

BODEMBESCHERMING VÓÓR EEN VERTICALE GOLFBREKER.

Afstudeerscriptie: E.J.F. Hamerslag

Begeleiders:

Prof.ir. K. d'Angremond
Ir. G.J. Schiereck
Dr.ir. H.L. Fontijn

Voorwoord

Na een enthousiaste start, kwam de sleur van het elke keer opbouwen van de experimenten. Daarna kwam het schrijven van de scriptie met het onder druk halen van de deadline. Dit alles een hele ervaring. Mijn begeleiders, G.J. Schiereck en H.L. Fontijn wil ik bedanken voor de aanwijzingen die ze hebben gegeven tijdens het hele proces van afstuderen. Natuurlijk wil ik Professor K. d'Angremond ook bedanken. Hij was de gene, die voor dat ik begon met afstuderen, aangaf wat mogelijkheden waren en wat niet. Verder wil ik iedereen bedanken die tijdens het overlijden van m'n moeder er was. In het bijzonder Marjan die er altijd was en is.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de bodembescherming die voor een verticale golfbreker aangebracht wordt. Voor een verticale golfbreker ontstaat een staande golf waarin orbitaalstromingen wrijving op de bodem veroorzaken. Het ontbreken van een bodembescherming kan leiden tot het ondergraven van een verticale golfbreker. Om inzicht te krijgen of de bestaande theorieën van Rance & Warren en Jonsson & Sleath toegepast kunnen worden voor het bepalen van de bodembescherming voor een verticale golfbreker zijn er experimenten uitgevoerd.

De experimenten zijn uitgevoerd in het laboratorium voor vloeistof mechanica van de faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. De experimenten zijn uitgevoerd in een golfgoot met aan het eind een verticale wand met daarvoor een 5 m lange testlaag. De testlaag bestaat uit stenen die in gekleurde stroken zijn aangebracht met een breedte van 10 cm. Aan het begin van de golfgoot bevindt zich een golfmachine die alleen regelmatige golven op kan wekken.

Elke proef is driemaal uitgevoerd, in totaal 126 proeven.. In de proeven zijn de steendiameter, de soortelijke massa, de golfhoogte en de golfperiode gevarieerd. Na elke proeven is de schade bepaald door middel van verplaatste stenen te tellen die van de ene strook naar de andere zijn verplaatst. De schade is bepaald door het percentage te bepalen van het nominale oppervlak van het aantal verplaatste stenen per strook.

Onder de knopen van de staande golf is de schade van de bodembescherming maximaal, dit is conform de golftheorie. Volgens de golftheorie is de stroming onder de knopen van de golf maximaal en onder de buiken de stroming minimaal. De knoop van de staande golf ontstaat op een kwart golflengte van de verticale wand hier treed dus ook de maximale schade op.

De resultaten van de proeven zijn vergeleken met de theorieën van Rance & Warren en Jonsson/Sleath. De golfhoogte van de staande golven bij het begin van bewegen zijn vergeleken met de berekende waarden van Rance & Warren en Jonsson/Sleath. Hieruit volgt dat de theorie van Rance & Warren zeer goed voldoet om de benodigde bodembescherming te bepalen. De theorie van Jonsson/Sleath geeft bij de zelfde bodembescherming een golfhoogte toe die een kwart kleiner is. Hetgeen vergeleken met de experimentele resultaten erg conservatief is.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
Inhoudsopgave	iii
1	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Achtergronden van het onderzoek	1
1.3 Doel en omvang van deze studie	1
1.4 Toepassingen	2
2	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Golftheorie	3
2.3 Stabiliteitsrelaties	8
2.3.1 Jonsson/Sleath	8
2.3.2 Rance & Warren	11
2.4 Vergelijking van de stabiliteitsrelaties	12
2.5 Bodembescherming	14
2.5.1 Steendiameter	14
2.5.2 Spreiding	15
2.5.3 Massadichtheid	15
3	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Testfaciliteiten	17
3.3 Steensorteringen	18
3.4 Beschrijving van het model	19
3.5 Golfcondities en golftijd	19
3.6 Meetmethoden	21
3.7 Testprocedures	22
4	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Uitgevoerde experimenten	23
4.3 Het schadeproces	24
4.4 Schadespreiding	25
4.5 Schadeverdeling	26
5	29
5.1 Inleiding	29
5.2 De bepaling van met de schade corresponderende golfhoogten	29
5.2.1 De curve van de maximale schade	29
5.2.2 Vergelijking van de theorieën met de gemeten waarden	30

6	Conclusies en aanbevelingen	36
	6.1 Conclusies	36
	6.2 Aanbevelingen	36
	Literatuurlijst	37
	Lijst van symbolen	38
Bijlagen		I
1.Steensorteringen		I
2.Experimentele data		XIII
3 Testprocedures		XLVI
4 Berekeningen		XLVIII

1 Introductie

1.1 Algemeen

Constructies die onderhevig zijn aan golfaanvallen moeten daarop ontworpen worden. De vorm en de positie van de constructies zijn daarbij van groot belang. Niet alleen moet de constructie bestand zijn tegen de golfaanvallen, ook de bodem vóór de constructie mag niet onder invloed van de golven gaan eroderen. Erosie is toegestaan zolang de fundering van de constructie er niet onder lijdt. Als dit wel het geval is moeten hiertegen maatregelen getroffen worden. Om erosie te voorkomen kan er voor de constructie een bodembescherming worden aangebracht. Meestal wordt de bescherming uitgevoerd in een laag stenen, die de golfaanvallen kunnen weerstaan.

Voor lopende golven op een horizontale bodem is de stabiliteit al enkele malen onderzocht, onder andere door Vincent (1957) en Adou-Seida (1965), zie Sleath (1978). Op verschillende manieren is de oscillerende stroming onder de golven gemodelleerd en de stabiliteit van de bodem bepaald. Het specifieke geval van de stabiliteit van een bodembescherming onder een staande golf, die ontstaat voor een verticale golfbreker, is niet onderzocht.

1.2 Achtergronden van het onderzoek

Het onderzoek dat is uitgevoerd komt voort uit een onderzoek dat is uitgevoerd door Xie (1981). Xie heeft de erosie van een zandlaag vóór een verticale golfbreker onderzocht. Uit zijn onderzoek is gebleken dat deze erosie de constructie kan ondergraven. Ook heeft hij onderzocht wat het effect van een beschermende laag op de erosie is. De sterkte van de laag was bij zijn onderzoek van ondergeschikt belang.

1.3 Doel en omvang van deze studie

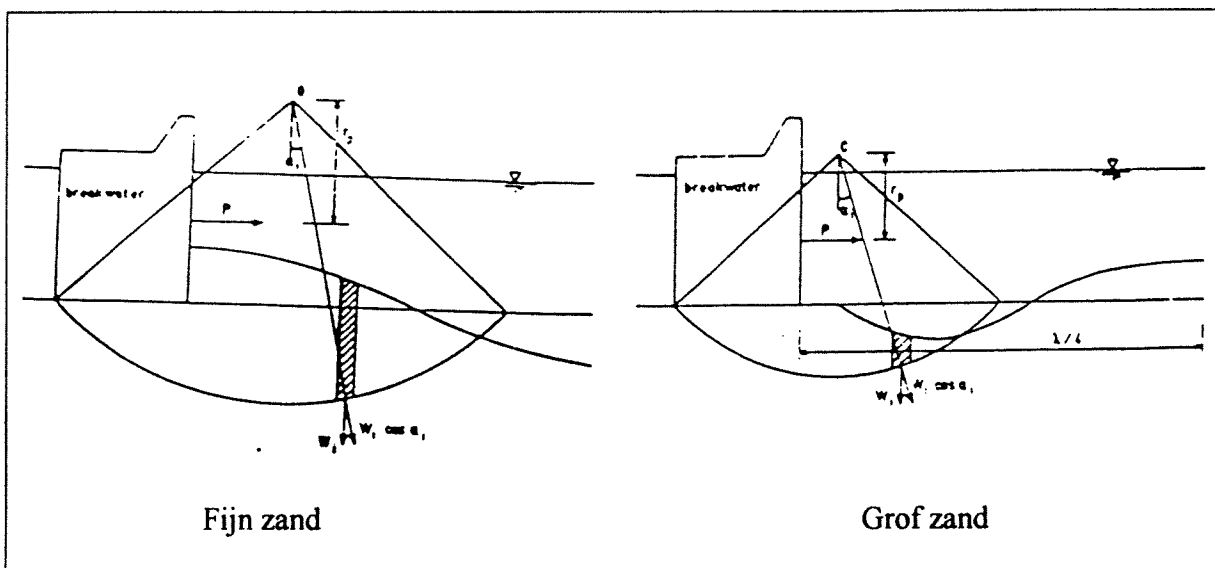
Het doel van deze studie is de relaties te onderzoeken tussen de verschillende variabelen die te maken hebben met de stabiliteit van stenen op een horizontaal vlak onder staande golven. In dit onderzoek zijn alleen regelmatige golven gebruikt, onregelmatige golven en stroming, en de combinatie golven en stroming zijn buiten beschouwing gelaten.

Er zijn verschillende ontwerpformules waarmee voor een horizontale bodem onder golven de benodigde bescherming te bepalen is. De gebruikte ontwerpformules zijn op empirische wijze ontstaan (Rance en Warren, 1968) en (Sleath, 1978).

Doormiddel van superpositie is een staande golf te beschrijven met twee in tegengestelde richting lopende golven. Door de ontwerpformules te combineren met de staande golftheorie kan men zijn de ontwerpformules aanpassen voor het bepalen van de bodembescherming onder staande golven. Of dit zomaar gedaan mag worden zal uit dit onderzoek nog moeten blijken.

1.4 Toepassingen

Zoals al eerder genoemd, kunnen de resultaten gebruikt worden voor het bepalen van de benodigde sterkte van een bodembescherming vóór een verticale golfbreker. Zonder bodembescherming kan de bodem eroderen. De Best en Wichers (1971) hebben hier onderzoek naar gedaan. Xie (1981) is dieper op het onderwerp in gegaan en heeft ook gekeken naar de gevolgen van de bodemerosie. Er kunnen twee soorten erosiepatronen ontstaan, afhankelijk van de grootte van de zandsoort waaruit de bodem bestaat (fijn of grof zand). Een erosiepatroon heeft alleen invloed op de afname van de stabiliteit van de verticale golfbreker doordat de glijcirkel wordt verkort, zie figuur 1.1. Door de bodem tegen erosie te beschermen kan de glijcirkel niet verkleind worden.



figuur 1.1 Glijcirkels na erosie voor de verticale golfbreker, Xie (1981)

Niet vergeten mag worden dat mét stroming de erosie van de bodem in sterke mate zal toenemen, wat de situatie alleen maar zal verslechteren.

