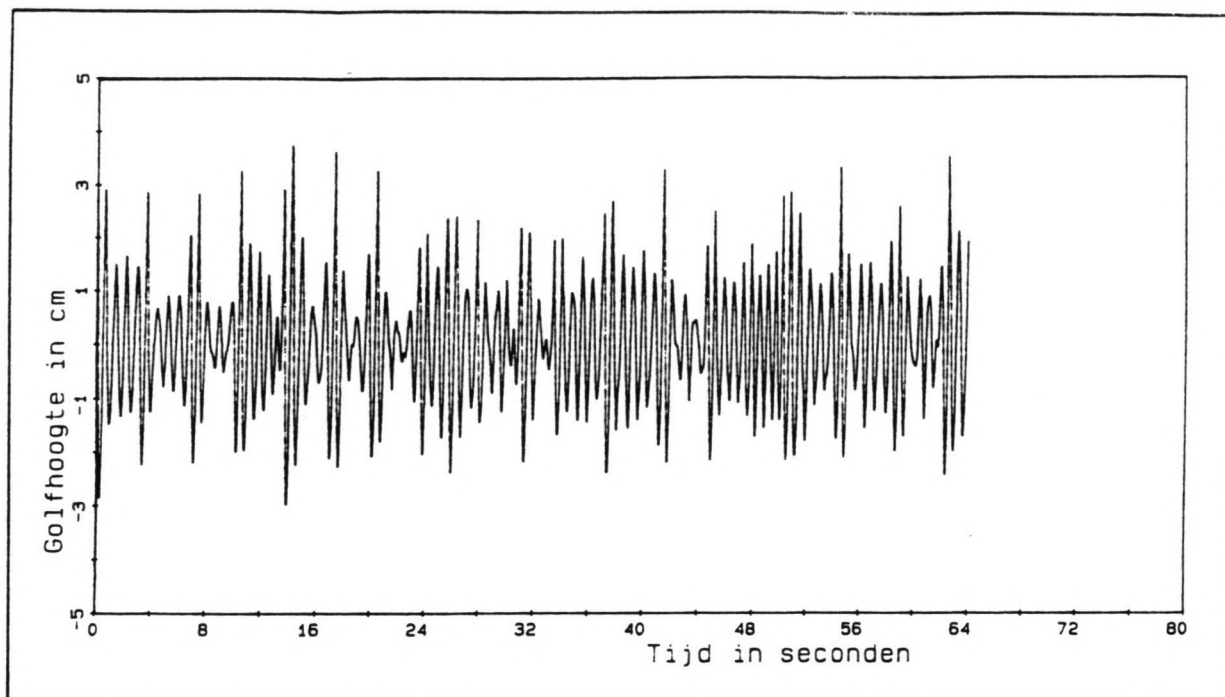


fig.38 Extreme zweving.

## 6 Presentatie meetresultaten

### 6.1 dempingsproeven

Alvorens de resultaten van de metingen getoond zullen worden is het dienstig een drietal kanttekeningen bij de metingen te maken:

- 1 Door de reeds in hfdst. 5 genoemde instabiliteit van diep water golven geven bepaalde metingen mogelijk afwijkingen ten opzichte van algemene tendensen. Dit geldt vooral voor die gevallen van de golflengten  $L=0.5$  m en  $L=1.0$  m waarbij de golfsteilheid ( $H/L$ ) groter is dan 0.05. De zweving was daar zo sterk dat het niet eenvoudig was om op een verantwoorde wijze een gemiddelde te bepalen (zie fig.38).
  - 2 De demping  $\alpha$  door de rietkraag wordt gedefinieerd als de doorgelaten golfhoogte gedeeld door de ingekomen golfhoogte:  
 $\alpha=H_d/H_{in}$ .
  - 3 Voor een tabellarisch overzicht van de meetgegevens wordt verwezen naar bijlage 5.
-

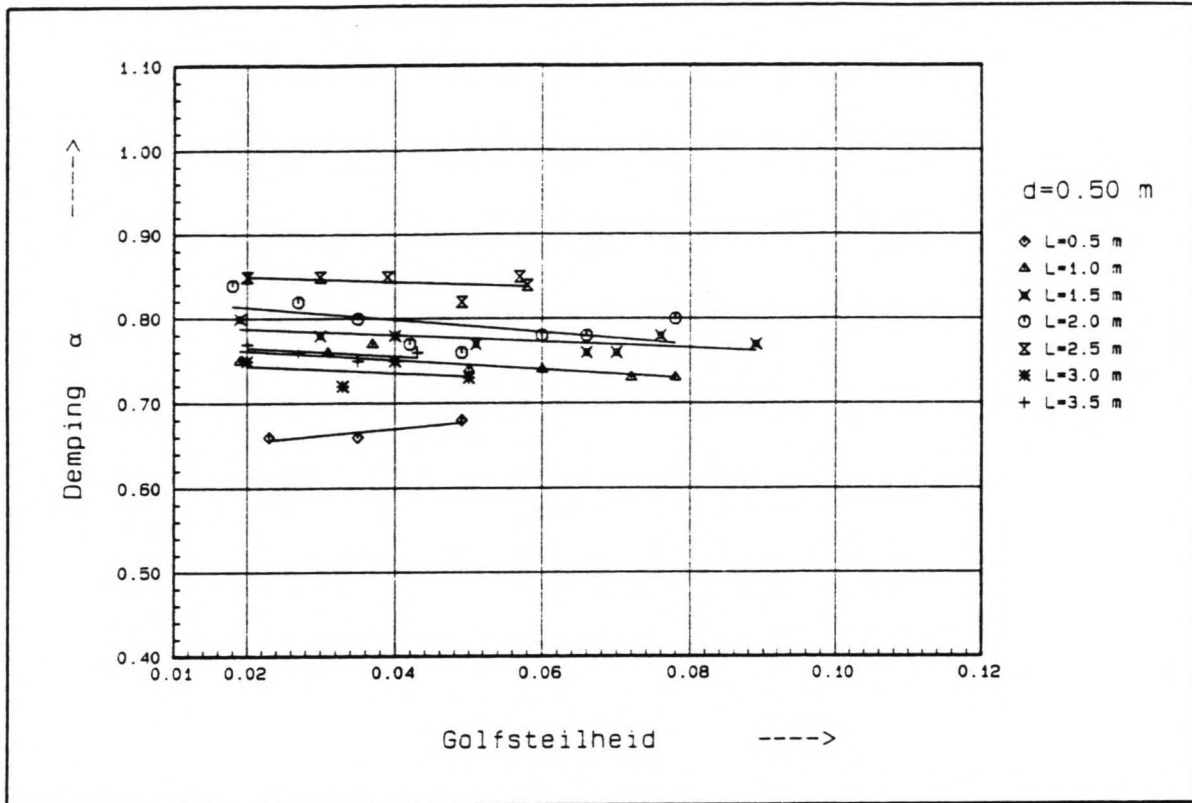


fig.39 Damping bij vlakke bodem,  $d=0.50$  m.

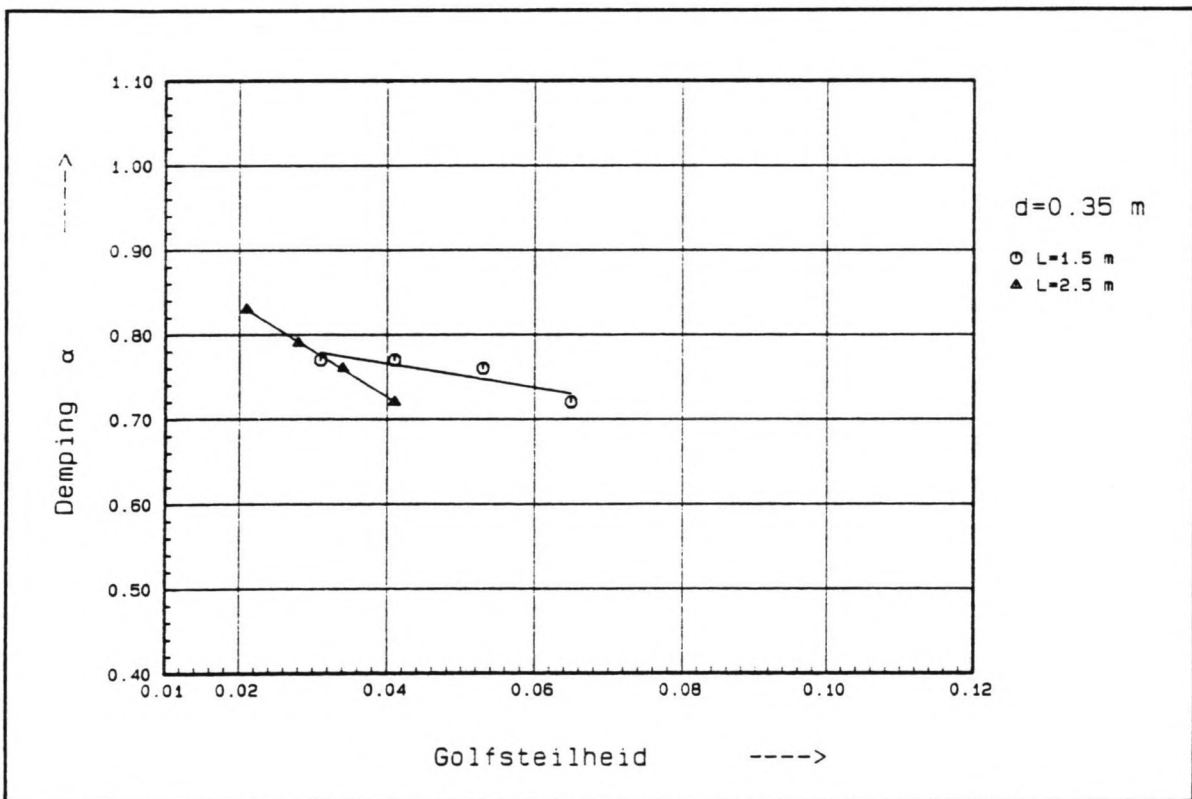


fig.40 Damping bij vlakke bodem,  $d=0.35$  m.

---

### 6.1.1 demping bij vlakke waterbodem, $d=0.50$ m (fig.39)

- 1 de demping is over het algemeen groter voor de kortere golven dan voor de langere: voor  $L=0.5$  m is  $\alpha \approx 0.68$  ! Naarmate de golflengte toeneemt tot  $L=2.5$  m, neemt de demping af tot  $\alpha=0.85$ . Daarna, bij nog grotere golflengten, neemt de demping juist weer toe. Voor golflengten  $L=3.0$  en  $L=3.5$  m is de demping ongeveer gelijk aan die voor  $L=1.0$  m, nl.  $\alpha=0.75$  .
- 2 de demping blijkt in zekere mate van de golfsteilheid afhankelijk te zijn. Er is over het algemeen een lichte toename in de demping te bespeuren naarmate de golfsteilheid toeneemt.

### 6.1.2 demping bij vlakke waterbodem, $d=0.35$ m (fig.40)

- 1 de demping lijkt in deze situatie iets sterker afhankelijk van de golfsteilheid te zijn, dan bij  $d=0.50$  m. Naarmate de golfsteilheid toeneemt, neemt de demping ook toe. Voor  $L=1.5$  m ligt  $\alpha$  tussen 0.72 en 0.77; voor  $L=2.5$  m ligt  $\alpha$  tussen 0.72 en 0.83.

### 6.1.3 demping bij vlakke waterbodem, $d=0.60$ m (fig.41)

- 1 in deze configuratie is de mate van demping vooral voor  $L=1.5$  m afhankelijk van de golfsteilheid:  $\alpha$  neemt hier waarden aan tussen 0.86 en 0.90. Voor  $L=2.5$  m is er vrijwel geen afhankelijkheid van de steilheid:  $\alpha=0.86$ . Opmerkelijk is, dat voor  $L=2.5$  m de golfhoogtemeter in de rietkraag vrijwel dezelfde golfhoogte aangeeft als de golfhoogtemeter voor de kraag. Blijkbaar is de demping over de eerste helft van de kraag in dit geval zeer gering.

## Conclusies

Samenvattend kan gesteld worden dat, met betrekking tot de demping, de waterdiepte inderdaad een belangrijke parameter is (zie fig.42 en fig.43). Naarmate de waterdiepte afneemt, wordt de demping groter. Het verschil in demping tussen  $d=0.35$  m en  $d=0.60$  m is (uitgedrukt in % van de inkomende golfhoogte):

- voor  $L=1.5$  m      11-13 %
  - voor  $L=2.5$  m      3-10 %
-

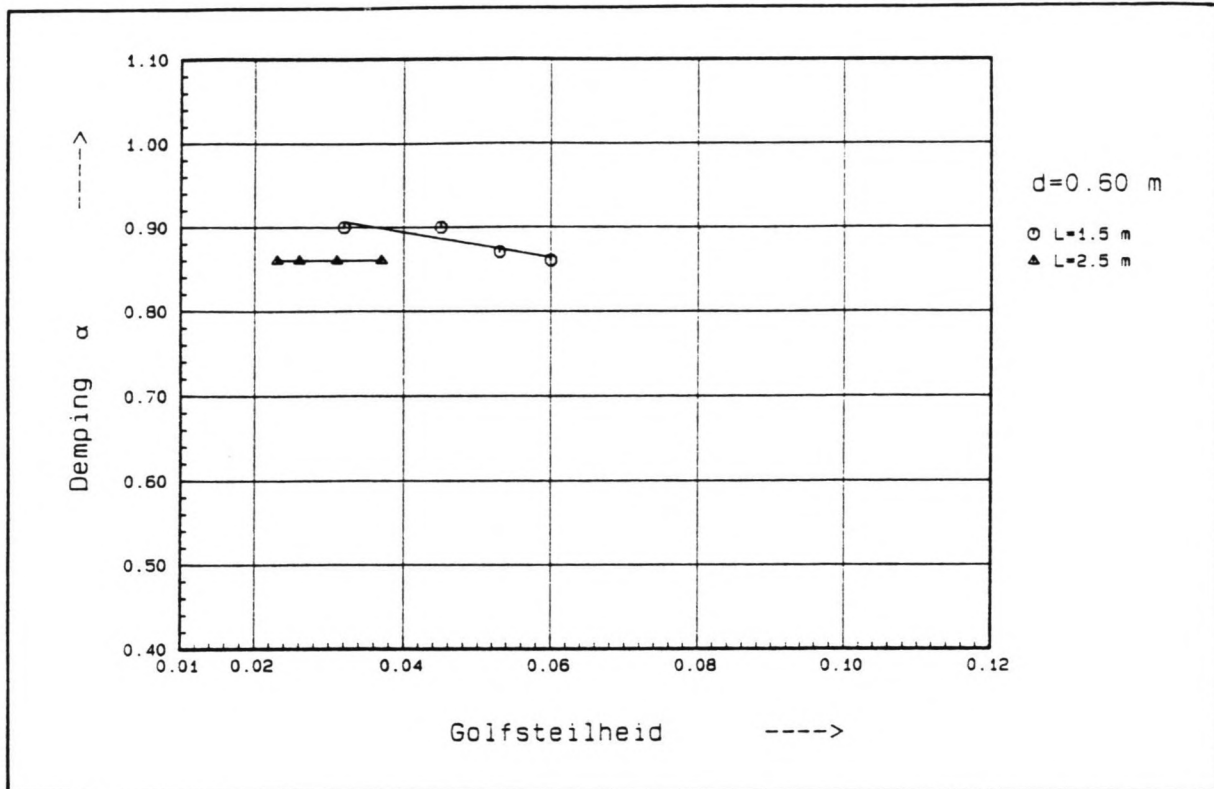


fig.41 Damping bij vlakke bodem,  $d=0.60$  m.

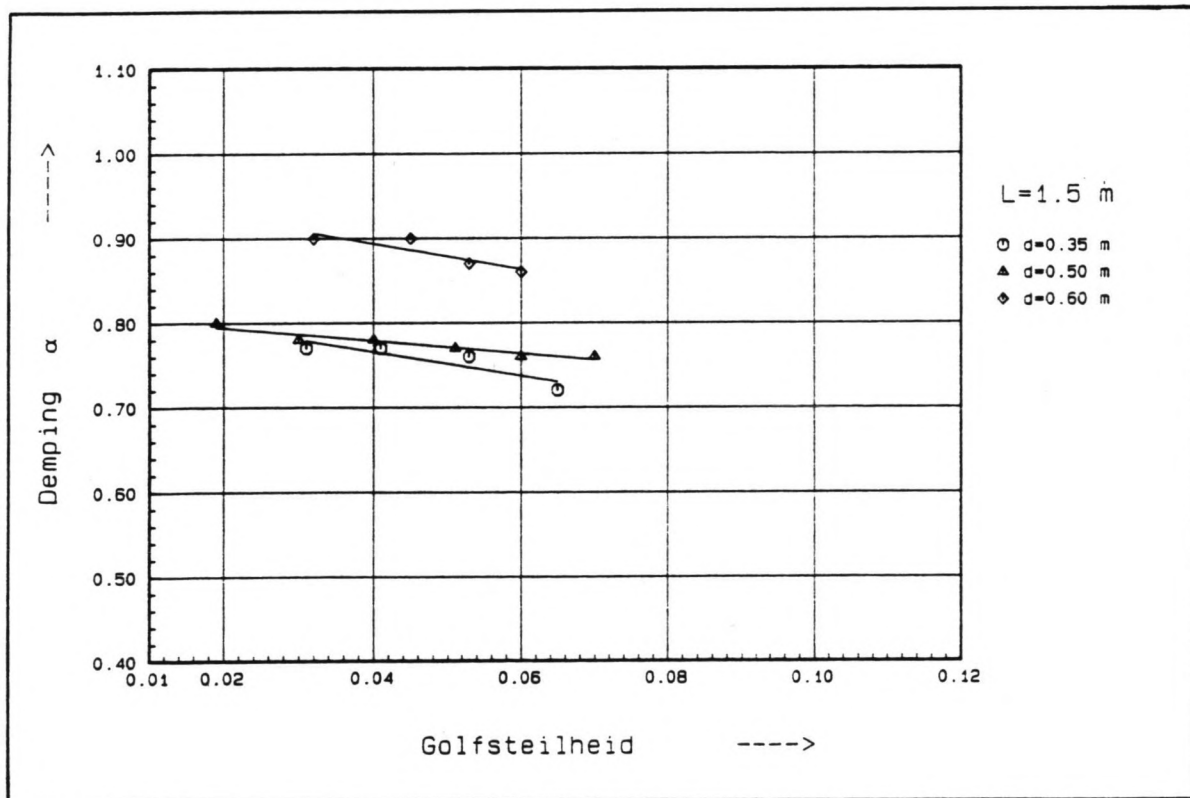


fig.42 Damping bij vlakke bodem,  $L=1.5$  m.

Opvallend is dat de verschillen in demping als functie van de golfsteilheid groter zijn als de waterdiepte  $d$  kleiner is. Voor  $d=0.60$  m zijn de verschillen kleiner dan 5%, voor  $d=0.50$  m zijn de verschillen maximaal 8% en voor  $d=0.35$  m zijn ze maximaal 11%. Blijkbaar speelt de waterdiepte ook een rol met betrekking tot de afhankelijkheid van de golfsteilheid: naarmate de waterdiepte afneemt, neemt de afhankelijkheid toe. Dit effect treedt alleen op voor  $L=2.5$  m (fig.43). Bij  $L=1.5$  m is die toename niet aanwezig.

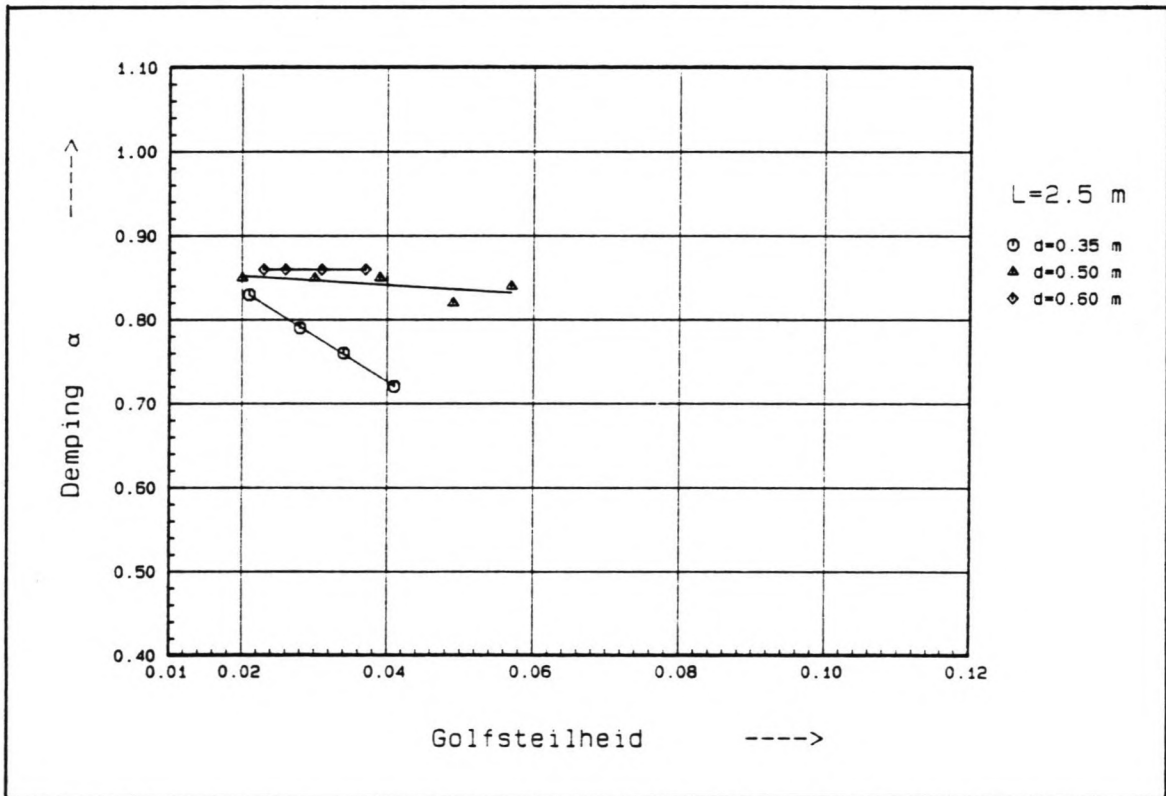


fig.43 Damping bij vlakke bodem,  $L=2.5$  m.



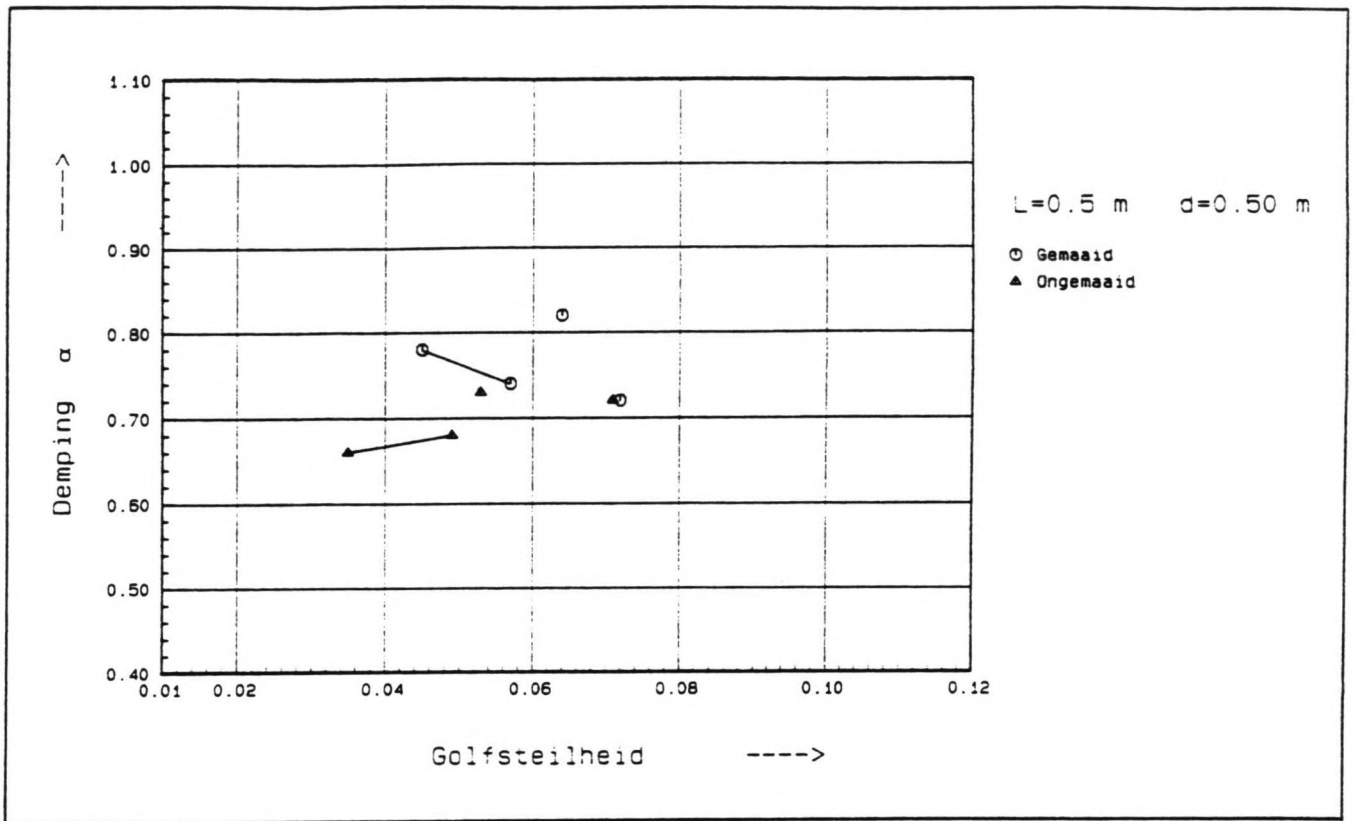


fig.44 Damping bij gemaaid riet,  $L=0.5 \text{ m}$ .

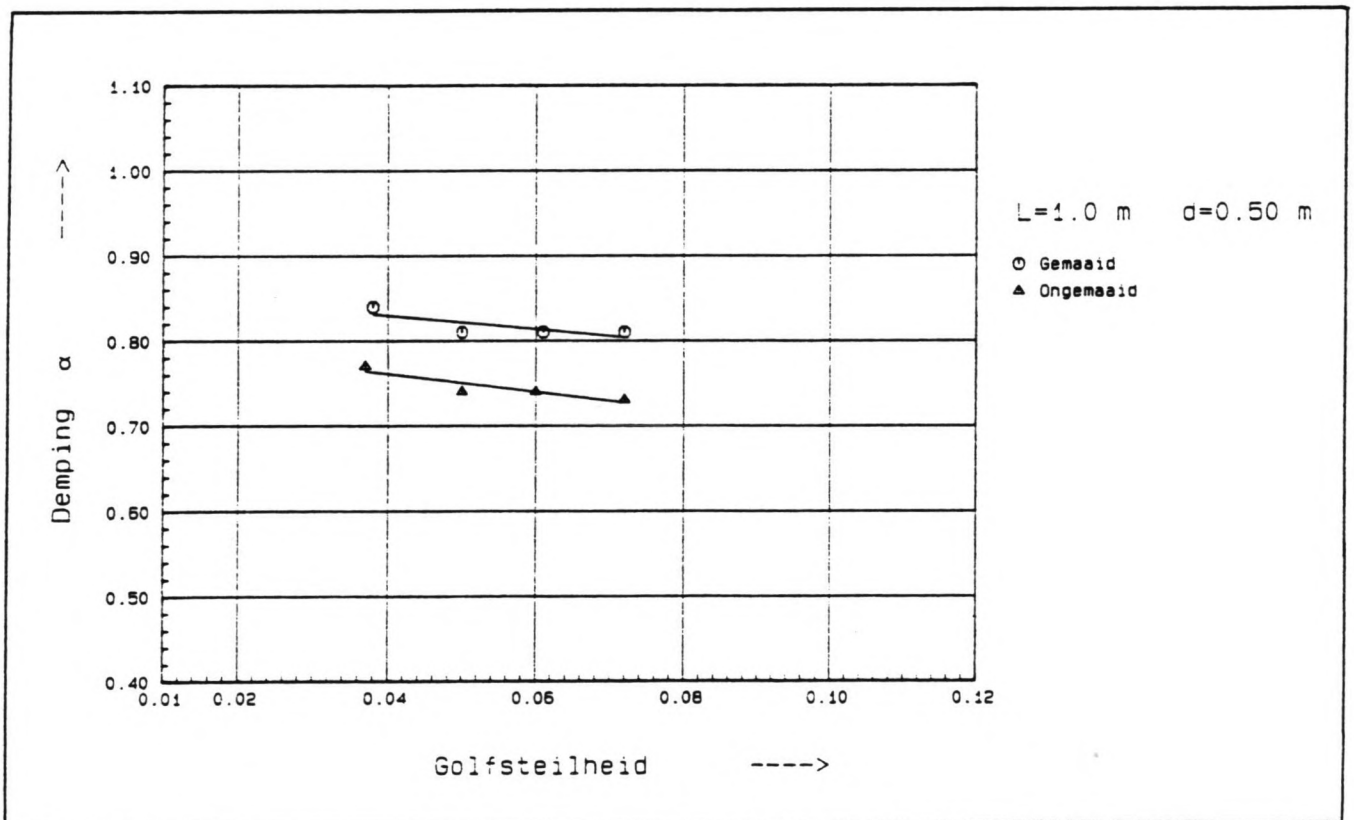


fig.45 Damping bij gemaaid riet,  $L=1.0 \text{ m}$ .

---

#### 6.1.4 demping als functie van de stengellengte (fig.44-47)

Over het algemeen wijzen de metingen uit dat de demping bij gemaaide stengels minder is dan die bij ongemaaide stengels

	gemaaid $\alpha$	ongemaaid $\alpha$
L=0.5	0.76	0.66
L=1.0	0.82	0.76
L=2.0	0.81	0.78
L=3.0	0.85	0.75

tab.7 vergelijking gemaaid en ongemaaid riet.

De tendens die bij  $d=0.50$  m en ongemaaide stengels werd aangetroffen, nl. dat de demping bij toenemende golflengte afneemt (tot  $L=2.5$  m) en daarna weer toeneemt, is hier niet aanwezig (zie fig.48). Voor de gehele meetserie geldt hier dat bij toenemende golflengte de demping afneemt.

---

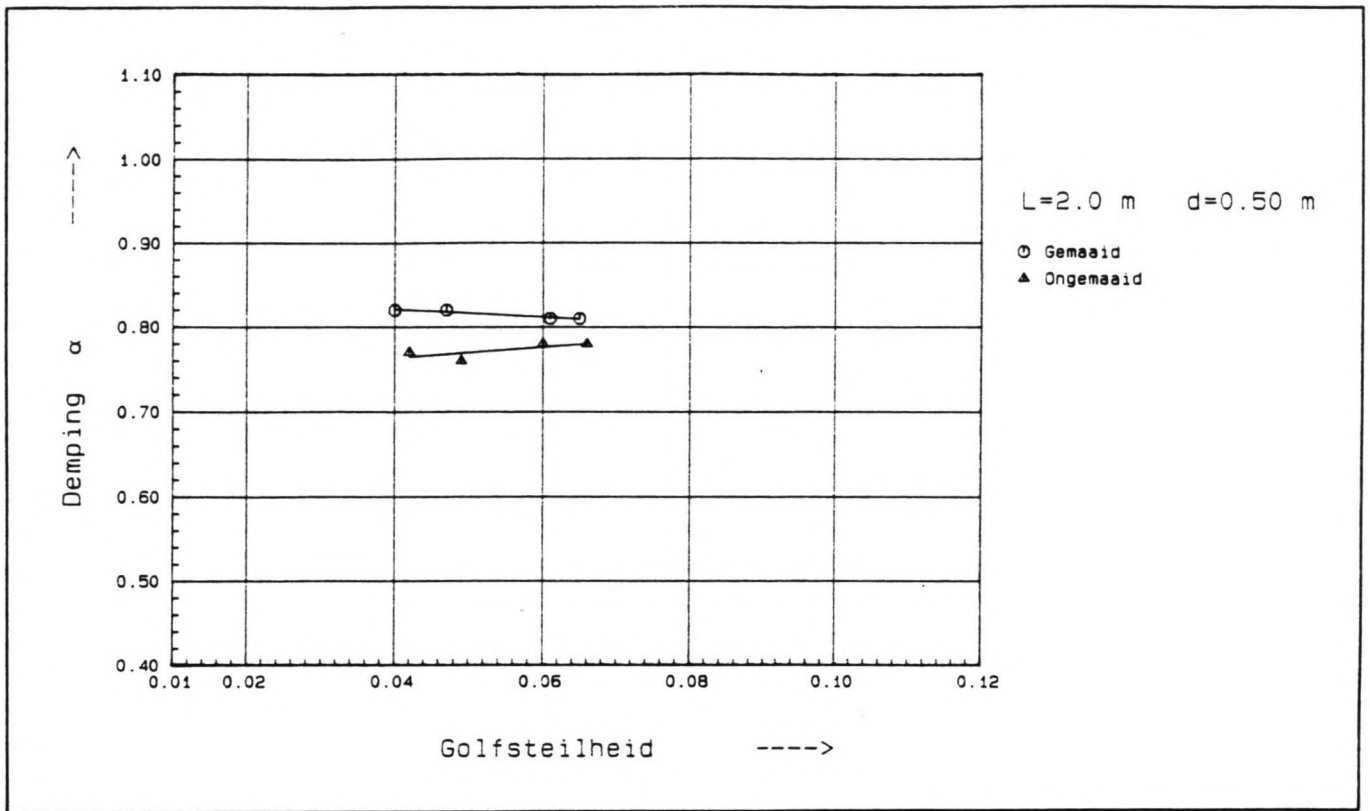


fig.46 Damping bij gemaaid riet,  $L=2.0 \text{ m}$ .

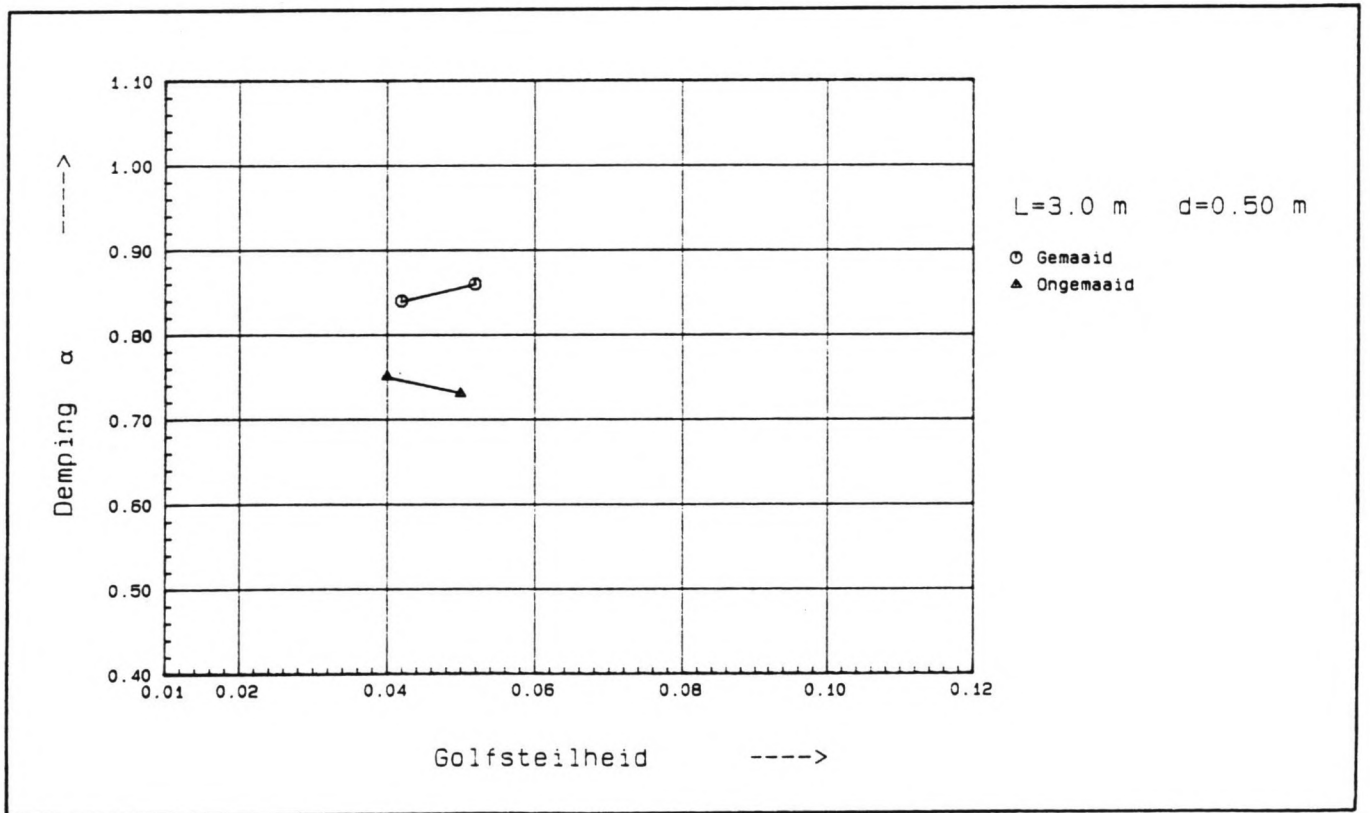


fig.47 Damping bij gemaaid riet,  $L=3.0 \text{ m}$ .

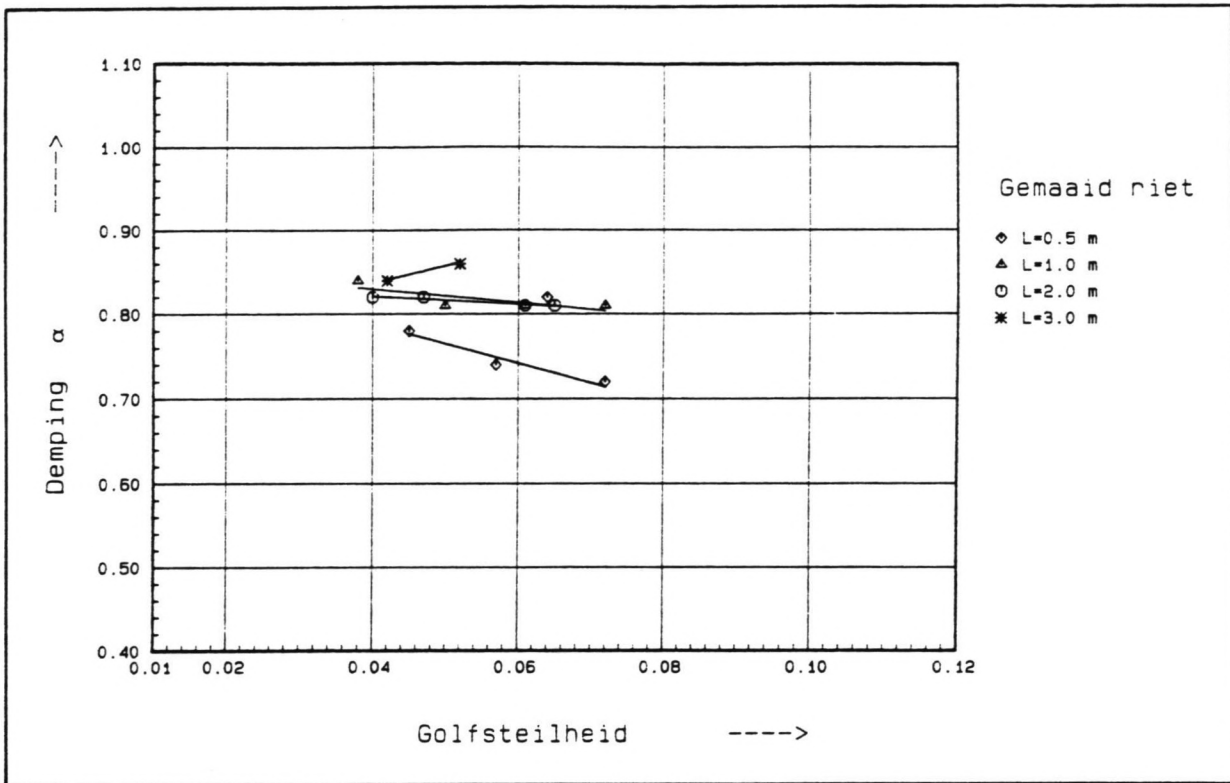


fig.48 Damping bij gemaaid riet, totaaloverzicht.

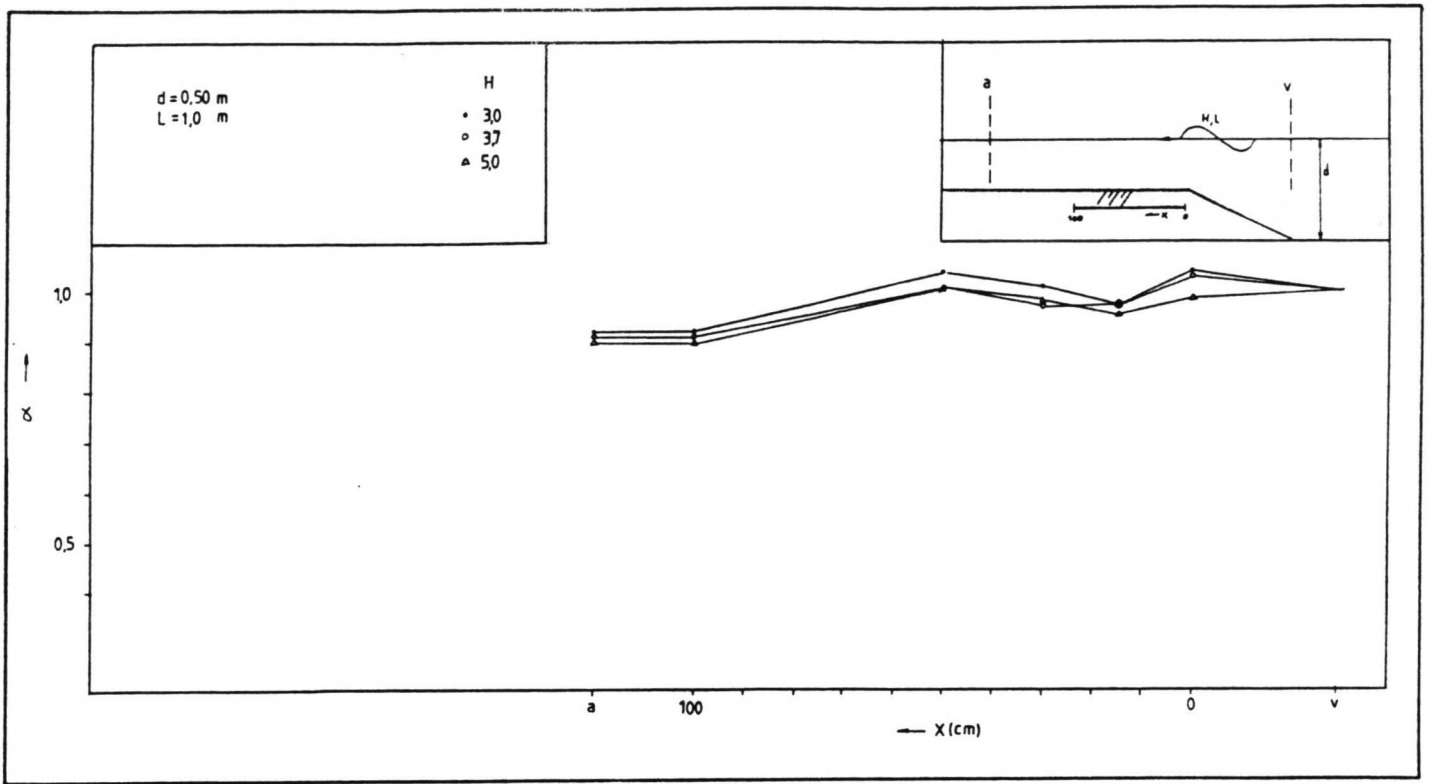


fig.49a Golfhoogte boven lege plasberm.

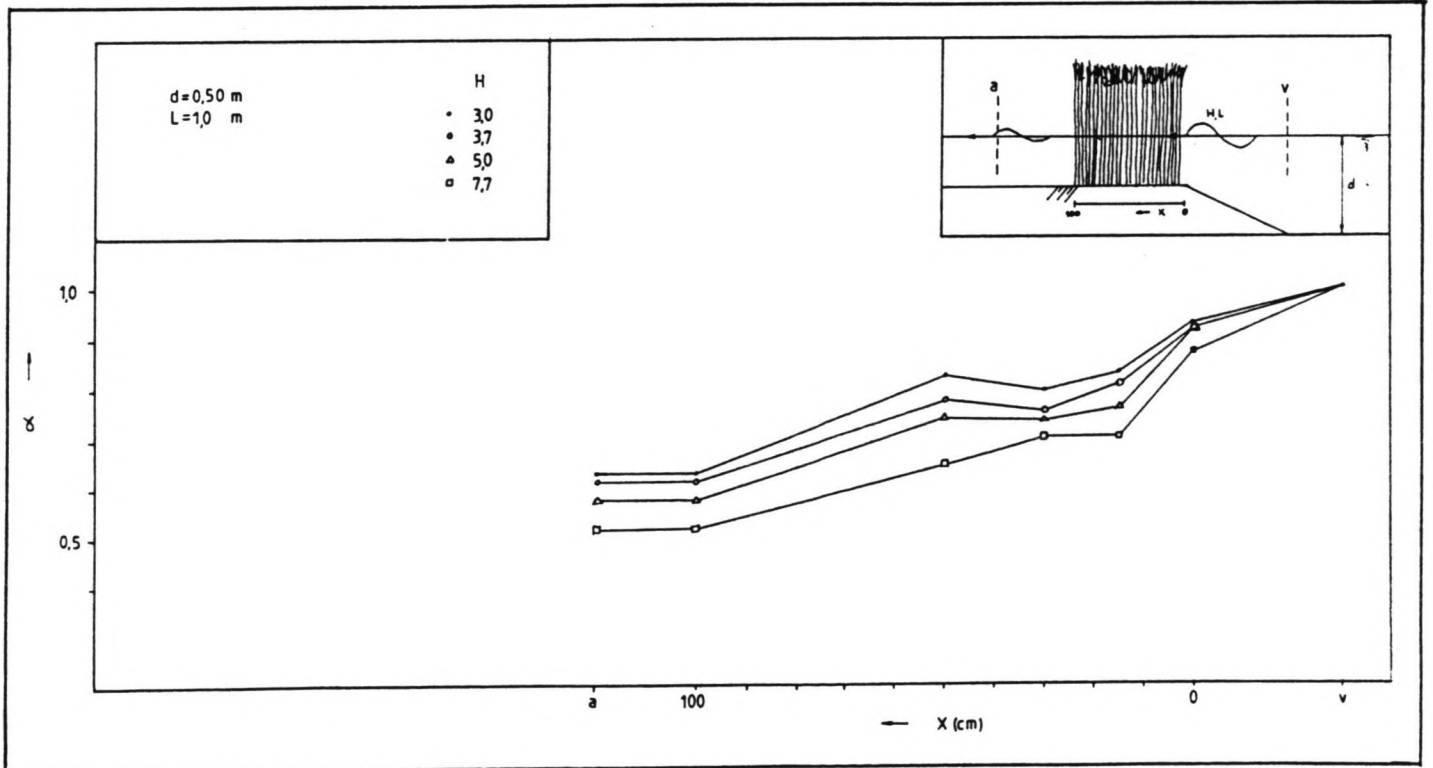


fig.49b Golfhoogte in rietkraag.

### 6.1.5 demping als functie van de ruimtelijke situering

#### 6.1.5.1 proeven met plasberm en $d=0.50$ m, $L=1.0$ m

Drie situaties werden onderzocht, te weten:

- 1-plasberm zonder riet (fig.49a)
- 2-plasberm met riet (fig.49b)
- 3-plasberm met riet en stenen dam

1-de uiteindelijke golfhoogte die resulteert na het lopen van de golf over het talud en de plasberm is slechts licht afhankelijk van de golfsteilheid. De demping over de plasberm loopt niet lineair: integendeel, er zijn punten waar de golfhoogte zelfs iets hoger is dan de oorspronkelijke golf. Dit kan het gevolg zijn van of een typische golfkarakteristiek (die zich manifesteert als een golf ~~een~~ talud oploopt) of ~~een~~ lichte staande golf, veroorzaakt door reflectie tegen het dempscherm achterin de goot. De uiteindelijke  $\alpha$ -waarden liggen tussen 0.87 en 0.92.

2-Ook hier een toenemende demping bij toenemende golfsteilheid. De demping is beslist niet lineair met de afgelegde weg door de rietkraag: de eerste 15 cm is de demping vrij sterk: de golfhoogte is dan met zo'n 10-18% (van de oorspronkelijke golf) afgenomen. Van 15-30 cm is de demping aanzienlijk minder groot. Van 30-50 cm loopt voor de lagere golfsteilheden de golfhoogte zelfs iets op. Het is niet zo dat de golfhoogte halverwege de kraag het gemiddelde is van de golfhoogte voor en de golfhoogte na de kraag:

$H_i$	voor	halv.	achter
3.0	2.79	2.49	1.89
3.7	3.40	2.89	2.29
5.0	4.60	3.70	2.90
7.8	6.86	5.07	4.06

tab.8 golfhoogtevergelijking.

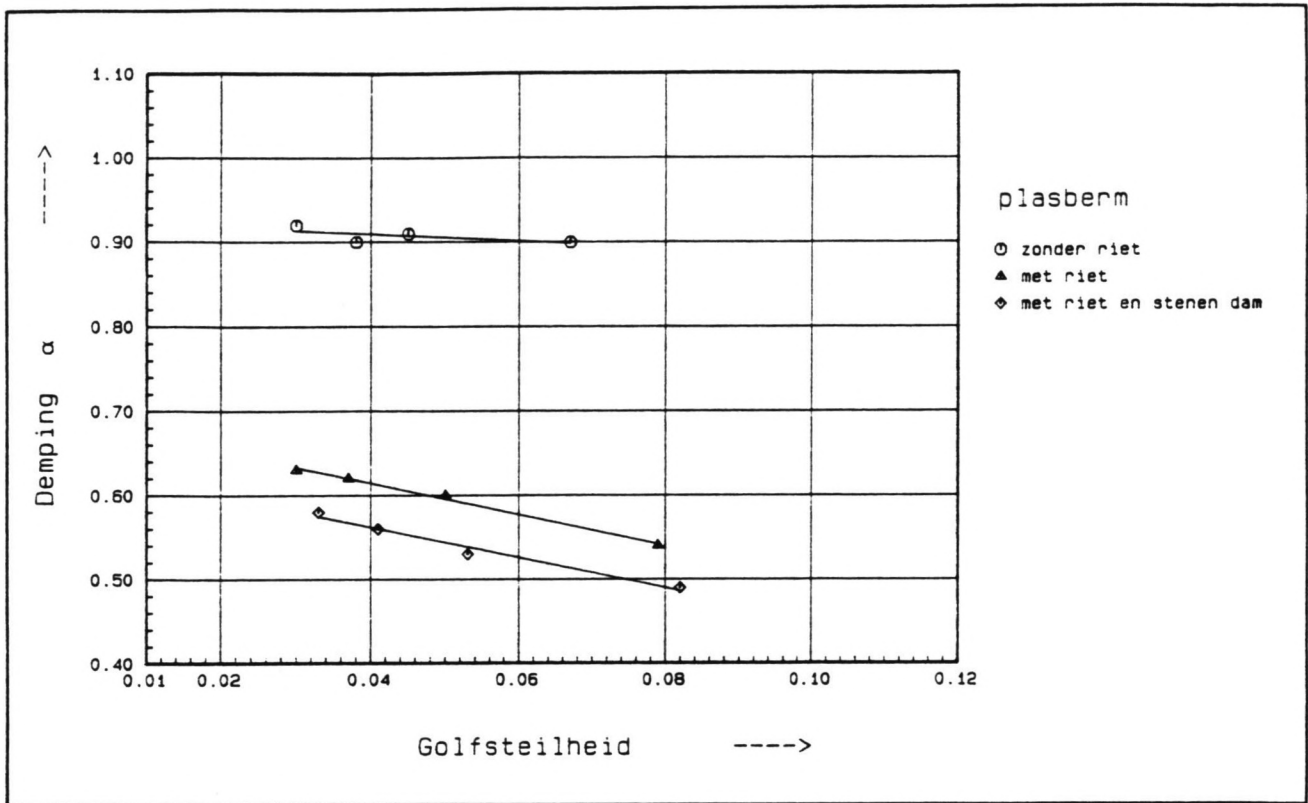


fig.49 Damping bij plasberm, L=1.0 m.



---

3-de stenen dam op de uiterste punt van de plasberm geeft nog een extra demping van zo'n 5%.

Bij deze proeven zijn de afzonderlijke demp-effecten duidelijk te onderscheiden (fig.49): het oplopen tegen het talud en vervolgens het gaan door het ondiepere water veroorzaakt een golfhoogteverlaging van  $\pm 9\%$ . Het effect van het riet is ongeveer 30% en het effect van de dam is zo'n 5% (t.o.v. de ingekomen golfhoogte).

Worden deze resultaten vergeleken met die voor  $L=1$  m bij een vlakke bodem en  $d=0.50$  m (fig.39), dan valt op dat de afhankelijkheid van de golfsteilheid veel sterker is. De demping is in het geval van de plasberm is groter dan bij een vlakke bodem: in het eerste geval ligt  $\alpha$  tussen 0.48 en 0.58, in het tweede geval tussen 0.77 en 0.74. Dit is niet alleen toe te schrijven aan het effect van het oplopen tegen het talud. Dat geeft immers een demping van ongeveer 9%. Een ander verschijnsel dat hier meespeelt is het star reageren van de stengels ten gevolge van de kleinere waterdiepte (zie hfdst.7).

#### 6.1.5.2 plasberm met waterdiepte in goot $d=0.60$ m en $L=1.5$ m

De dempingscoëfficiënt  $\alpha$  loop hier tussen 0.73 en 0.75.

#### 6.1.6 uitwijking rietstengels

Uit fig.50 en fig.51 is duidelijk af te leiden dat bij een kleinere waterdiepte de uitwijking van de stengel (op 65 cm hoogte) geringer is. Uit fig.52 blijkt dat de uitwijking groter wordt met toenemende golfsteilheid en golflengte. Frappant is dat de uitwijkingslijn steiler gaat lopen naarmate de golflengte toeneemt. Eenzelfde tendens is te zien in fig.53 en fig.54, resp. voor een hogere waterstand ( $d=0.60$  m) en een lagere ( $d=0.35$  m). Fig.55 toont dat bij toenemende golflengte de verhouding tussen verplaatsing van de waterdeeltjes onder de golf en de verplaatsing van de stengel minder steil gaat verlopen. Met andere woorden: de stengel kan de verplaatsing van de waterdeeltjes beter bijbenen (althans, wat betreft de grootte. M.b.t. de fase valt echter hetzelfde te verwachten, aangezien de periode van de golf bij toenemende golflengte groter wordt).

---

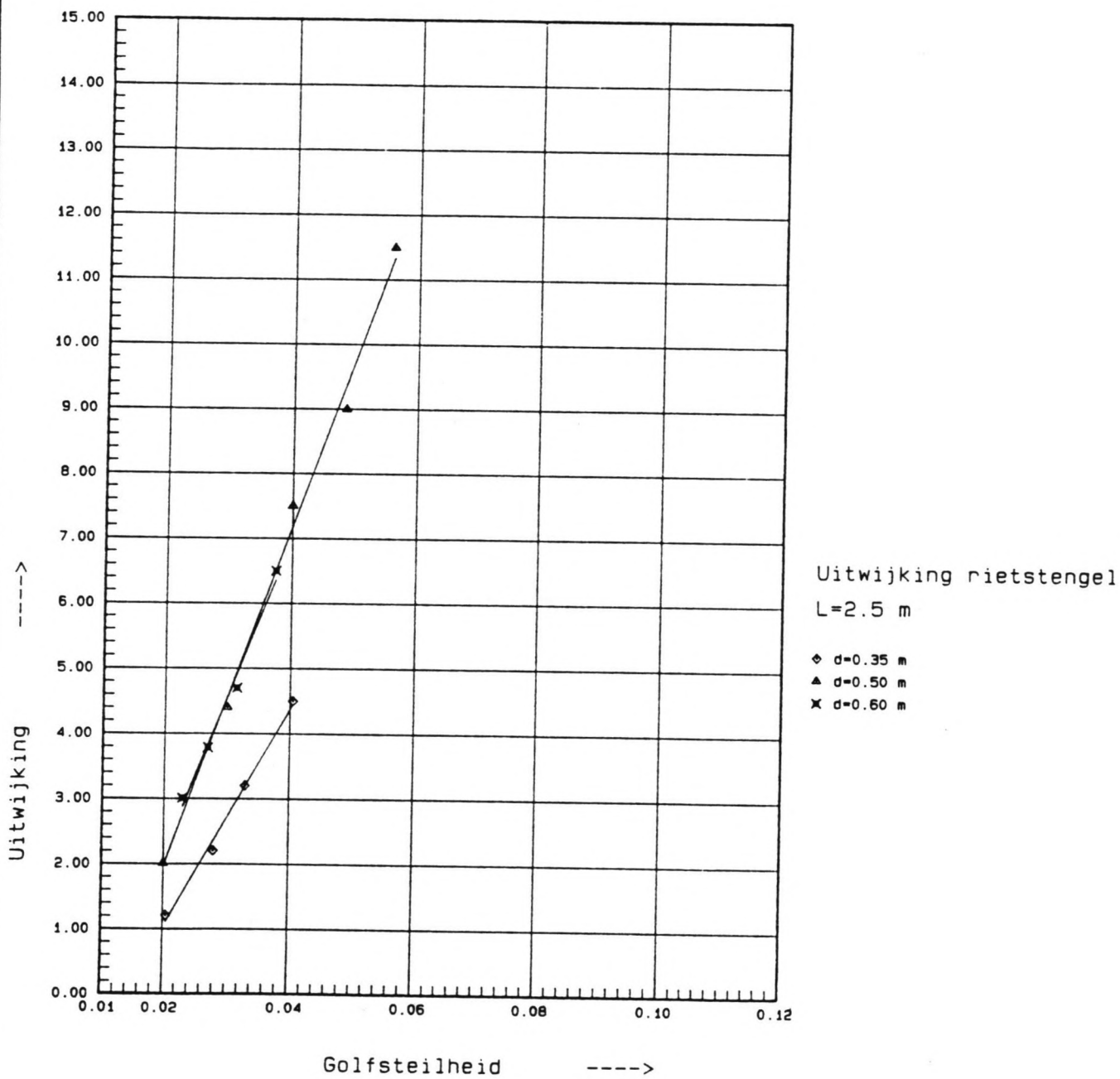


fig.50 Uitwijking stengel, L=2.5 m.

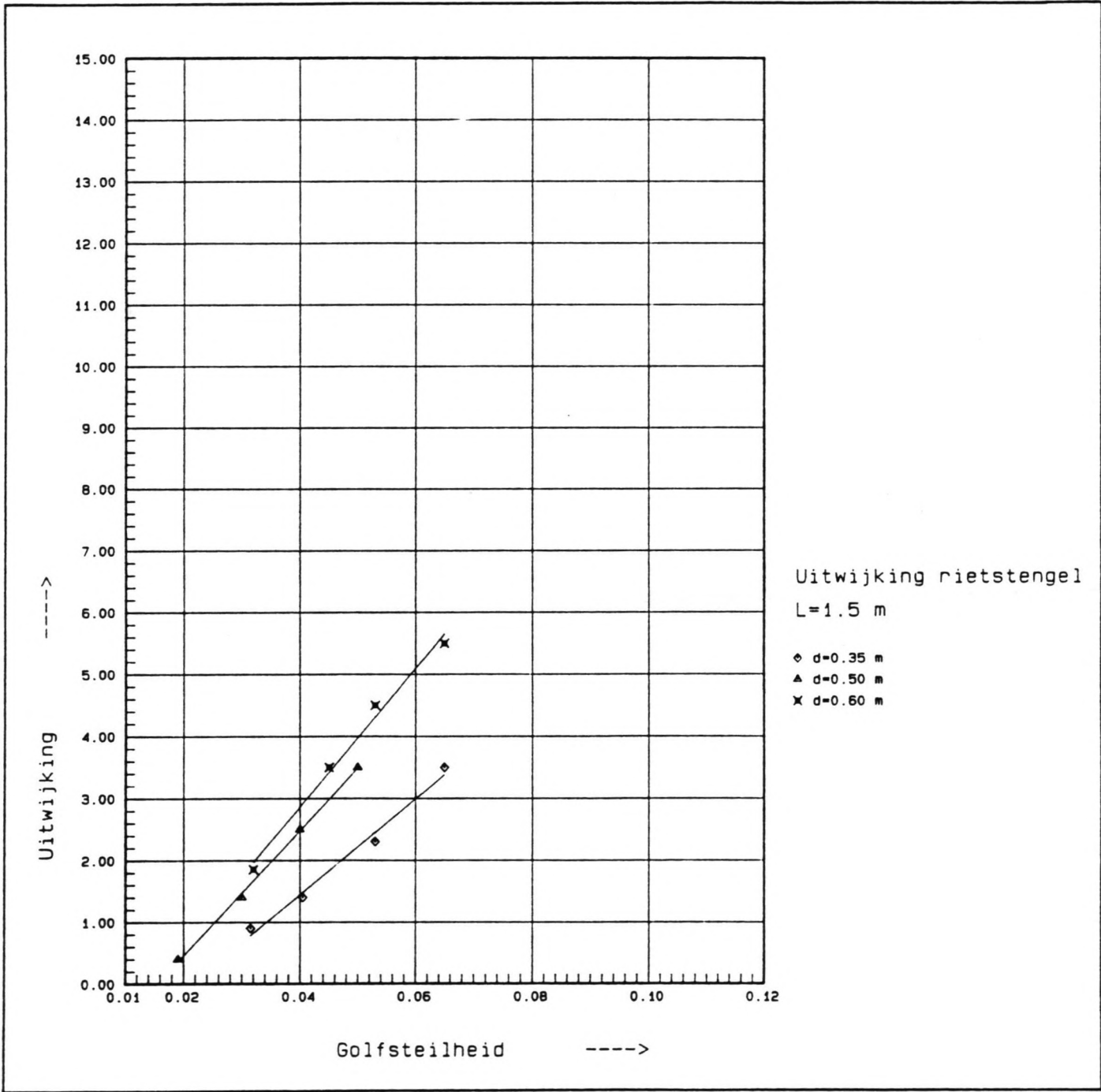


fig.51 Uitwijking stengel, L=1.5 m.

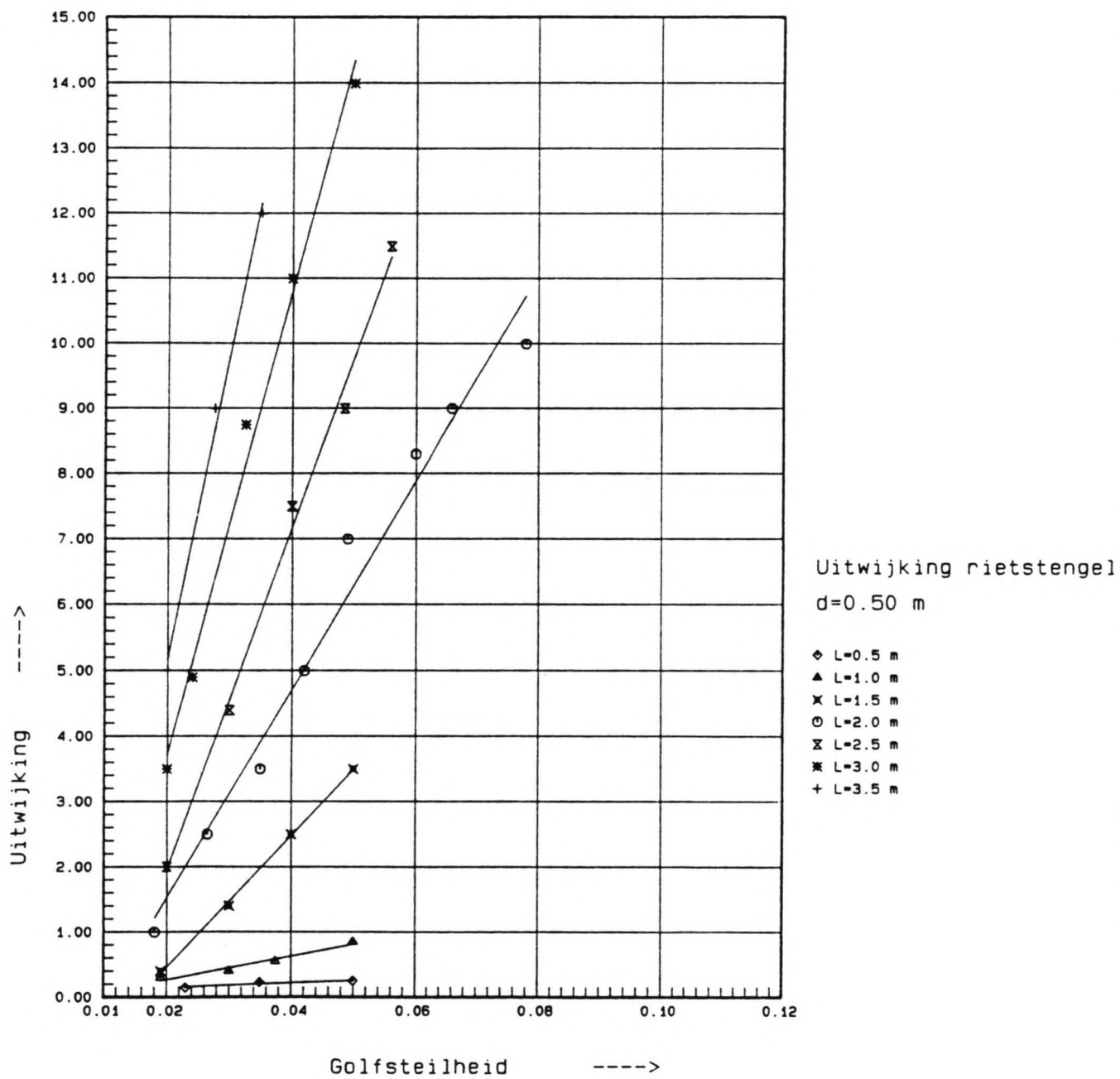


fig.52 Uitwijking stengel, d=0.50 m.

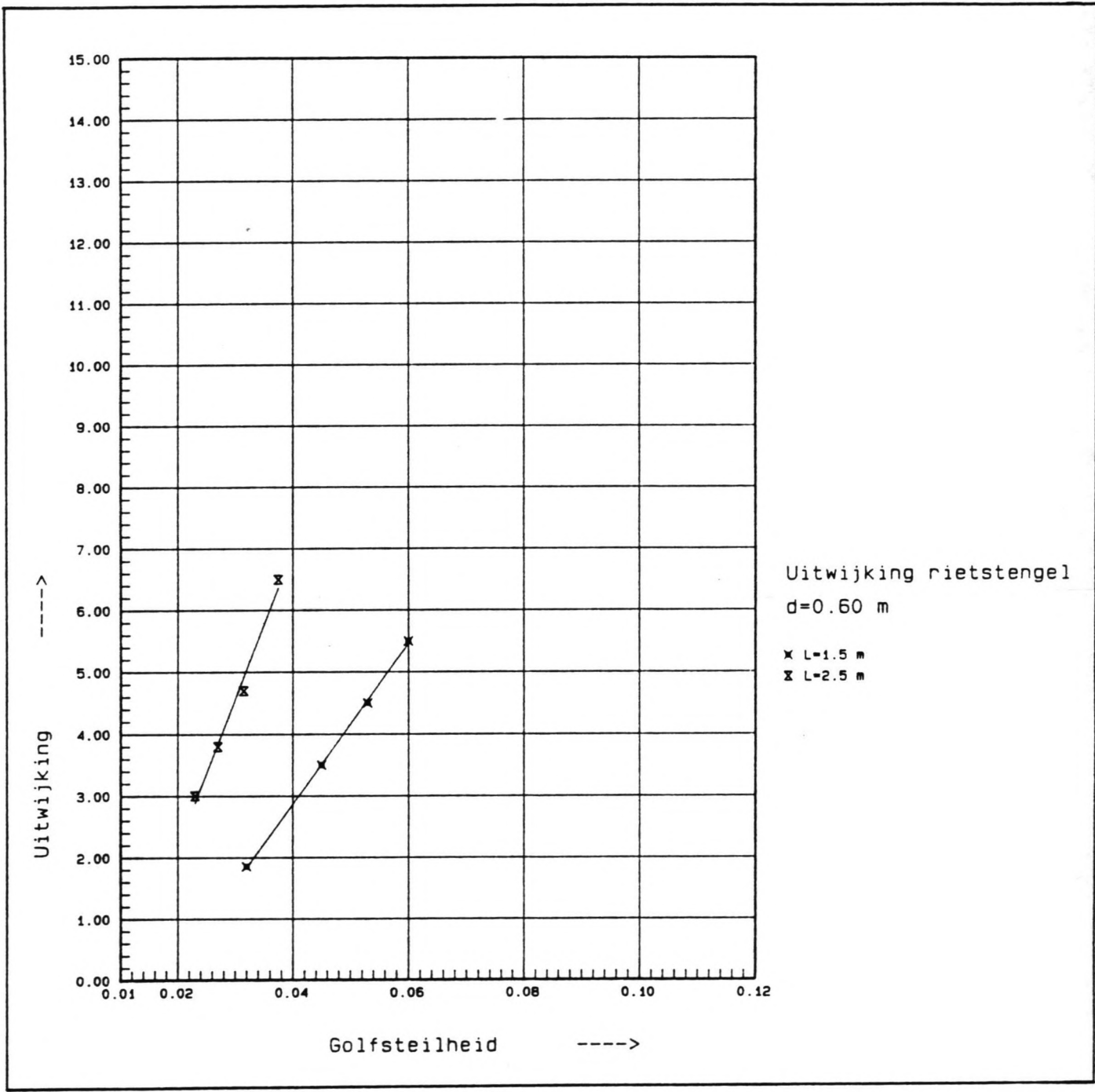


fig.53 Uitwijking stengel, d=0.60 m.