2 Literatuurstudie

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de theorie die bij dit onderzoek van belang is. Eerst wordt de golftheorie met betrekking tot de staande golven behandeld, waarna de methoden van Jonsson/Sleath en Rance & Warren zullen worden behandeld. De twee methoden zullen daarna met elkaar vergeleken worden. Aan het einde van dit hoofdstuk zullen de eigenschappen van het meest gebruikte materiaal voor bodembescherming beschreven worden.

2.2 Golftheorie

Staande golven worden gevormd door lopende golven van dezelfde grootte en frequentie, die in tegengestelde richting lopen. Door superpositie ontstaan er knopen en buiken die op dezelfde plaats blijven, vandaar de naam. In de literatuur wordt er van uitgegaan dat de superpositieregels ook op de fysisch verschijnselen, zoals de deeltjessnelheden en de bodemwrijving, van toepassing zijn. Met uitzondering van de maximale golfsteilheid. De golfsteilheid wordt gedefinieerd door:

$$s=H/L \quad (2.1)$$

waarin:

H = golfhoogte [m]

L = golflengte [m]

De maximale golfhoogte is afhankelijk van de waterdiepte en de golflengte. Volgens Danel (1952) en ook Wiegel (1964) geldt voor de maximale golfhoogte voor een staande golf ongeveer:

$$H_{st} \approx 0,2 \cdot L \cdot \tanh(2\pi \cdot h/L) \quad (2.2)$$

waarin:

H_{st} = golfhoogte van de staande golf [m]

L = golflengte [m]

h = waterdiepte [m]

De maximale golfsteilheid voor een staande golf is dus ongeveer:

$$H_{st}/L \approx 0,2 \cdot \tanh(2\pi \cdot h/L) \quad (2.3)$$

De golfsteilheid die in dit rapport verder gebruikt wordt is de golfhoogte van de inkomende golf en de golflengte op diep water. De definitie is gegeven in formule (2.4).

$$s_0 = H/L_0 \quad (2.4)$$

waarin:

L_0 = golflengte in diep water [m]

De golflengte in diep water is recht evenredig met het kwadraat van de golfperiode volgens de formule:

$$L_0 = gT^2/2\pi \quad (2.5)$$

waarin:

T = golfperiode [s]

g = gravitatiecoëfficiënt [m/s^2]

Gecombineerd met formule (2.5) kan de fictieve golfsteilheid ook worden geschreven als:

$$s_0 = 2\pi H/gT^2 \quad (2.6)$$

Er zijn verschillende theorieën die zwaartekrachtsgolven beschrijven, namelijk de lineaire, tweedegraads- en hogeregraadstheorieën. De hogeregraadsgolftheorieën beschrijven het golf oppervlak en de stroming in de golven beter dan de lineaire theorie. Deze theorieën hebben dan ook de voorkeur bij het verplaatsen van fijn materiaal in het water. Voor een goede schatting van de stroomsnelheden bij de bodem geeft de lineaire theorie een goede benadering, beter dan hogeregraadstheorieën. Dit geldt vooral bij ondiepwatergolven, ook al is de stroming in de golf beter beschreven door de hogere-orde theorieën, zie Méhauté (1968). Daarom zal er verder van de lineaire theorie uitgegaan worden. Bij de lineaire theorie voor lopende golven wordt de oppervlakte uitwijking beschreven door:

$$\eta(x,t) = 1/2 H \sin(2\pi t/T - 2\pi x/L) \quad (2.7)$$

waarin:

η = uitwijking van het wateroppervlak ten opzichte van het gemiddelde wateroppervlak [m]

t = tijd [s]

x = horizontale coördinaat met positieve x-richting samenvallend met de looprichting van de golfbeweging [m]

Dit wordt ook wel geschreven als:

$$\eta(x,t) = a \sin(\omega t - kx) \quad (2.8)$$

waarin:

a = amplitude = $1/2 H$ [m]

ω = hoekfrequentie = $2\pi/T$ [1/s]

k = golfgetal = $2\pi/L$ [1/m]

In de literatuur wordt $(\omega t - kx)$ soms ook wel geschreven als ψ .

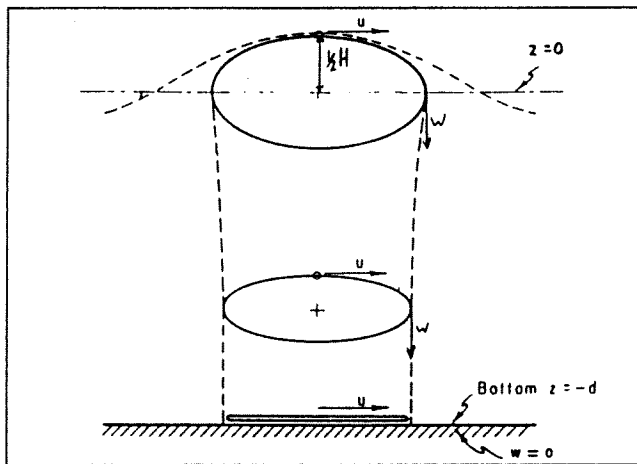
De horizontale en verticale snelheden, zie figuur 2.1, worden als volgt beschreven:

$$\text{horizontale snelheid} \quad u = \omega a [\cosh k(h+z)] / [\sinh kh] \sin \psi \quad (2.9)$$

$$\text{verticale snelheid} \quad w = \omega a [\sinh k(h+z)] / [\sinh kh] \sin \psi \quad (2.10)$$

waarin:

z = verticale coördinaat met het stilstaande wateroppervlak als nulpunt met de z -richting positief omhoog [m]



Figuur 2.1 Verplaatsing van de waterdeeltjes bij ondiep water, Shore Protection Manual (1984).

De snelheid van een deeltje in een golf wordt de orbitaalsnelheid genoemd. Aan de bodem, $z=-h$, moet gelden dat de stroming in de verticale richting nul is, zie figuur 2.1, dit blijkt ook uit de theorie. De horizontale snelheid op de bodem wordt:

$$u_0 = \omega a [1 / \sinh kh] \sin \psi \quad (2.11)$$

Dit wordt ook wel geschreven als:

$$U_0(t) = \hat{u}_0 \sin(\omega t) \quad (2.12)$$

waarin:

$\hat{u}_0$ = amplitude van de bodemsnelheid [m/s]

U_0 = orbitaalsnelheid aan de bodem [m/s]

Bij een verticale ondoorlatende wand is er volledige reflectie van de inkomende golf. Als het assenstelsel zo wordt gekozen dat de x -as op het stilstaand wateroppervlak en de z -as op de wand ligt, geldt $u=0$ bij $x=0$.

Voor de uitwijking van het wateroppervlak ten gevolge van een staande golf, zijn de uitwijkingen van de invallende en de teruggekaatste golf nodig. De uitwijking van de invallende golf wordt gegeven door:

$$\eta_i = a_i \sin(\omega t - kx) \quad (2.13)$$

waarin:

η_i = uitwijking van de inkomende golf [m]

a_i = amplitude van de inkomende golf [m]

Door volledige weerkaatsing van de golf is de faseverschuiving nul en wordt de uitwijking van deze teruggekaatste golf gegeven door:

$$\eta_t = a_t \sin(\omega t + kx) \quad (2.14)$$

waarin:

η_t = uitwijking van de teruggekaatste golf [m]

a_t = amplitude van de teruggekaatste golf [m]

Door de voorwaarde $u=0$ voor $x=0$ moet, onafhankelijk van de tijd, gelden, $u_i + u_t = 0$. Voor de amplitude van de staande golf geldt dan, $a_s = a_i + a_t = 2a_i = 2a_t$. Voor de resulterende oppervlakte uitwijking geldt dan:

$$\eta_s = a_s \cos(kx) \sin(\omega t) \quad (2.15)$$

waarin:

η_s = uitwijking van de staande golf [m]

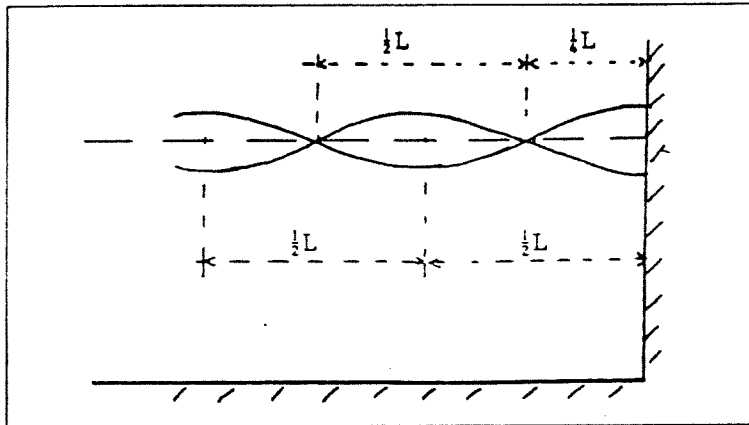
a_s = amplitude van de staande golf [m]

De voorgaande formule beschrijft een oppervlakte-uitwijking die op bepaalde plaatsen geen uitwijking, ofwel knopen, en op andere plaatsen een maximale uitwijking, buiken, heeft. Er bevindt zich een buik bij de verticale wand, en op een kwart golflengte een knoop, waarna weer een buik, zie figuur 2.2. De golflengte van de staande golf wordt bepaald door middel van de dispersierelatie:

$$\omega^2 = gk \tanh kh \quad (2.16)$$

Door de hoekfrequentie (ω) en het golfgetal (k) te vervangen door de periode, $T=2\pi/\omega$, en de golflengte, $L=2\pi/k$, kan de dispersierelatie worden geschreven als:

$$L = gT^2 / 2\pi \tanh([2\pi/L]h) \quad (2.17)$$



Figuur 2.2 Staande golf voor verticale wand, Battjes (1993)

Voor de golfuitwijking geldt nu de maximale amplitude $a_s = 2 \cdot a_i$. Voor de snelheden gelden de volgende vergelijkingen:

$$u = \omega a_s [\cosh k(h+z)] / [\sinh kh] \sin kx \cos \omega t \quad (2.18)$$

$$w = \omega a_s [\sinh k(h+z)] / [\sinh kh] \cos kx \cos \omega t \quad (2.19)$$

Ook hier geldt als $z = -h$ dan is $w = 0$. Voor de horizontale snelheid aan de bodem geldt dan:

$$u_{s0} = \hat{u}_0 \sin kx \cos \omega t \quad (2.20)$$

waarin:

$\hat{u}_0$ = amplitude van de orbitale bodemsnelheid $= \omega a_s (1 / \sinh kh)$ [m/s]

Om te controleren of de inkomende golf gelijk is aan de teruggekaatste golf dient er door middel van de tweede-orde golftheorie onderzocht te worden of het verschil, ϵ , tussen de golven acceptabel is. De formule voor de uitwijking volgens de tweede-orde golftheorie is:

$$\eta = H/2 \sin(kx - \omega t) + (\pi H^2 / 8L) \cdot \cosh(kh) / \sinh^3(kh) [2 + \cosh(2kh)] \cdot \sin(2kx - 2\omega t) \quad (2.21)$$

In de knoop van de staande golf vervalt het lineaire deel van de functie met uitzondering van de fout, ϵ . Men kan met wat bewerkingen, zie bijlage 4, de formule ter plaatse van de knoop schrijven als:

$$\eta = -C \cdot \sin(\omega t / 2) + \epsilon \cdot \cos(\omega t) \quad (2.22)$$

waarin:

$$C = (\pi H^2 / 8L) \cdot \cosh(kh) / \sinh^3(kh) [2 + \cosh(2kh)]$$

Met deze formule kan men het verschil bepalen tussen waargenomen golfhoogten en de golfhoogte bepaald door de tweede-orde theorie in de knopen van een staande golf.