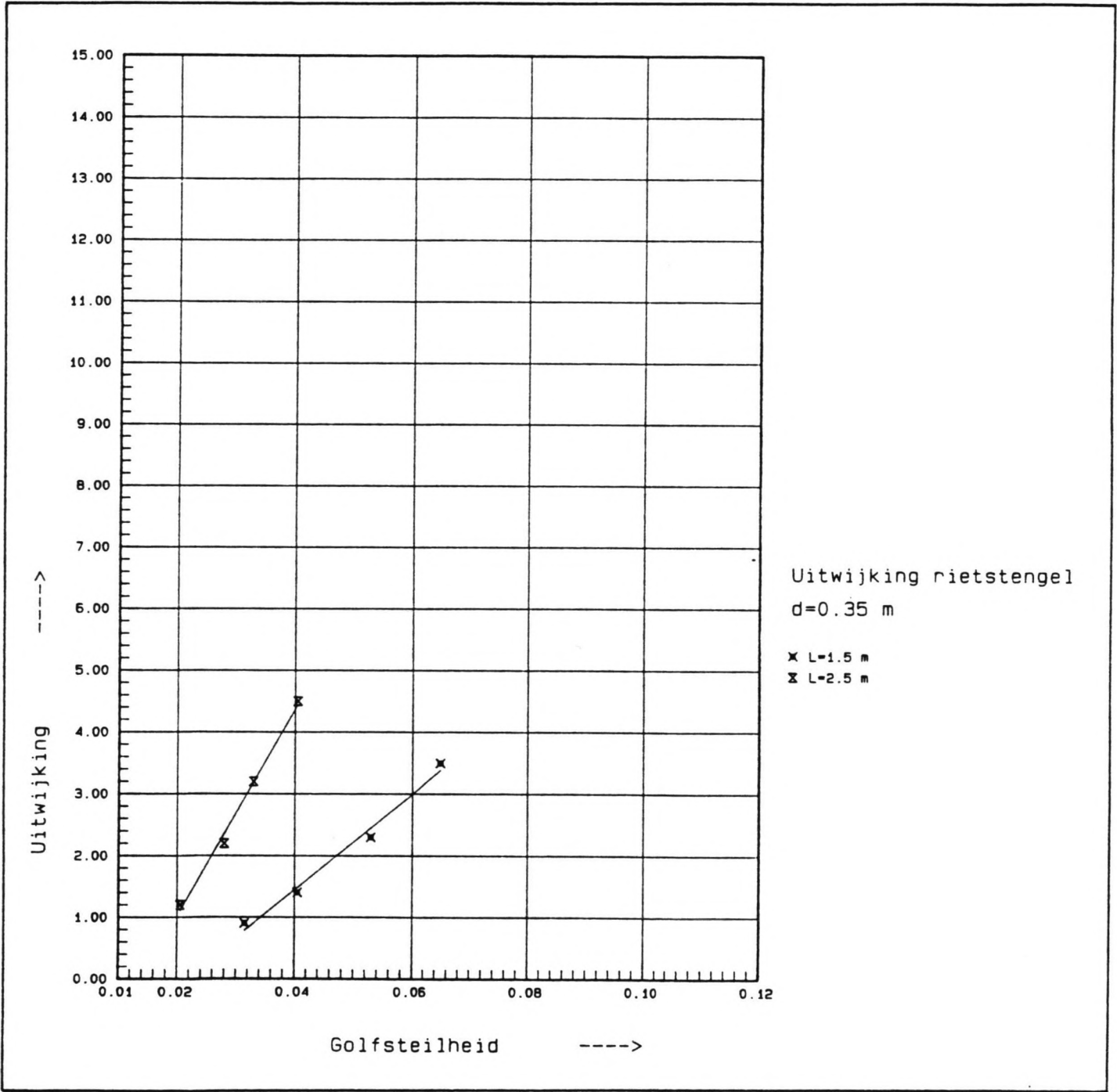


fig.54 Uitwijking stengel, d=0.35 m.

### 6.1.7 reflectie tegen rietkraag

Een interessante vraag is in welke mate de golven tegen de rietkraag reflecteren. Immers, een gedeelte van de golfenergie wordt doorgelaten, een gedeelte wordt gedissipeerd en wellicht wordt ook een gedeelte teruggekaatst. Er is een methode om uit de gemeten golfhoogte voor de kraag de gereflecteerde golf van de originele te onderscheiden. Dit gebeurt dan door twee golfhoogtemeters op een vaste afstand van elkaar (bijv.  $\frac{1}{2} \cdot L$ ) te positioneren. Met behulp van een Fourier-analyse kan men dan de twee golven van elkaar scheiden (zie bijlage 13). Bij de uitgevoerde proeven is deze methode niet toegepast.

Om toch te kunnen bepalen hoe groot de afwijking ten gevolge van het mee-meten van de gereflecteerde golf voor de rietkraag is geweest, is met een analyse van de registratie van GHM-4 getracht de grootte van de gereflecteerde golf af te schatten. Hierbij hebben de reeds in hfdst. 5.3 genoemde overwegingen een rol gespeeld. Indien een gereflecteerde golf gesuperponeerd wordt op de originele golf, dan veroorzaakt dit (afhankelijk van het faseverschil) een vergroting of een verkleining van de golfhoogte.

Zodra de gereflecteerde golf arriveert bij GHM-4, dan moet dit zichtbaar zijn doordat de golfhoogte verandert. Het verschil in golfhoogte is dan ongeveer hetzelfde dat ook door GHM-3 is geregistreerd. Door deze afwijking te verrekenen in de registratie van GHM-3 wordt de oorspronkelijke golfhoogte teruggevonden.

Omdat de rietkraag  $\pm 5$  m voor het dempschot stond, arriveerde de tegen het riet gereflecteerde golf eerder bij GHM-4 dan de golf die tegen het dempschot reflecteerde. Daardoor was het enigszins mogelijk deze twee effecten te scheiden. De resultaten van dit onderzoek zijn

H/L	0.035-0.045	0.045-0.055	0.055-0.065	0.065-0.075
L				
0.5	-	-	-	-
1.0	4%	4%	3%	
2.0	3%		4%	3%
3.0	5%	5%		

tab.9 reflectie tegen rietkraag.



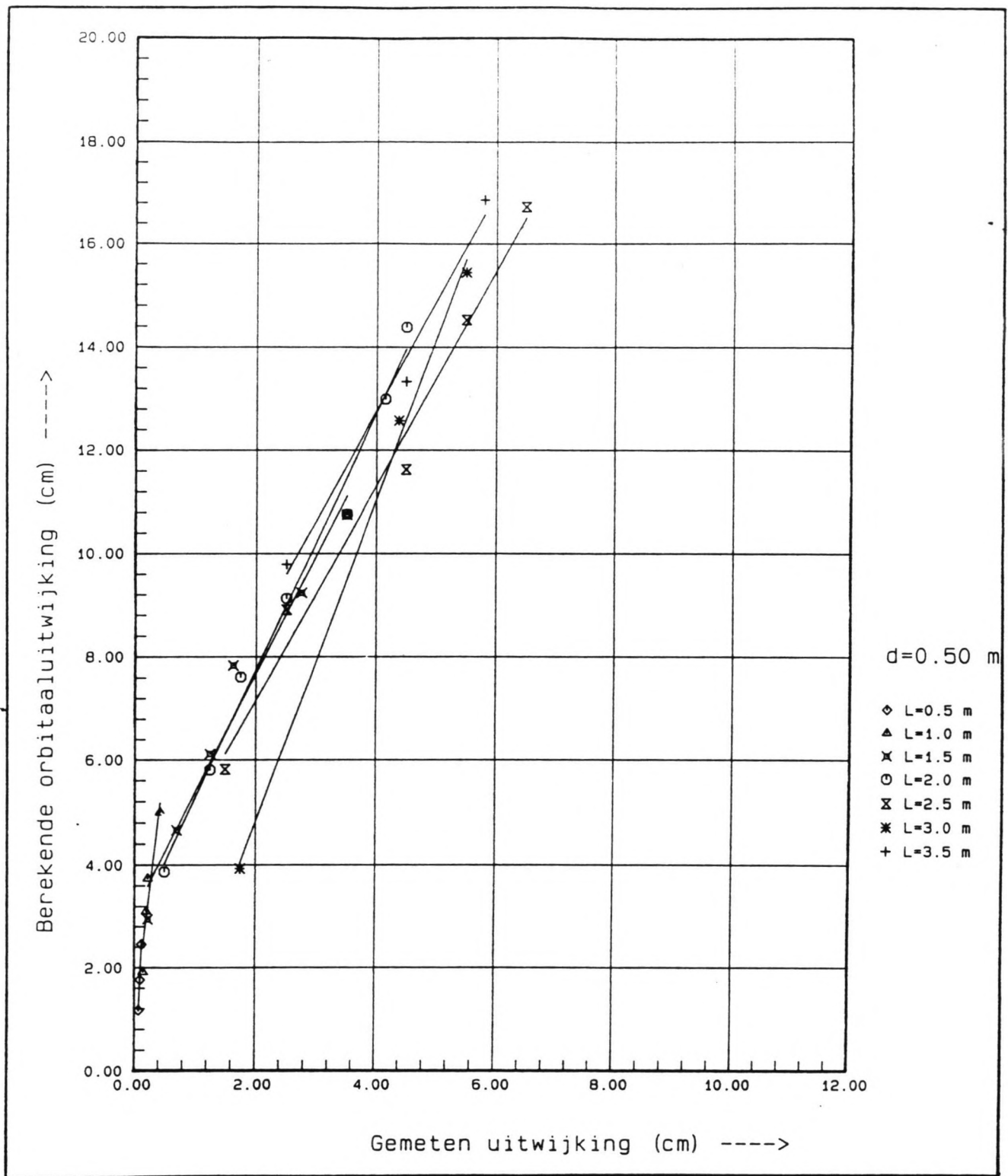


fig.55 stengeluitwijking vs. deeltjesverplaatsing.

Met nadruk moet gewezen worden op het feit dat deze percentages ondergrenzen zijn: het is goed mogelijk dat de werkelijke reflectie tegen de kraag groter is. De oorzaak hiervan is de eventuele faseverschuiving tussen de oorspronkelijke en de gereflecteerde golf.

Opvallend is, dat de reflectie tegen de rietkraag een vergroting van de oorspronkelijke golfhoogte tot gevolg heeft, terwijl de reflectie tegen het dempingstalud een verkleining veroorzaakt. Blijkbaar is de faseverschuiving bij de reflectie tegen het riet tamelijk gering (wat te verwachten was), terwijl de faseverschuiving t.g.v. het reflecteren tegen het dempend talud vrij groot is: de faseverschuiving zit dichterbij  $\pi$  dan bij 0. De orde van grootte van beide effecten is hetzelfde.

De vergroting/verkleining van de golfhoogte bij GHM-4 ten gevolge van de reflecties blijft over het algemeen binnen de 5%. Duidelijk is de tendens dat bij toenemende golflengte de variatie in de golfhoogte gaat toenemen: de reflectie wordt sterker. Omdat de grootte van de reflecties beperkt is wordt de invloed daarvan op de metingen verwaarloosd.

Bovenstaande beschouwing over reflectie is zeer globaal; eventuele vervolgprouven zullen met behulp van de hierboven genoemde opstelling (met twee golfhoogtemeters op een vaste afstand van elkaar) in staat zijn de reflectie veel nauwkeuriger te bepalen.

---

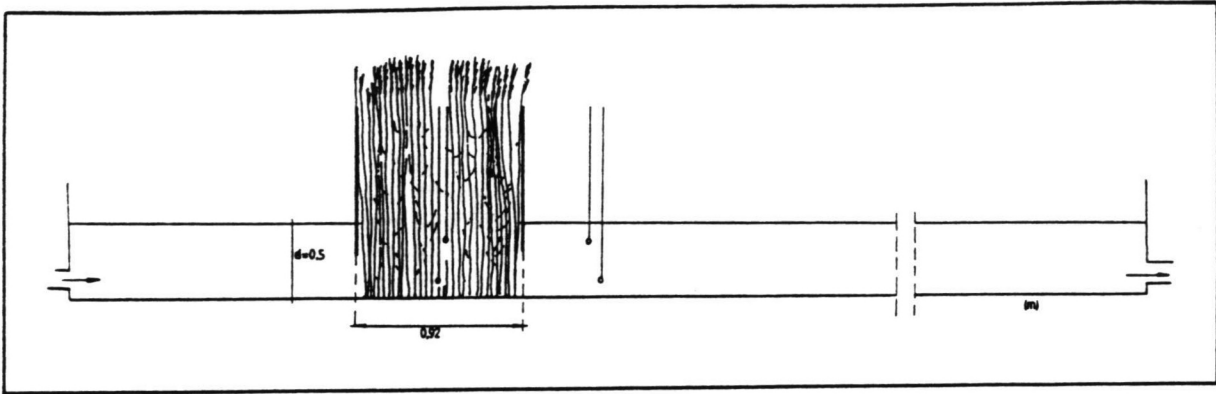


fig.56 Opstelling bij stroomproeven.

## 6.2 stromingsproeven

De proeven die zijn uitgevoerd om een indruk te krijgen van de weerstandscoefficiënt van riet heeft in het volgende geresulteerd:

Omdat de instroomopening zich tamelijk dicht bij de rietkraag bevond (fig.56), was er bij de stroming zeker geen sprake van een ontwikkelde grenslaag met logaritmisch snelheidsprofiel. Integendeel, de snelheid aan de bodem ( $u_b$ ) was over het algemeen groter dan die aan het oppervlak ( $u_o$ ). Door een storing in één van de snelheidsmeters is de snelheid aan het oppervlak in de rietkraag niet gemeten. Er zijn drie proeven gedaan, waarbij de stroomsnelheid werd gevarieerd. De waterdiepte was voor alle stroomproeven ongeveer 0.50 m.

### Proef1:

snelheden in de kraag:  $u_o = -$  m/s  
 $u_b = 0.18$  m/s  
 snelheden na de kraag:  $u_o = 0.14$  m/s  
 $u_b = 0.15$  m/s

het gemeten verval over de twee golfhoogtemeters (vlak voor en vlak na de kraag, onderlinge afstand 92 cm) bedroeg 0.625 cm. Het verhang was dus 0.0068.

### Proef2:

snelheden in de kraag:  $u_o = -$  m/s  
 $u_b = 0.28$  m/s  
 snelheden na de kraag:  $u_o = 0.21$  m/s  
 $u_b = 0.24$  m/s

het gemeten verval was hier 1.35 cm, het verhang was 0.0146.

### Proef3:

snelheden in de kraag:  $u_o = -$  m/s  
 $u_b = 0.48$  m/s  
 snelheden na de kraag:  $u_o = 0.40$  m/s  
 $u_b = 0.40$  m/s

het gemeten verval was hier 3.42 cm, het verhang was 0.037.

Hoewel, zoals reeds eerder gememoreerd, er beslist geen sprake was van een logaritmisch snelheidsprofiel (in welk geval Chézy gebruikt mag worden) is toch een berekening met Chézy gemaakt om een ruwe schatting van de coëfficiënt van Chézy te hebben. Daartoe werd het volgende overwogen:

de formule van Chézy luidt

$$u = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (6.2.1)$$

Hierin is  $u$  de stroomsnelheid,  $C$  de Chézy-constante en is  $R$  de zogenaamde hydraulische straal.  $R$  wordt berekend door het 'natte' oppervlak te delen door de 'natte' omtrek, de z.g. periferie. De vergelijking voor de bodemschuifspanning  $\tau_{bs}$  bij stroming is

$$\tau_{bs} = \sigma \cdot g \cdot \frac{u^2}{C^2} \quad (6.2.2)$$

Deze vergelijking geldt voor uniforme stroming, maar mag in het geval van niet-uniforme stroming (zoals hier) ook lokaal gebruikt worden [14]. De invloed van staafjes in een stroomgoot kan worden uitgedrukt met [26]

$$\tau = \tau_b + \tau_s \quad (6.2.3)$$

Hierin is  $\tau_b$  de invloed van de bodem en  $\tau_s$  de invloed van staafjes. Voor een bepaald bodemoppervlak  $A$  beplant met  $n$  staafjes geldt dan [26]

$$\sigma \cdot g \cdot \left(\frac{u^2}{C_o^2}\right) \cdot A = \sigma \cdot g \cdot \left(\frac{u^2}{C_b^2}\right) \cdot A + \frac{1}{2} \sigma \cdot C_d \cdot u^2 \cdot (d \cdot \Phi) \cdot n \quad (6.2.4)$$

Hierin is  $d$  de waterdiepte en  $C_o$  en  $C_b$  resp. de Chézy-coëfficiënt voor de samengestelde situatie en de bodem. De gemiddelde stengeldiameter  $\Phi$  wordt op 3 mm gesteld. Door wegdeling van gezamenlijke parameters volgt dan

$$(C_o^2)^{-1} = (C_b^2)^{-1} + \frac{1}{2} C_d \left(\frac{d \cdot \Phi}{g \cdot A}\right) \cdot n \quad (6.2.5)$$

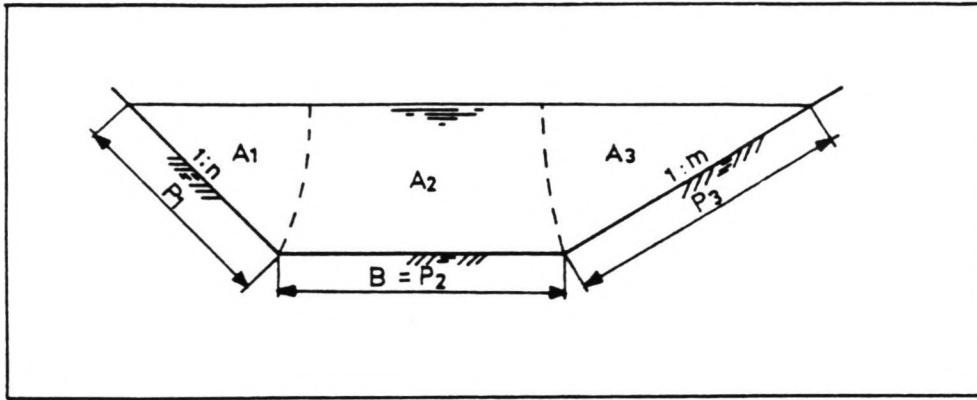


fig.58 Samengestelde ruwheid.

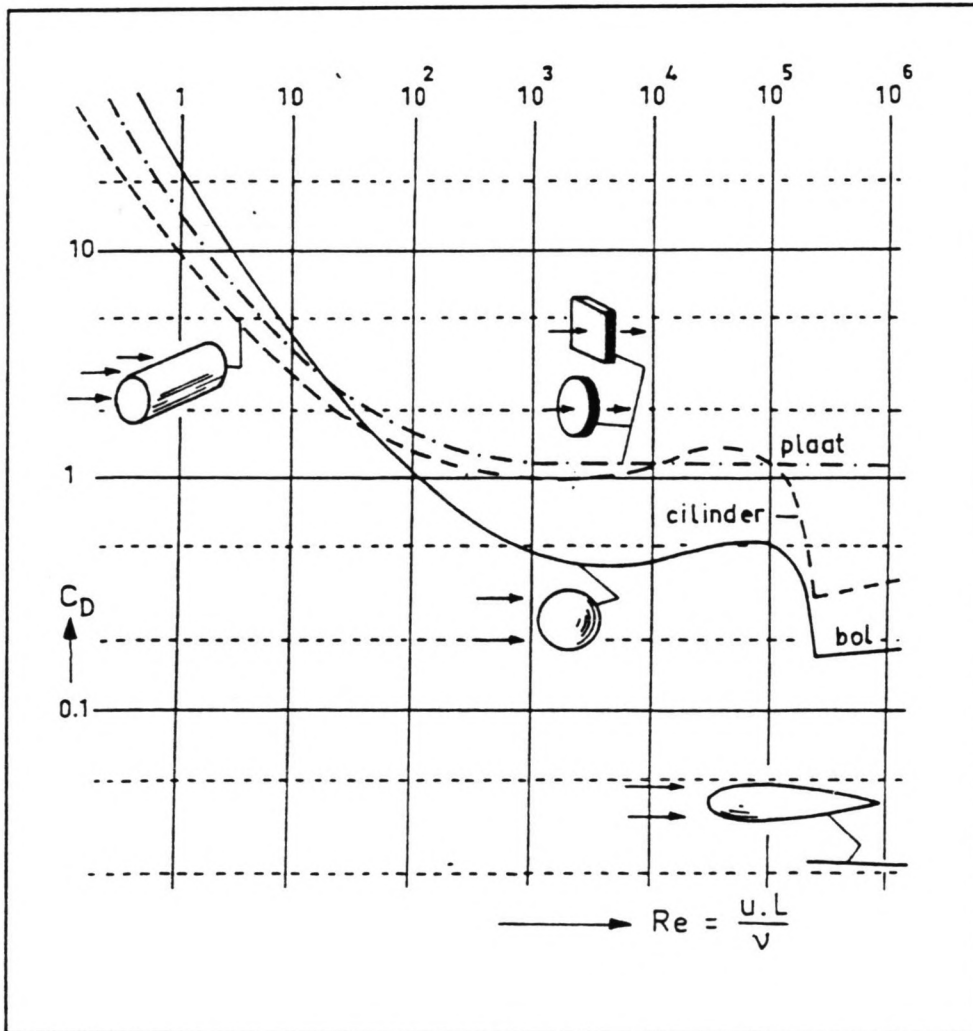


fig.57  $C_D$  als functie van Reynolds-getal.

A is in dit geval  $\pm 0.8 \text{ m}^2$ . Aannemend dat de rietbladeren weinig of geen invloed hierop uitoefenen en er geen onderlinge beïnvloeding van de stengels plaatsvindt volgt dan (omdat  $Re \approx 2000$ ) dat  $C_d \approx 1$  (fig.57).

De waarde voor  $C_b$  kan worden berekend met

$$C_b = 18 \log \left( \frac{12 \cdot R}{k_n} \right) \quad (6.2.6)$$

Hierin is  $k_n$  de Nikuradse-ruwheid. Voor de bodem van de rietkraag wordt deze (mede onder invloed van de wortels) na inspectie geschat op 4 cm. De grootte van  $R$  is nog onbepaald, omdat de zijwanden van de goot een andere ruwheid hebben dan de rietbodem. De Vries [14] leidt voor dergelijke samengestelde situaties met behulp van Chézy en de hypothese van Einstein af dat voor de afzonderlijke vakken (zie fig.58) van het dwarsprofiel geldt

$$(C^2 \cdot R)^{-1} = (C_1^2 \cdot R_1)^{-1} = (C_2^2 \cdot R_2)^{-1} = (C_3^2 \cdot R_3)^{-1} \quad (6.2.7)$$

Voor een eerste benadering van de weerstand kan de formule van Strickler gebruikt worden

$$C = 25 (R/k_n)^{1/6} \quad (6.2.8)$$

Substitutie hiervan in (6.2.7) met  $k_n = 0.001 \text{ m}$  [14] voor de wanden van de zandlift waarin de rietkraag stond geeft

$$R_b = 0.35 \text{ m} \quad (6.2.9)$$

Substitutie hiervan in (6.2.6) geeft voor de bodemruwheid

$$C_b = 18 \log \left( \frac{12 \cdot 0.35}{0.04} \right) \approx 36 \text{ } \sqrt{\text{m/s}} \quad (6.2.10)$$



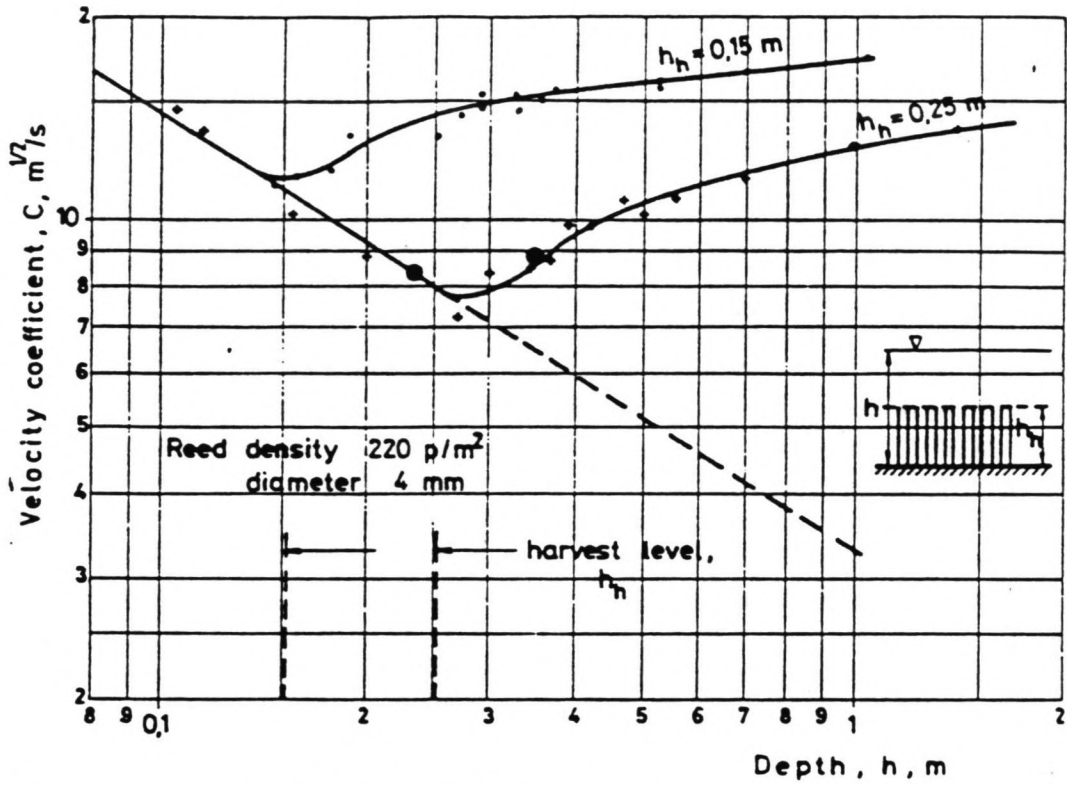


Fig. 3. Variation of the velocity coefficient with depth in harvested reed and at water levels above the reed.  
Le coefficient de vitesses en fonction de la profondeur d'eau pour roseaux fauchés et pour hauteurs d'eau supérieures aux roseaux

fig.59 Weerstand rietkraag.

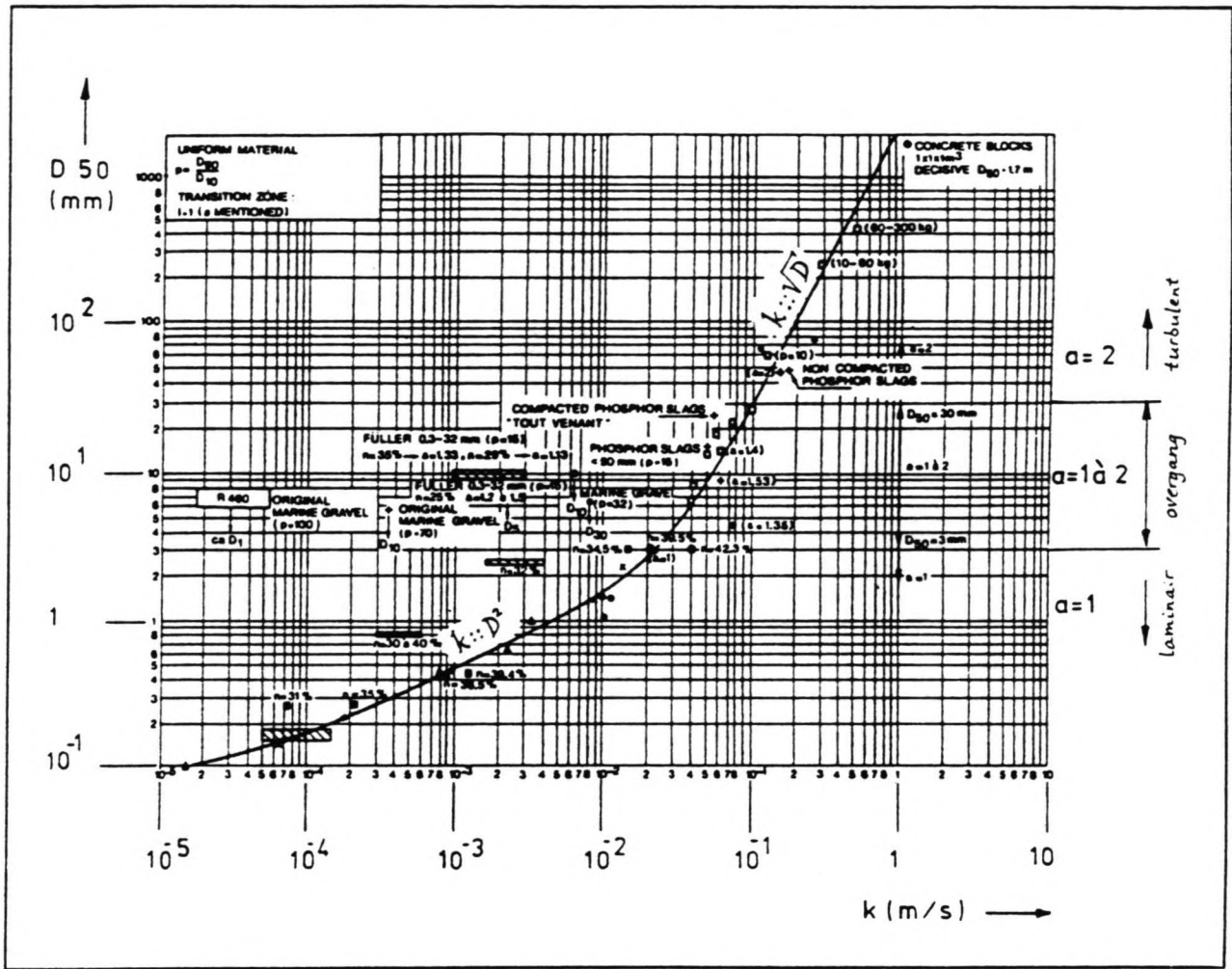


Fig.60 Doorlatendheid materialen.

Uit telling was gebleken dat het aantal stengels op 0.4 m<sup>2</sup> ongeveer 150 bedroeg (hfdst. 6.4). Dit zou betekenen dat het totale aantal stengels in de rietkraag (n) ongeveer 300 was. Substitutie in (6.2.5) geeft dan

$$(C_0^2)^{-1} = 0.00077 + 0.02813 \quad C_0 \approx 6 \text{ } \mu\text{m/s} \quad (6.2.11)$$

De ruwheid wordt dus, gelijk de verwachting, voornamelijk bepaald door de rietstengels. De aldus berekende C-waarde van riet ligt rond de 6. Dat is een extreem lage waarde die een zeer grote ruwheid veronderstelt. Vergelijking van deze uitkomst met eerdere stroomproeven met riet [27] toont een verrassende overeenkomst (fig.59).

Een andere wijze van benadering, waarbij het log. snelheidsprofiel geen rol speelt, is om de stroming door de rietkraag te beschouwen als de stroming door een poreus medium. Daartoe dient dan de doorlatendheid  $k_r$  van de rietkraag berekend te worden. Voor turbulente stroming door poreuze materialen wordt de aangepaste formule van Darcy gebruikt [25]

$$u_f = k_1 \cdot i \quad (6.2.12)$$

en

$$k_1 = \sqrt{k_r} \cdot (\sqrt{i})^{-1} \quad (6.2.13)$$

waarin  $k_1$  een rekgrootheid is,  $i$  het verhang voorstelt en  $u_f$  gelijk is aan de volume-stroom per eenheid oppervlak, ook wel filtersnelheid genoemd. Dit is dan niet de werkelijke watersnelheid door het poreuze medium. Om die te vinden moet  $u_f$  gedeeld worden door de porositeit.

Omdat in geval van een evenwichtssituatie (zoals hier) de volumestroom per eenheid oppervlak door de rietkraag even groot is als er na is de berekening van de volumestroom zeer eenvoudig: het is de snelheid zoals die gemeten is na de rietkraag. Door uitmiddeling van de snelheid bij de bodem en bij het oppervlak volgt dan:

$$1 \quad u=0.1415 \text{ m/s} \quad u_f=0.1415 \text{ m/s} \quad k_1=0.1415/0.0068=20.8 \text{ m/s} \\ k_r=2.9 \text{ m/s}$$

$$2 \quad u=0.2285 \text{ m/s} \quad u_f=0.2285 \text{ m/s} \quad k_1=0.2285/0.0146=15.7 \text{ m/s} \\ k_r=3.6 \text{ m/s}$$

$$3 \quad u=0.399 \text{ m/s} \quad u_f=0.399 \text{ m/s} \quad k_1=0.399/0.037 =10.8 \text{ m/s} \\ k_r=4.3 \text{ m/s}$$

Deze doorlatendheid komt overeen met die van open blokken beton (fig.60). Het opmerkelijke verschijnsel doet zich voor dat de doorlatendheid toeneemt met toenemende stroomsnelheid. Dit is niet conform de verwachting; men zou kunnen denken dat door de grotere stromingsdruk de stengels meer op elkaar worden gedrukt en tegen de dwarsbalk over de goot (blz.26) gaan leunen, waardoor de porositeit zal afnemen. Het tegenovergestelde blijkt het geval te zijn: de porositeit neemt toe met toenemende stroomsnelheid. Een mogelijke verklaring voor deze afwijkende resultaten ligt hierin dat door de toenemende stroomsnelheid de rietstengels zo sterk in elkaar worden gedrukt dat het verval niet over de 93 cm (van tussen de GHMs) staat maar over een kleinere afstand. Hierdoor wordt het verhang groter en verandert de berekende doorlatendheid. Anderzijds kan het ook zo zijn dat door de steeds toenemende stroomsnelheid de bladeren van de rietplanten keurig gestrekt in de stroomrichting gaan liggen, waardoor de doorlatendheid toeneemt.

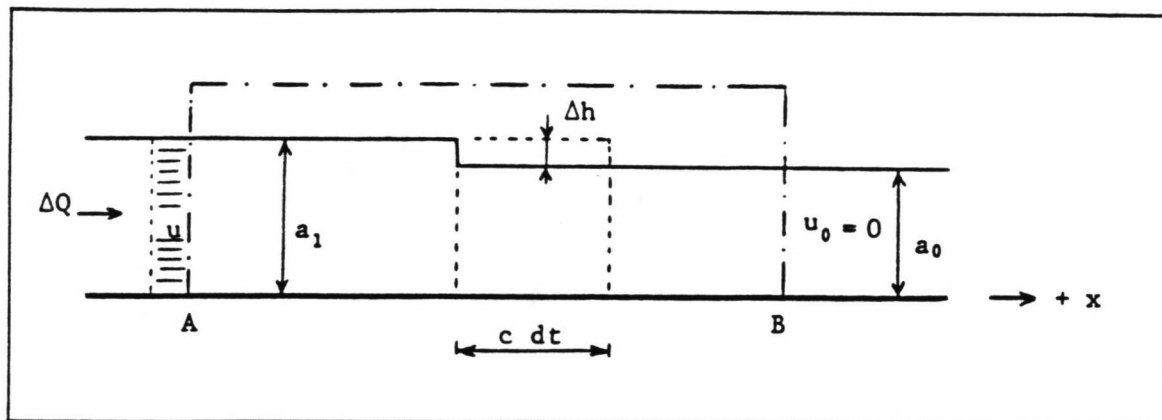


fig.61 Translatiegolf.

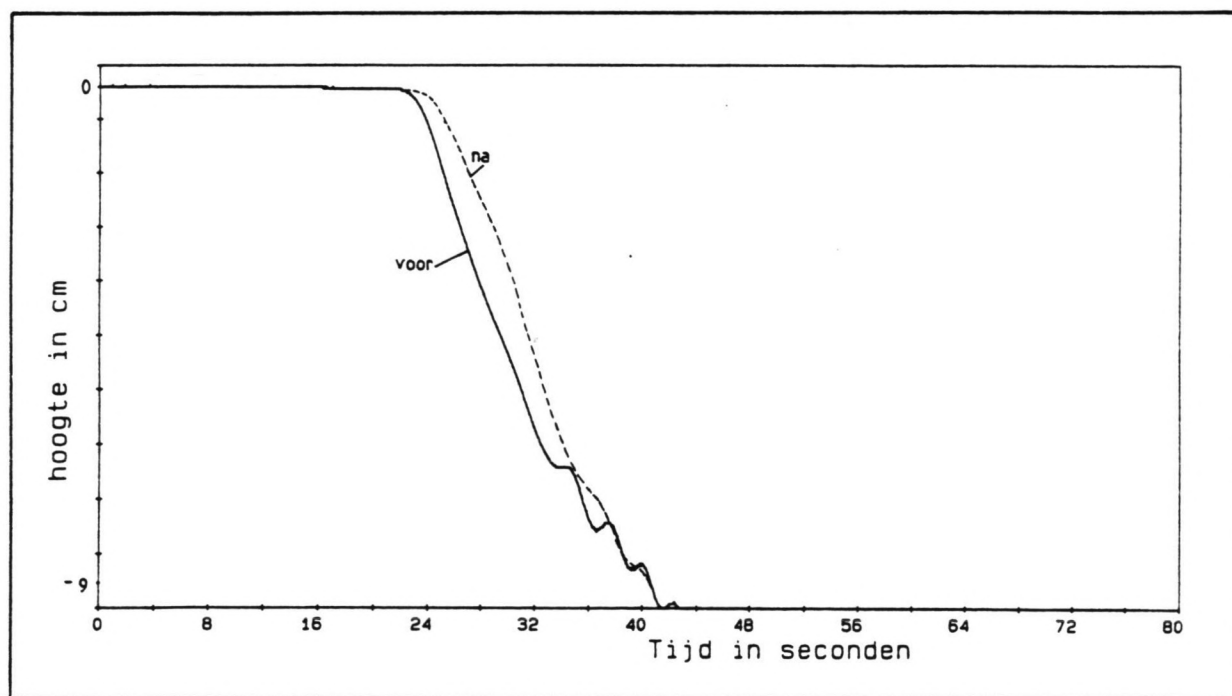


fig.63 Verval over de rietkraag.

---

### 6.3 spiegel dalingsproeven

#### 6.3.1 algemeen

De poging om door middel van het snel omhoog trekken van een schot aan één zijde van de goot een negatieve translatiegolf te genereren is slechts ten dele geslaagd. Er trad een aanzienlijke vervorming (afvlakking) van de golf op omdat de translatiegolf betrekkelijk groot was ten opzichte van de waterdiepte ( $d=0.50$  m). Hierdoor was er een aanzienlijk snelheidsverschil in de negatieve translatiegolf aanwezig. Immers, de voortplantingssnelheid  $c$  van een translatiegolf (fig.61) wordt gegeven door [24]

$$c = \sqrt{\left(\frac{1}{2}g \cdot (a_0 + a_1) \cdot a_1 \cdot (a_0)^{-1}\right)} \quad (6.2.14)$$

Hierin is  $a_0$  de ongestoorde waterdiepte en  $a_1$  de waterdiepte tijdens de passage van de translatiegolf.

Door dit snelheidsverschil liep de 'hoge kant' van de translatiegolf sneller dan de 'lage'. Het gevolg was een afvlakkende golf. Als de negatieve translatiegolf naar links loopt, dan treedt er onder de golf een stroming op naar rechts (het water moet weg kunnen stromen). In het experimenteelmodel was deze terugstroming niet over de volle hoogte mogelijk, omdat het onderste deel van het schot dat tijdens het trekken in de goot achterbleef ondoorlatend was. Hierdoor ontstond er boven het achtergebleven schot de situatie van een volkomen overlaat, waardoor de hoogte van de translatiegolf aanzienlijk kleiner was dan de hoogte van het getrokken schot.

#### 6.3.2 vlakke waterbodem

Voor een vlakke waterbodem met beginwaterstand  $d=0.50$  m werden de volgende meetresultaten verkregen:

Proef1: (schot van 30 cm hoog)

max. snelheid achter de kraag:  $u=0.24$  m/s

max. snelheid voor de kraag :  $u=0.44$  m/s (fig.62)

over de kraag stond een verval (fig.63). Hiervoor moet worden bedacht dat de rietkraag als een weerstandselement in de stroming fungeert: het trekt een fors deel van het beschikbare verval naar zich toe. Hierdoor zal het verhang achter de rietkraag beperkt

---

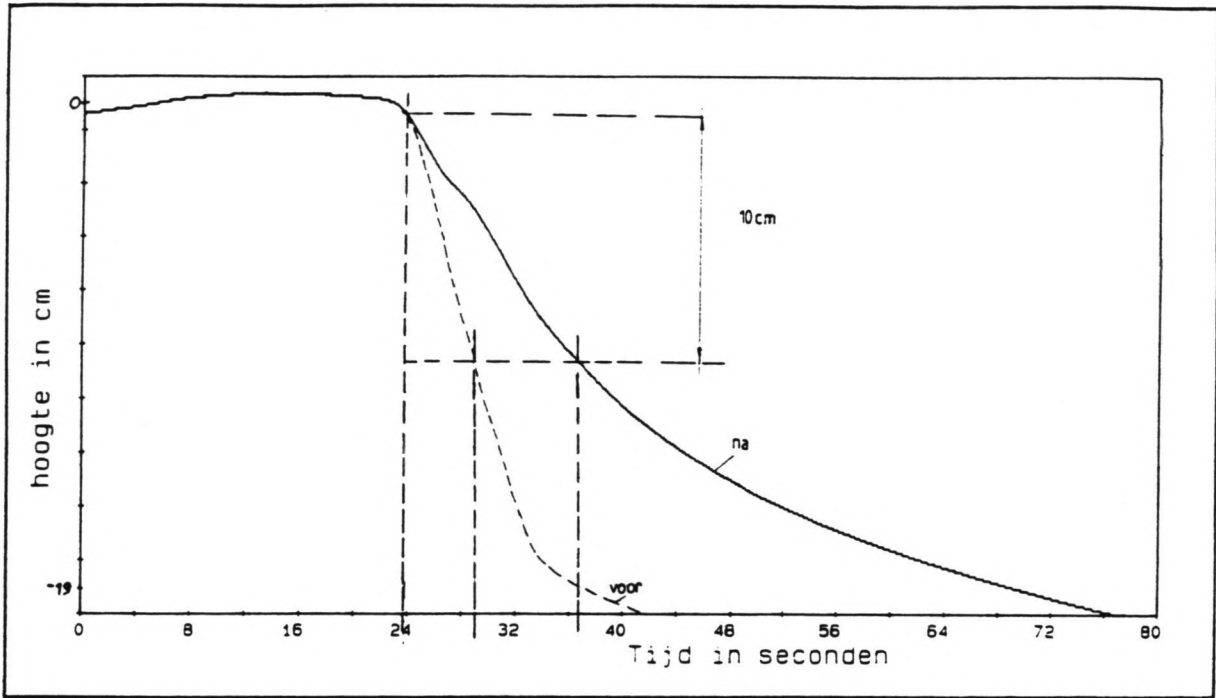


fig.64 Verschil in daalsnelheid waterspiegel.

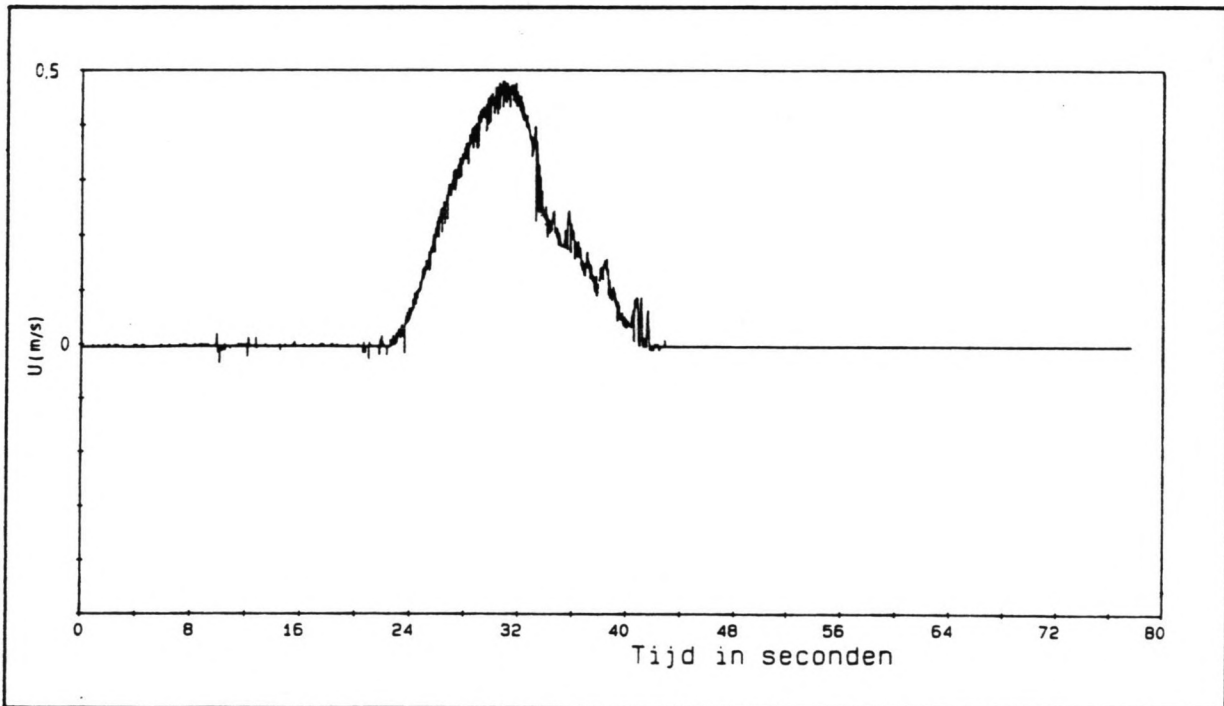


fig.62 Snelheidsverloop voor de rietkraag.



blijven (lagere snelheid) en bovendien kan het korte stuk goot achter de rietkraag tot op zekere hoogte worden opgevat als een estuarium. Hierdoor zal de watersnelheid afhangen van de locatie waar gemeten wordt: vlak achter de kraag zal de snelheid nog betrekkelijk groot zijn, bij de achterwand is de snelheid vrijwel nul (kombergingsberekening). De snelheid is ongeveer halverwege de goot achter de kraag gemeten. Dit verklaart het grote verschil in snelheid voor en na de rietkraag.

Proef2: (schot van 20 cm)

max. snelheid achter de kraag:  $u=0.22$  m/s  
max. snelheid voor de kraag :  $u=0.31$  m/s

Ook hier een licht achterblijven van de waterstand achter de kraag.

6.3.3 plasberm

Voor een talud met een beginwaterstand boven de plasberm van  $d=0.25$  m en van  $d=0.5$  m in het diepe deel van de goot volgde:

Proef1: (schot van 20 cm)

max. snelheid bovenaan talud:  $u=0.71$  m/s  
max. snelheid voor de kraag :  $u=0.25$  m/s

Bij deze proevenserie trad direct na het arriveren van de translatiegolf een zeer groot verschil op: de waterstand achter de kraag daalde veel langzamer dan die voor de kraag. Ter illustratie daarvan werd een vergelijking gemaakt tussen de golfhoogtemeter voor en na de kraag. Gekeken werd hoe lang het duurde voordat de waterspiegel (na het arriveren van de translatiegolf) een daling van 10 cm had bereikt (zie fig.64). Dit gaf:

tijdsduur golfhoogtemeter voor de kraag:  $\Delta t=6.6$  s  
tijdsduur golfhoogtemeter na de kraag :  $\Delta t=15.6$  s

---

Proef2: (schot van 30 cm)

max. snelheid bovenaan talud:  $u=0.71$  m/s

max. snelheid voor de kraag :  $u=0.32$  m/s

Ook hier trad weer het sterke verschil in daalsnelheid op.

tijdsduur golfhoogtemeter voor de kraag:  $\Delta t= 5.2$  s

tijdsduur golfhoogtemeter na de kraag :  $\Delta t=12.8$  s

6.3.4 plasberm met stenen dam

Vervolgens werd bovenaan het talud, vlak voor de rietkraag een stenen dam van breuksteen gebouwd. Deze had een hoogte van  $\pm 12$  cm (en bleef dus ruim onder de waterspiegel). Eén van de snelheidsmeters registreerde nu de snelheid vlak boven de dam.

Proef1: (schot van 20 cm)

max. snelheid boven de dam :  $u=0.71$  m/s

max. snelheid voor de kraag:  $u=0.32$  m/s

Ook hier trad weer een zeer sterk verschil in daalsnelheid op.

tijdsduur golfhoogtemeter voor de kraag:  $\Delta t= 7.0$  s

tijdsduur golfhoogtemeter na de kraag :  $\Delta t=18.4$  s

Proef2: (schot van 30 cm)

Bij deze proef met een groter schot (30 cm hoog) bezweek de stenen dam.

Bij alle proeven met het talud was er sprake van schietend water op het talud. Er trad een aanzienlijke uitspoeling van gronddeeltjes op. De invloed van het talud (met plasberm) op de waterspiegeldaling is zeer groot. Men vergelijke deze uitkomsten met die voor de vlakke bodem. Het verhang over de rietkraag is in het geval van een talud veel groter dan in het geval van een vlakke bodem.

---

#### 6.4 rietparameters

De resultaten van het bepalen van de typische rietkarakteristieken (diameter  $\phi$  en stengellengte  $l$ ) zijn

$\phi$ \ $l$	0-50	50-75	75-100	100-125	125-150	>150	(cm)
1-2	1	4	3	4	2	-	
2-3	3	6	7	12	14	2	
3-4	4	4	5	6	6	8	
4-5	3	-	5	1	7	16	
5-6	2	4	3	-	5	6	
6-7	2	-	1	-	2	6	
7-8	1	-	-	-	-	1	
8-9	1	-	-	-	-	1	
(mm)							

tab.10 karakteristieken gebruikte riet.

In totaal zijn er 158 stengels geteld op 0.4 m<sup>2</sup>. De extreem korte stengels met diameter 6-9 mm zijn waarschijnlijk afgebroken geweest.

Worden de bovenstaande meetgegevens bekeken dat valt globaal het volgende verband tussen stengeldiameter en stengellengte vast te stellen:

$\phi$ (mm)	$l$ (cm)
1-2	50-125
2-3	100-150
3-4	100 >
4-9	150 >

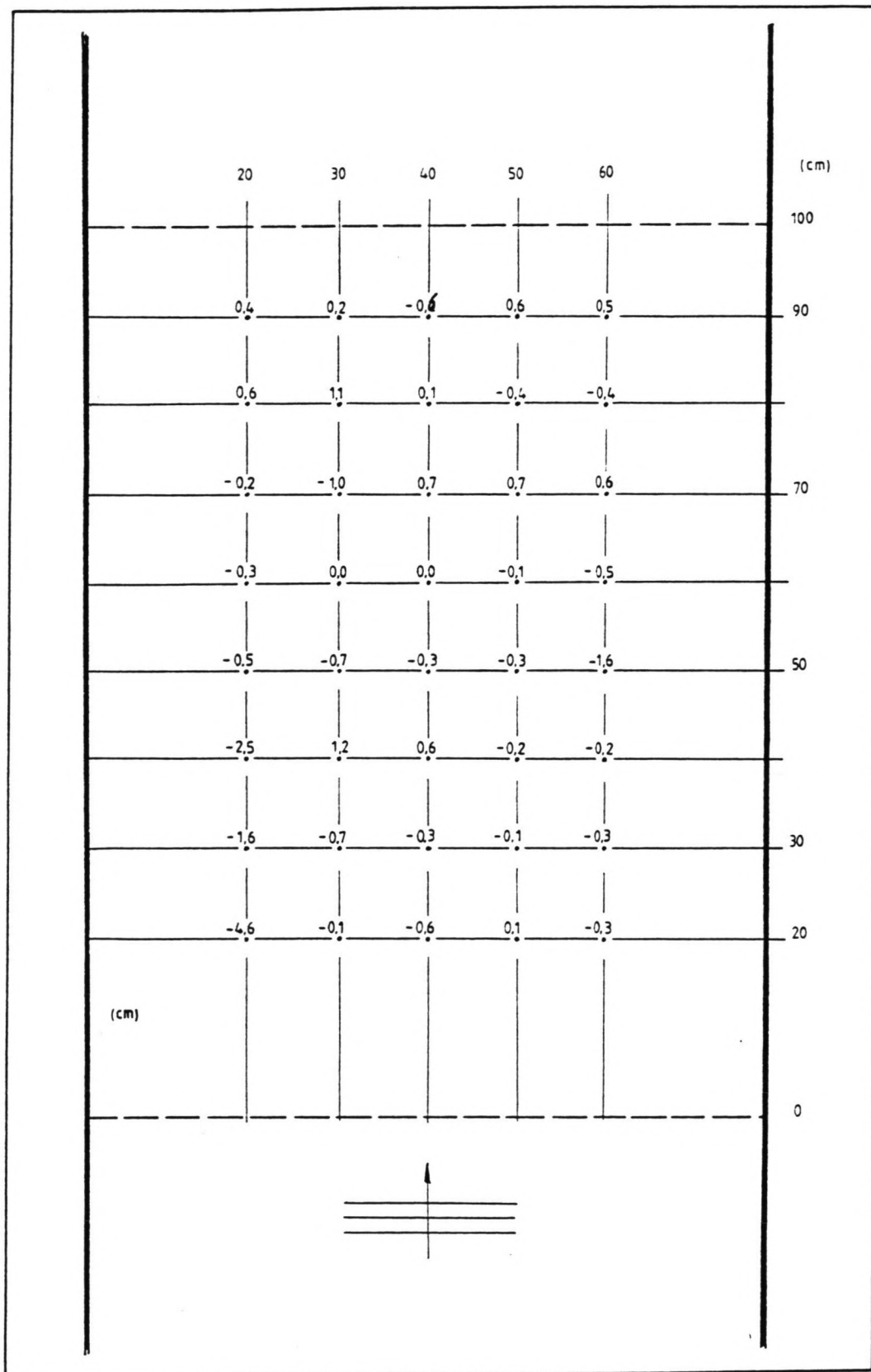


fig.65 Verandering in grondprofiel.

---

### 6.5 bodemonderzoek

Dat er uitspoeling uit de rietkraag opgetreden is gedurende de metingen stond reeds tijdens de proeven vast: vooral bij de lange golven ( $L=2.5 \dots L=3.5$  m) deed zich een aanzienlijke opwerveling en uitspoeling van gronddeeltjes voor. Soms zelfs zo sterk dat de metingen gestaakt moesten worden in verband met het niet meer functioneren van de snelheidsmeters. De resultaten van de meting van de bodemligging worden getoond in fig.65 (de verandering in bodemligging is aangegeven in cm; een negatieve waarde betekent een verlaging van de bodem t.o.v. de oorspronkelijke ligging - zie ook bijlage 7).

De grootste (neg.) veranderingen in bodemligging komen voor op die plaatsen waar de bodem duidelijk hoger is dan de gemiddelde bodemhoogte. Het is tamelijk onwaarschijnlijk dat de versnellende waterbeweging t.g.v. het iets ondiepere water ( $\approx 5\%$ ) daar debet aan is gezien het feit dat er ook dergelijke hoge bodempunten zijn waar de bodemligging juist omhoogschuift (m.a.w. daar treedt sedimentatie op). Er zijn eigenlijk geen duidelijke tendensen in de mate van erosie te ontdekken. Dat was ook niet te verwachten, gezien de hoge graad van entropie in de rietkraag. De rietstengels staan immers niet volgens een constante dichtheid ingeplant, maar integendeel, juist met een zeer grote spreiding daarin. Dan weer staan de stengels dicht bij elkaar op een bosje, dan weer staat er slechts een enkele stengel. Door deze onregelmatige samenstelling kan in de kraag een groot verschil in turbulentie, stroomsnelheid en stroombeeld ontstaan, waardoor een aanzienlijke variatie in erosie mogelijk is. Verder dient bedacht te worden dat in een zone met weinig rietstengels de beworteling geringer zal zijn, terwijl daarentegen in de nabijheid van een 'bosje' stengels de wortels een fijnmazig netwerk zullen vormen. Ook dit heeft ongetwijfeld zijn invloed op de erosie.

De extreem grote erosie in raai 20-20 (-4.6 cm) is niet erg waarschijnlijk. Wellicht is daar de aflezing van de peilnaald niet correct uitgevoerd.

De interpretatie van de metingen dient met enige voorzichtigheid te geschieden: hoewel de peilnaald voorzien was van een stomp dopje ( $\phi=1.0$  cm) bleek tijdens het opmeten van de bodem dat het uitermate moeilijk was om te bepalen wanneer het dopje de bodem raakte (het verschil tussen 'toucheren' en 'aandrukken'). Mogelijke verschillen hierin leiden tot fouten, die geschat worden op  $\pm 0.2$  cm.

---

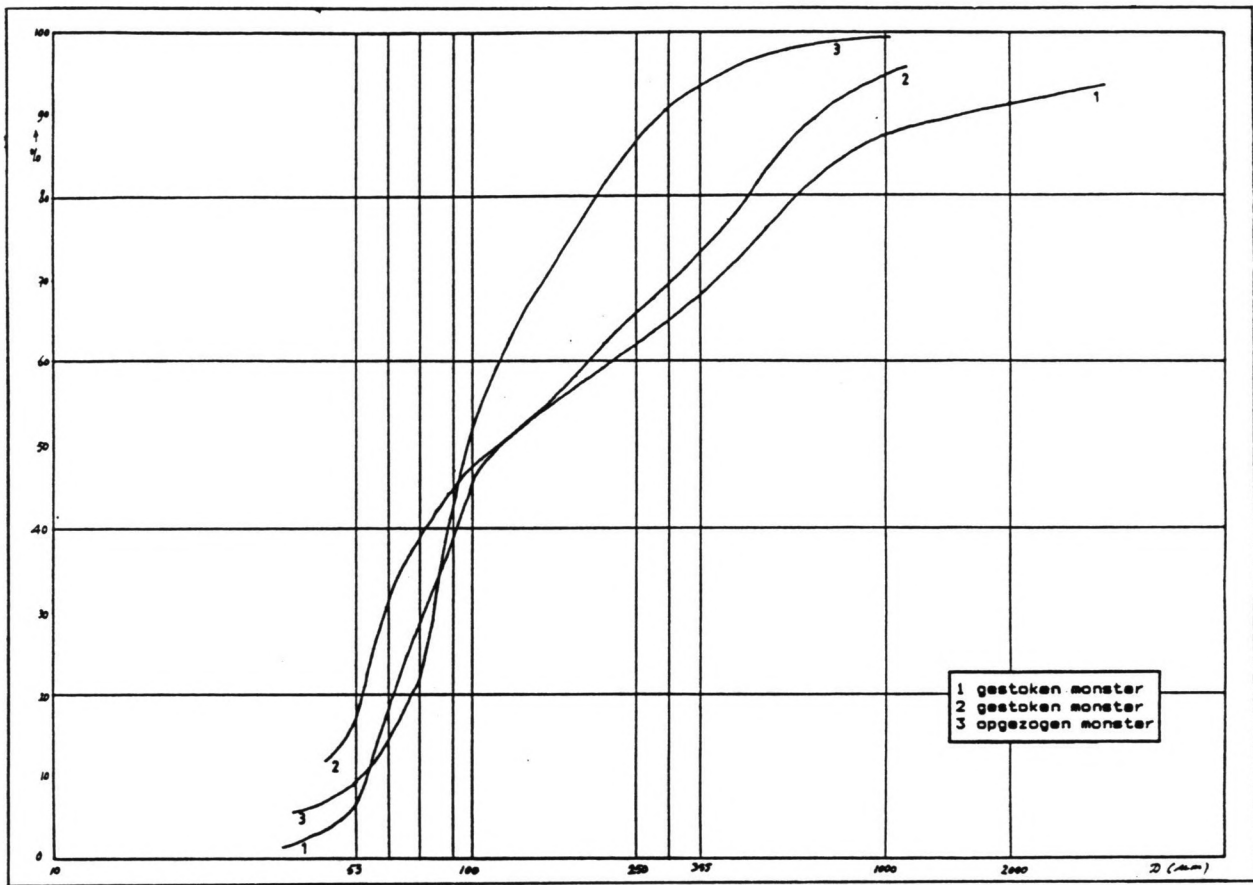


fig.66 Vergelijking grondmonsters.

### Uitspoeling van gronddeeltjes

Vergelijkt men de zeefkrommen van de verschillende bodemmonsters (zie ook bijlage 6) dan valt op dat bij het uitgespoelde monster de fracties 70-250  $\mu\text{m}$  zeer dominant aanwezig zijn. Blijkbaar spoelt die fractie relatief gemakkelijk uit de kraag, terwijl de grotere fracties ( $>250 \mu\text{m}$ ) juist goed blijven 'zitten'.

N.B.

De opzuigingen van het uitgespoelde sediment is meestal na een weekend of aan het begin van een werkdag uitgevoerd, zodat ook de zeer fijne fractie de gelegenheid heeft gehad om te bezinken. Immers [28]:

Voor het Stokes' gebied geldt:

$$v = \frac{\Delta \cdot g \cdot D^2 \cdot 10^6}{18}$$

waarin  $v$  de valsnelheid voorstelt,  $D$  de korreldiameter en de relatieve dichtheid is (hier: 1.65).

Een korte rekensom leert dan dat na een valtijd van 15 uur (van 17.30 u tot de volgende morgen 8.30 u) bij een waterdiepte van 50 cm een korrel met een diameter van ongeveer 4  $\mu\text{m}$  nog op tijd de bodem bereikt om meegezogen te kunnen worden.

---

---

## 7 Interpretatie meetresultaten

### 7.1 inleiding

De onderzochte parameters (waterdiepte, stengellengte, golflengte en -steilheid) blijken alle invloed te hebben op de mate van demping door de rietkraag. Om een eerste inzicht in het gecompliceerde spel van water en riet te verwerven, wordt de rietstengel binnen de wetenschappelijke kaders gehaald door de stengel te schematiseren tot een volledig ingeklemde, verticale, homogene buigligger.

### 7.2 schematisering rietstengel en aanpassing Morison

Het buigend moment in een doorsnede van een ligger is bepalend voor de hoekverdraaiing  $\theta$ . Immers, de eerste stelling van het momentenoppervlak leert dat het verschil in hoekverdraaiing tussen twee punten a en b gelijk is aan het oppervlak van het buigend moment  $M \cdot dx$  tussen die twee punten, gedeeld door de buigstijfheid  $EI$  [22]

$$\theta_b = \theta_a + \int_a^b \frac{M \cdot dx}{EI}$$

Beide, hoekverdraaiing en buigend moment, zijn bepalend voor de uitwijking  $y$  van de buigligger ten gevolge van de belasting. Daarbij is ook zeer belangrijk de afstand van het zwaartepunt van het buigend moment-oppervlak tot het punt waar de uitwijking wordt bepaald ( $x_b - x$ ). Is die afstand groot, dan is de uitwijking in dat punt ook (relatief) groot. De tweede stelling van het momentenoppervlak leert dat

$$y_b = y_a - \theta_a (x_b - x_a) - \int_a^b \frac{M}{EI} \cdot (x_b - x) \cdot dx$$


---



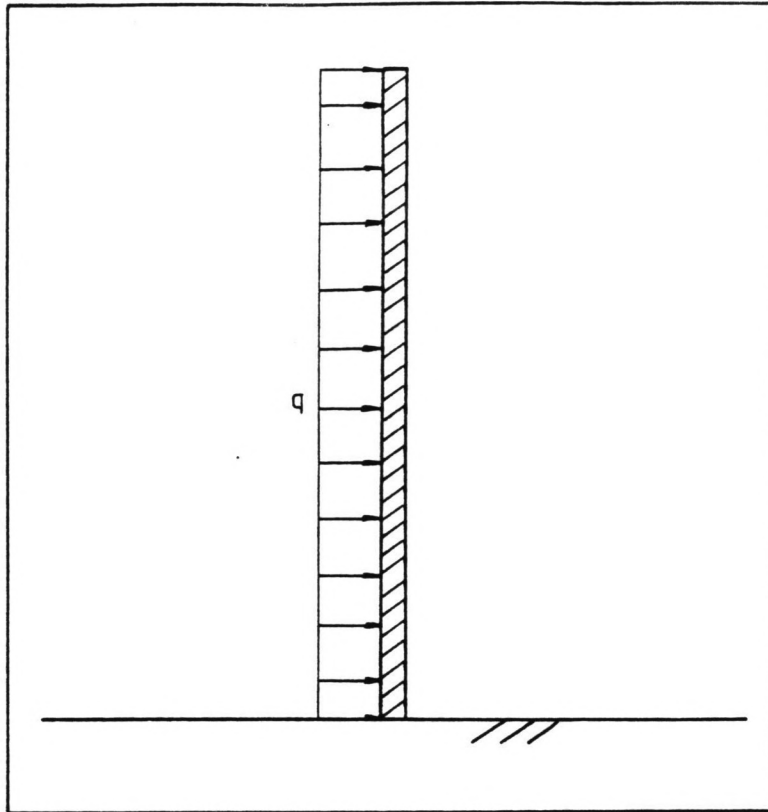


fig.67 Schematisering buigligger.

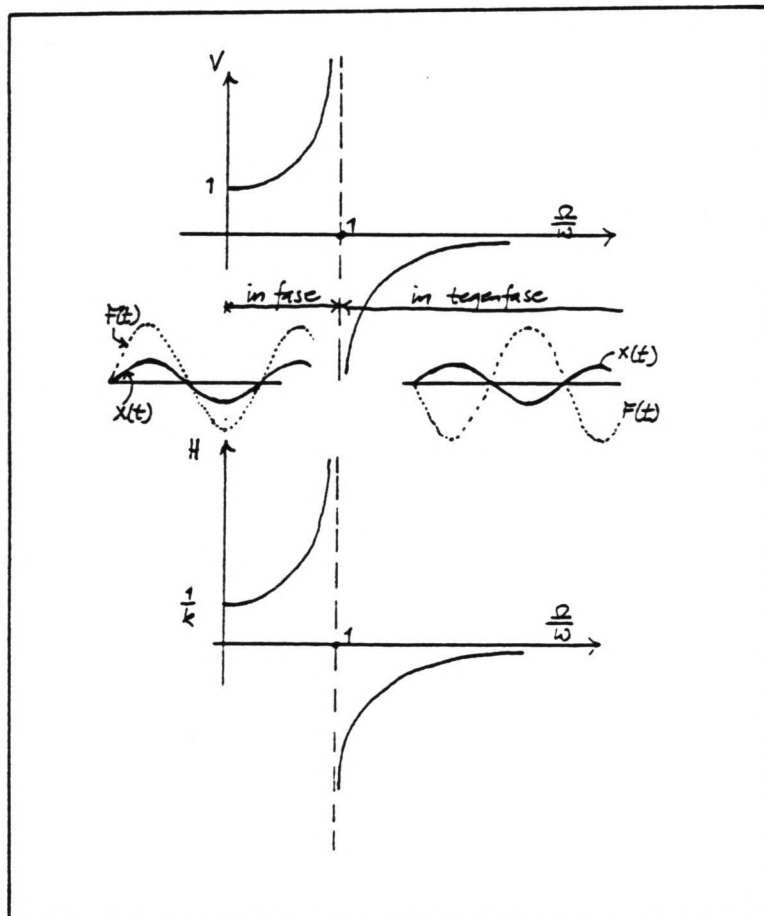


fig.68 Eigentrilling.

Voor een gelijkmatig verdeelde belasting  $q$  (zie fig.67) geeft dit voor het buigend moment  $M$

$$M = -\frac{1}{2} \cdot q \cdot (1-x)^2$$

Waarin  $l$  de lengte van de buigligger is.  
Door integratie volgt dan

$$\theta_b = \frac{q \cdot l^3}{6 \cdot EI}$$

waarin  $\theta_b$  de hoekverdraaiing in  $b$  voorstelt, en

$$y_b = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot EI}$$

met  $y_b$  als de uitwijking in punt  $b$ . Het moge duidelijk zijn dat naarmate de belasting dichter bij de inklemming aangrijpt de hoekverdraaiing en daarmee de uitwijking  $y$  kleiner worden. Deze invloed is tamelijk sterk omdat  $l$  tot de derde macht c.q. de vierde macht voorkomt.

Een buigligger kan worden opgevat als een massa-veersysteem. De laagste eigenfrequentie van het systeem is dan [23]

$$W = \sqrt{\left(\frac{12 \cdot 4 \cdot EI}{\sigma \cdot A \cdot l^4}\right)}$$

Waarin  $A$  de doorsnede van de de ligger is.

Indien een buigligger wordt aangesproken door een periodieke belasting dan zal de ligger, afhankelijk van de verhouding tussen de frequentie van het aangestuurde signaal  $\Omega$  en de eigenfrequentie  $W$  van de ligger, in fase of in tegenfase met het signaal bewegen [23] (zie fig.68). Als  $\Omega/W > 1$  dan is de ligger in tegenfase met het signaal, is  $\Omega/W < 1$  dan is de ligger in fase met het signaal. In het geval dat  $\Omega/W = 1$  dan trilt de ligger in zijn eigenfrequentie. Dit alles voor het geval dat er geen demping is.

Door middel van een eenvoudig proefje is de eigenfrequentie van de rietstengels bepaald (zie bijlage 8). Daaruit blijkt dat de laagste eigenfrequentie van de stengels juist in dat gebied ligt waar ook de periode van de meeste golven ligt (nl.  $0.8 < T < 2.0$  s). De formules met betrekking tot de eigenfrequentie van buigliggers

e.d. spreken zich uit over situaties waarbij de belasting op de top van de ligger aangrijpt.

Een rietstengel echter ondervindt zijn belasting tamelijk dicht bij de inklemming, dus feitelijk is er sprake van een andere belastingssituatie. Navraag (1) leerde dat de positie van de belasting geen invloed uitoefent op de grootte van de eigenfrequentie. Naarmate de belasting dichterbij de inklemming aangrijpt zal echter wel de bandbreedte rond de eigenfrequentie (het frequentiegebied waar de ligger al aanzienlijke uitwijkingen vertoont) smaller worden.