2.3 Stabiliteitsrelaties

2.3.1 Jonsson/Sleath

Shields (1936) heeft een relatiecurve, tussen een dimensieloze schuifspanning en het zogenaamde 'particle' Reynoldsgetal, gemaakt om het begin van beweging te bepalen bij uniforme stroming. Het 'particle' Reynoldsgetal, Re_* , wordt gedefinieerd door:

$$Re_* = u_* \cdot D_{50} / \nu \quad (2.23)$$

waarin:

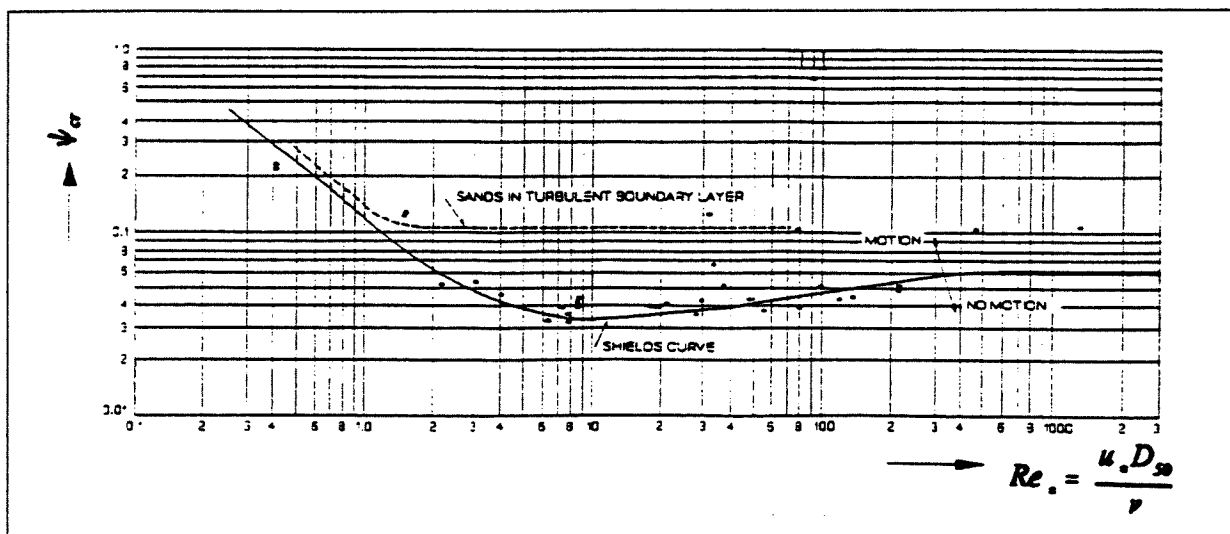
- u_* = schuifspanningssnelheid [m/s]
- ν = kinematische viscositeit van het water [m²/s]
- D_{50} = mediaan diameter van de deeltjes [m]

De kritische Shieldsparameter, Ψ_{cr} , wordt gedefinieerd door:

$$\Psi_{cr} = \tau_{kr} / [(\rho_s - \rho_w) g D_{50}] \quad (2.24)$$

- τ_{kr} = kritieke bodemschuifspanning [N/m²]
- ρ_s = dichtheid van het bodemmateriaal [kg/m³]
- ρ_w = dichtheid van het water [kg/m³]

τ_{kr} is de bodemschuifspanning waarbij de korrels van de bodem beginnen te bewegen. Shields kwam tot zijn waarden door gemeten waarden van het materiaaltransport te extrapoleren naar nul. Door deze dimensieloze parameters tegen elkaar uit te zetten ontstaat een curve, de Shields curve, zie figuur 2.3.



Figuur 2.3 Shields-curve: verband tussen de kritische Shieldsparameters, Ψ_{kr} en het 'particle' Reynoldsgetal, Re_* .

Sleath (1978) heeft, met resultaten van verschillende onderzoekers, een vergelijkbare curve gemaakt voor oscillerende stromingen, de aangepaste Shields curve, zie figuur 2.4. Sleath heeft ook de kritische Shieldsparameter overgenomen voor oscillerende stroming:

$$\Psi_{cr} = \tau_b / [(\rho_s - \rho_w) g D_{s50}] \quad (2.25)$$

waarin:

τ_b = amplitude van de bodemschuifspanning [N/m^2]

D_{s50} = mediaan van de boldiameter van de korrel of steen [m]

Sleath heeft in plaats van het 'particle' Reynoldsgetal, Re_* , de dimensieloze korreldiameter gebruikt. Die wordt gedefinieerd als:

$$D_* = (\Delta g / \nu^2)^{1/3} D \quad (2.26)$$

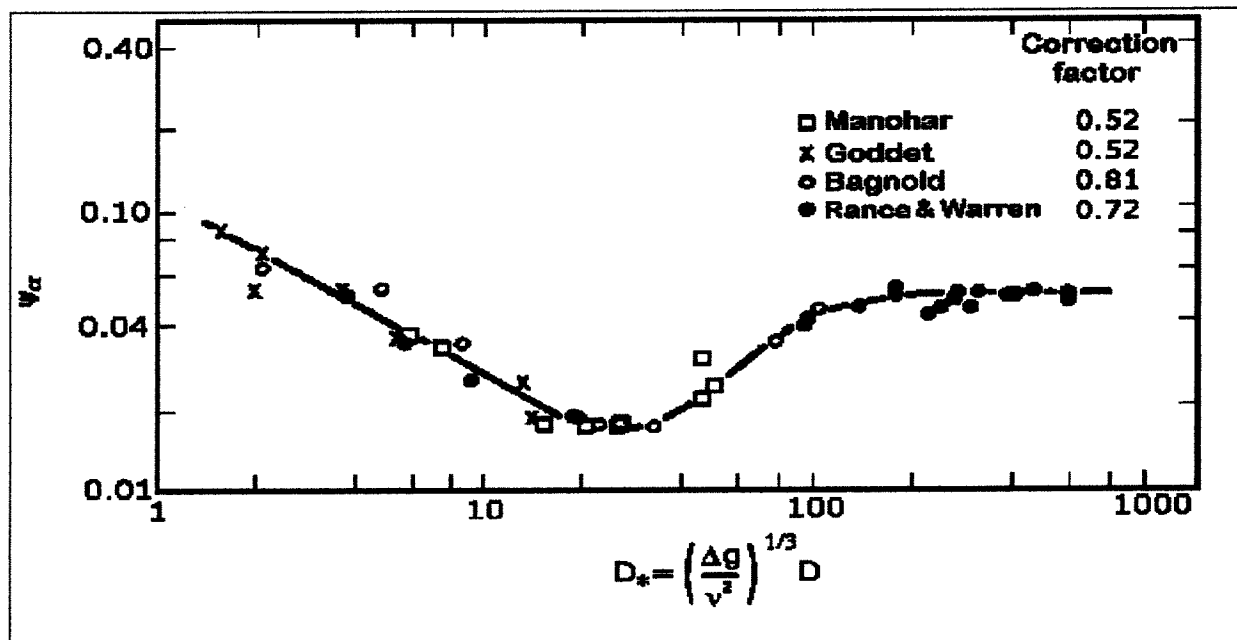
waarin:

ν = kinematische viscositeit [$m^2 s^{-1}$]

D = diameter van de korrel [m]

Δ = relatieve massadichtheid [-]

De kinematische viscositeit van water is $\approx 1 \cdot 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$



Figuur 2.4 Sleath (1978): verband tussen de kritische Shieldsparameters, Ψ_{kr} en de dimensieloze korreldiameter, D_* .

De aangepaste Shields curve is bepaald uit resultaten van verschillende experimenten. Sleath heeft de resultaten met elkaar vergeleken. Waarna Sleath correctiefactoren heeft bepaald

zodat de waarden met elkaar vergeleken kunnen worden. Door het gebruik van correctiefactoren is de uiteindelijke waarde van de Shieldsparameter ψ_{kr} erg subjectief.

Uit de curven van Shields en Sleath valt op te maken dat bij een grote waarde van het 'particle' Reynoldsgetal, Re_* , en bij grote waarden van de dimensieloze korreldiameter, D_* , de kritieke Shieldsparameter ψ_{cr} de constante waarde 0.056 heeft. De hoge waarden van Re_* en D_* houden in dat de stenen door de viskeuze grenslaag heen tot in de turbulente grenslaag steken. Door de gebruikte correctiefactoren is bij turbulente stroming de nauwkeurigheid van de waarde $\psi_{cr}=0.056$ twijfelachtig. Toch wordt in de literatuur meestal deze waarde gebruikt. Ook in dit rapport zal deze waarde gebruikt worden.

De bodemschuifspanning, τ_b , is in de vergelijking van Sleath voor oscillerende stroming de enige onbekende in de vergelijking. De in dit rapport gebruikte definitie voor τ_b is:

$$\tau_b = 1/2 \cdot \rho_w \cdot f_w \cdot \hat{u}_0^2 \quad (2.27)$$

Waarin:

f_w = de golfwrijvingsfactor volgens Jonsson [-]

$\hat{u}_0$ = de maximale orbitale snelheid op de bodem [m/s]

Hierdoor wordt het probleem van de onbekende alleen maar verschoven van τ_b naar f_w .

Jonsson (1966) heeft hiervoor een formule opgesteld; deze is daarna herschreven door Swart (1976) tot een praktische formule. Het is een empirische relatie, die alleen bruikbaar is als de stroming langs de bodemlaag turbulent is. De formule voor de golfwrijvingsfactor bestaat uit twee delen die bij $a_0/k_s=1,57$ een gelijke waarden hebben, 0,3, dit komt omdat er bepaald is dat de golfwrijvingsfactor, f_w , niet groter mag zijn dan 0,3. De door Swart (1976) opgestelde formule is als volgt:

$$f_w = \exp[-5,977 + 5,213(a_0/k_s)^{-0,194}] \quad \text{als } a_0/k_s > 1,57 \quad (2.28)$$

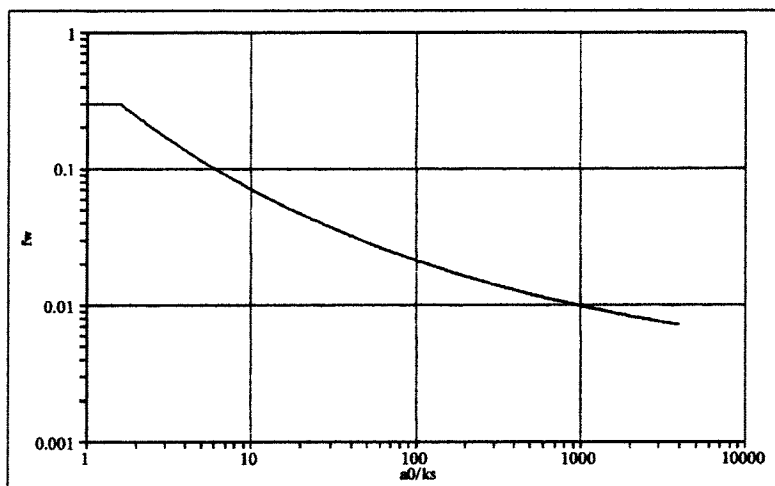
$$f_w = 0,30 \quad \text{als } a_0/k_s < 1,57 \quad (2.29)$$

waarin:

a_0 = amplitude van de verplaatsing van de waterdeeltjes aan de bodem = $\hat{u}_0 \cdot T/2\pi$ [m]

k_s = ruwheidslengte zoals Nikuradse die heeft gedefinieerd [m]

De Jonsson-wrijvingsfactor, f_w , is behalve afhankelijk van de relatieve ruwheid ook afhankelijk van het Reynoldsgetal. Als het Reynoldsgetal groot is, dat wil zeggen bij een volledig ontwikkelde turbulentie, is de wrijvingsfactor, f_w , alleen afhankelijk van de relatieve ruwheid (a_0/k_s). De afhankelijkheid van het Reynoldsgetal kan dan worden verwaarloosd. Als de Jonsson-wrijvingsfactor, f_w , uitgezet wordt tegen de relatieve gladheid (a_0/k_s), zie figuur 2.5, is te zien dat, wanneer de relatieve gladheid daalt, de wrijvingsfactor stijgt, hetgeen resulteert in een hogere bodemwrijving. Dit lijkt tegenstrijdig, maar dit valt te verklaren door de groei van de grenslaag.



figuur 2.5 golfwrijvingsfactor, Jonsson (1966)

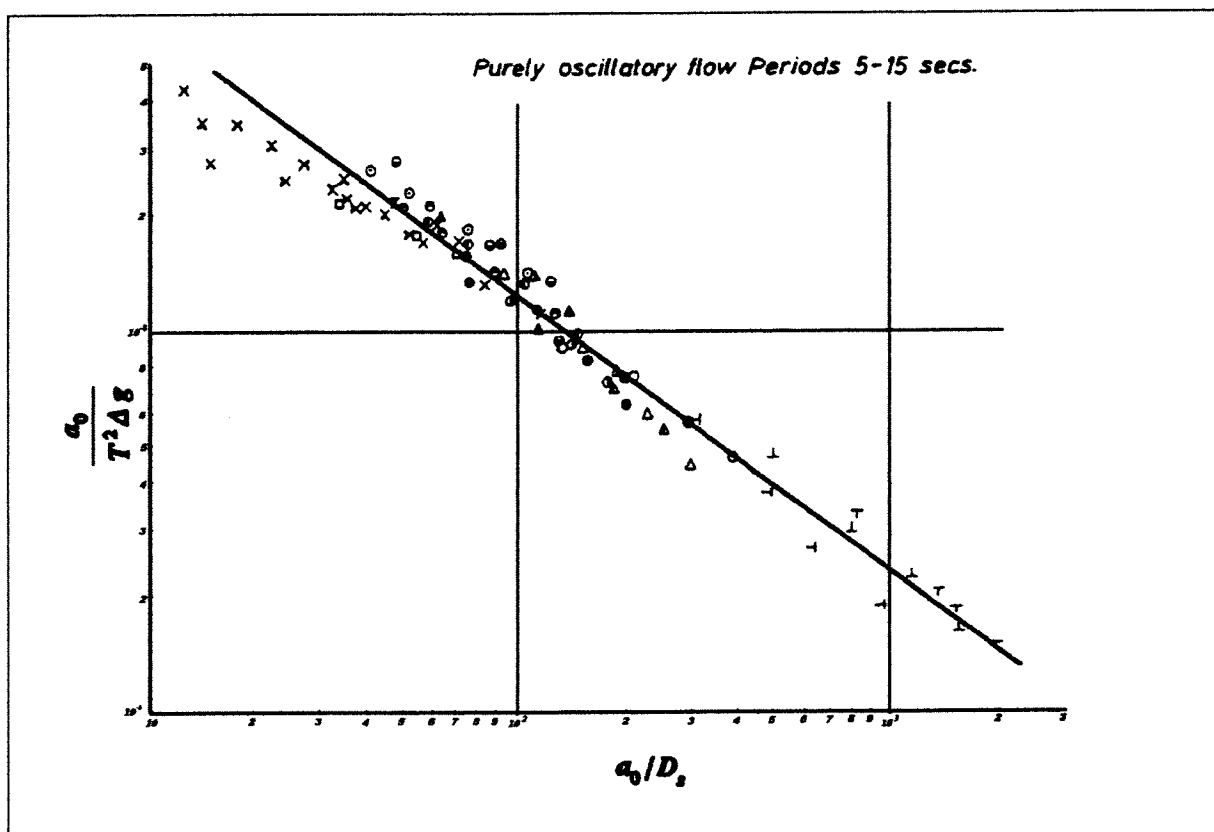
De Nikuradse ruwheidsmaat, k_s , komt in zeer verschillende formules voor en wordt op verschillende wijzen gedefinieerd. De parameter is gerelateerd aan de diameter van de grotere stenen op de bodem. Verschillende waarden worden hiervoor aangeraden, bijvoorbeeld:

Ackers en White (1973)	$k_s = 1.25D_{35}$
Einstein (1950)	$k_s = D_{65}$
Van Rijn (1984)	$k_s = 3D_{90}$
Sleath (1978)	$k_s = D_s$

Omdat de Nikuradse ruwheidsmaat, k_s , in combinatie met de theorie van Sleath wordt gebruikt moet ook het advies van Sleath worden gebruikt, $k_s = D_s$. Dit zal verder in dit rapport ook worden gedaan.

2.3.2 Rance & Warren

Rance & Warren (1968) hebben tests gedaan in een stroombuis waarin ze een oscillerende stroming hebben gecreëerd. De resultaten van deze experimenten hebben ze in een figuur weergegeven met de versnelling die dimensieloos is gemaakt door deze te delen door de periode, de zwaartekracht en de relatieve massadichtheid, $a_0/(T^2 \Delta g)$, als functie van een dimensieloze parameter van verplaatsing, a_0/D_s , zie fig. 2.6. Hieruit is op te maken dat zowel de perioden als de versnellingskrachten van belang zijn in de experimenten die zijn uitgevoerd.



Figuur 2.6 De door Sisterman (1993) getrokken lijn door de data van Rance & Warren (1968)

De lijn in figuur 2.6 is een lijn die Sistermans (1993) getrokken heeft als meest nauwkeurige voor de resultaten van Rance & Warren. De resultaten kunnen zo vereenvoudigd worden weergegeven door middel van de formule:

$$a_0/[T^2 \Delta g] = 0.025(a_0/D_s)^{-2/3} \quad (2.30)$$

waarin:

D_s = boldiameter [m]

Doordat Sistermans de lijn in figuur 2.6 visueel bij de punten heeft gepast zijn de constanten 0.025 en $-2/3$ subjectief; ze worden verder in dit rapport wel gebruikt.

2.4 Vergelijking van de stabiliteitsrelaties

Om de theorie van Rance & Warren met die van Jonsson & Sleath te kunnen vergelijken, moeten de vergelijkingen in dezelfde vorm geschreven worden.

De methode die Jonsson & Sleath voorstaan, bestaat uit de volgende vier formules:

$$\tau_b = 1/2 \cdot \rho_w \cdot f_w \cdot u_0^2 \quad (2.27)$$

$$\hat{u}_0 = \omega a_0 \quad (2.11)$$

$$f_w = \exp[-5.977 + 5.213(a_0/k_s)^{-0.194}] \quad \text{met} \quad f_{w,\max.} = 0.30 \quad (2.28/2.29)$$

$$\tau_b / [(\rho_s - \rho_w) \cdot g D_{s50}] = 0.056 \quad (2.25)$$

Door in formule (2.27) τ_b te vervangen door formule (2.25) en in daarna u_0 te vervangen door formule (2.11), kan formule (2.27) als volgt geschreven worden:

$$a_0/T^2\Delta g = 0.056 D_{50}/[2\pi^2 f_w a_0] \quad (2.31)$$

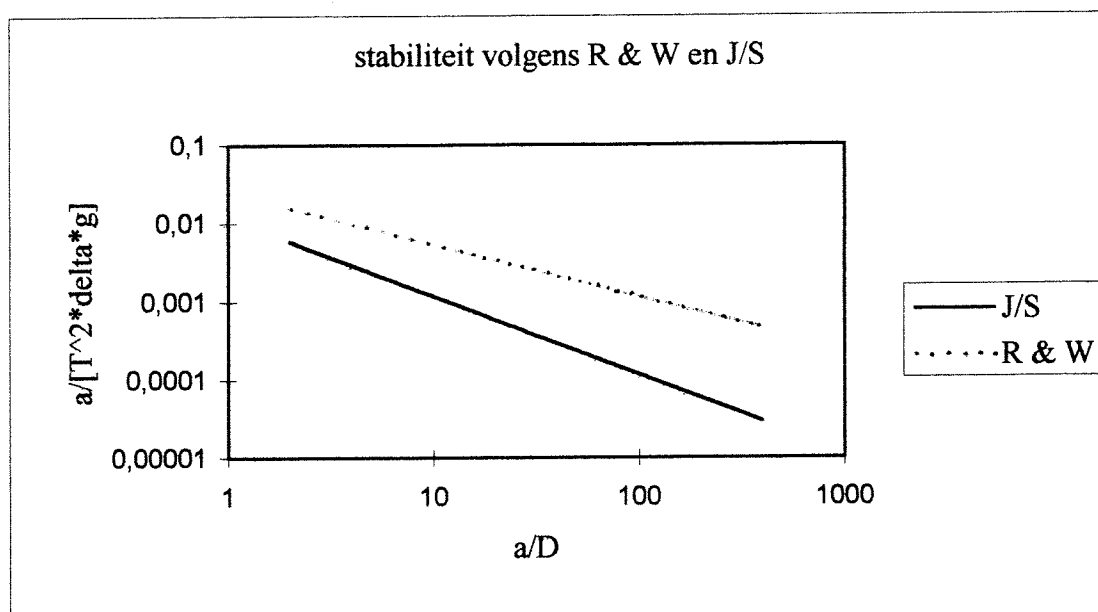
De formule (2.30) die Sisternans voor het berekenen van de steengrootte uit de figuur van Rance & Waren gehaald heeft, is:

$$a_0/[T^2\Delta g] = 0.025(a_0/D_s)^{-2/3} \quad (2.30)$$

Door substitutie van $D_s = D_{50}$ in de formule van Sisternans, formule (2.30), kan de formule worden omgeschreven tot:

$$a_0/[T^2\Delta g] = 0.025(D_s/a_0)^{2/3} \quad (2.32)$$

Beide formules (2.31/2.32) lijken zo erg op elkaar. Als deze formules namelijk gevisualiseerd worden, zie figuur 2.7, wordt dit nog duidelijker.