Het buigend moment in een belaste buigligger bestaat uit twee componenten:

- 1- een kracht
- 2- de afstand van de krachtvector tot de beschouwde doorsnede: de arm

ad.1 De kracht van golven op palen wordt beschreven door Morison (zie hfdst. 3.4). Directe toepassing van de formule van Morison is echter om een tweetal redenen niet mogelijk. Allereerst betrof het onderzoek van Morison alleenstaande palen. De invloed van eventuele andere palen in de directe nabijheid werd dus niet onderzocht. Ten tweede spitste het onderzoek van Morison zich toe op starre palen. Een vergelijking met de stengels van een rietkraag toont het verschil: in een rietkraag is sprake van een groot aantal, dicht op elkaar geplaatste stengels waar onderlinge beïnvloeding aanwezig is. Bovendien is de verplaatsing van de stengels dermate groot dat zeker geen sprake kan zijn van starre stengels. Een aanpassing van Morisons formule is dus noodzakelijk. Om dat te verwezenlijken worden de beide termen in de vergelijking aangepast door middel van een zogenaamde meebewegingsterm. Omdat de stengel enigszins meebeweegt met de waterdeeltjes wordt zowel in de traagheidsterm als in de 'drag'-term met resp. de relatieve versnelling en de relatieve snelheid gerekend. Voor de horizontale verplaatsing van de waterdeeltjes  $\xi$  geldt

$$\xi(t) = -\frac{1}{2}H \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kh} \cdot \cos(\omega t - kx)$$

Indien wordt aangenomen dat de stengel in fase met de golf beweegt (wat aanvechtbaar is) dan volgt

$$x(t) = -x_0 \cdot \cos(Wt)$$

Waarin  $x_0$  de helft van de gemeten max. uitwijking van de stengel voorstelt (omdat de verplaatsing immers gemeten was als de max. uitwijking van de ene kant naar de andere). Door differentiëren volgt dan de stengelsnelheid  $u(t)$

$$u(t) = x_0 \cdot W \cdot \sin(Wt)$$

en nogmaals differentiëren geeft de versnelling van de stengel

$$a(t) = x_0 \cdot W^2 \cdot \cos(Wt)$$

Door substitutie van deze termen in de formule van Morison volgt (kies  $x=0$ )

$$f_i = \frac{1}{2} C_m \cdot \sigma \cdot \pi \cdot D^2 \left\{ W^2 \cdot \frac{1}{2} H \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} - x_0 \cdot W^2 \right\} \cdot \cos(Wt)$$

$$f_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \sigma \cdot D \cdot \left( W \cdot \frac{1}{2} H \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} - x_0 \cdot W \right)^2 \cdot \sin^2(Wt)$$

Worden deze formules vergeleken met de oorspronkelijke termen van de Morison-formule (hfdst. 3.4) dan valt direct op dat de kracht op de stengel kleiner is geworden omdat de stengel meebeweegt.

Het is overigens wel de vraag of beide termen van belang zijn in het geval van golfkrachten op rietstengels. Om dat te onderzoeken is een onderlinge vergelijking van de termen noodzakelijk.

De waarden van de coëfficiënten  $C_m$  en  $C_d$  zijn uit fig.69 resp. fig.70 te schatten. De waarde van  $C_d$  is afhankelijk van de grootte van het Reynoldsgetal. Aangenomen dat de watersnelheden rond de 0.15 m/s liggen en dat de karakteristieke lengtemaat de stengeldiameter is ( $\approx 0.4$  cm) volgt voor het Reynoldsgetal

Experimentally Determined Values of  $C_M$

Investigator	Approximate $Re$	$C_M$ *	Type of Experiment and Theory Used
Keulegan and Carpenter (1956)	$< 3 \times 10^4$	1.5 to 2.5	Oscillatory laboratory flow (A/D 6)
Bretschneider (1957)	$1.6 \times 10^5$ to $2.3 \times 10^5$	2.26 to 2.02	Field experiments
	$3.8 \times 10^5$ to $6 \times 10^5$	1.74 to 1.23	Linear Theory
Wilson (1965)	large ( $> 5 \times 10^5$ )	1.53	Field experiment, spectrum
Skjelbreia (1960)	large ( $> 5 \times 10^5$ )	$1.02 \pm 0.53$	Field experiments, Stokes' Fifth Order Theory
Dean and Aagaard (1970)	$2 \times 10^5$ to $2 \times 10^6$	1.2 to 1.7	Field experiments, Stream-function Theory
Evans (1970)	large ( $> 5 \times 10^5$ )	$1.76 \pm 1.05$	Field experiments, Numerical Wave Theory or Stokes' Fifth Order Theory
Wheeler (1970)	large ( $> 5 \times 10^5$ )	1.5	Field experiments, Modified spectrum analysis using $C_D = 0.6$ and $C_M = 1.5$ the standard deviation of the calculated peak force was 33 percent

\* Range or mean  $\pm$  standard deviation.

fig.69 Experimenteel bepaalde waarden  $C_M$ .

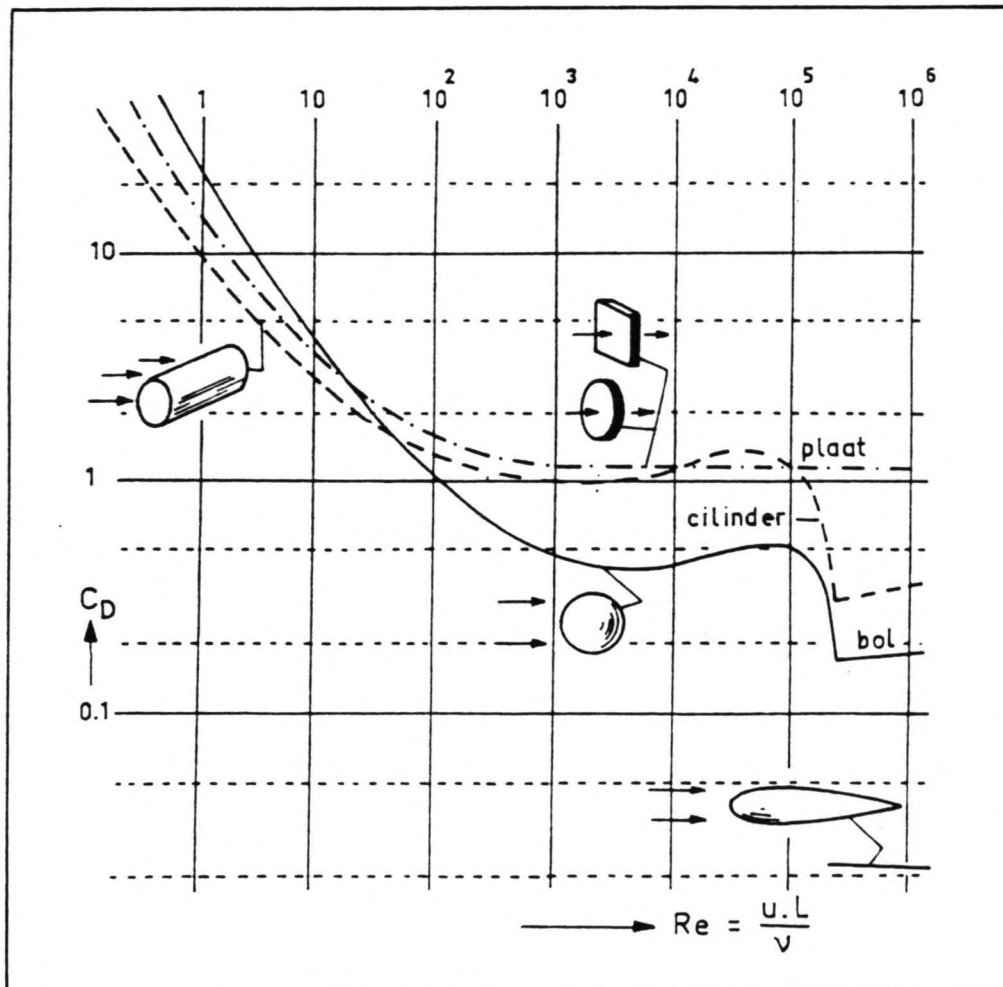


fig.70  $C_D$  als functie van Reynolds-getal.

Aflezen uit fig.70 geeft dan

$$C_D \approx 1.0$$

Fig.69 geeft aan dat voor  $Re < 3 \cdot 10^4$  de waarde van  $C_m$  tussen 1.5 en 2.5 ligt. Daarom wordt als eerste benadering aangehouden

$$C_m = 2.0$$

Substitutie van deze waarden, met  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  geeft

$$f_D = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1000 \cdot \phi \cdot u^2$$

en

$$f_i = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 1000 \cdot \phi^2 \cdot \frac{du}{dt}$$

Voor de maximale krachten geeft dit dan

$$f_D = 500 \cdot W^2 \cdot \frac{1}{4} H^2 \cdot \phi$$

$$f_i = 1571 \cdot W^2 \cdot \frac{1}{2} H \cdot \phi^2$$

De tendensen zijn duidelijk te zien: voor grote golfhoogten  $H$  is de drag-term  $f_D$  overheersend, terwijl voor kleine  $H$  ook de  $f_i$  een woordje meespreekt. Ter illustratie is een aantal voorbeelden doorgeredend. De rietdiameter  $\phi$  wordt voor alle gevallen op 5 mm gesteld. Dan volgt: (alle cijfers moeten met  $W^2$  worden vermenigvuldigd)

1 $H=0.05 \text{ m}$	$f_i=9.83 \cdot 10^{-4}$	en $f_D=1.56 \cdot 10^{-3}$	ofwel 0.63 : 1
2 $H=0.10 \text{ m}$	$f_i=1.97 \cdot 10^{-3}$	en $f_D=6.25 \cdot 10^{-3}$	0.32 : 1
3 $H=0.15 \text{ m}$	$f_i=2.95 \cdot 10^{-3}$	en $f_D=1.41 \cdot 10^{-2}$	0.21 : 1

De inertia-term  $f_i$  is dus weliswaar kleiner dan de drag-term maar mag zeker niet veronachtzaamd worden.

---

ad.2 De arm van de kracht is de afstand van de krachtvector tot de inklemming. Het is duidelijk dat een kracht op de stengel die hoog boven de bodem aangrijpt een groter buigend moment in de stengel veroorzaakt dan een kracht die dichtbij de inklemming aangrijpt. Een groot buigend moment betekent een grote hoekverdraaiing onderin de stengel en daarmee een grote uitwijking bovenaan de stengel.

De demping in de rietkraag kan worden opgesplitst in een drietal elementen:

- 1-wrijving
- 2-wervelvorming
- 3-de tegenwerkende kracht van de rietstengels

ad.1 De wrijving betreft zowel de wrijving langs de stengels als de wrijving langs de ruwe bodem van de kraag. Naarmate de golven langer worden neemt de snelheid aan de bodem en daarmee de demping toe. Dit geldt evenzo als de golfhoogte toeneemt.

ad.2 Door het snelheidsverschil tussen de rietstengel en de waterdeeltjes ontstaan er wervels achter de rietstengel. Hierin gaat energie verloren. Naarmate de stengels meer gaan meebewegen neemt de wervelvorming af omdat de relatieve snelheid van het water ten opzichte van de stengel afneemt.

ad.3 Volgens Actie=-Reactie oefent de stengel op de golf een kracht uit, tegengesteld aan de momentane bewegingsrichting van het water. Hierdoor treedt een vermindering van de bewegingsenergie van de golf op. Immers, omdat de stengel een kracht op de golf uitoefent zal hierdoor negatief vermogen ( $P=-F \cdot v$ ) aan de energie van de golf worden toegevoegd. Ofwel, geïntegreerd over een golfperiode treedt een toevoeging van negatieve arbeid op: de energie van de golf neemt af. Als de stengel minder met de golf meebeweegt (star reageert) wordt de kracht op de stengel groter en evenzo neemt de kracht van de stengel op de golf toe.

Bij de uitgevoerde proeven zijn deze effecten moeilijk van elkaar te scheiden. Door de onderlinge beïnvloeding en afhankelijkheid is superpositie van de effecten een hachelijke zaak.

---

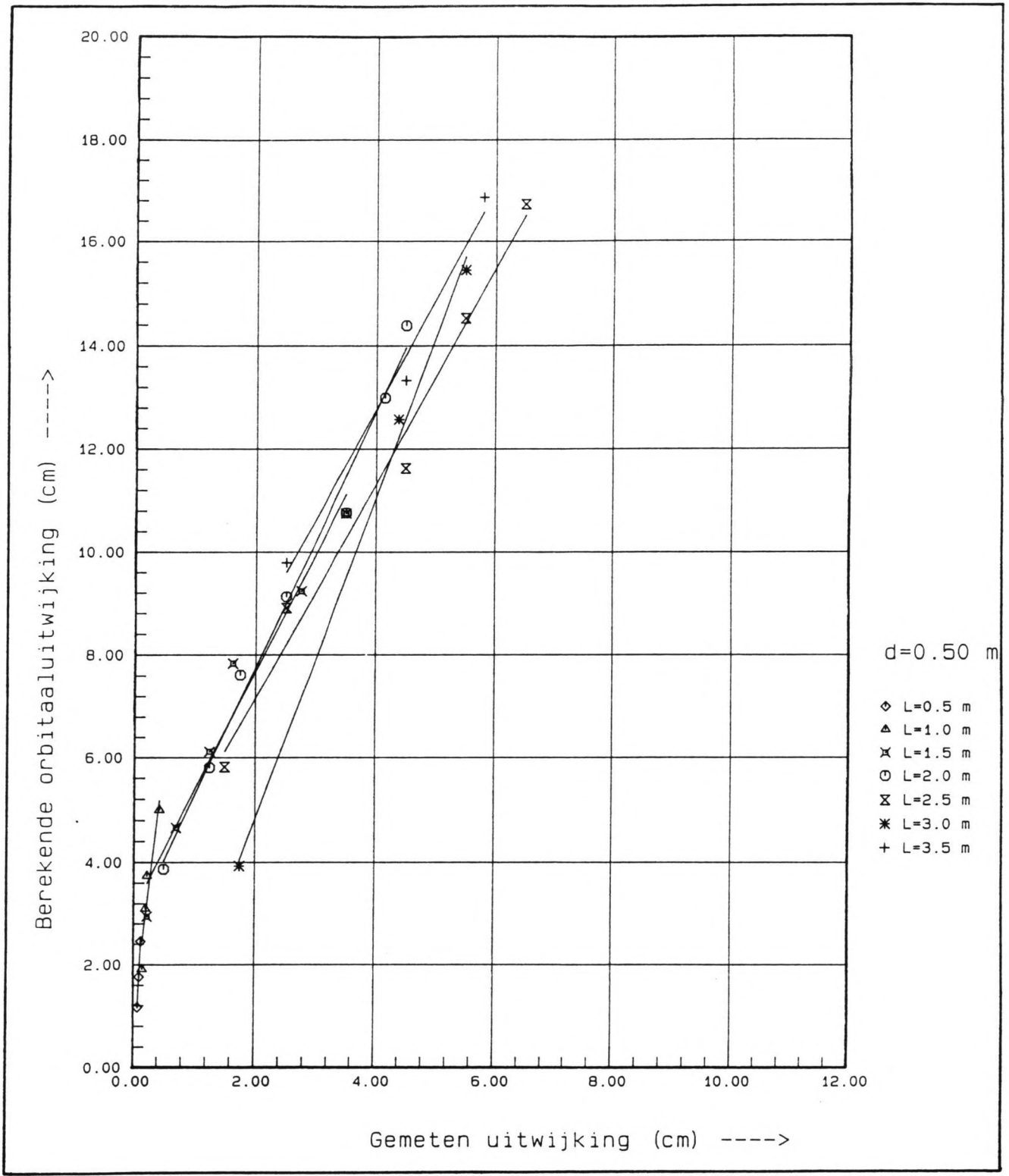


fig.71 stengeluitwijking vs. deeltjesverplaatsing.



---

### 7.3 beweging rietstengel

Uit fig.71 blijkt dat de verhouding: verplaatsing rietstengel-verplaatsing waterdeeltje toeneemt met toenemende golflengte. Blijkbaar kunnen de stengels de verplaatsing van het water onder de golf beter volgen naarmate de golflengte langer is. Dit is als volgt in te zien: bij de kortere golflengten (diep water omstandigheden) oefent de golf zijn kracht voornamelijk op het bovenste deel van de ondergedompelde stengel uit. Bij toenemende golflengte zal de watersnelheid aan de bodem relatief zeer sterk toenemen waardoor de stengel over de gehele ondergedompelde stengellengte de golfkracht ondervindt. Hierdoor zal de hoekverdraaiing onderin de stengel toenemen, wat d.m.v. het 'kwispelstaart-effect' een extra uitwijking bovenin de stengel geeft.

Belangrijk is de verhouding golflengte/lengte rietkraag. Als de golf lang is ten opzichte van lengteafmeting van de rietkraag dan zijn alle stengels ongeveer in dezelfde fase en dan bewegen de stengels ook ongeveer gelijk. Wordt echter de golflengte kleiner (bijv. de golflengte is even groot als de lengte van de rietkraag) dan ontstaat de situatie dat een gedeelte van de stengels naar achteren beweegt (t.g.v. golftop) terwijl het andere deel van de golven naar voren beweegt (t.g.v. golfdal). De stengels botsen dan bovenin tegen elkaar en dat kan de demping beïnvloeden.

### 7.4 interpretatie meetresultaten

Worden de meetresultaten in het licht van bovenstaande verhandelingen gezien, dan valt m.b.t. de demping het volgende op te merken:

#### 7.4.1 afhankelijkheid van de golflengte.

Bij de proeven met vlakke bodem en  $d=0.50$  m is opgevallen dat de demping bij  $L=2.5$  m minimaal is en dat bij nog langere golven de demping weer toeneemt. Een mogelijke verklaring hiervoor kan gevonden worden door twee sporen te bezien:

Allereerst is er het gegeven van de eigenfrequentie van de rietstengels. Zoals uit de buigstijfheidsproefjes (bijlage 8) is gebleken, valt de eigenfrequentie van de rietstengels in het periode-gebied van de gebruikte golven. Het is dus niet denkbeeldig dat juist bij  $L=2.5$  m een groot deel van de rietkraag wordt

---

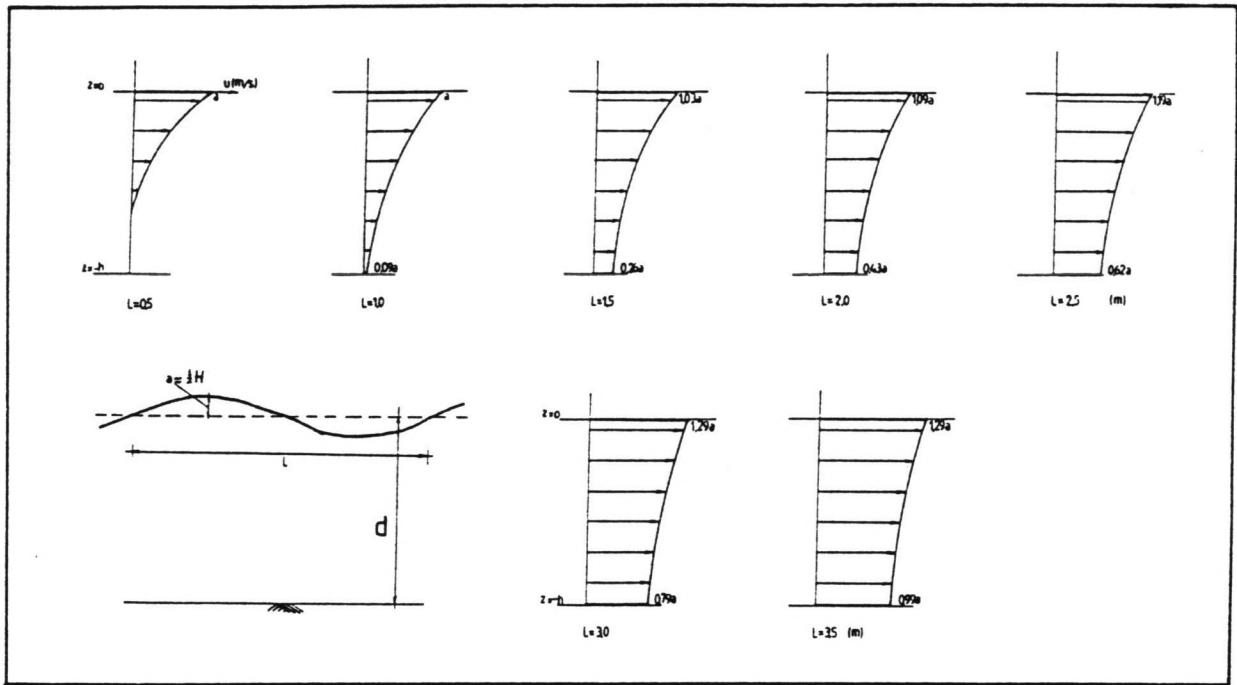


fig.72 Hor. watersnelheid onder golf,  $d=0.50$  m.

---

aangesproken in zijn eigenfrequentie of in een frequentie die daar dichtbij ligt. Als een systeem wordt aangestuurd met zijn eigenfrequentie dan worden de uitwijkingen zeer groot. In het geval van de rietkraag betekent dit een geringere demping omdat dan immers in de formule van Morison de relatieve termen kleiner worden. Dit zou dan echter wel betekenen dat bij golven kleiner dan  $L=2.5$  m een deel van de rietkraag in tegenfase met de golf beweegt (zie fig.68). Of dit verschijnsel daadwerkelijk opgetreden is, is niet bekend. Nader onderzoek zou daar uitsluitel over moeten geven.

Het andere spoor wordt beheerst door de verhouding  $d/L$ . Immers, uit de korte golftheorie (hfdst. 3) is bekend dat als de verhouding  $d/L$  kleiner wordt (de situatie wordt 'ondieper') dan verandert de vorm en de grootte van het horizontale snelheidsprofiel onder de golf. Die verandering bestaat hieruit (zie fig.72) dat de watersnelheid over de gehele hoogte toeneemt en verder dat de snelheid aan de bodem zo sterk vergroot, dat het snelheidsprofiel steeds meer uniform gaat worden. De watersnelheid kan via Morison worden vertaald in een kracht.

In een diep watersituatie zit de krachtswerking van de golf voornamelijk hoog in de golf, in een ondiep watersituatie is de potentiële kracht over de gehele waterdiepte onder de golf aanwezig. Dit betekent, indien de waterstand constant wordt gehouden, dat bij toenemende golflengte de potentiële krachtswerking van de golf groter wordt (omdat de snelheden toenemen) en dat de resultante van die kracht lager op de stengel aangrijpt. Anders gesteld: als de golflengte toeneemt dan veroorzaakt de, door de hogere snelheid, toegenomen kracht bovenin de stengel een grotere uitwijking, waardoor daar de demping mogelijkkerwijs afneemt; daar staat echter tegenover dat lager op de stengel (dichter bij de inklemming), waar de uitwijkingen noodzakelijkerwijs beperkt blijven, tengevolge van de sterk toegenomen watersnelheid een aanzienlijke wervelvorming en ook een grote tegenkracht van de stengel opgeroepen wordt. Hierdoor neemt de demping toe.

De combinatie van bovenstaande sporen leidt dan in de demping tot een omslagpunt voor  $L=2.5$  m.

Uit fig.71 blijkt dat de stengels zeer star reageren voor de kleine golven ( $L=0.5$  m en  $L=1.0$  m) met een korte periode. Blijkbaar is de traagheid van de stengels van dien aard dat de snelle variatie van de golven niet gevolgd wordt. Dat verklaart de grote demping voor die kleine golflengten. Naarmate de golflengte toeneemt gaat de verhouding tussen de twee uitgezette grootheden (orbitaaluitwijking vs. stengeluitwijking) in de richting van 1. De stengels kunnen de beweging van het water steeds beter volgen.

---

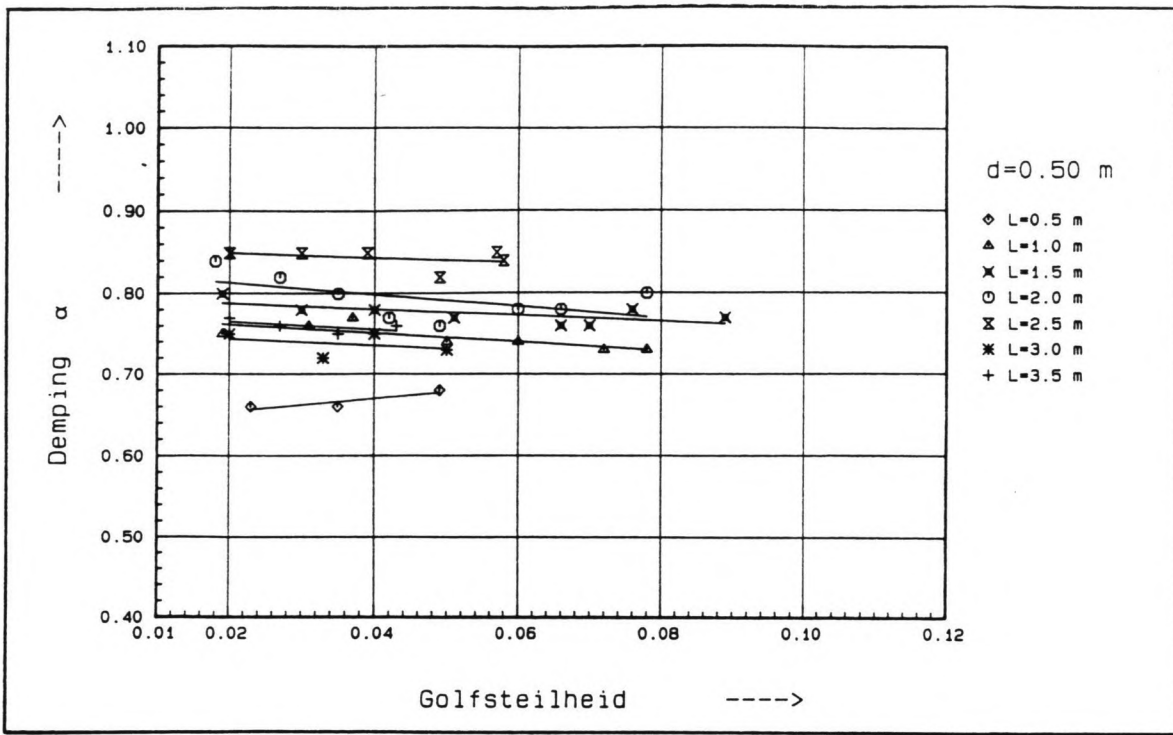


fig.73 Damping bij vlakke waterbodem.

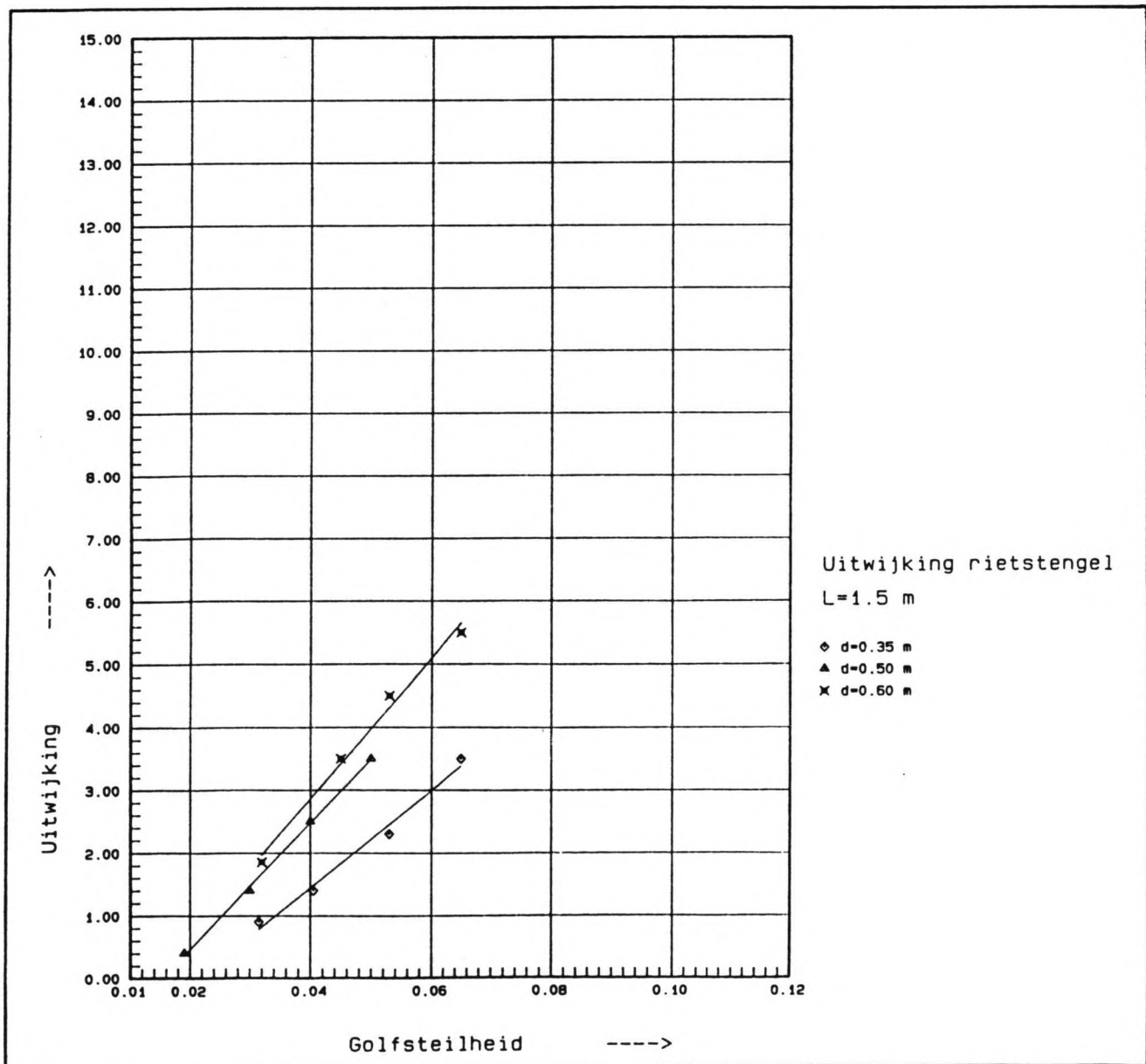


fig.74 Uitwijking als functie van waterdiepte.

---

#### 7.4.2 afhankelijkheid van de golfsteilheid.

Over het algemeen is de demping licht afhankelijk van de golfsteilheid: bij toenemende steilheid neemt de demping toe. De afhankelijkheid blijkt het sterkst te zijn voor de grotere golflengten (fig.73). Voor  $L=1.0$ ,  $L=1.5$ ,  $L=2.0$ ,  $L=2.5$  m is er een duidelijke tendens tot toenemende demping met een toenemende golfsteilheid. Bij  $L=3.0$  en  $L=3.5$  m zijn er helaas te weinig meetpunten voorhanden om duidelijke tendensen te onderscheiden. Deze afhankelijkheid van de steilheid is het sterkst bij een waterdiepte  $d=0.35$  m. Ook bij  $d=0.50$  m is het effect zichtbaar, terwijl voor  $d=0.60$  m juist de kortere golf  $L=1.5$  m het sterkst varieert met de steilheid. Ook hier zijn echter vrij weinig meetpunten (en bovendien in een beperkt gebied) voor  $L=2.5$  m beschikbaar.

#### 7.4.3 afhankelijkheid van de waterdiepte.

Voor de waterdiepte als parameter van de demping geldt feitelijk in grote lijnen hetzelfde als voor de golflengte (zie boven). Immers, ook hier is de verhouding  $d/L$  zeer bepalend. Bij een kleinere waterdiepte zal het snelheidsprofiel weer meer uniform zijn en zal ten gevolge van de kleinere waterdiepte de kracht lager op de stengel aangrijpen. Dat betekent dat de uitwijkingen van de stengels beperkt blijven waardoor de demping, ten gevolge van wervels en tegenkracht van de stengels, groter is. Daarom dempen de golven bij een lagere waterstand ( $d=0.35$  m) beter dan bij een hoge waterstand ( $d=0.60$  m). Tot staving van deze bewering wordt gewezen op de twee steilheid-uitwijkingsfiguren voor  $L=1.5$  en  $L=2.5$  m (zie fig.74 en 75). Daaruit blijkt duidelijk dat voor eenzelfde golfkarakteristiek de stengeluitwijking toeneemt bij toenemende waterdiepte.

#### 7.4.4 afhankelijkheid van wel of niet gemaaid zijn.

Ook bij de gemaaide stengels dempen de kortere golven over het algemeen beter dan de langere golven. De verschillen tussen de afzonderlijke golflengten zijn echter kleiner geworden dan bij de ongemaaide stengels. Er is nauwelijks een afhankelijkheid van de golfsteilheid te bespeuren. De interactie tussen riet en water is door het maaien enigszins gewijzigd. De eigenfrequentie van de stengels is door het maaien sterk veranderd (veel hoger geworden omdat de lengte zoveel kleiner is geworden). Het 'nazwiepen' van het bovenste deel van de stengel is bij het gemaaide riet niet

---

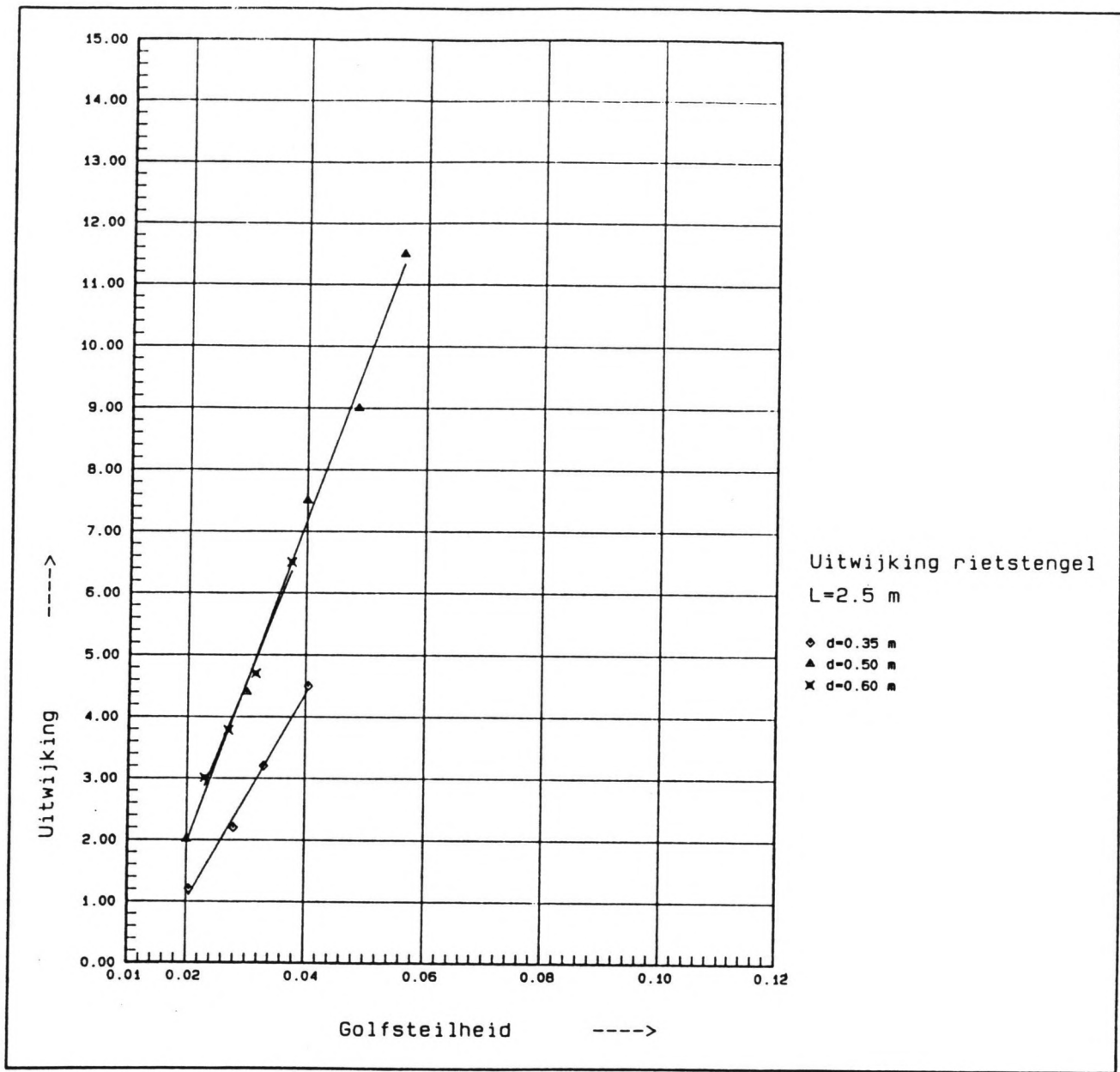


fig.75 Uitwijking als functie van waterdiepte.



aanwezig. Bij het ongemaaide riet kan dit effect sterk meespelen, omdat bovenaan de stengel de massa van de pluim het doorzwiepen van de stengel bevordert. Feitelijk zou de rietstengel dan ook geschematiseerd moeten worden tot een buiglijger met een extra massa aan het uiteinde. Bovendien zou de buigstijfheid af moeten nemen naarmate men hoger in de stengel komt: de diameter van het riet wordt bovenin immers kleiner.