Figuur 2.7 Vergelijking van de theorieën R & W en J/S

In figuur 2.7 neemt van links naar rechts de dimensieloze verplaatsing, a_0/D_s , toe, en van beneden naar boven de dimensieloze versnellings, $a_0/(T^2\Delta g)$, toe, in overeenstemming met de figuur van Rance & Warren.

Dit komt doordat onder lopende golven de ontwikkeling van de grenslaag belangrijk is als de relatieve waterdiepte klein is. De verplaatsing van de waterdeeltjes is klein voor een hoge golfsteilheid, daarom is er geen volledige ontwikkeling van de grenslaag mogelijk. Hieruit volgt dat er een hoge schuifspanning en dus een lagere stabiliteit ontstaat. Voor een lagere steilheid van de golf geldt, met dezelfde redenering, een lagere schuifspanning en dus een hogere stabiliteit.

Geconcludeerd kan worden dat de behandelde methoden weinig van elkaar verschillen, ook al zijn de proeven op verschillende wijzen uitgevoerd. De theorieën gaan allen uit van oscillerende stroomsnelheden langs de bodem, a_0 , door middel van de golftheorieën kunnen

de resultaten vertaald worden in de bijbehorende golven. Het is nog niet bekend of dit is toegestaan in combinatie met staande golven. Om na te gaan of deze theorieën toepasbaar zijn voor staande golven moeten er experimenten uitgevoerd worden en de resultaten vergeleken worden met de behandelde theorieën. In de volgende hoofdstukken zal dit behandeld worden.

2.5 Bodembescherming

Een bodembescherming die door middel van de voorgaande theorieën kan worden berekend, zal bestaan uit natuursteen met verschillende eigenschappen. In de volgende paragrafen zullen deze beschreven worden.

2.5.1 Steendiameter

De eigenschappen van de stenen die als bodembeschermingsmateriaal gebruikt worden, zoals steenvorm, -dichtheid, -grootte en -spreiding, zijn van belang, omdat deze eigenschappen de sterkte van de bodembescherming bepalen. De steenfractie wordt beschreven met behulp van zeefkrommen. Deze worden bepaald door het gebruik van steenzeven met mazen van verschillende grootte. De steengroottes worden beschreven met behulp van een zeefdiameter, bijvoorbeeld D_{50} . Deze houdt in dat 50% van het gewicht van alle stenen de zeef met die bepaalde zeefopening kan passeren. Deze waarde is niet de enige manier waarop het formaat van de stenen kan worden beschreven. Met deze steengrootte wordt ook de vorm van de zeefkromme beschreven, dit is beschreven in paragraaf 2.5.2. De nominale diameter wordt ook gebruikt om de steengrootte te beschrijven. De nominale diameter staat in verband met het gewicht van de steen via de formule:

$$D_n = (M/\rho_s)^{1/3} \quad (2.33)$$

D_n = nominale diameter [m]

M = massa van de steen [kg]

ρ_s = massadichtheid van de steen [kg/m^3]

De nominale diameter geeft de steengrootte weer als een kubus met hetzelfde gewicht waarvan de diameter dan een ribbe is. De nominale diameter kan door middel van een omrekeningsfactor in een zeefdiameter worden omgezet. Deze waarde is afhankelijk van de steenvorm. Volgens Laan (1981) geldt voor breuksteen:

$$D_{n50}/D_{50} = 0.84 \quad (2.34)$$

of met behulp van (2.31) $M_{50}/\rho_s \cdot D_{50}^3 = 0.60 \quad (2.35)$

Ook de boldiameter, D_s , wordt gebruikt; deze geeft de steengrootte weer als een bol van hetzelfde gewicht. Deze is ook gerelateerd aan de nominale diameter van de stenen, en is te berekenen met behulp van:

$$D_s = 1.24 \cdot D_n \quad (2.36)$$

2.5.2 Spreiding

De spreiding van de steengrootte is een belangrijke factor voor het beschrijven van de steenfractie. Ze is ook van belang voor de stabiliteit van de stenen. De spreiding wordt weergegeven door middel van de zeefdiameter waarbij 85% van de totale massa van de stenen passeert, te delen door de zeefdiameter waar 15% doorheen gaat: D_{85}/D_{15} . Er zijn drie soorten standaardgraderingen in omloop: fijn (kleiner dan 1.5), middel (1.5 tot 2.5) en ruim (2.5 tot 5). Hier wordt verder onveranderd een fijne gradatie gebruikt, zie bijlage 1. De invloed hiervan zal dus niet worden onderzocht.

2.5.3 Massadichtheid

De massadichtheid wordt bepaald door het volume van de stenen te delen door de massa ervan, $\rho_s = M/V$. De massadichtheid is verschillend per soort en varieert van 2300 (kg/m^3) voor lichtere tot 3000 (kg/m^3) voor zwaardere stenen. De massadichtheid van de stenen wordt vaak gebruikt in combinatie met de dichtheid van het water: de relatieve massadichtheid. De relatieve massadichtheid is gedefinieerd als:

$$\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w \quad (2.36)$$

Δ = relatieve massadichtheid [-]

ρ_w = massadichtheid van water [kg/m^3]

2.6. Schaalverhoudingen

Om er voor te zorgen dat de resultaten uit de experimenten toepasbaar zijn voor praktijksituaties moeten de experimenten voldoen aan schaalregels.

Om te voldoen aan de dynamische gelijkvormigheid, dienen de waarde van het Froudegetal, Fr en Reynolds, Re , constant te blijven. Het Froudegetal, Fr , is een getal dat het verband beschrijft tussen de zwaartekracht, g , en de traagheid. Het Froudegetal is gedefinieerd als:

$$Fr = u / \sqrt{gh} \quad (2.38)$$

Omdat bij schaalvergroting het Froudegetal constant moet blijven, volgt uit formule 2.38 dat verschillende parameters verschaald dienen te worden met verschillende schaalfactoren. In verband met het voorgaande moeten de gebruikte tijdsfactor, n_t , en snelheidsfactor, n_u , verschaald worden met een kwadraat ten opzichte van de maatvoering van het model, n_l . De relatie tussen deze factoren is:

$$\sqrt{n_l} = n_t = n_u \quad (2.39)$$

het Reynoldsgetal, Re , is een getal dat het verband beschrijft tussen de traagheid en de viscositeit. Het Reynoldsgetal is gedefinieerd als:

$$Re = uD/\nu \quad (2.40)$$

In hoofdstuk 3 gebruikte schaal grootte van het model is de invloed van de viscositeit verwaarloosbaar ten opzicht van de traagheid. Er wordt geadviseerd om een steengrootte te gebruiken van minimaal 7mm, dan ontstaat in het model de situatie dat de stenen doordringen

tot de turbulente grenslaag. Als de invloed van de viscositeit verwaarloosbaar blijft is ook het schaaleffect dat zou kunnen ontstaan verwaarloosbaar. Alleen als de golfhoogte en de steendiameter erg klein worden gekozen dan hebben beide waarde bij schaalverandering door middel van het Reynoldsgetal invloed op elkaar. De factoren dienen te voldoen aan formule 2.41.

$$1/n_1 = n_u \quad (2.41)$$

In de experimenten zijn deze schaaleffecten volgens de theorieën verwaarloosbaar, de resultaten van de experimenten zullen hierbij veilig verschaald worden naar grotere dimensies.

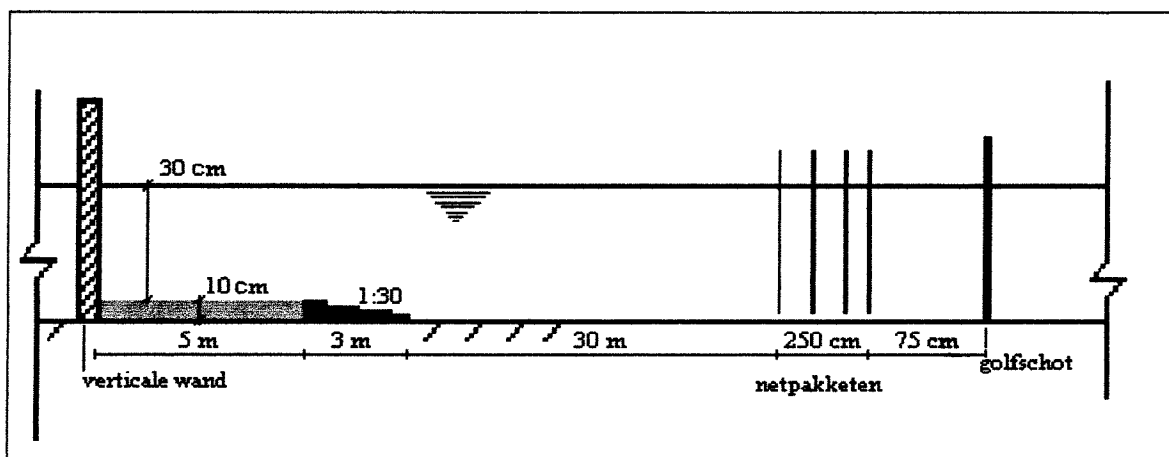
3 Beschrijving van proeven

3.1 Inleiding

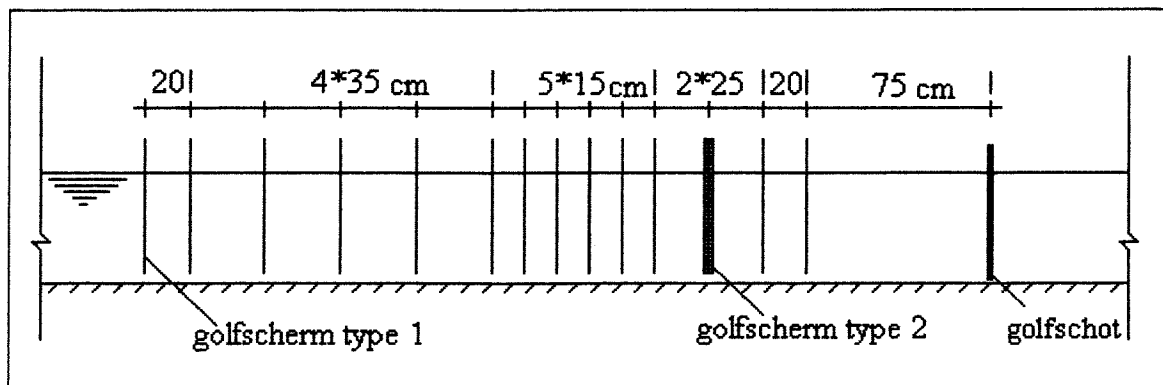
In dit hoofdstuk wordt het testmodel beschreven dat is gebruikt om de sterkte van bodembescherming onder staande golven te bepalen. De testfaciliteiten, de mogelijkheden en beperkingen van de proefopstelling, steensorteringen, het model, de meetinstrumenten en de testprocedures zullen in de volgende paragrafen behandeld worden.