Omdat de rietstengels vlak boven het wateroppervlak waren afgesneden, wordt het bovenste deel van de golf veel minder sterk door de stengels beïnvloed: dat deel ervaart alleen de vergrote ruwheid aan de 'bodem' van dat bovenste deel.

### 7.5 overeenkomstige experimenten

Eerdere laboratoriumexperimenten met golfdempende constructies die interessant zijn voor het onderhavige onderzoek zijn:

#### Costello (1952)

Costello heeft proeven gedaan met starre staafjes met een diameter van  $3/8$  inch en een h.o.h. afstand van 1 inch. De waterdiepte bedroeg 45 cm en de golflengte varieerde tussen 0.75 en 2.5 m. Costello stelt dat:

- de parameter  $d/L$  geen invloed heeft op de demping. M.a.w. bij een gelijkblijvende waterdiepte heeft een variatie van de golflengte geen invloed.
- 40-80% van de afname van de golfhoogte vindt plaats binnen de eerste 20% van de dempingsconstructie.
- de golfsteilheid heeft een grote invloed op de mate van demping. Bij een constructielengte van 1.20 m registreerde hij:

H/L	$\alpha$
0.02	0.7
0.05	0.52
0.08	0.42

- naarmate de golf steiler wordt, wordt een langere dempingsconstructie effectiever.
- in de dempingsconstructie is een staande golf aanwezig.

---

Kondo & Toma (1972)

Kondo en Toma hebben geen proeven genomen met verticale staafjes (zoals Costello) maar met een constructie opgebouwd uit horizontale en verticale staafjes, symmetrisch gerangschikt, zodat een soort klimrek ontstond. Bij een waterdiepte van  $d=0.50$  m ontdekten zij dat:

- de demping licht toeneemt met een toenemende golfsteilheid
- lange golven minder goed dempen dan korte golven.
- de reflectie tegen de dempingsconstructie samenhangt met de verhouding constructielengte (B):golflengte(L).
- de demping sterk afhankelijk is van B/L. Als B/L toeneemt, neemt  $\alpha$  exponentieel af.
- in de constructie een staande golf optreedt door o.a. reflectie tegen de achterzijde van de golfdempende constructie.

Vergelijking met resultaten van dit rapport

Het meest opvallende verschil tussen Costello en het onderhavige onderzoek is dat Costello stelt dat de verhouding waterdiepte: golflengte ( $d/L$ ) geen invloed heeft op de mate van demping.

De oorzaak van dit verschil moet in het meebewegen van de staafjes (stengels) worden gezocht. Het moge duidelijk zijn dat, algemeen gesproken, bij een toenemende uitwijking van de staafjes de demping afneemt. De grote afhankelijkheid van de demping met betrekking tot de golfsteilheid bij Costello wordt eveneens door de starheid van de staafjes bepaald: een hogere golf geeft grotere watersnelheden en daarmee een grotere tegenkracht van het staafje en meer wervelvorming en wrijving. In het geval van riet zal een gedeelte van die verhoogde watersnelheid 'verloren' gaan door het meebewegen van de stengel. Hierdoor is effect van de hogere golf minder sterk.

M.b.t. de grootte van de demping op een bepaalde plaats in de kraag (zie ook bijlage 5) valt op te merken dat alleen voor  $L=0.5$  m geldt dat de eerste halve meter van de kraag de grootste golfhoogteafname plaatsvindt. Voor de overige golflengten is het achterste deel van de rietkraag zeker zo belangrijk. Dit bevestigt de stelling van Kondo dat de verhouding B/L een belangrijke rol speelt in de mate van demping. Omdat de gebruikte rietkraag slechts 1 m dik was is de invloed van de dikte van de kraag slechts zeer beperkt onderzocht. Nader onderzoek zal zich mede hierop moeten richten.

---



## Conclusies

De onderzochte parameters blijken alle invloed te hebben op de mate van demping:

### -waterdiepte $d$

Bij afnemende waterdiepte neemt de demping toe. De oorzaak hiervan is het stijvere gedrag van de stengels als gevolg van het lager aangrijpen van de golfkracht.

### -golflengte $L$

De verhouding rietkraaglengthe-golflengte lijkt interessant voor nader onderzoek. Vast staat dat de periode van de golf belangrijk is in verband met de eigentrilling van de rietstengels. De verhouding waterdiepte-golflengte bepaalt het snelheidsprofiel en daarmee een belangrijke factor in de interactie riet-water (zie boven). Voor zeer korte golven is er een grote demping door de traagheid van de stengels. Voor zeer lange golven is er eveneens een grote demping door de sterk toegenomen watersnelheden aan de bodem.

### -golfhoogte $H$

Over het algemeen neemt de demping toe met toenemende golfhoogte. Oorzaak hiervan is de hogere orbitaalsnelheid onder de golf.

### -stengellengte $l$

De reactie van de stengel op de golf verandert beduidend als het riet gemaaid is. Het riet kan de golfbeweging beter volgen: de demping neemt af. Bovendien wordt het deel van de golf dat boven de afgeknipte stengels 'uitsteekt' veel minder sterk gedempt (alleen wrijving aan de 'bodem').

De demping in de kraag blijkt niet lineair met de afgelegde weg te verlopen.

---

De kern in de wisselwerking van golf en rietstengel is de uitwijking van de rietstengel ten gevolge van de golfkracht. Benadert de stengeluitwijking wat betreft de grootte en de fase de orbitaalverplaatsing van de waterdeeltjes, dan is de demping gering. Is de uitwijking daarentegen klein t.o.v. de orbitaalverplaatsing dan is de demping groot, omdat dan een aanzienlijke tegenkracht van de stengel opgeroepen wordt en er bovendien wervelvorming achter de stengel kan plaatsvinden. De parameters die de uitwijking van het riet bepalen zijn:

- 1 de eigenfrequentie van het riet vs. de frequentie van de golf
- 2 de waterdiepte
- 3 de buigstijfheid van de stengel
- 4 de stengellengte en de eventuele aanwezigheid van een pluim (i.v.m. de massa en de luchtweerstand van de pluim)
- 5 de golfhoogte

Met betrekking tot stroming door riet kan gesteld worden dat de weerstandswaarde van een rietkraag volgens Chézy ongeveer 5 bedraagt. Deze extreem lage waarde komt goed overeen met eerder gedane experimenten op dit gebied.

---

---

## Aanbevelingen voor verder onderzoek

Voor nader onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan

- Bij een soortgelijk onderzoek zou de verplaatsing van de rietstengels nauwkeuriger gemeten moeten worden. Het zou bovendien zeer dienstig zijn indien dit bij verschillende stengels in de kraag zou gebeuren. Tevens moet dan de faseverschuiving van de stengel t.o.v. de golf geregistreerd worden.
- Bij dat onderzoek zouden dan tevens langere golven (bijv. tot 6 m) moeten worden betrokken om te onderzoeken hoe de demping zich bij langere golven ontwikkelt.
- Verder onderzoek naar de reflectie tegen de rietkraag.
- Onderzoek met verschillende rietkragen om effect van soort en dichtheid van riet te onderzoeken. Indien mogelijk zou het ook zeer interessant zijn om een rietkraag gedurende een geheel jaar te onderzoeken. Op die manier zijn dan de verschillen tussen dood en levend riet beter te traceren.
- Nader onderzoek naar de mate van inklemming van de stengels in de grond.
- Verder onderzoek met diepe goot: op die manier is de overgang van de golf vanuit diep water naar een ondiepe plasberm beter te simuleren. Evenzo kunnen dan proeven met een plotselinge spiegel-daling beter worden uitgevoerd.
- Indien de belangrijke parameters van riet (dichtheid, buigstijfheid, inklemming e.d.) genoegzaam bekend zijn, is het mogelijk om i.p.v. rietstengels kunststof staafjes met overeenkomende kenmerken te gebruiken. Het onderzoek wordt dan eenvoudiger.

Een eventueel verder onderzoek kan het beste worden uitgevoerd met een opstelling waarbij de rietkraag in het midden van de goot staat: op die manier wordt de side-band instability sterk verkleind omdat dit effect afhankelijk is van de afstand waarover de golf gelopen heeft: hoe groter die afstand, hoe sterker het effect. Bovendien is het dan mogelijk de doorgelaten golf beter te analyseren (om eventuele verandering van de golflengte te kunnen registreren).

---

---

Gebruikte symbolen en afkortingen

<u>symbool</u>	<u>omschrijving</u>	<u>dimensie</u>
a	golfamplitude	[L]
c	loopsnelheid golf	[LT <sup>-1</sup> ]
c <sub>g</sub>	loopsnelheid golfgroep	[LT <sup>-1</sup> ]
C <sub>g</sub>	coëfficiënt van Chézy	[L <sup>-1/2</sup> T <sup>-1</sup> ]
C <sub>d</sub>	weerstandscoefficiënt	[-]
C <sub>f</sub>	weerstandscoefficiënt	[-]
C <sub>m</sub>	weerstandscoefficiënt	[-]
d	waterdiepte	[L]
D	diameter	[L]
D <sub>b</sub>	tijdsgemid.gediss.vermogen in grenslaag	[MLT <sup>-3</sup> ]
E <sub>g</sub>	gemid.golfenergie per oppervlak	[MT <sup>-2</sup> ]
E <sub>b</sub>	elasticiteitsmodulus ligger	[MT <sup>-2</sup> L <sup>-1</sup> ]
f <sub>d</sub>	'drag'kracht per eenheid paallengte	[MT <sup>-2</sup> ]
f <sub>i</sub>	traagheidskracht per eenh. paallengte	[MT <sup>-2</sup> ]
F <sub>k</sub>	vermogen per eenheid kamlengte	[MLT <sup>-3</sup> ]
Fr	getal van Froude	[-]
F <sub>w</sub>	strijklengte bij windgolven	[L]
H	golfhoogte	[L]
H <sub>d</sub>	hoogte doorgelaten golf	[L]
H <sub>in</sub>	hoogte inkomende golf	[L]
H <sub>i</sub>	golfhoogte interferentiepiek	[L]
k	golfgetal (2π/L)	[L <sup>-1</sup> ]
k <sub>r</sub>	doorlatendheid rietkraag	[LT <sup>-1</sup> ]
k <sub>n</sub>	equivalente ruwheid volgens Nikuradse	[L]
L	golflengte	[L]
L <sub>o</sub>	golflengte op diep water	[L]
n(t)	uitwijking waterspiegel	[L]
R	hydraulische straal	[L]
R <sub>e</sub>	getal van Reynolds	[-]
s	afstand varend schip tot opgewekte golf	[L]
T	golfperiode	[T]
u	stroomsnelheid water	[LT <sup>-1</sup> ]
u(t)	hor. orbitaalsnelheid	[LT <sup>-1</sup> ]
u <sub>b</sub>	snelheid aan de bodem	[LT <sup>-1</sup> ]
U	windsnelheid	[LT <sup>-1</sup> ]
V <sub>s</sub>	scheepssnelheid	[LT <sup>-1</sup> ]

---

---

w(t)	vert. orbitaalsnelheid	[LT <sup>-1</sup> ]
y	uitwijking buigligger	[L]
z	verticale coördinaat	[-]
$\alpha$	maat voor demping ( $H_D/H_i$ )	[-]
$\alpha_1$	scheepscoëfficiënt	[-]
$\beta$	scheepscoëfficiënt	[-]
$\tau_{bg}$	bodemschuifspanning (golven)	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
ksi	hor. orbitaaluitwijking	[L]
$\sigma$	soortelijk gewicht	[ML <sup>-3</sup> ]
$\tau$	bodemschuifspanning (stroming)	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$\phi$	diameter	[L]
W	hoeksnelheid	[T <sup>-1</sup> ]
GHM	golfhoogtemeter	
SHM	snelheidsmeter	

---

## Literatuur

- [1] Bonham, A.J.  
The management of wave-spending vegetation as bank protection against boat wash  
Landscape planning, 10(1983)15-30, Elsevier Science Publishers Amsterdam, 1983.
  - [2] Acht, W.N.M. van en J.T.M. Sessink  
Natuurlijke oeverbescherming  
Vakbl.Biol. 62(20), 1982.
  - [3] Acht, W.N.M. van, J.T.M. Sessink, M.L. Hagemeyer en C.R.M. Oudshoorn  
Golfdemping in een rietkraag aan de Pishoek in de Wieringermeer
  - [4] Ivens, E.  
Natuurlijke oeverbescherming  
L.U. Wageningen  
Wageningen, 1987.
  - [5] 'Alsjeblieft .. niet in 't riet'- samenwerkingsverband  
Literatuurrapport rietoevers  
1986.
  - [6] Sessink, J.T.M.  
'Kunnen oeverplanten voldoen aan technische eisen?'- lezing  
thema dag milieuvriendelijke oeververdedigingen  
Ede, 1985.
  - [7] Staatsbosbeheer  
Riet, natuur of cultuur?
  - [8] Hagemeyer, M.L. en J.T.M. Sessink  
De invloed van golfwerking op oevervegetatie  
Wageningen, 1982.
  - [9] Kern, K.  
Ziele, Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Umgestaltung  
Mitteilungen Inst. Wasserbau u. Kulturtechnik  
Universität Fredericiana  
Karlsruhe, 1986.
-

- 
- [10] Rijkswaterstaat, dnst.verkeerskunde, hfd.afd.scheepvaart  
De invloed van een rietkraag op scheepsgolven  
Dordrecht, 1986.
- [11] Waterloopkundig laboratorium  
Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen - sekundaire  
scheepsgolven en hun effect op de stabiliteit van taludbek  
ledingen Rapport M 1115 deel VI  
Delft, 1986.
- [12] Bouwmeester, J.  
Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen, dictaat F12n  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1987.
- [13] Adriaanse, L.A.  
Natuurlijke en natuurtechnische oeverbeschermingen  
Rijkswaterstaat Deltadienst, hfd.afd.milieu en inrich-  
ting/dnst getijdewateren Nota GWWS-86.408  
Middelburg, 1986.
- [14] Vries, M. de  
Inleiding vloeistofmechanica, dictaat B70  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1985.
- [15] Battjes, J.A.  
Korte golven, dictaat B76  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1988.
- [16] Mei, C.C.  
The applied dynamics of ocean surface waves  
New York, 1983.
- [17] Costello, R.D.  
Damping of water waves by vertical cylinders  
Transactions, American Geophysical Union, volume 33, number  
4  
1952.
- [18] Massie, W.W.  
Coastal Engineering, dictaat F11a  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1986.
-

- [19] Groen, P en R. Dorrestein  
Zeegolven  
Staatsuitgeverij  
Den Haag, 1976.
- [20] Coastal engineering research centre (U.S. army)  
Shore Protection Manual  
Virginia, 1973.
- [21] Kondo, H en S. Toma  
Reflections and transmission for a porous structure  
Thirteenth Coastal Engineering Conference  
New York, 1972.
- [22] Verruyt, A  
Toegepaste Mechanica II  
Delftse Uitgevers Maatschappij  
Delft, 1983.
- [23] Bouma, A.L. en C. Esveld  
Dynamica van constructies, dictaat B9n  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1986.
- [24] Verspuy, C  
Lange golven, dictaat B73  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1986.
- [25] Bouwmeester, J  
Flexibele waterbouwkundige constructies, dictaat F4  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1986.
- [26] Vries, M. de  
Waterloopkundig onderzoek, dictaat B80  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1980.
- [27] Starosolszky, O  
The role of reeds in the shaping of currents  
20e IAHR-congres  
Moscow, 1983.
- [28] Vries, M. de  
Vloeistofmechanica, dictaat b71  
Technische Universiteit Delft, Fac. der Civiele Techniek  
Delft, 1984.
-



Overige bronnen

- {1} Gesprek met ir. Spijkers, verbonden aan de fac. der Civiele Techniek van de TU te Delft.
-

## Bijlagen

- 1 - berekening scheeps- en windgolven
  - 2 - opslag en verwerking meetgegevens
  - 3 - programmatuur
  - 4 - side-band instability of Stokes' waves
  - 5 - overzicht meetgegevens
  - 6 - grondmonsters
  - 7 - hoogtemetingen rietbodern
  - 8 - buigstijfheidsbepaling rietstengels
  - 9 - gebruikte apparatuur
  - 10 - telefonisch interview met rietbouwer
  - 11 - fotorapportage uitgraven van bak met riet
  - 12 - referentieproeven
  - 13 - reflectie meetmethode
  - 14 - samenstelling figuur 71
-

Berekening windgolven

Omdat Groen en Dorrestein [19] niet voorzien in kleine  $F_w/d$  verhoudingen (fetch/waterdiepte) is bij de berekening van de windgolven gebruik gemaakt van de formule uit het rapport: 'De invloed van een rietkraag op scheepsgolven' van RWS-DVK (1986).

De formules luiden:

$$H = 0.283 \cdot \frac{U^2}{g} \cdot \tanh\left[0.530 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.75}\right] \cdot \tanh\left[\frac{0.0125 \left(\frac{gF_w}{U^2}\right)^{0.42}}{\tanh\left[0.53 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.75}\right]}\right]$$

$$T = 2.4\pi \cdot \frac{U}{g} \cdot \tanh\left[0.833 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.375}\right] \cdot \tanh\left[\frac{0.077 \left(\frac{gF_w}{U^2}\right)^{0.25}}{\tanh\left[0.833 \left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.375}\right]}\right]$$

hierin is  $U$  de windsnelheid en  $F_w$  de 'fetch' van de wind.

Omdat de proeven voornamelijk gericht zijn op scheepvaartkanalen e.d. en niet zo zeer op meren en plassen wordt de lengte/breedte-coëfficiënt uit Groen en Dorrestein in rekening gebracht:

Stel kanaalbreedte  $b$ : 100-150 m  $\rightarrow b/L \approx 0.1 \rightarrow$  de coëfficiënt is 0.26. De fetch moet met 0.26 vermenigvuldigd worden.

De hiermee verkregen golflengten en golfhoogten worden vervolgens omgerekend naar de ondiep watersituatie met  $d=0.50$  m. Hierbij wordt verondersteld dat het vermogen per eenheid van kamlengte gelijk blijft:

$$F_k = E_g \cdot n \cdot c = \text{constant}$$

Uiteindelijk resulteert dit in

	L(m)	T(s)	H(m)
1	3.16	1.62	0.20
2	4.27	2.06	0.37
3	3.55	1.77	0.28
4	2.55	1.38	0.16
5	3.16	1.65	0.21
6	2.00	1.17	0.12

Berekening scheepsgolven

De achtereenvolgens berekende situaties zijn:

(berekening m.b.v. fig.21 en 22 onder de aanname dat de taluds 1:3.5 zijn)

situatie 1: afstand van schip tot plasberm (s) is  $\pm 20$  m.

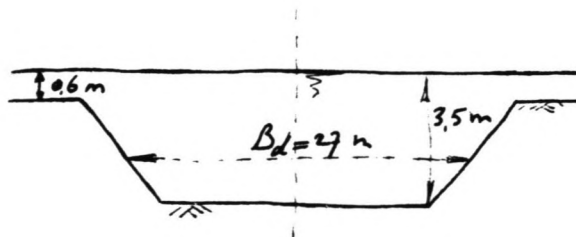
situatie 2:  $s \approx 9$  m.

situatie 3:  $s \approx 9$  m.

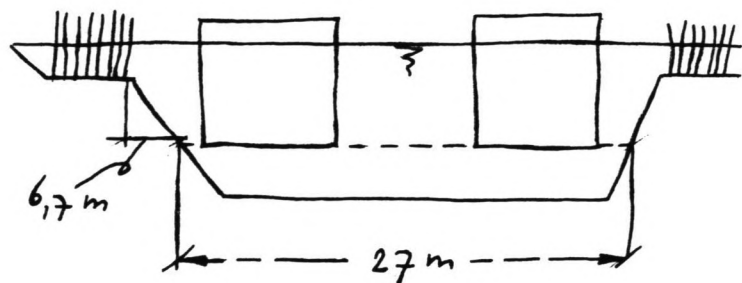
situatie 4:  $s \approx 16$  m.

situatie 5:  $s \approx 7$  m.

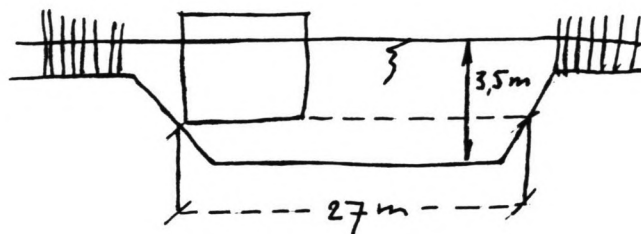
situatie 6:  $s \approx 7$  m.



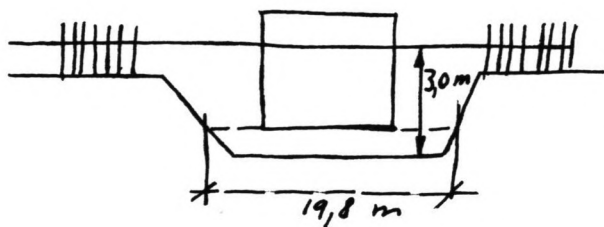
situatie 1



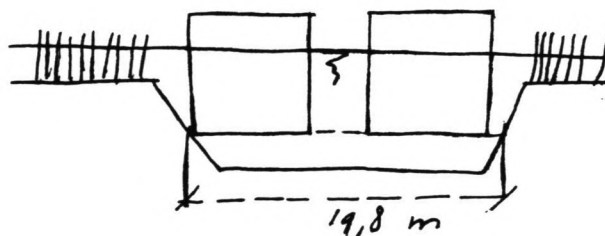
situatie 2



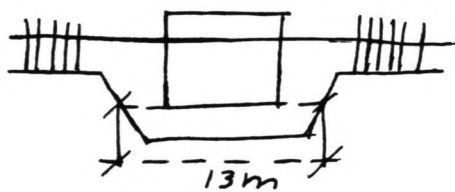
situatie 3



situatie 4



situatie 5



situatie 6

IJking meetgevens Bellona aan formule WL:

De coëfficiënt  $\alpha_1$  in de formule  $H_i = d \cdot \alpha_1 \cdot (s/d)^{-1/3} \cdot F_r^4$  is per scheepstype verschillend. Het rapport van het WL geeft als  $\alpha_1$ -waarde voor een onderzoeksvaartuig:  $\alpha_1 = 0.996$

Door de formule anders te schrijven, nl:

$$\alpha_1 = H_i (d \cdot \alpha_1 \cdot (s/d)^{-1/3} \cdot F_r^4)^{-1}$$

is het mogelijk om met de bestaande gegevens de  $\alpha_1$ -waarde van een standaardtype patrouillevaartuig te berekenen. Zulke gegevens zijn voorhanden, nl. de metingen in het Waardkanaal (1984). Daarbij is gebruik gemaakt van de 'Bellona', een patrouillevaartuig van de Rijkswaterstaat. Vergelijking van aldaar verzamelde gegevens en substitutie daarvan in de formule levert de volgende waarden voor  $\alpha_1$ :

vaart nr.	$V_s$ m/s	afstand tot oever m	golfhoogte cm	$\alpha_1$
58	3.7	15.25	27.4	0.85
59	3.7	15.25	23.1	0.71
60	3.6	15.25	26.2	0.91
61	3.6	15.25	27.0	0.94
62	3.5	16.25	21.3	0.84
63	3.6	15.25	22.3	0.77
64	3.5	16.25	22.7	0.90
65	3.6	15.25	21.5	0.74
66	3.7	17.25	20.7	0.67
67	3.5	16.25	25.9	1.02

De gemiddelde waarde van  $\alpha_1$  is hier:  $\alpha_1 = 0.83$ .

Voor de berekeningen met de patrouilleboot is gerekend met  $\alpha_1 = 0.9$ .

situatie 7: afstand  $s$  tot schip  $\approx 20$  m.

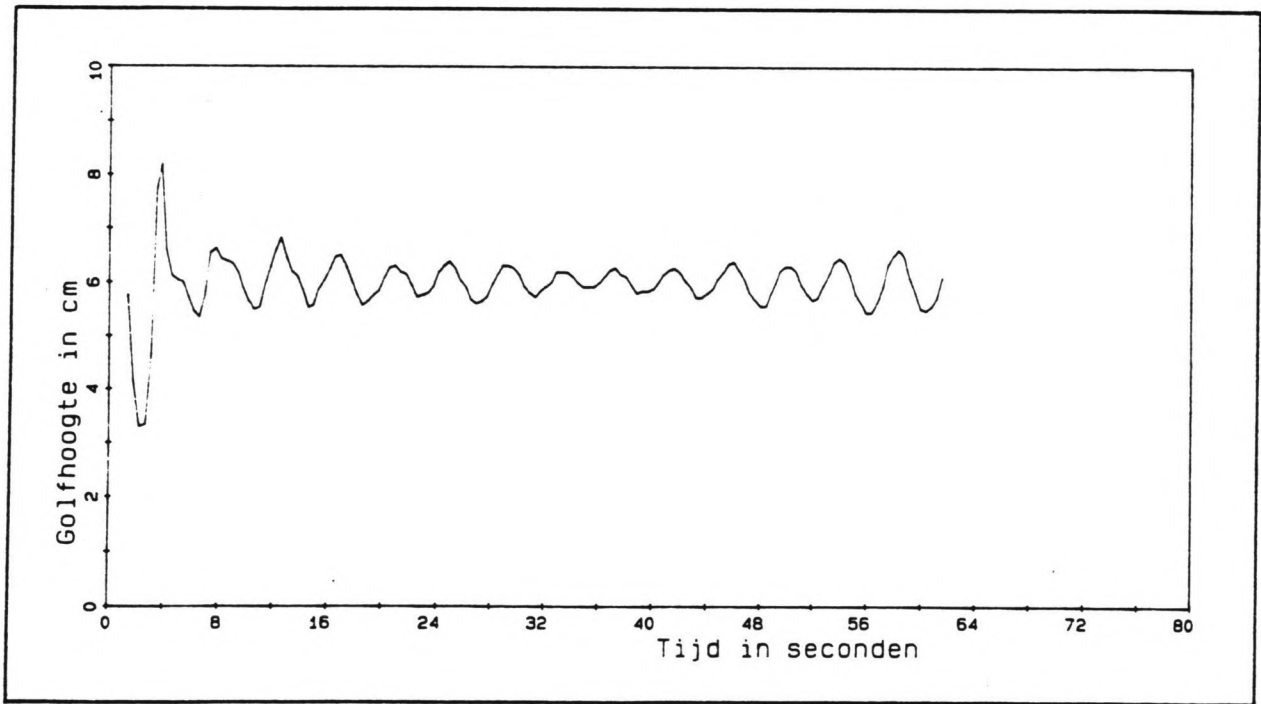
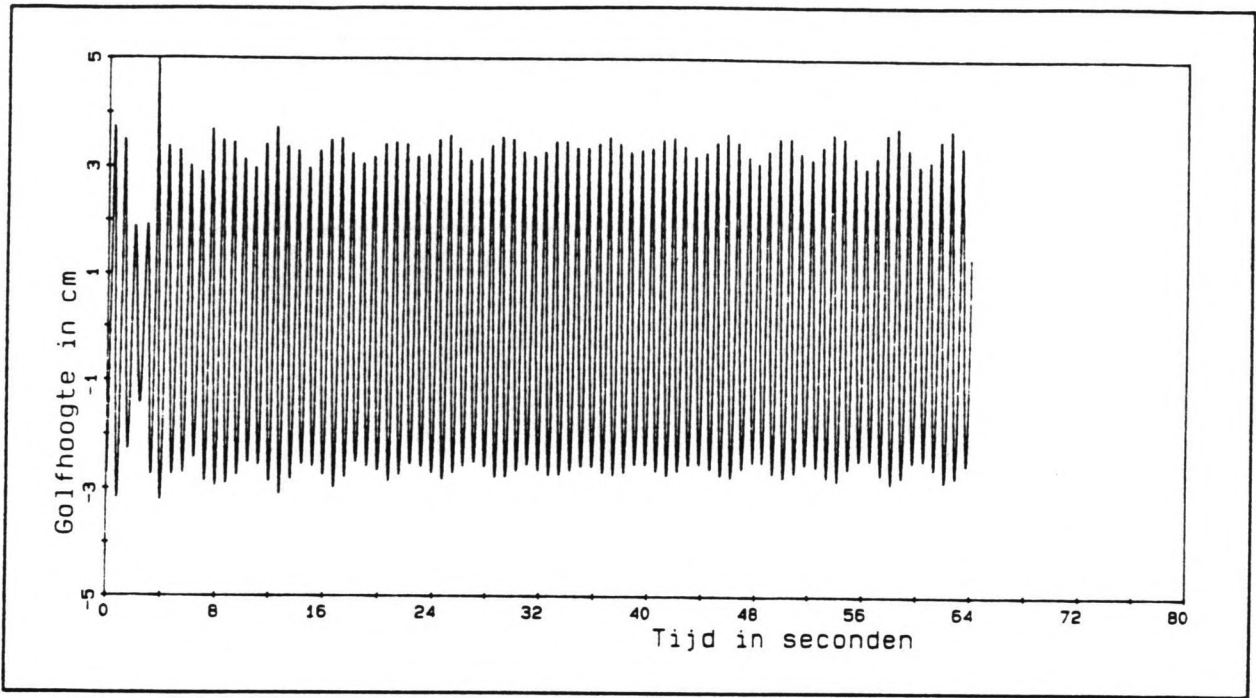
situatie 8:  $s \approx 20$  m.

situatie 9:  $s \approx 10$  m.

Uiteindelijk zijn ook de berekende scheepsgolven omgerekend naar ondiep water ( $d=0.50$  m) onder de aanname dat het vermogen per eenheid van kamlengte constant blijft.

Hieruit volgt:

	L(m)	T(s)	H(m)
1	0.46	0.53	0.004
2	1.20	0.88	0.024
3	1.27	0.90	0.024
4	1.76	1.08	0.04
5	2.31	1.29	0.088
6	2.31	1.29	0.066
7	2.96	1.54	0.132
8	2.96	1.54	0.165
9	2.96	1.54	0.202
10	3.59	1.80	0.23
11	3.59	1.80	0.30
12	3.59	1.80	0.384
13	4.26	2.06	0.44
14	4.26	2.06	0.54





Opslag en verwerking meetgegevens

De met de meetapparatuur verzamelde gegevens werden via een A/D-converter en een Apple 2a opgeslagen op diskettes. Om de grote hoeveelheid verzamelde data te analyseren werd een tweetal computerprogramma's (in Fortran-77) geschreven. Het ene programma (NLOT) doorzoekt de gekozen meetwaarde-file op toppen en dalen en berekent van een opeenvolgende top-dal combinatie de amplitude. Vervolgens worden de amplituden uitgezet op de tijdas en geplot. Op die manier wordt het signaal aan de 'onderkant' als het ware gelijkgericht, waardoor aan de 'bovenkant' eventuele verstoringen (zweving) beter zichtbaar zijn (zie fig. hiernaast).

Het tweede programma (S) doorzoekt eveneens de gekozen meetfile op de grootte van de amplituden, maar bepaalt daarvan de gemiddelde waarde, de standaardafwijking en de maximale afwijking.

---

Bijlage 3 - programmatuur

```

FTN7X
$CDS ON
$FILES(0,2)
PROGRAM NPLOT(), E.E.Bouter, Binary Apple file plot <890809.1151>
-----
C Dit programma zet een binaire (type1) file, afkomstig van de
C Apple computer van Vloestofmechanica, om in een ascii file.
C Urvolgens worden de amplitudes van het signaal bepaald en
C tegen de tijd/as uitgezet.
C De binaire files worden gemaakt door het programma GETBF dat
C als de Apple in terminal emulatie staat gedraaid kan worden.
C Dit programma kan slechts 1 meetwaarden file tegelijk aan
-----
INTEGER*2 IOB(128)
CHARACTER*1 CHANNEL(8)
CHARACTER*1 LENGTE
CHARACTER*50 REMARK
CHARACTER*6 SAMPLES
CHARACTER*20 MEETDUUR
CHARACTER*20 INFILE, OUTFILE
CHARACTER*256 CBUF
CHARACTER*22000 BFILE
REAL*4 VALUE_CHAN(8)
REAL*4 X(7500),Y(7500)
REAL*4 TIMEXT(500),EXTR(500)
REAL*4 TAMPL(300),AMPL(300)
REAL*4 Yskale(2)
INTEGER*2 TEXTX(20),TEXTY(20)
EMA X,Y ! Plot vectoren in EMA
DATA TEXTX /' '
DATA TEXTY /' '
-----
CALL LGBUF(IOB,128) ! Vergroot IO buffer
-----
C--- Open de files
WRITE(1,*) ' Naam van de Inputfile: _'
READ (1,*) INFILE
INQUIRE (FILE=INFILE,MAXREC=MREC) ! Vraag aantal records op
IF (MREC .GT. 86) STOP ' Input file te groot'
OPEN (15,FILE=INFILE,ACCESS='DIRECT',RECL=256,STATUS='OLD',
+ IOSTAT=IERR, ERR=999)
C--- Lees eerste record met identificaties
READ (15,REC=1,IOSTAT=IERR,ERR=999) CBUF
LENGTH = ICHAR(CBUF(1:1))
J = 1+LENGTH
REMARK = CBUF(2:J)
J=J+1
IBITS = ICHAR(CBUF(J:J))
J=J+1
-----
NKAN = ICHAR(CBUF(J:J))
J=J+1
LENGTH = ICHAR(CBUF(J:J))
J=J+1
SAMPLES= CBUF(J:J+LENGTH-1)
J=J+LENGTH
LENGTH = ICHAR(CBUF(J:J))
J=J+1
MEETDUUR=CBUF(J:J+LENGTH-1)
J=J+LENGTH
C--- Conversie string naar getallen
READ (SAMPLES, '(I6)') NSAMPLES
READ (MEETDUUR, '(F8.8)') RMEETDUUR
WRITE(1,*) ' Bereik : ',REMARK
WRITE(1,*) ' Resolutie ADC : ',IBITS
WRITE(1,*) ' Aantal kanalen : ',NKAN
WRITE(1,*) ' Aantal samples : ',NSAMPLES
WRITE(1,*) ' Meetduur : ',RMEETDUUR
C--- Lees alle meetgegevens in, vanaf 2e record
DO I=2, MREC
READ (15,REC=I, IOSTAT=IERR,ERR=999)
+ BFILE((I-2)*256+1:(I-1)*256)
ENDDO
WRITE(1, '/') ' Invoerfile gelezen : "I2" records"') MREC
WRITE(1, '/') ' Welk kanaal wilt U plotten ? _"')
READ (1,*) NPLOT
IF (NPLOT .LT. 1 .OR. NPLOT .GT. NKAN) STOP ' Fout kanaal nr.'
WRITE(1, '/') ' Bereik golfhoogte-/snelheids meter ? _"')
READ (1,*) BEREIK
Yskale(1) = 0
Yskale(2) = BEREIK
BEGINT = 1
EINDT = RMEETDUUR - 2
C---Verwerk meetgegevens per scan
DO I= 1,NSAMPLES*NKAN-1,NKAN
DO J=1,NKAN
MEETW = ICHAR(BFILE(I+J-1:1+J-1)) - 128 ! Converteer byte
IF (MEETW .GT. 0) THEN
VALUE_CHAN(NKAN-J+1) = MEETW*BEREIK/2/127
ELSE
VALUE_CHAN(NKAN-J+1) = MEETW*BEREIK/2/128
END IF
ENDDO
C--- Vul X en Y vector met tijd en meetwaarde van gevraagde kanaal
II = II + 1
Y(II) = VALUE_CHAN(NPLOT)
X(II) = TIME
TIME = TIME + RMEETDUUR/NSAMPLES

```

```

CALL SKALE(TAMPL,0,LENX,M - 2,1,1)
CALL SKALE(Yskale,1,LENY,2,1,1)
CALL SYMB (1.,LENY*0.5,.25,NAAM,0,60)

CALL AXIS (0,0,TEXTX,-40,LENX,2,1)

CALL AXIS (0,1,TEXTY, 40,LENY,2,1)
CALL PLOT (0.,LENY*1.,3)
CALL PLOT (LENY*1.,LENY*1.,2)
CALL PLOT (LENY*1.,0.,2)

CALL LINES(TAMPL,AMPL,M - 2,1,0,0,0)
CALL PLEND

END

```

C

```

ENDDDO

C----- Uitzeven van extreme waarden uit samplestroom

M=1
DT= RMEETDUUR/NSAMPLES
K= BEGINT/DT
KE= EINDT/DT
DO WHILE ( K .LT. KE )
  GH1 = Y(K)
  K = K + 1
  GH2 = Y(K)
  K = K + 1
  GH3 = Y(K)
  K = K + 1
  GH4 = Y(K)
  K = K + 1
  GH5 = Y(K)
  IF (ABS(GH5) .LT. ABS(GH4) .AND. ABS(GH3) .LE. ABS(GH4) .AND.
  * ABS(GH2) .LE. ABS(GH4) .AND. ABS(GH1) .LE. ABS(GH4)) THEN
    EXTR(M) = GH4
    TIMEEXT(M)= X(K - 1)
    M = M + 1
    K = K - 3
  ELSE
    K = K - 3
  ENDIF
ENDIF
IF (M .GT. 2 .AND. (EXTR(M-1)* EXTR(M-2)) .GT. 0 .AND.
  * ABS(EXTR(M-2)) .GT. ABS(EXTR(M-1))) THEN
  M=M-1
ENDIF
IF (M .GT. 2 .AND. (EXTR(M-1)*EXTR(M-2)) .GT. 0 .AND.
  * ABS(EXTR(M-1)) .GE. ABS(EXTR(M-2))) THEN
  EXTR(M-2) = EXTR(M-1)
  TIMEEXT(M-2)=TIMEEXT(M-1)
  M=M-1
ENDIF
ENDDO

C---- Bepalen amplitudes

DO L=1,(M - 2)
  AMPL(L) = ABS(EXTR(L)) + ABS(EXTR(L + 1))
  TAMPL(L) = (TIMEEXT(L) + TIMEEXT(L + 1))/2
ENDDO
WRITE(1,*) ' M= ', M

999 IF (IERR .NE. 0) WRITE(1,*) 'ERROR',IERR
CLOSE(15)

C---- Teken nu de grafiek, direct en save plot

LENX = 20
LENY = 10

CALL PLTLU(1,2,IERR)
CALL NEWPG(40.,27.5,0.,0.,0.,0,IERR)
CALL FACT (1.5,1.5)
CALL ORGIN(2.,2.,1.,1.,0)

```

```

FTN7X
$CDS ON
$FILES(0,2)
PROGRAM S(), E.E. Bouter, B.A.file-transformer <890809.1156>
-----
C
C Dit programma zet een binaire (typel) file, afkomstig van de
C Apple computer van Vloeistofmechanica, om in een ascii file.
C Vervolgens wordt de data gemanipuleerd zodanig, dat van het
C snelheidsignaal de gemiddelde max.waarde wordt bepaald.
C De binaire files worden gemaakt door het programma GETBF dat
C als de Apple in terminal emulatie staat gedraaid kan worden.
C Dit programma kan slechts 1 meetwaarden file tegelijk aan
C-----
INTEGER*2      IOB(128)      ! IO buffer voor LGBUF
CHARACTER*1    CHANNEL(8)    ! Meetwaarden van max 8 kanalen
CHARACTER*1    ANTW          ! Antwoord
CHARACTER*1    LENGTE       ! Lengte van strings in de file
CHARACTER*50   REMARK       ! Gebruikt voltage
CHARACTER*6    SAMPLES      ! Aantal samples
CHARACTER*20   MEETDUUR     ! Meetduur
CHARACTER*20   INFILE, OUTFILE ! Input en output filenamen
CHARACTER*256  CBUF         ! Buffer voor 1e record INFILE
CHARACTER*2000 BFIL        ! Buffer voor binaire file
REAL*4         VALUE_CHAN(8) ! Meetwaarden van max 8 kanalen
REAL*4         POSSNEL(500) ! Pos. extreme waarden
REAL*4         XNEGSNEL(500) ! Neg. extreme waarden
REAL*4         X(7500),Y(7500) ! Plotvectoren meetwaarden
REAL*4         TIMEXT(500),EXTR(500) ! Extreme waarden vectoren
REAL*4         Yskale(2),UITWIJ(300) ! Min. en Max. Y-as
INTEGER*2      TEXTX(20),TEXTY(20)

EMA X,Y
! Plot vectoren in EMA

C-----
CALL LGBUF(IOB,128)
! Vergroot IO buffer

C--- Open de files
WRITE(1,*) ' Naam van de Inputfile: _'
READ (1,*) INFILE

C--- Opvragen aantal records
INQUIRE (FILE=INFILE,MAXREC=MREC)
IF (MREC .GT. 86) STOP ' Input file te groot'

OPEN (15,FILE=INFILE,ACCESS='DIRECT',RECL=256,STATUS='OLD',
+      IOSTAT=IERR, ERR=999)

C--- Lees eerste record met identificaties
READ (15,REC=1,IOSTAT=IERR,ERR=999) CBUF

LENGTH = ICHAR(CBUF(1:1))
J = 1+LENGTH
REMARK = CBUF(2:J)

C--- Conversie string naar getallen
READ (SAMPLES, '(I6)') NSAMPLES
READ (MEETDUUR, '(F8.8)') RMEETDUUR

WRITE(1,*) ' Bereik : ',REMARK
WRITE(1,*) ' Resolutie ADC : ',IBITS
WRITE(1,*) ' Aantal kanalen : ',NKAN
WRITE(1,*) ' Aantal samples : ',NSAMPLES
WRITE(1,*) ' Meetduur : ',RMEETDUUR

C--- Lees alle meetgegevens in, vanaf 2e record
DO I=2, MREC
  READ (15,REC=I, IOSTAT=IERR,ERR=999)
  +   BFIL((I-2)*256+1:(I-1)*256)
ENDDO

WRITE(1, '/') ' Invoerfile gelezen : "I2" records"') MREC

C--- Vraagstelling aan gebruiker
WRITE(1, '/') ' Welk kanaal wilt u onderzoeken? _')
READ (1,*) NPLOT
IF (NPLOT .LT. 1 .OR. NPLOT .GT. NKAN) STOP ' Fout kanaal nr'
WRITE(1, '/') ' Bereik snelheids-meter? _')
READ (1,*) BEREIK
Yskale(1) = 0
Yskale(2) = BEREIK

WRITE(1, '/') ' Ongeveer op welke tijd wilt u beginnen? ... _')
READ (1,*) BEGINT
WRITE(1, '/') ' Ongeveer op welke tijd wilt u eindigen? ... _')
READ (1,*) EINDT

C--- Verwerk meetgegevens per scan
DO I= 1,NSAMPLES*NKAN-1,NKAN
  DO J=1,NKAN
    MEETW = ICHAR(BFIL(I+J-1:J-1)) - 128 ! Converteer byte
    IF (MEETW .GT. 0) THEN
      VALUE_CHAN(NKAN-J+1) = MEETW*BEREIK/2/127
    ELSE
      VALUE_CHAN(NKAN-J+1) = MEETW*BEREIK/2/128
    END IF
  ENDDO
ENDDO

```

```

C---- Vul X en Y vector met tijd en meetwaarde van gevraagde kanaal
      II = II + 1
      Y(II) = VALUE_CHAN(NPLOT)
      X(II) = TIME
      TIME = TIME + RMEETDUUR/NSAMPLES
      ENDDO

C---- Uitzeven van extreme waarden uit samplestream
      M=1
      DT= RMEETDUUR/NSAMPLES
      K= BEGINT/DT
      KE= EINDT/DT
      DO WHILE ( K .LT. KE )
        GH1 = Y(K)
        K = K + 1
        GH2 = Y(K)
        K = K + 1
        GH3 = Y(K)
        K = K + 1
        GH4 = Y(K)
        K = K + 1
        GH5 = Y(K)
        IF (ABS(GH5) .LT. ABS(GH4) .AND. ABS(GH3) .LE. ABS(GH4) .AND.
          + ABS(GH2) .LE. ABS(GH4) .AND. ABS(GH1) .LE. ABS(GH4)) THEN
          EXTR(M) = GH4
          TIMEXT(M)= X(K-1)
          M = M+1
          K = K-3
        ELSE
          K = K-3
        ENDIF
      ENDDO
      IF (M .GT. 2 .AND. EXTR(M-1)*EXTR(M-2) .GT. 0 .AND.
        + ABS(EXTR(M-2)) .GT. ABS(EXTR(M-1))) THEN
        M = M-1
      ENDIF
      IF (M .GT. 2 .AND. (EXTR(M-1)*EXTR(M-2)) .GT. 0 .AND.
        + ABS(EXTR(M-1)) .GE. ABS(EXTR(M-2))) THEN
        EXTR(M-2)=EXTR(M-1)
        TIMEXT(M-2)=TIMEXT(M-1)
        M=M-1
      ENDIF
      ENDDO

999 IF (IERR .NE. 0) WRITE(1,*) 'ERROR',IERR
      CLOSE(15)

J=1
N=1
DO L=1,(M-1)
  IF (EXTR(L) .GT. 0) THEN
    POSSNEL(N)=EXTR(L)
    N=N+1
  ENDIF
  IF (EXTR(L) .LT. 0) THEN
    XNEGSNEL(J)=EXTR(L)
    J=J+1
  ENDIF

```

```

      ENDDIF
      ENDDO
      SAM=0
      SOM=0
      PSAM=0
      PSOM=0

C---- Bepaling gemiddelde waarde van amplitudes
      DO K=1,(N-1)
        SAM=SAM + POSSNEL(K)
      ENDDO
      POSGEMID=SAM/(N-1)
      DO L=1,(N-1)
        SOM=SOM + (POSSNEL(L)-POSGEMID)**2
      ENDDO
      STAN=(SOM/(N-2))**0.5
      DO K=1,(J-1)
        PSAM=PSAM + XNEGSNEL(K)
      ENDDO
      XNEGGEMID=PSAM/(J-1)
      DO L=1,(J-1)
        PSOM=PSOM+(XNEGSNEL(L)-XNEGGEMID)**2
      ENDDO
      XSTAN=(PSOM/(J-2))**0.5
      WRITE(1,*) 'PROEFNUMMER'
      WRITE(1,*) 'KANAALNUMMER'
      WRITE(1,*) 'BEGINTIJD'
      WRITE(1,*) 'EINDTIJD'
      WRITE(1,*) 'GEMIDDELDE POS.SNELH.'
      WRITE(1,*) 'STAND.AFWIJKING POS.'
      WRITE(1,*) 'GEMIDDELDE NEG.SNELH.'
      WRITE(1,*) 'STAND.AFWIJKING NEG.'
      END

```

Uit: Mei, C.C. - The applied dynamics of ocean surface waves.

### 12.4 SIDE-BAND INSTABILITY OF STOKES' WAVES

The uniform Stokes waves have been applied for many years in engineering literature as a basis of computing wave forces. Massive work has been devoted to higher-order corrections in order to gain a fuller account of nonlinearity. Nevertheless it is a common experience in the laboratory that a uniform train of relatively steep waves is difficult to maintain in a long-wave tank (see, e.g., Russell and Osorio, 1957). This difficulty was first explained theoretically by the penetrating work of Benjamin and Feir (1967) who found that Stokes' waves were unstable to *side-band* disturbances, that is, disturbances whose frequencies deviated slightly from the fundamental frequency of the carrier waves.

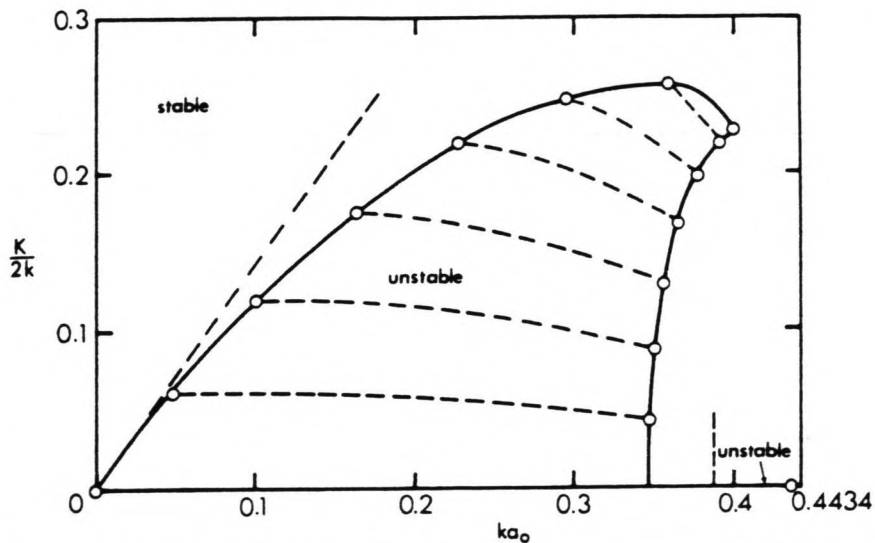
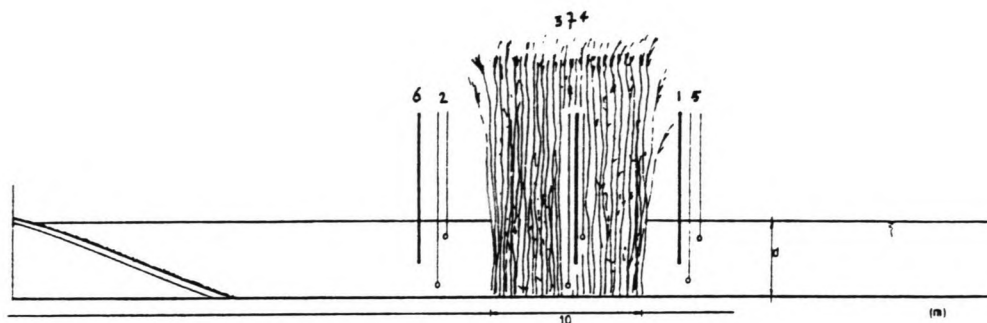


Figure 4.4 Stability diagram for numerically exact periodic nonlinear waves in deep water. The tangent at the origin corresponds to  $K/2k = \sqrt{2}ka_0$  [cf. Eq. (4.9)]. (From Longuet-Higgins, 1978b, *Proc. R. Soc. Lond.* Reproduced by permission of the Royal Society of London.)



Kanaal

- 1 - golfhoogte vlak voor kraag
- 2 - snelheid achter de kraag
- 3 - snelheid in de kraag, laag
- 4 - snelheid in de kraag, hoog
- 5 - snelheid voor kraag
- 6 - golfhoogte na kraag
- 7 - golfhoogte halv. kraag
- 8 - golfhoogte bij golfschot

N.B. de toevoeging 'h' of 'l' bij het proefno. betekent dat de snelheid resp. op een hoog (10 cm onder waterspiegel) of op een laag niveau (10 cm boven de bodem) is uitgevoerd. De uitwijking is de verplaatsing van de stengel van het ene uiterste naar het andere.

GOLFHOOGTE (cm) vlakke bodem, d=0.50 m.								
proef no.	L (m)	Kanaalnummer			$\alpha$ achter	$\alpha$ in	uitwy. (cm)	
		1	2	3				
169	0.5	0.77	0.90	1.17	0.66	0.77	0.1	
170	.	1.17	1.36	1.76	0.66	0.77	0.2	
171	.	1.66	1.78	2.45	0.68	0.74	0.3	
172	.	1.93	2.27	2.65	0.73	0.86	0.5-1	
173	0.5	2.55	2.91	3.54	0.72	0.82	.5-1.5	
174	1.0	1.44	1.88	1.91	0.75	0.98	0.3	
175	.	2.36	2.99	3.10	0.76	0.96	0.4	
176	.	2.87	3.57	3.74	0.77	0.95	0.5	
177	.	3.72	4.70	5.00	0.74	0.94	0.9	
178	.	4.46	5.42	6.00	0.74	0.90	1.5	
179	.	5.26	6.37	7.16	0.73	0.89	1-2	
180	1.0	5.68	6.85	7.82	0.73	0.88	1-3	



181	1.5	2.28	2.63	2.85	0.80	0.92	0.5
182	.	3.54	4.18	4.52	0.78	0.92	1.4
183	.	4.62	5.53	5.94	0.78	0.93	2.5
184	.	5.89	6.87	7.61	0.77	0.90	3-3.5
185	.	6.83	8.00	8.97	0.76	0.89	5.5
186	.	7.96	9.22	10.45	0.76	0.88	7
187	.	8.95	10.36	11.46	0.78	0.90	7.5
188	1.5	10.26	11.74	13.40	0.77	0.88	8.5
189	2.0	2.98	3.37	3.55	0.84	0.95	1
190	.	4.36	4.98	5.32	0.82	0.94	2.5
191	.	5.56	6.30	6.99	0.80	0.90	3.5
192	.	6.47	7.36	8.38	0.77	0.88	5
193	.	7.51	8.58	9.88	0.76	0.87	7
194	.	9.33	10.65	11.93	0.78	0.89	8.3
195	.	10.33	11.90	13.20	0.78	0.90	9
196	2.0	12.42	13.88	15.58	0.80	0.89	10
197	2.5	4.33	4.97	5.12	0.85	0.97	3
198	.	6.40	7.34	7.55	0.85	0.97	5
199	.	8.34	9.62	9.86	0.85	0.98	9
200	.	10.10	11.86	12.31	0.82	0.96	11
201	.	12.07	13.74	14.18	0.85	0.97	13
202	2.5	12.29	14.39	14.60	0.84	0.98	14
204	3.0	11.02	12.83	15.09	0.73	0.85	14
205	.	9.05	10.57	12.07	0.75	0.88	11
206	.	7.11	8.47	9.83	0.72	0.86	9
207	3.0	4.63	5.50	6.14	0.75	0.89	3.5
208	3.5	5.44	6.62	7.04	0.77	0.94	5
209	.	7.30	9.33	9.60	0.76	0.97	9
210	.	9.07	11.38	12.14	0.75	0.94	13
211	3.5	11.43	14.31	15.09	0.76	0.95	14.5



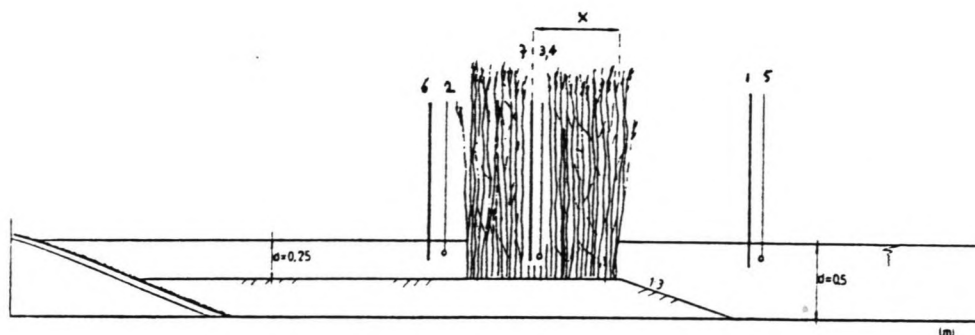
SNELHEID (m/s) vlakke bodem, d=0.50 m									
		Kanaalnummer							
		2		3		4		5	
proef no.	L (m)	heen	terug	heen	terug	heen	terug	heen	terug
25-h	1.0	0.03	0.04	0.03	-	0.06	0.05	0.05	0.04
26-1	.	0.02	0.03	0.03	-	0.06	0.05	0.02	0.02
27-1	.	0.02	0.03	0.03	0.03	0.09	0.07	0.02	0.02
28-h	.	0.05	0.04	0.03	0.03	0.09	0.07	0.07	0.06
29-h	.	0.06	0.05	0.03	0.03	0.09	0.08	0.08	0.07
30-1	.	0.02	0.03	0.03	0.03	0.09	0.08	0.03	0.02
31-1	.	0.02	0.03	0.04	0.03	0.12	0.10	0.03	0.03
32-h	.	0.08	0.07	0.04	0.03	0.12	0.10	0.11	0.08
33-h	.	0.10	0.07	0.04	0.03	0.13	0.11	0.13	0.09
34-1	.	0.03	0.03	0.04	0.03	0.13	0.11	0.03	0.03
35-1	.	0.03	0.04	0.05	0.04	0.16	0.12	0.04	0.03
36-h	.	0.11	0.09	0.05	0.04	0.16	0.12	0.15	0.11
37-h	.	0.12	0.09	0.05	0.04	0.17	0.12	0.16	0.12
38-1	.	0.03	0.04	0.05	0.04	0.18	0.12	0.04	0.03
39-1	.	0.03	0.04	0.05	0.04	0.18	0.13	0.05	0.03
40-h	1.0	0.13	0.10	0.05	0.04	0.17	0.14	0.18	0.12
41-h	1.5	0.09	0.07	0.05	0.04	0.12	0.10	0.11	0.09
42-1	.	0.04	0.04	0.05	0.04	0.12	0.10	0.04	0.04
43-1	.	0.03	0.03	0.04	0.03	0.09	0.08	0.03	0.03
44-h	.	0.06	0.05	0.04	0.03	0.09	0.08	0.07	0.06
45-h	.	0.11	0.09	0.07	0.05	0.17	0.12	0.14	0.10
46-1	.	0.05	0.04	0.06	0.05	0.16	0.12	0.05	0.05
47-1	.	0.05	0.05	0.08	0.06	0.22	0.16	0.07	0.06
48-h	.	0.14	0.11	0.07	0.06	0.22	0.17	0.17	0.12
49-h	.	0.16	0.13	0.09	0.07	0.23	0.19	0.20	0.14
50-1	.	0.06	0.06	0.09	0.07	0.24	0.19	0.07	0.07
51-1	.	0.07	0.07	0.10	0.08	0.26	0.21	0.09	0.07
52-h	.	0.20	0.15	0.10	0.08	0.25	0.22	0.26	0.18
53-h	.	0.22	0.17	0.11	0.09	0.26	0.23	0.28	0.19
54-1	.	0.08	0.07	0.11	0.09	0.28	0.23	0.10	0.08
55-1	.	0.09	0.08	0.13	0.10	0.35	0.24	0.12	0.09
56-h	1.5	0.26	0.18	0.13	0.10	0.33	0.24	0.32	0.23
57-1	2.0	0.04	0.04	0.06	0.05	0.10	0.10	0.05	0.04
58-h	.	0.07	0.06	0.06	0.05	0.10	0.10	0.09	0.08
59-h	.	0.13	0.11	0.10	0.08	0.17	0.14	0.16	0.12
60-1	.	0.07	0.07	0.10	0.08	0.17	0.14	0.09	0.08
61-1	.	0.09	0.08	0.12	0.09	0.20	0.19	0.10	0.10
62-h	.	0.15	0.12	0.12	0.09	0.20	0.18	0.19	0.15

63-h	.	0.10	0.09	0.08	0.07	0.17	0.12	0.12	0.10
64-l	.	0.06	0.06	0.08	0.07	0.16	0.12	0.07	0.07
65-l	.	0.09	0.09	0.14	0.11	0.24	0.20	0.13	0.11
65-h	.	0.18	0.15	0.13	0.11	0.22	0.20	0.24	0.18
66-h	.	0.23	0.19	0.18	0.14	0.29	0.28	0.30	0.23
67-l	.	0.13	0.12	0.18	0.14	0.30	0.29	0.17	0.14
68-l	.	0.14	0.12	0.19	0.15	0.34	0.31	0.18	0.15
69-h	.	0.26	0.20	0.19	0.16	0.37	0.28	0.33	0.24
70-h	2.0	0.29	0.23	0.11	0.16	0.43	0.30	0.38	0.29
71-l	2.5	0.07	0.06	0.09	0.08	0.15	0.11	0.08	0.07
72-h	.	0.10	0.08	0.13	0.08	0.15	0.12	0.11	0.10
73-h	.	0.14	0.11	0.13	0.12	0.19	0.16	0.16	0.14
74-l	.	0.10	0.09	0.16	0.12	0.18	0.17	0.12	0.11
75-l	.	0.13	0.12	0.16	0.15	0.30	0.23	0.16	0.13
76-h	.	0.21	0.16	0.17	0.15	0.29	0.23	0.24	0.19
86-h	.	0.25	0.20	0.19	0.16	0.34	0.26	0.29	0.23
87-l	.	0.16	0.15	0.20	0.16	0.34	0.27	0.20	0.17
88-l	.	0.19	0.17	0.23	0.20	0.40	0.31	0.24	0.19
89-h	.	0.28	0.22	0.22	0.17	0.38	0.34	0.35	0.27
90-h	.	0.30	0.23	0.23	0.20	0.40	0.35	0.36	0.29
91-l	2.5	0.20	0.18	0.23	0.19	0.40	0.35	0.25	0.20
77-h	3.0	0.11	0.10	0.12	0.11	0.17	0.16	0.14	0.12
78-l	.	0.09	0.09	0.12	0.11	0.18	0.15	0.12	0.10
79-l	.	0.14	0.13	0.17	0.15	0.28	0.25	0.18	0.16
80-h	.	0.17	0.15	0.18	0.15	0.28	0.24	0.23	0.19
81-h	.	0.22	0.20	0.22	0.22	0.33	0.30	0.30	0.25
82-l	.	0.17	0.17	0.23	0.23	0.33	0.31	0.23	0.20
83-l	.	0.19	0.22	0.27	0.25	0.41	0.38	0.28	0.24
84-h	.	0.29	0.26	0.27	0.27	0.41	0.38	0.38	0.33
85-h	3.0	0.29	0.28	0.28	0.24	0.43	0.35	0.40	0.37
92-l	3.5	0.12	0.12	0.10	0.07	0.17	0.13	0.15	0.13
92-h	.	0.14	0.13	0.11	0.08	0.17	0.13	0.17	0.14
93-h	.	0.19	0.18	0.15	0.12	0.24	0.19	0.23	0.19
94-l	.	0.16	0.15	0.15	0.11	0.25	0.20	0.19	0.16
95-l	.	0.19	0.21	0.21	0.18	0.31	0.29	0.23	0.21
95-h	.	0.24	0.23	0.20	0.17	0.28	0.28	0.29	0.24
96-h	.	0.26	0.26	0.21	0.14	0.31	0.33	0.31	0.28
97-l	3.5	0.20	0.24	0.21	0.16	0.35	0.33	0.26	0.23

GOLFHOOGTE (cm) vlakke bodem met verschillende waterdiepten							
proef no.	L (m)	Kanaalnummer			$\alpha$ achter	$\alpha$ in	uitwy (cm)
		1	6	7			
d=0.35 m							
117	1.5	4.70	3.60	4.20	0.77	0.89	0.9
118	.	6.10	4.70	5.30	0.77	0.87	1.4
119	.	8.00	5.90	6.70	0.76	0.84	2.3
120	1.5	9.70	7.00	8.30	0.72	0.86	3.5
121	2.5	10.20	7.30	9.10	0.72	0.89	4.5
122	.	8.60	6.50	7.80	0.76	0.91	3.2
123	.	7.00	5.50	6.50	0.79	0.93	2.2
124	2.5	5.20	4.30	5.00	0.83	0.96	1.2
d=0.60 m							
127	1.5	4.80	4.30	4.60	0.90	0.96	1.9
128	.	6.70	6.00	6.40	0.90	0.96	3.5
129	.	8.00	7.00	7.40	0.87	0.93	4.5
130	1.5	9.00	7.70	8.10	0.86	0.90	5.5
131	2.5	9.30	8.00	9.30	0.86	1.00	6.5
132	.	7.80	6.70	7.71	0.86	0.99	4.7
133	.	6.60	5.70	6.60	0.86	1.00	3.8
134	2.5	5.70	4.90	5.70	0.86	1.00	3

SNELHEID (m/s) vlakke bodem, d=0.35 m									
		kanaalnummer							
		2		3		4		5	
proef no.	L (m)	heen	terug	heen	terug	heen	terug	heen	terug
117	1.5	0.10	0.08	0.08	0.06	0.10	0.08	0.12	0.10
118	.	0.11	0.10	0.10	0.07	0.11	0.10	0.15	0.12
119	.	0.14	0.12	0.12	0.09	0.15	0.13	0.19	0.15
120	1.5	0.17	0.14	0.14	0.11	0.16	0.15	0.24	0.17
121	2.5	0.21	0.16	0.17	0.20	0.15	0.18	0.27	0.24
122	.	0.18	0.14	0.16	0.16	0.15	0.14	0.24	0.21
123	.	0.14	0.12	0.13	0.11	0.11	0.10	0.20	0.17
124	2.5	0.12	0.10	0.10	0.08	0.10	0.07	0.15	0.13

SNELHEID (m/s) vlakke bodem, d=0.60 m									
		kanaalnummer							
		2		3		4		5	
proef no.	L (m)	heen	terug	heen	terug	heen	terug	heen	terug
127	1.5	0.06	0.05	0.03	0.03	0.08	0.05	0.07	0.06
128	.	0.11	0.08	0.04	0.04	0.13	0.07	0.11	0.09
129	.	0.13	0.09	0.05	0.04	0.10	0.08	0.14	0.11
130	1.5	0.14	0.10	0.06	0.04	0.12	0.09	0.16	0.12
131	2.5	0.17	0.13	0.11	0.08	0.12	0.12	0.19	0.15
132	.	0.15	0.12	0.09	0.07	0.10	0.08	0.16	0.13
133	.	0.12	0.10	0.08	0.06	0.13	0.12	0.11	0.13
134	2.5	0.09	0.08	0.07	0.05	0.11	0.09	0.11	0.09



Kanaal

- 1 - golfh. voor talud en kraag
  - 2 - snelheid achter kraag
  - 3 - snelheid in kraag
  - 4 - snelheid in kraag
  - 5 - snelheid voor kraag
  - 6 - golfhoogte na kraag
  - 7 - golfhoogte in kraag (x)
  - 8 - golfh. bij golfschot
- (165 →, snelh. boven dam)

GOLFHOOGTE (cm) talud, GHM op verschillende locaties in rietkraag								
proef no.	L (m)	Kanaalnummer			α achter	α in	x (cm)	
		1	6	7				
in goot: d=0.50 m, boven plasberm: d=0.25 m								
145	1.0	3.00	1.90	2.80	0.63	0.93	0	
146	.	3.70	2.30	3.40	0.62	0.92		
147	.	5.00	3.00	4.70	0.60	0.94		
148	1.0	7.90	4.30	6.90	0.54	0.87		
149	1.0	7.90	4.10	5.50	0.52	0.70	15	
150	.	4.80	2.90	3.80	0.60	0.79		
151	.	3.80	2.30	3.00	0.61	0.79		
152	1.0	3.00	1.90	2.50	0.63	0.83		
153	1.0	3.00	1.90	2.40	0.63	0.80	30	
154	.	3.60	2.20	2.80	0.61	0.78		
155	.	4.90	2.80	3.70	0.57	0.76		
156	1.0	7.70	4.10	5.50	0.53	0.71		

157	1.0	7.70	4.20	5.10	0.55	0.66	50	
158	.	4.80	2.90	3.70	0.60	0.77		
159	.	3.60	2.30	2.90	0.64	0.81		
160	1.0	3.00	1.90	2.50	0.63	0.83		
in goot: d=0.60 m, boven plasberm: d=0.35 m								
162	1.5	7.10	5.30	6.00	0.75	0.85	50	
163	.	8.10	6.00	6.70	0.74	0.83		
164	1.5	9.00	6.60	7.50	0.73	0.83		
in goot: d=0.50 m, boven plasberm: d=0.25 m + stenen dam								
165	1.0	3.30	1.90	2.30	0.58	0.70	50	
166	.	4.10	2.30	2.80	0.56	0.68		
167	.	5.30	2.80	3.60	0.53	0.68		
168	1.0	8.20	4.00	5.20	0.49	0.63		

SNELHEID (m/s) plasberm									
		Kanaalnummer							
		2		3		4		5	
proef no.	L (m)	heen	terug	heen	terug	heen	terug	heen	terug
in de goot: d=0.50 m en d=0.25 m boven de plasberm									
145	1.0	0.06	0.05	0.08	0.06	0.10	0.08	0.06	0.06
146	.	0.06	0.05	0.10	0.08	0.11	0.09	0.08	0.06
147	.	0.08	0.06	0.13	0.10	0.12	0.11	0.11	0.08
148	1.0	0.12	0.08	0.17	0.13	0.20	0.13	0.17	0.12