3.2 Testfaciliteiten

Om na te gaan of de theorieën toepasbaar zijn voor bodembescherming onderstaande golven zijn experimenten uitgevoerd in een grote golfgoot in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de subfaculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. De golfgoot heeft de volgende afmetingen; de lengte is 40 m, de breedte is 80 cm, en de diepte is 90 cm. De golfmachine bestaat uit een elektromotor die een golfschot aandrijft; de uitslag van het golfschot kan gevarieerd worden en de electromotor kan het golfschot met verschillend toerental aandrijven waardoor de frequentie van de beweging van het golfschot gevarieerd kan worden. De golfmachine kan alleen regelmatige golven genereren, het is dus niet mogelijk om een golfspectrum te creëren. De opgewekte golven worden op verschillende plaatsen gereflecteerd, onder andere door de verticale wand en de helling voor het beproefde gebied. Deze verstoringen zullen terugkaatsen naar het golfschot. Om deze verstoringen te verkleinen, zijn er pakketten van stalen netten in een bepaalde volgorde, zie figuur 3.1 en figuur 3.2, voor het golfschot geplaatst. Stapelkamp en Akkermans hebben dit systeem in 1972 onderzocht. De door hen geopperde optimale plaatsing van de pakketten is iets aangepast, om de benodigde golven te verkrijgen door de twee netten te verwijderen die het verst verwijderd zijn van het golfschot. (de twee netten die links in figuur 3.2 aangegeven zijn).



Figuur 3.1 Opstelling experiment



Figuur 3.2 Golfschermen

De gebruikte golfschermen, zie figuur 3.2, bestaan uit twee typen. Het golfscherm van het type 1 bestaat uit vijf netten met draad van 1mm, mazen van 5mm en de ruimte tussen twee netten is 10mm, het golfscherm van het type 2 bestaat uit 22 van dezelfde netten.

3.4 Steensorteringen

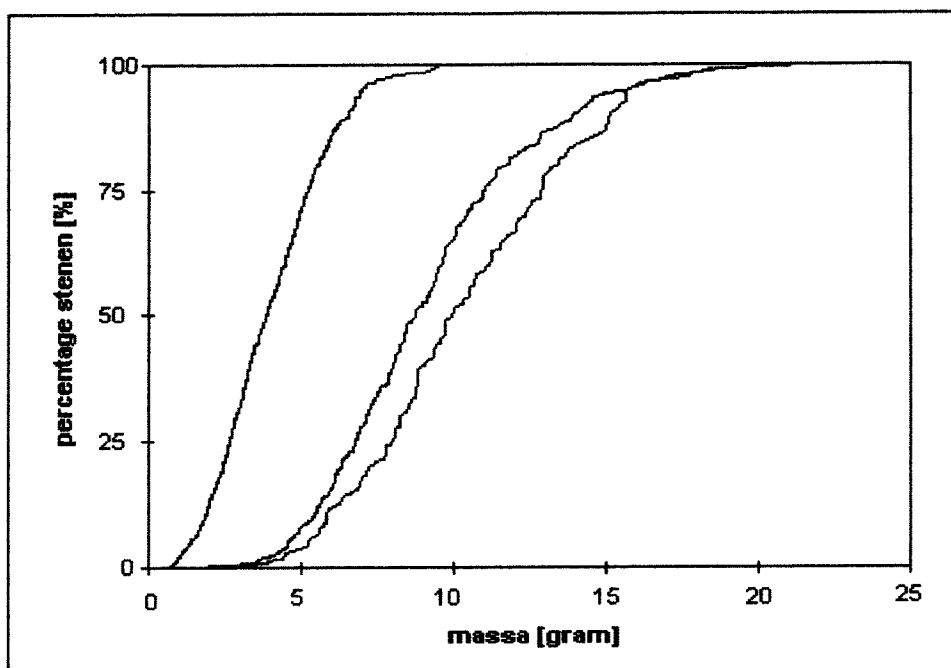
De keuze van de steensoort wordt bepaald door het aanbod van de stenen en de minimale grootte om schaafeffecten te vermijden. Om visceuze effecten te vermijden moet de stroming langs de stenen turbulent zijn. Dit houdt in dat het Re-getal van de steen hoger moet zijn dan 600, zie de aangepaste Shields-curve in hoofdstuk 2 figuur 2.3. Om de invloed van e in hoofdstuk 2 behandelde ongewenste schaafeffect te voorkomen dient de steengrootte minimaal 7 mm te zijn.

Er zijn drie steensorteringen gebruikt, zodat de twee verschillende, van de steensoort afhankelijke parameters, de dichtheid en de diameter gevarieerd kunnen worden. De steensorteringen zijn bepaald door middel van een gewichtskromme. De gewichtskromme van een steensortering is te bepalen door het gewicht van een aantal stenen te rangschikken van licht naar zwaar en vervolgens de procentuele gewichtsbijdrage van iedere steen aan het totale gewicht te bepalen. Aan de hand van de gewichtskrommen, fig. 3.3, kan het gewicht bepaald worden, dat door 50% van het aantal stenen wordt overschreden. De gewichtskromme zijn bepaald uit minimaal 300 stenen, zie bijlage 2. De nominale steendiameter en de soortelijke massa van de steen is bepaald zoals in paragraaf 2.5 is gedefinieerd. Voor de drie steengradaties gelden de volgende waarden:

Nr.	Soortelijke massa	M_{50}	M_{85}	M_{15}	D_{n50}	D_{n85}	D_{n15}	D_{n85}/D_{n15}
1	2970 kg/m ³	9,9 g	14,5 g	6,6 g	14,04 mm	17,0 mm	13,05 mm	1,3
2	2958 kg/m ³	3,83 g	5,92 g	2,13 g	10,9 mm	12,6 mm	8,96 mm	1,4
3	2613 kg/m ³	8,70 g	12,86 g	5,88 g	14,86 mm	16,93 mm	13,04 mm	1,3

Tabel 3.1 Gegevens van de drie gebruikte steensorteringen

In bijlage 1, de steenfracties, zijn alle resultaten uitgebreid weergegeven



Figuur 3.3 Gewichtskrommen

3.4 Beschrijving van het model

Het testmodel bestaat uit een golfgoot met aan één uiteinde een verticale wand met daarvoor een vijf meter lange, horizontale testlaag met een dikte van 3 a 4 cm, en aan het andere uiteinde het hiervoor beschreven golfschot met de pakketten netten ervoor. Onder de testlaag stenen bevindt zich een laag stenen die in een laag cement zijn bevestigd, zodat het gehele pakket niet in een keer kan verschuiven. Hierboven op worden de verschillende steensorteringen los aangebracht. De bovenste laag is in gekleurde stroken met een breedte van 10 cm over de gehele breedte van de golfgoot en de lengte van het testgebied aangebracht. Hiervoor bevindt zich een helling van 1:30 van cement. Op deze helling en een meter voor de helling zijn stenen in een laagje cement vastgezet, zie fig. 3.1

3.5 Golfcondities en golftijd

Er zijn testen uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in de benodigde duur van de proeven en om de grenswaarden voor de te gebruiken waterdiepte, golfhoogte en frequentie te bepalen. Bij het opstarten van de experimenten duurt het even, ongeveer 10 golven, voordat er een stabiele staande golf boven het proefgebied ontstaat. Om de invloed hiervan te beperken zullen de proeven in één keer uitgevoerd worden. Het is hierbij van belang dat de resultaten onafhankelijk van het aantal golven zijn.

Om te bepalen hoeveel golven nodig zijn voor het bepalen van de tijdsafhankelijke schade zijn er drie proeven gedaan. In deze proeven is alleen de maximale schade bepaald. Dit is bij drie verschillende golven gedaan, zie voor de perioden en de golfhoogten bijlage 2. De proeven zijn als volgt uitgevoerd: eerst is de stenenlaag omgewoeld waarna er vijf keer 100 staande golven zijn gegenereerd. Na elke serie van 100 golven is de maximale schade bepaald. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3.4 a,b,c.

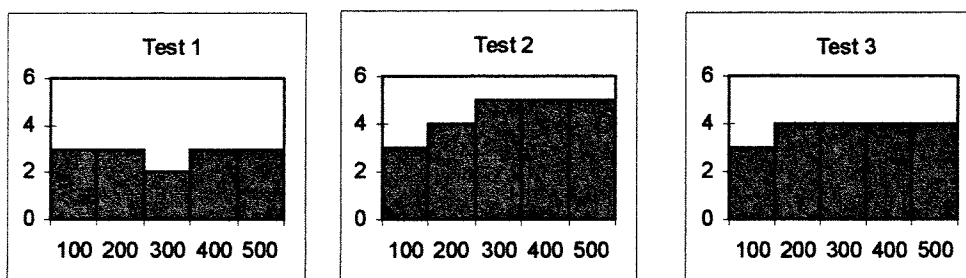


Fig. 3.4,a,b,c, Op de horizontale as is het aantal golven aangegeven en verticaal is het aantal verplaatste stenen aangegeven

Uit figuur 3.4 a,b,c blijkt dat er na 300 golven geen extra schade optreedt. Deze proeven zijn met 1 steensoort uitgevoerd. Om de invloed van het aantal golven in de experimenten uit te sluiten is voor elke experiment, ongeacht de steensoort, het aantal golven constant 600. Dit is ruim boven het benodigde aantal golven. Op de tijdsafhankelijkheid van de schade is verder niet dieper ingegaan.

Visueel is waar te nemen dat door de golven de stenen in beweging komen. Door het bewegen van de stenen verstevigt de bodem. Dit is duidelijk te merken na elke proef: de stenen zijn na elk experiment in elkaar gehaakt. Het is dus noodzakelijk na elke proef de bodem om te woelen, anders zullen de proeven met verschillende beginvoorwaarden starten.

Het 5 m lange stenen bed op de bodem van de golfgoot heeft een duidelijke invloed op de golfhoogte. Dit is een gevolg van de bodemwrijving, die ontstaat tussen de bodem en de stroming in de golven. Dit effect is afhankelijk van de golfhoogte, de waterdiepte, de lengte van de bodem en de ruwheid ervan. Dit effect neemt toe, als bij constante golfhoogte de waterdiepte afneemt. De interactie tussen de bodemwrijving en de stroming beïnvloeden de vorm en de hoogte van de golf. Onder andere hierdoor neemt de stabiliteit van de benodigde staande golf af. Het beste resultaat, een stabiele staande golf, voor golven die in de golfgoot passen en schade toebrengen aan de bodem, wordt verkregen met een waterdiepte van 30 cm en voor een maximale golfhoogte.

Bij deze drie experimenten is er halverwege tussen de verticale wand en de golfbuik een golfhoogte meter geplaatst, de resultaten van deze metingen kunnen worden gebruikt om te bepalen of er een volledige reflectie is, zie formule (2.22):

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_2 + \eta_1 = -2C \sin(2\omega t) + \epsilon \cos(\omega t) \quad (2.22)$$

Uit formule (2.22) volgt dat er twee golven moeten optreden de ene met een frequentie twee keer zo kleine als de ander. Ze werken altijd tegengesteld, dus $|\eta_{\text{tot}}| \leq 2C$. De resultaten in tabel 3.2 geven een ander resultaat. Er is ook niet een regelmatig afwisselende golfhoogte waargenomen, om en om een hogere en een lagere golf. Hieruit volgt dat de fout die optreedt verwaarloosbaar is ten opzichte van andere storende golven.

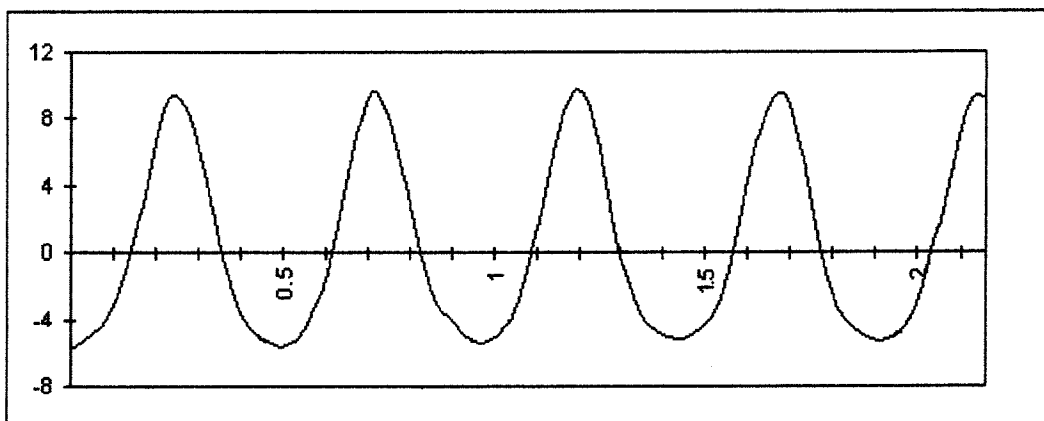
Berekende waarde C	Bepaalde maximale η
0,031 [m]	0,0315 [m]
0,0315 [m]	0,033 [m]
0,08 [m]	0,0805 [m]

Tabel 3.2 Vergelijking tweede orde waarden met de gemeten waarden

3.6 Meetmethoden

De waterdiepte, h , is bepaald door het verschil in waterdiepte tussen de waterstand waarbij de stenen net boven de waterspiegel uitkomt en de uiteindelijke waterdiepte van te bepalen. De waterdiepte is op 2 mm. nauwkeurig constant op 30 cm. gehouden.

De golfhoogte is gemeten met een golfhoogtemeter. De golfhoogtemeters zijn verbonden met een data-acquisitie systeem. Het analoge signaal wordt hiermee vertaald in een digitaal signaal, opgeslagen in datafiles en op het scherm geplot, zodat visueel bepaald kan worden of de golf regelmatig is, (zie als voorbeeld figuur 3.5). Door voor elke proef de meetinstrumenten op twee verschillende waterdiepten te iken worden de effecten van buiten af geminimaliseerd. Voor het bepalen van de golfhoogte, worden twee golfhoogtemeters geplaatst, één een halve golflengte van de verticale wand en de tweede, als referentie een halve golf verder.



Figuur 3.5 Gemeten golf, met verticaal de golfhoogte [cm] en horizontaal de tijd [s]

De hier gebruikte methode om de schade te bepalen is door middel van stroken met gekleurde stenen, zodat het duidelijk zichtbaar is of er stenen uit de stroken verplaatsen. Na het experiment worden deze stenen geteld. De schade is hierbij wel afhankelijk van de afmetingen van de stroken, omdat alleen de zichtbare schade gemeten kan worden. De stenen die binnen de stroken bewegen worden namelijk niet waargenomen.

De schade is bij deze methode het aantal stenen dat zichtbaar is verplaatst, vermenigvuldigd met het oppervlak van de nominale diameter van de stenen, gedeeld door het oppervlak van de gekleurde strook:

$$S = n \cdot D_{n50}^2 / A \quad (3.2)$$

n = het aantal uit de strook verplaatste stenen [-]
 A = oppervlak van de strook [m^2]

In de gemaakte experimenten is de methode van de gekleurde stroken gebruikt. Alhoewel de strookbreedte van belang is, is er maar één strookbreedte gebruikt. De invloed van de breedte van een strook is in verband met tijdgebrek niet onderzocht.

3.7 Testprocedures

In deze paragraaf worden kort de testprocedures beschreven, voor een gedetailleerde beschrijving, zie bijlage 3.

1. Afstellen van de golfmachine.
2. Het loswoelen van de stenen laag.
3. Het vlakmaken van de stenen laag.
4. Vullen van de golfgoot tot de benodigde diepte.
5. IJken van de golfhoogtemeters.
6. Start de golfmachine.
7. Start de golfmetingen zodra er een staande golf is.
8. Stop test na 600 golven.
9. Meet de schade.
10. Laat de goot leeglopen.
11. Herhaal elke proef 3 maal.

4 Resultaten van de experimenten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de experimenten gepresenteerd. Enkele schadeverdelingen over de lengte van de van de bodembescherming zullen worden weergegeven. De volledige resultatenseries zijn gepresenteerd in bijlage 2.

4.2 Uitgevoerde experimenten

Er zijn 42 verschillende proeven uitgevoerd. Deze zijn drie keer herhaald. Alle proeven zijn uitgevoerd met regelmatige golven, die variëren in golfhoogte en periode. Bij het begin van elk experiment is de bodem om twee redenen losgewoeld, ten eerste om bij alle proeven ongeveer gelijke beginsituaties te creëren, en ten tweede om de proefsituatie te vergelijken met de situatie in de praktijk van een nieuw los gestorte bodembescherming.

De tests zijn uitgevoerd in series met constante steilheid. Dit is gedaan met drie verschillende steensorteringen (zie voor de verschillende steensorteringen bijlage 2) als bodemmateriaal. De uitgevoerde proeven zijn weergegeven in de tabellen 4.1a/b/c, hierin zijn de testcodering, de golfhoogte, de periode, de gerealiseerde golfsteilheid en de gebruikte golfsteilheid gegeven. Het verschil tussen de beoogde en de gerealiseerde golfsteilheid ontstaat door het moeilijk exact afstellen van het toerental van de motor en door de fout bij het afstellen van de uitslag van het golfschot. In tabel 4.1a zijn de proeven weergegeven die gedaan zijn met de eerste steensortering, de sortering met een D_{n50} van 14,92 mm en een dichtheid van 3000 kg/m^3 . In tabel 4.1b staan de proeven met de tweede steensortering; deze sortering heeft een D_{n50} van 10,9 mm en dezelfde dichtheid. In tabel 4.1c staan de proeven met de derde steensortering met een D_{n50} van 14,86 mm en de dichtheid van 2610 kg/m^3 .

	Golfhoogte H_{st}	periode T	beoogde S_0	gerealiseerde S_0
Proef: S1H1	0,33 m	2.16 s	2,5 %	2,48 %
Proef:S1H2	0,32 m	1,92 s	2,5 %	2,78 %
Proef:S1H3	0,31 m	1,96 s	2,5 %	2,5 %
Proef:S1H4	0,24 m	1,76 s	2,5 %	2,48 %
Proef:S1H5	0,19 m	1,58 s	2,5 %	2,43 %
Proef:S1H6	0,167 m	1,52 s	2,5 %	2,3 %
Proef: S1H7	0.36 m	1,79 s	3,5 %	3,56 %
Proef:S1H8	0.35 m	1,79 s	3,5 %	3,47 %
Proef:S1H9	0,32 m	1,87 s	3,5 %	3,43 %
Proef: S1H10	0,22 m	1,5 s	3,5 %	3,14 %
Proef: S1H11	0,21 m	1,45 s	3,5 %	3,18 %
Proef: S1H12	0,33 m	1,59 s	3,5 %	3,31 %
Proef:S1H13	0,33 m	1,62 s	4 %	4,18 %

Tabel 4.1a Uitgevoerde experimenten met de steen: $D_{n50}=14,04\text{mm}$, $\Delta=1,97$ en $D/h=0,0468$

	golfhoogte H_s	periode T	beoogde S_0	gerealiseerde S_0
Proef: S2H1	0,359 m	1,81 s	7 %	7 %
Proef: S2H2	0,358 m	1,75 s	7 %	7,08 %
Proef: S2H3	0,255 m	1,52 s	7 %	7,06 %
Proef:S2H4	0,161 m	1,25 s	7 %	6,62 %
Proef:S2H5	0,146 m	1,52 s	7 %	6,64 %
Proef:S2H6	0,137 m	1,52 s	7 %	6,38 %
Proef: S2H7	0,342 m	1,68 s	8 %	7,76 %
Proef: S2H8	0,33 m	1,66 s	8 %	7,48 %
Proef: S2H9	0,312 m	1,59 s	8 %	7,9 %
Proef:S2H10	0,146 m	1,14 s	8 %	7,22 %
Proef:S2H11	0,142 m	1,07 s	8 %	7,88 %
Proef:S2H12	0,137 m	1,07 s	8 %	7,61 %

Tabel 4.1b Uitgevoerde experimenten met de steen: $D_{n50}=10,9\text{mm}$, $\Delta=1,96$ en $D/h=0,0363$

	golfhoogte H_s	periode T	beoogde S_0	gerealiseerde S_0
Proef: S3H1	0,346 m	2,10 s	5 %	5,02 %
Proef: S3H2	0,322 m	2,01 s	5 %	5,08 %
Proef: S3H3	0,292 m	1,96 s	5 %	4,86 %
Proef:S3H4	0,164 m	1,45 s	5 %	5 %
Proef:S3H5	0,358 m	1,80 s	7 %	6,5 %
Proef:S3H6	0,338 m	2,10 s	7 %	6,74 %
Proef: S3H7	0,268 m	1,56 s	7 %	7,06 %
Proef: S3H8	0,176 m	1,32 s	7 %	6,46 %
Proef: S3H9	0,137 m	1,09 s	7 %	7,4 %
Proef:S3H10	0,119 m	1,09 s	7 %	6,44 %
Proef:S3H11	0,23 m	1,54 s	7 %	6,22 %
Proef:S3H12	0,304 m	1,53 s	8 %	8,56 %
Proef: S3H13	0,347 m	1,7 s	8 %	7,72 %
Proef: S3H14	0,311 m	1,57 s	8 %	8,08 %
Proef: S3H15	0,193 m	1,26 s	8 %	7,78 %
Proef: S3H16	0,165 m	1,16 s	8 %	7,86 %
Proef:S3H17	0,16 m	1,21 s	8 %	8,94 %

Tabel 4.1c Uitgevoerde experimenten met de steen: $D_{n50}=14,86\text{mm}$, $\Delta=1,61$ en $D/h=0,04953$

De waterdiepte is bij al deze proeven constant gehouden en er is, om redenen die besproken zijn in paragraaf 3.5, niet naar de ontwikkeling van de schade in de tijd gekeken.