---

 in de goot: d=0.60 m en d=0.35 m boven de plasberm
 

---

161	1.5	0.11	0.07	0.11	0.10	-	-	0.11	0.08
162	.	0.14	0.09	0.16	0.13	-	-	0.15	0.11
163	.	0.16	0.11	0.21	0.12	-	-	0.18	0.12
164	1.5	0.19	0.12	0.23	0.17	-	-	0.22	0.15

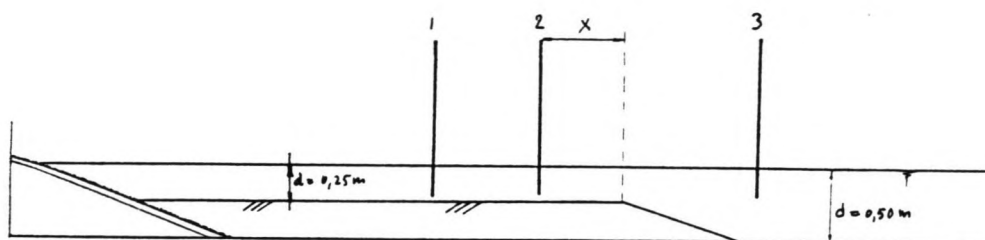
---

 in de goot: d=0.5 m en d=0.25 m boven plasberm + stenen dam
 

---

165	1.0	0.06	0.04	0.07	0.08	0.11	0.10	0.07	0.06
166	.	0.06	0.05	0.09	0.09	0.12	0.11	0.08	0.07
167	.	0.08	0.06	0.12	0.10	0.13	0.13	0.12	0.09
168	1.0	0.11	0.08	0.19	0.12	0.19	0.20	0.18	0.12

---

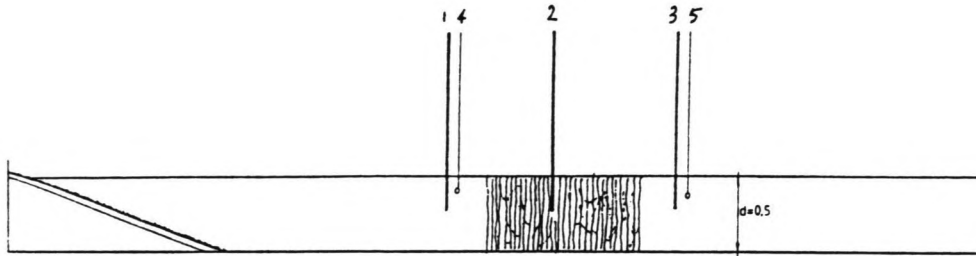


## Kanaal

- 1 - golfhoogte achter 'kraag'
- 2 - golfhoogte in 'kraag'
- 3 - golfhoogte voor 'kraag'

GOLFHOOGTE (cm) plasberm zonder riet, GHM op verschillende locaties (x)								
proef no.	L (m)	Kanaalnummer			$\alpha$ achter	$\alpha$ in	x (cm)	
		1	2	3				
223	1.0	2.82	3.16	3.05	0.92	1.04	0	
224	.	3.43	3.85	3.74	0.92	1.03		
225	.	4.55	4.98	5.02	0.91	0.99		
226	1.0	6.75	7.51	7.71	0.88	0.97		
227	1.0	6.77	7.28	7.82	0.87	0.93	15	
228	.	4.61	4.75	4.93	0.94	0.96		
229	.	3.46	3.68	3.80	0.91	0.97		
230	1.0	2.82	2.97	3.05	0.92	0.97		
231	1.0	2.83	3.09	3.07	0.92	1.01	30	
232	.	3.44	3.69	3.81	0.90	0.97		
233	.	4.49	4.89	4.96	0.91	0.98		
234	1.0	6.69	7.17	7.84	0.85	0.92		
235	1.0	6.74	7.14	7.71	0.87	0.93	50	
236	.	4.54	4.88	4.85	0.94	1.01		
237	.	3.42	3.79	3.75	0.91	1.01		
238	1.0	2.82	3.11	3.00	0.94	1.04		





Kanaal

- 1 - golfhoogte achter kraag      4 - snelheid achter kraag
- 2 - golfhoogte halv. kraag      5 - snelheid voor kraag
- 3 - golfhoogte voor kraag      6 - golfhoogte bij golfschot

GOLFHOOGTE (cm) gemaaid riet, d=0.50 m.							
proef no.	L (m)	Kanaalnummer			α achter	α in	
		1	2	3			
243	1.0	3.15	3.23	3.77	0.84	0.86	
244	.	4.06	4.02	5.01	0.81	0.80	
245	.	4.99	4.92	6.14	0.81	0.80	
246	1.0	5.84	5.82	7.20	0.81	0.81	
247	2.0	6.54	7.10	7.94	0.82	0.89	
248	.	7.61	8.20	9.31	0.82	0.88	
249	.	9.81	10.31	12.14	0.81	0.85	
250	2.0	10.60	11.23	13.07	0.81	0.86	
251	3.0	10.50	11.80	12.57	0.84	0.94	
252	3.0	13.50	15.11	15.60	0.86	0.97	
253	0.5	1.73	1.41	2.23	0.78	0.63	
254	.	2.1	1.85	2.83	0.74	0.65	
255	.	2.62	2.55	3.20	0.82	0.80	
256	0.5	2.60	2.72	3.60	0.72	0.76	

SNELHEID (m/s) gemaaid riet							
		kanaalnummer					
		4		5			
proef no.	L (m)	heen	terug	heen	terug	heen	terug
243	1.0	0.07	0.06	0.11	0.08		
244	.	0.10	0.07	0.12	0.09		
245	.	0.12	0.09	0.14	0.10		
246	1.0	0.14	0.10	0.16	0.12		
247	2.0	0.15	0.12	0.18	0.14		
248	.	0.18	0.15	0.22	0.17		
249	.	0.24	0.19	0.27	0.22		
250	2.0	0.26	0.20	0.30	0.23		
251	3.0	0.29	0.24	0.30	0.26		
252	3.0	0.33	0.28	0.36	0.34		
253	0.5	0.04	0.03	0.07	0.05		
254	.	0.04	0.04	0.08	0.05		
255	.	0.06	0.05	0.09	0.07		
256	0.5	0.06	0.05	0.09	0.07		

Lab. voor Vloeistofmechanica afd C.T. T.H. Delft							
Zeefanalyse tbv <i>Gestoken Grondmonsters</i>						datum <i>19-10-'88</i>	
nr <i>1</i>	gewicht voor zieving <i>59,85 gr</i>			nr <i>2</i>	gewicht voor zieving <i>61,41 gr</i>		
zeef ( $\mu\text{m}$ )	gewicht	%	kum %	zeef	gewicht	%	kum %
2000	4,19	7,0	10,3	2000	—		
1000	2,46	4,1	14,3	1000	3,59	5,8	100
500	7,30	12,2	26,2	500	7,65	12,5	94,3
425	2,30	3,8	30,0	425	3,14	5,1	81,8
355	1,90	3,2	31,2	355	2,40	3,9	76,7
300	2,10	3,5	34,0	300	2,49	4,1	72,8
250	1,50	2,5	36,5	250	2,01	3,3	60,7
212	1,45	2,4	39,0	212	1,86	3,0	65,4
180	1,68	2,8	41,6	180	2,44	4,0	62,4
150	1,93	3,2	44,8	150	2,78	4,5	58,4
125	1,61	2,7	47,6	125	2,29	3,7	53,9
106	1,85	3,1	50,9	106	1,64	2,7	50,2
90	5,77	9,6	47,8	90	1,76	2,9	47,5
75	5,80	9,7	38,2	75	3,49	5,7	44,6
63	6,16	10,3	28,5	63	4,21	6,9	38,9
53	7,00	11,7	18,2	53	9,21	15,0	32,0
rest	3,87	6,5	6,5	rest	10,43	17,0	17,0

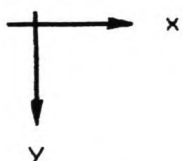
Lab. voor Vloeistofmechanica afd C.T. T.H. Delft							
Zeefanalyse tbv <i>oppoeg-sediment</i>						datum <i>25-8-'87</i>	
nr <i>3</i>	gewicht voor zieving <i>11,82</i>			nr	gewicht voor zieving		
zeef ( $\mu\text{m}$ )	gewicht (g)	%	kum %	zeef	gewicht	%	kum %
2000	—	—					
1000	0,07	0,5	99,8				
500	0,27	2,3	99,2				
475	0,20	1,7	96,9				
355	0,21	1,8	95,2				
300	0,31	2,6	93,4				
250	0,45	3,8	90,8				
212	0,57	4,8	87,0				
180	0,75	6,3	82,2				
150	0,82	6,9	75,9				
125	0,70	5,9	69,0				
106	1,03	8,7	63,1				
90	1,43	12,1	54,4				
75	2,40	20,3	42,3				
63	0,88	7,4	22,0				
53	0,63	5,3	14,6				
rust	1,10	9,3	9,3				

Bijlage 7 - hoogtemetingen rietbodern

Metingen grondhoogteprofiel

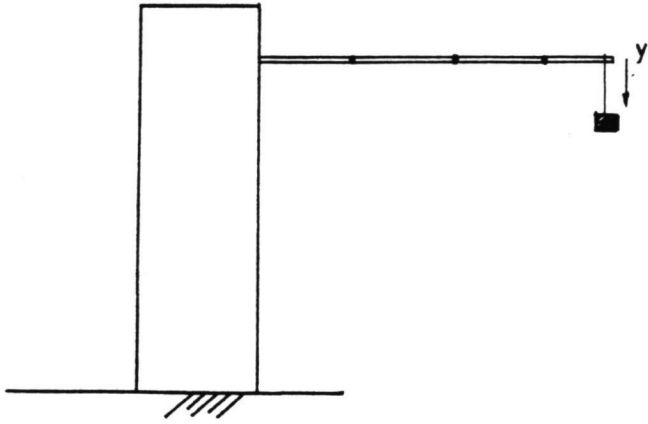
	20		30		40		50		60 cm	
	voor	na	voor	na	voor	na	voor	na	voor	na
20	15.8	11.2	7.4	7.3	11.4	10.8	11.6	11.7	10.4	10.1
30	16.9	15.3	12.8	12.1	12.7	12.4	12.9	12.8	11.6	11.3
40	17.7	15.2	14.1	15.3	13.6	14.2	14.0	13.8	14.2	14.0
50	13.0	12.5	14.1	13.4	13.9	13.6	14.5	14.2	15.0	13.4
60	13.5	13.2	13.5	13.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.2	13.7
70	13.0	12.8	14.3	13.3	13.8	14.5	14.7	15.4	14.9	15.5
80	11.9	12.5	12.5	13.6	13.6	13.7	15.3	14.9	16.1	15.7
90 cm	12.0	12.4	12.4	12.6	13.5	13.3	14.6	15.2	16.0	16.5

(cm)



In de x-richting zijn de breedte-raaien uitgezet (metingen loodrecht op de goot-as). In de y-richting zijn de diepte-raaien uitgezet (metingen in de lengterichting van de goot-as).

De weergegeven meetwaarden moeten als volgt worden geïnterpreteerd: Naarmate de meetwaarde groter is ligt de bodern van de rietkraag hoger. De meting is namelijk uitgevoerd met een peilnaald op de meetbalk. Naarmate de bodern dieper ligt, moet de peilnaald verder worden uitgedraaid om de bodern te raken en dientengevolge wordt op de peilnaald een lagere waarde aangewezen.



Buigstijfheidsbepaling

Om de buigstijfheid van de rietstengels te bepalen is een eenvoudige meetopstelling ontworpen (zie fig. hiernaast). Een steekproef van 12 stengels werd aan een onderzoek onderworpen. De twaalf stengels werden elk tot 50 cm ingekort. Vervolgens werden de stengels om de beurt ingeklemd in een houten blok met voorgeboorde gaten ( 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 mm). Op een vaste afstand werd de stengel belast met een gewichtje en werd de zakking van de stengel bepaald. Om de soortelijke massa van de rietstengels te bepalen werd ieder rietstengeltje gewogen. Dit leverde niet het werkelijke soortelijke gewicht, maar het gewicht inclusief de holle ruimte van de stengel. In de berekening van de eigentrilling wordt dit weer rechtgetrokken, omdat daar het volledige volume van de stengel vermenigvuldigd wordt met het aldus berekende soortelijk gewicht. Met behulp van het vergeetme-nietje voor een aan één zijde ingeklemde buigligger

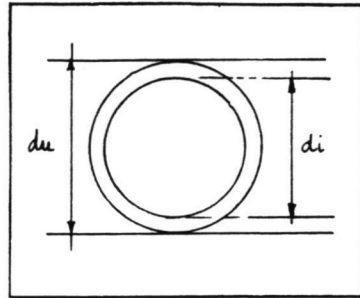
$$y = \frac{F \cdot l^3}{3EI}$$

(waarin y de zakking aan het uiteinde voorstelt en F de puntlast. De lengte van de ligger is l) werd de buigstijfheid EI bepaald en vervolgens met

$$W = \sqrt{\left( \frac{12.4 \cdot EI}{\sigma \cdot A \cdot l^4} \right)}$$

de eigenfrequentie W. A is hierin de doorsnede van de ligger. Dit resulteerde in

	$\phi$ (mm)	$\sigma$ (kg/m <sup>3</sup> )	EI (Nm <sup>2</sup> )	W (rd/s)	T (s)
1	2.9	252	0.0262	6.21	1.01
2	3.1	327	0.0601	7.72	0.81
3	3.4	311	0.0759	5.96	1.05
4	3.6	334	0.1071	6.45	0.97
5	3.4	314	0.0857	6.30	1.00
6	3.3	306	0.0640	7.74	0.81
7	3.6	367	0.0781	5.25	1.20
8	3.1	324	0.0573	7.57	0.93
9	2.5	321	0.0149	6.93	0.91
10	4.0	260	0.1058	6.53	0.96
11	4.3	279	0.1790	5.86	1.07
12	3.7	204	0.0548	4.39	1.43





Omdat het vermoeden bestond dat de buigstijfheid van een levende stengel anders is dan die van een dode, werd hetzelfde proefje als bovengenoemd nog eens uitgevoerd, maar dan met levende en dode (overjarige) stengels uit een willekeurige rietkraag uit de Ablasserwaard. Dit resulteerde in

	$\Phi$ (mm)	EI (Nm <sup>2</sup> )
levende stengels		
1	3.9	0.092
2	5.4	0.130
3	5.6	0.172
4	6.4	0.231
5	5.3	0.174
6	6.1	0.259
dode stengels		
1	4.6	0.217
2	afgebroken	
3	5.7	0.339
4	4.0	0.127
5	4.1	0.130

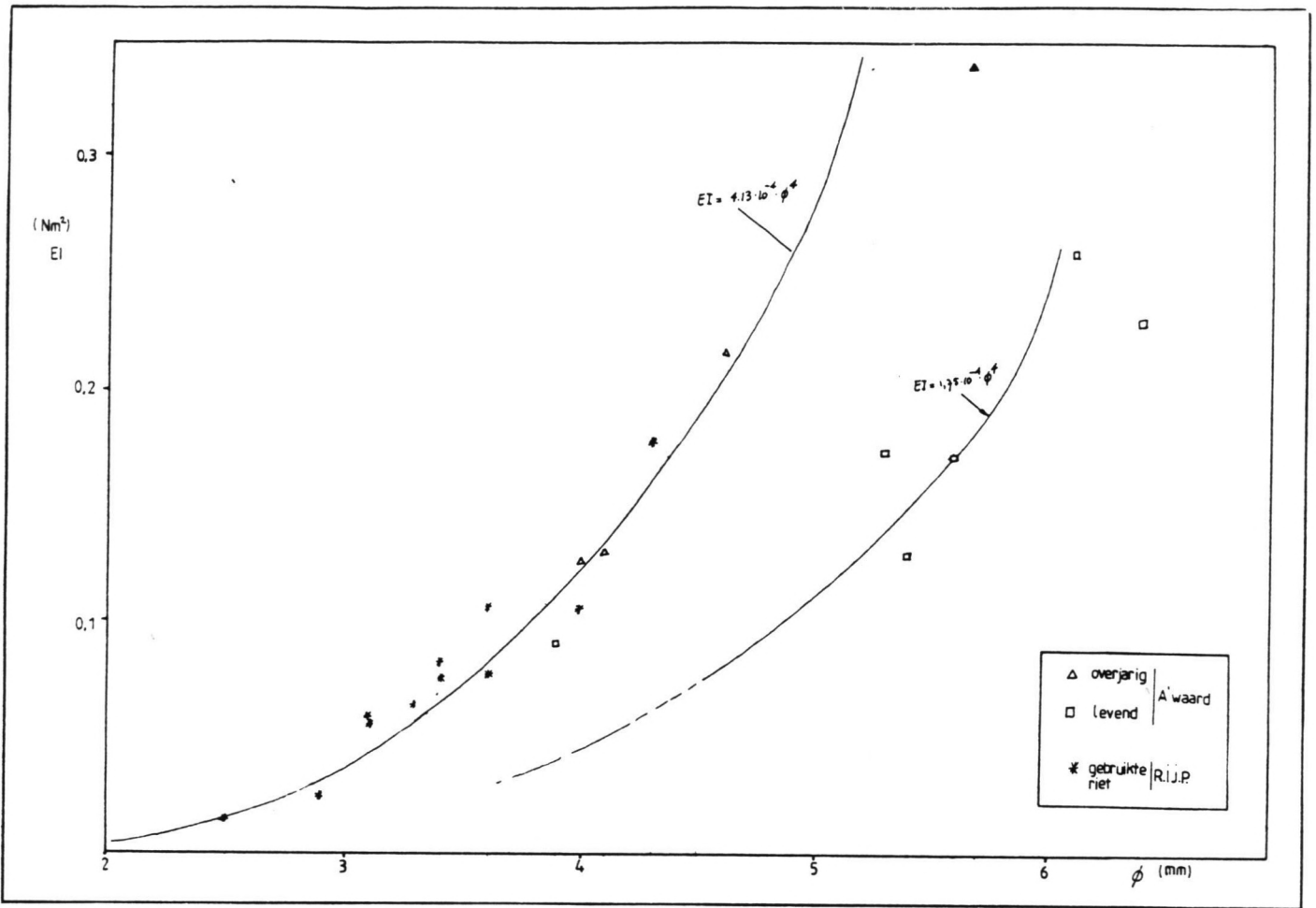
Voor het materiaaloppervlak van een buis geldt (zie fig. hier-naast)

$$A_b = \frac{\pi \cdot (d_u^2 - d_i^2)}{4}$$

en voor het traagheidsmoment

$$I = \frac{\pi \cdot (d_u^4 - d_i^4)}{64}$$

Hierin is  $A_b$  het oppervlak van de buisdoorsnede,  $d_u$  de uitwendige diameter en  $d_i$  de inwendige diameter.  $I$  is het traagheidsmoment van de 'ligger'.



---

Indien nu wordt aangenomen dat de dikte van de 'rietbuiswand' groter wordt met toenemende diameter ( $di/du=\text{constant}$ ) dan geldt:

$$I=C \cdot du^4.$$

waarin C een constante is.

Onder de aanname dat de E-modulus gelijk is voor alle stengels geldt dat de EI evenredig is met de vierde macht van de diameter  $\phi$ .

Duidelijk is te zien dat de dode, overjarige stengels een grotere buigstijfheid hebben dan de levende (zie fig. hiernaast). Hierbij moet worden opgemerkt dat de stengels betrekkelijk laat in het seizoen (begin september) uit de kraag zijn gehaald. De eerste tekenen van afsterving waren toen reeds aanwezig. Het is dus zeker denkbaar dat de verschillen in buigstijfheid in de zomermaanden nog groter zullen zijn.

---

bepaling golflengten

Het golfschot, dat gebruikt is tijdens de proeven, was alleen voorzien van een toerenteller, die de omwentelingen van de electromotor aanwees. Om het toerental van de motor te kunnen interpreteren als een golflengte werden vooraf enige experimenten uitgevoerd om de relatie tussen het toerental en de golflengte te bepalen. Hiertoe werden twee golfhoogtemeters achter elkaar geplaatst met een onderlinge afstand van een golflengte (bijv. 2.5 m). Door het toerental van de motor te wijzigen werd het mogelijk een golf op te wekken die precies tussen de twee GHMs paste. Deze procedure werd herhaald voor alle op te wekken golven.

instelling golfmachine

De golfmachine beschikte niet alleen over de mogelijkheid om de periode (en daarmee de golflengte) te variëren, maar evenzo was er de optie de zogenaamde 'wiegstand' te veranderen. Dit houdt in dat men naar keuze de verplaatsing van het schot traploos kan laten variëren tussen zuiver roteren, roteren en transleren en alleen transleren. D.m.v. de wiegstand kan men aldus de snelheidsverdeling van het water onder de golf regelen. Een diep water golf heeft een snelheidsverdeling volgens een e-macht [15]: hieruit volgt dat het schot voornamelijk moet roteren. Een ondiep water golf heeft bijna een uniforme snelheidsverdeling: hier moet het schot voornamelijk een translatie uitvoeren. Om voor iedere golf de juiste wiegstand in te kunnen stellen werd daarom voor elke golflengte de verhouding berekend tussen de verplaatsing van een waterdeeltje op 10 cm onder de waterspiegel en op 10 cm boven de bodem. De verplaatsing van een waterdeeltje is te berekenen door integratie van de snelheid van dat waterdeeltje over de tijd. Door nu op de glazen wand van de stroomgoot ter plaatse van het golfschot een centimeterverdeling aan te brengen, op 10 cm onder de waterlijn en op 10 cm boven de bodemlijn werd het zeer eenvoudig de juiste wiegstand te vinden. Terwijl de golfmachine in werking was werd aan de slinger van de 'wieg' gedraaid totdat het golfschot dusdanig verplaatste dat de punten op 10 cm onder de waterlijn en op 10 cm boven de bodemlijn zich in de gezochte verhouding verplaatsten. De wiegstand werd vervolgens opgemeten en genoteerd.

---

### Snelheidsmetingen

Voor het meten van de snelheid werd gebruik gemaakt van micromolens. Fabrikant: Waterloopkundig Laboratorium. De molens werden na het gebruik op de specificaties geijkt. De geringe afmetingen van het eigenlijke meetgedeelte maken dit type snelheidsmeter bijzonder aantrekkelijk. Daardoor immers waren de apparaatjes zonder al te veel moeite in de rietkraag op te stellen. Een bezwaar van de micromolens is de grote gevoeligheid voor gronddeeltjes e.d. Bij de minste of geringste aanwezigheid van dergelijke deeltjes gaat de meting storings vertonen: de molen 'hapert'. Door het omrekenen van de frequentie van de molen in een snelheid wordt een fout geïntroduceerd. Deze kan maximaal 2-3% bedragen. Omdat bij eerdere snelheidsmetingen in rietkragen gebleken was dat de bladeren van de rietstengels zich rond de meetapparatuur kunnen vlijen werd, om dit te voorkomen, een afschermingsconstructie ontworpen. Voor de micromolens bestond deze uit een buisje met een lengte van 5 cm, waar de micromolen ingehangen werd. IJking van de beschermde en de onbeschermde molen bracht geen verschil in meting aan het licht: de invloed van de beschermingsconstructie kon verwaarloosd worden.

### Golfhoogtemetingen

Voor de golfhoogtemetingen werd gebruikt gemaakt van weerstandsgolfhoogtemeters (fabrikant: Waterloopkundig Laboratorium). Dit type golfhoogtemeter meet de weerstand van twee in het water gedompelde staven. Als het ondergedompelde deel van lengte verandert (bijv. door passage van een golf) dan verandert eveneens de weerstand van de staven. De meter registreert deze verandering en vertaalt die in een golfhoogte. De nauwkeurigheid van deze golfhoogtemeters is vrij groot: beter dan 1 mm (afhankelijk van het gekozen bereik). De golfhoogtemeters werden, om rietstengels te weren, voorzien van een 60 cm-lange PVC-buis. In deze buis werden lange sleuven gefreesd om de meting niet te verstoren. Vergelijking van de golfhoogtemeters met en zonder deze korf toonde geen verschil.

### IJking golfhoogtemeters

Om de golfhoogtemeters zowel absoluut als ten opzichte van elkaar te kunnen vergelijken werd een serie ijkmetingen uitgevoerd. De golfhoogtemeters werden hierbij in de lengterichting van de goot achter elkaar opgesteld, met een tussenruimte van 0.50 m. De golven werden niet alleen door de golfhoogtemeters geregistreerd, maar eveneens met een lineaal tje, tegen het glas van de goot, gemeten.

---

Op kanaal 1 was de golfhoogtemeter achter de kraag aangesloten, op kanaal 2 de GHM in de kraag, op 3 de GHM voor de kraag en op kanaal 4 was de GHM bij het golfschot aangesloten. Om te onderzoeken in hoeverre de GHMs de juiste golfhoogte registreerden werden twee golfperiodes met wisselende golfsteilheid beproefd. Het bleek dat de GHM bij het golfschot niet de volledige variatie kon aangeven: deze GHM had een afwijking van zo'n 10%.

Proef no.	kan. no.	handm. (cm)	golfl. (m)	meetw. (cm)	afwijk. tov. 3
IJK-1	1	3.2	1.0	3.20	-1.5%
	2	.	.	3.25	0
	3	.	.	3.25	x
	4	3.2	1.0	2.92	-10%
IJK-2	1	4.8	1.0	4.75	-2.1%
	2	.	.	4.80	-1.0%
	3	.	.	4.85	x
	4	4.8	1.0	4.40	-9.3%
IJK-4	1	5.5	2.0	5.35	-0.9%
	2	.	.	5.50	+1.9%
	3	.	.	5.40	x
	4	5.5	2.0	4.85	-11.3%
IJK-5	1	9.4	2.0	9.15	-1.6%
	2	.	.	9.15	-1.6%
	3	.	.	9.30	x
	4	9.4	2.0	8.40	-9.7%
IJK-6	1	12.2	2.0	12.2	-1.6%
	2	.	.	12.4	0
	3	.	.	12.4	x
	4	12.2	2.0	11.4	-8.1%

De registratie van GHM-4 moet dus met een factor 1.1 vermenigvuldigd worden om de werkelijke golfhoogte te kennen.

# Gebr. J. en L. Visscher

Riet en biezencultuur

Gebr. J. en L. Visscher  
Puttenstraat 34  
8281 BP Genemuiden  
Tel. 05208-54880 bgg -55082



**RIET- EN BIEZENCULTUUR** van Gebr. Visscher, meer dan 75 jaar ervaring in het planten en onderhouden van riet- en biesvelden. Jarenlange ervaring gekoppeld aan een sterke verbondenheid met water brengt met zich mee dat de mensen van dit bedrijf u als geen ander kunnen vertellen wat de voordelen van riet en biezen zijn. Genemuiden is de plaats waar zich de riet- en biesvelden van het bedrijf zelf bevinden en waar gezorgd wordt dat er genoeg nieuwe aanplant is. Waarom wordt er steeds meer overgegaan tot de aanplant van riet- en biesvelden en milieuvriendelijke oevers? **Oeverbeschoeiing** van riet is niet alleen milieuvriendelijk en mooi om te zien, maar ook nog doelmatig. Binnen de ruilverkaveling wordt door aanplant van riet afkalving van oevers voorkomen. Als oeverbeschoeiing is riet uitermate geschikt. In kanalen fungeert het tevens als afbakening voor de scheepvaart. **Milieu** aspecten maken dat men steeds meer de voordelen ziet van de aanleg van rietbeplanting langs bijvoorbeeld kanalen en weteringen. De mensen worden zich er van bewust dat we zuinig moeten zijn op ons milieu. Om deze reden wordt vaak terecht besloten tot de aanplant van riet of biezen omdat deze namelijk zeer goede eigenschappen hebben. In de eerste plaats een waterzuiverende werking. **Waterzuiverende** eigenschappen van biezen en riet zijn in de praktijk reeds aangetoond. Riet en biezen zorgen op een natuurlijke manier voor evenwichtige verhoudingen. Een goede reden om tot aanplant over te gaan. Hoe schoner het water hoe beter het is voor mens en dier. **Bescherming** geeft het riet niet alleen aan de oevers maar ook aan vogels en vissen. Watervogels zullen het riet gebruiken om nesten in te bouwen en voor de vissen is het een uitstekende paaiplaats. **Belangstelling**, dan kunt u ons altijd bellen of schrijven voor informatie of vrijblijvend offerte aanvragen. Tel. 05208-54880, bgg 55082.

Aantal medewerkers: -  
Contactpersoon: L. Visscher



Telefonisch interview met aannemer in riet- en biezencultuur

De Gebr. J. en L. Visscher hebben meer dan 75 jaar ervaring in het planten en onderhouden van riet- en biezenvelden (zie figuur hiernaast). Uit hun rijke ervaring is d.m.v. een telefoongesprek het volgende geput:

- Bij het aanleggen van een rietkraag in den natte is het poten van rietstekken het meest effectief. Bij aanleg in den droge is ook het leggen van wortelstokken een mogelijkheid. In het geval van poten van stekken moeten deze met een onderlinge afstand van 30 cm worden geplant. De stekken moeten tenminste drie 'knopen' hebben en boven het water uitsteken ("anders verzuipen ze").
- Riet is sterker dan biezen.
- Het verdient aanbeveling om het riet achter een beschoeiing aan te leggen, opdat de jonge stengels de gelegenheid krijgen groter en sterker te worden.
- Naast de min of meer bekende aantrekkelijke kanten van rietkragen (landschappelijk schoon, waterzuivering e.d.) zijn er nog twee opmerkelijk facetten van riet:
  - 1 riet vormt een goede locatie voor kuitschietende vissen.
  - 2 voor schippers is het 's nachts een uitstekende afbakening van de vaargeul.

De firma Visscher plant voornamelijk *Phragmites Communis* aan.

---



Bijlage 11 - fotorapportage uitgraven van bak met riet

---





Bijlage 12 - referentieproeven

De gegevens van de referentieproeven zijn:

SNELHEID (m/s)									
		kanaalnummer							
		2		3		4		5	
Proef no.	L (m)	heen	terug	heen	terug	heen	terug	heen	terug
Ref 2	2.2			0.07	0.07	0.12	0.10	0.10	0.08
Ref 3	.			0.07	0.07	0.12	0.10	0.10	0.09
Ref 4	.			0.06	0.05	0.13	0.09	0.10	0.09
Ref 5	.								
Ref 6	2.2	geen snelheidsmeting verricht							

GOLFHOOGTE (cm)					
proef no.	L (m)	Kanaalnummer			$\alpha$
		1	6	7	
Ref 2	2.2	4.28	3.53	3.99	0.82
Ref 3	.	4.33	3.51	4.09	0.81
Ref 5	.	4.25	3.46	4.09	0.81
Ref 6	2.2	4.31	3.55	4.05	0.82

Uit: Coastal Engineering, 1976.

CHAPTER 48

ESTIMATION OF INCIDENT AND REFLECTED WAVES  
IN RANDOM WAVE EXPERIMENTS

by

Yoshimi Goda and Yasumasa Suzuki

Marine Hydrodynamics Division

Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport

Nagase, Yokosuka, Japan

ABSTRACT

A technique to resolve the incident and reflected waves from the records of composite waves is presented. It is applicable to both regular and irregular trains of waves. Two simultaneous wave records are taken at adjacent locations, and all the amplitudes of Fourier components are analyzed by the FFT technique. The amplitudes of incident and reflected wave components are estimated from the Fourier components, and the incident and reflected wave spectra are constructed by smoothing the estimated periodograms. The wave resolution is effective in the range outside the condition of the gauge spacing being even integer of half wavelength. The ratio of incident and reflected wave energies in the effective resolution range is employed in estimating the overall reflection coefficient. The incident and reflected wave heights are estimated from the composite wave heights by energy consideration.

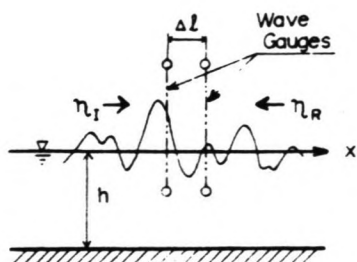


Fig. 1 Definition Sketch

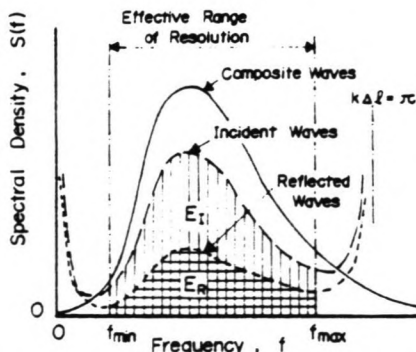
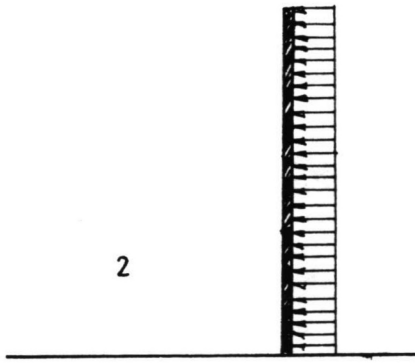
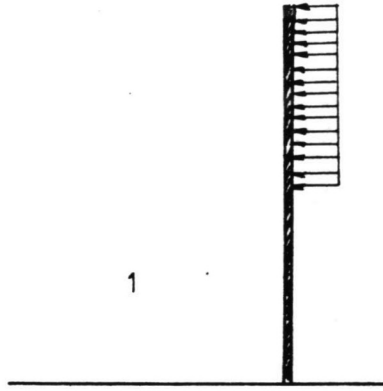


Fig. 5 Illustration of Spectral Resolution



Figuur 71 is als volgt samengesteld:

Uitgegaan is van een vergelijking van de verplaatsing van de stengel ten opzichte van de waterdeeltjes rond de ongestoorde waterlijn, dus op 50 cm boven de bodem. Omdat de verplaatsing van de stengel op 65 cm boven de bodem is gemeten, moeten de gemeten waarden omgerekend worden naar de uitwijking op 50 cm hoogte. Hierbij is de rietstengel weer beschouwd als een ingeklemde buigligger die door een continu verdeelde belasting belast wordt. 50 cm is ongeveer  $0.75 \cdot 65$  cm.

Voor de relatief korte golven (diep water,  $L=0.5$  m,  $L=1.0$  m,  $L=1.5$  m) wordt uitgegaan van belastingssituatie 1. Dit omdat de snelheden aan de bodem nog vrijwel gelijk aan nul zijn. Voor de langere golven wordt uitgegaan van een continu verdeelde belasting over de gehele stengellengte (situatie 2).

Voor de eerste situatie levert dit op (met behulp van een ver-geet-me-nietje):

-om de uitwijking op  $x=3/4 \cdot l$  (=50 cm) te krijgen moet de uitwijking op 65 cm met 0.68 vermenigvuldigd worden.

Voor de tweede belasting-situatie geldt:

-de uitwijking op 65 cm moet met 0.66 vermenigvuldigd worden om de uitwijking op 50 cm hoogte te krijgen.

Op deze wijze is figuur 71 samen te stellen. Nadrukkelijk moet gesteld worden dat dit een benadering is en niet meer geeft dan een indruk van de grote lijnen: de schematisering van de golfkracht op de stengel tot een continu verdeelde kracht is waarschijnlijk niet geheel correct.

---