4.3 Het schadeproces

In deze paragraaf wordt beschreven wat er visueel is waargenomen tijdens de proeven. Het schadepatroon dat na elk experiment is ontstaan wordt in de volgende paragraaf behandeld.

Op het moment dat er schade optreedt, zijn de verschillende bewegingsvormen, zwaaien, rollen en springen, naast elkaar actief. Bij het zwaaien verplaatsen de stenen zich niet maar wiegen heen en weer in de stroming. Bij rollen blijven de stenen in contact met bodem. Voor springen geldt dat de stenen loskomen van de bodem. Door de oscillerende stroming onder de golven bewegen ook de rollende en de springende stenen met deze stroming heen en weer. Het zwaaien van de stenen is niet van belang voor het schadeproces, omdat de stenen niet verplaatsen. Deze bewegingsvorm treed ook op als er geen schade optreedt; kleine golven zijn hiervoor vaak al voldoende.

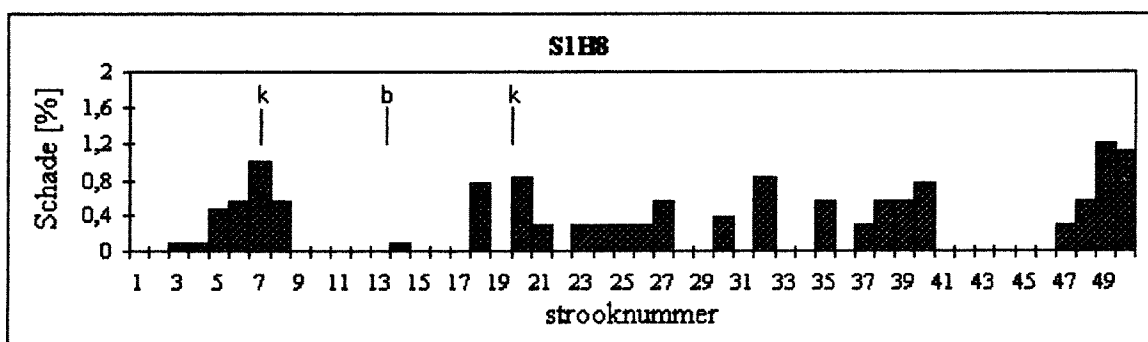
Na elk experiment ook als er geen schade optreedt wordt er voor het volgende experiment de bodem omgewoeld; hierbij is duidelijk merkbaar dat na een experiment de stenen beter in elkaar grijpen dan direct na het omwoelen van de bodem. Dit suggereert dat de bodem onder invloed van de oscillerende stroming verstevigt. Naar dit effect wordt is verder geen onderzoek gedaan.

4.4 Schadespreiding

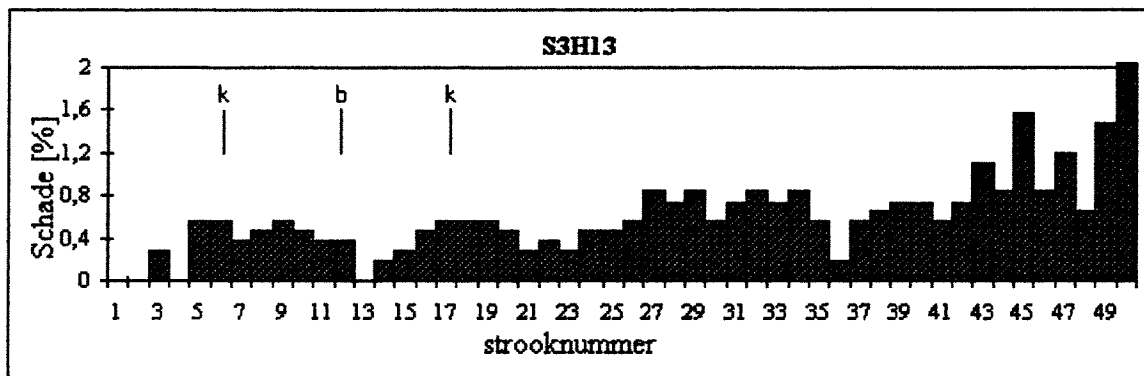
De schade is gemeten na 600 golven, omdat na deze serie golven nog maar minimale schade optreedt, zie paragraaf 3.5. Bij elk experiment is bij het begin van het testgebied, het gedeelte aan het uiteinde van de helling, de schade het grootst. Dit komt door de randeffecten die onder andere ontstaan door de helling voor het beproefde gebied. De eerste meter van het testgebied na de helling is hierom buiten beschouwing gelaten. Dit effect is goed zichtbaar in figuur 4.2, waar de schade in de stroken dicht bij de helling, dit zijn de hoger genummerde stroken, beduidend groter is dan in de rest van de bodembescherming.

Voor de schadeverdeling zijn de proeven S2H8, figuur 4.1, en S3H13, figuur 4.2, als voorbeeld gebruikt. Verticaal staat het schadepercentage uitgezet, horizontaal het strooknummer, oplopend vanaf de verticale wand.

Proef S2H8 heeft een golflengte van $L=2,6$ m, de eerste golfknoop bevindt zich op ongeveer 70 cm van de verticale wand. Bij proef S3H13 is de golflengte $L=2,36$ m; dit komt neer op een knoop boven strook 6 en een tweede knoop boven strook 18. De golftoppen bevinden zich bij de verticale wand, op het 0-punt, en tussen de knopen in. In deze voorbeelden is op te maken dat de maximale schade in de buurt van de knopen optreedt en er weinig tot geen schade optreedt ter plaatse van de buiken, voor meer schadedistributiediagrammen zie bijlage 2. Bij alle resultaten is te zien dat in de buurt van de verticale wand geen schade optreedt.



Figuur 4.1 Schadedistributiediagram van proef S1H8. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04\text{mm}$, $\Delta=1,97$, $s_0=7\%$ en $L=2,89\text{m}$.



Figuur 4.2 Schadedistributiediagram van proef S3H13. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86\text{mm}$, $\Delta=1,61$, $s_0=8\%$ en $L=2,71\text{m}$

Om inzicht te krijgen in de beweging van de stenen is naast het tellen van de verplaatste stenen ook de richting van de verplaatsing genoteerd. Er is hieruit geen verband gevonden tussen de richting van de verplaatsing en de golflengte en het strooknummer. De verhouding tussen de verplaatsingsrichting is: 45,5% van de verticale wand af en 54,5% naar de verticale wand toe. Deze verhouding is bepaald uit de resultaten van alle experimenten.

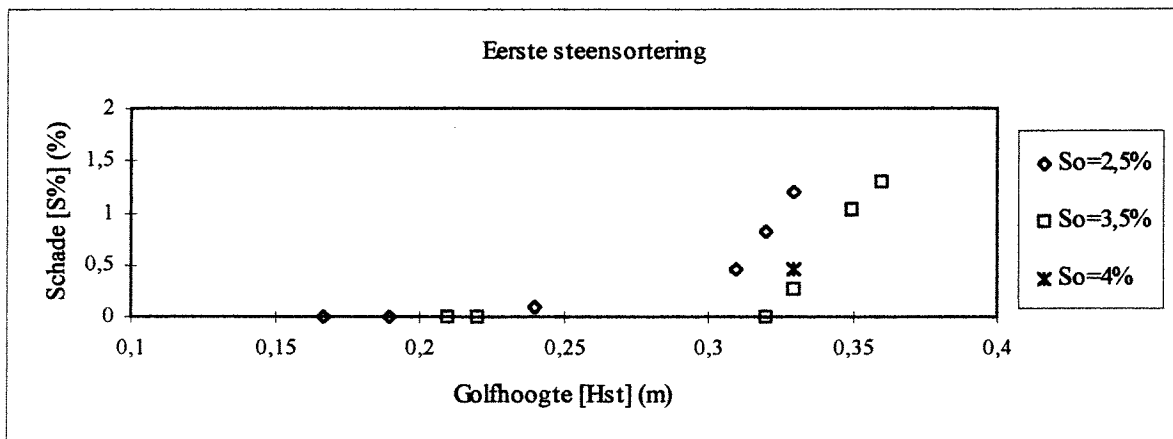
4.5 Schadeverdeling

Om inzicht te krijgen in de schade per golfhoogte en periode is, in de onderstaande figuren, 4,3, 4,4 en 4,5, de maximale schade uitgezet tegen de golfhoogte, bij verschillende golfsteilheid. Het maximale schadepercentage is als volgt gedefinieerd:

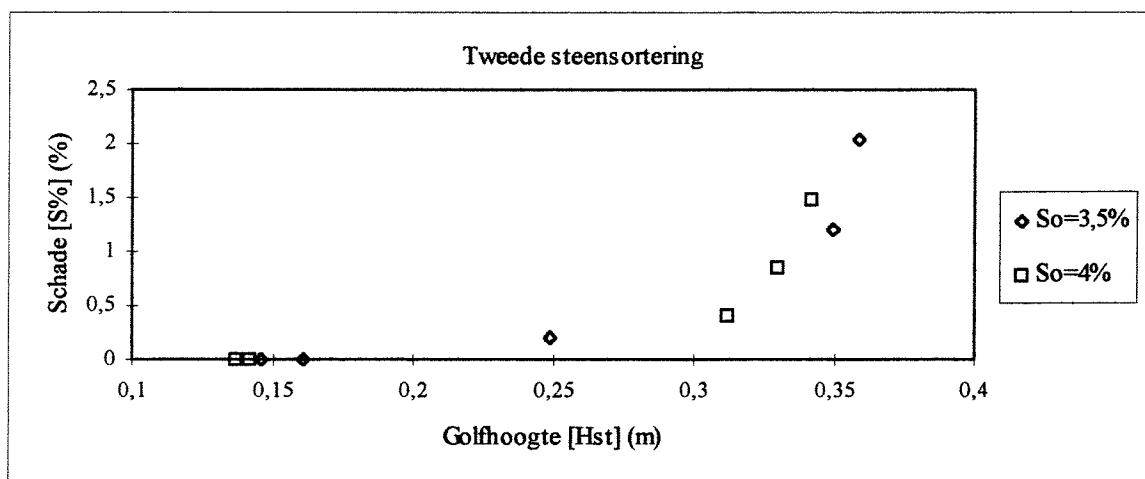
$$S_{\%} = n_{\max} / A * D_{n50}^2 * 100\% \quad (4.1)$$

- $n_{\max}$ =maximale aantal verplaatste stenen per experiment [-]
 A =oppervlakte van de strook [m^2]
 $S_{\%}$ =schadepercentage [%]

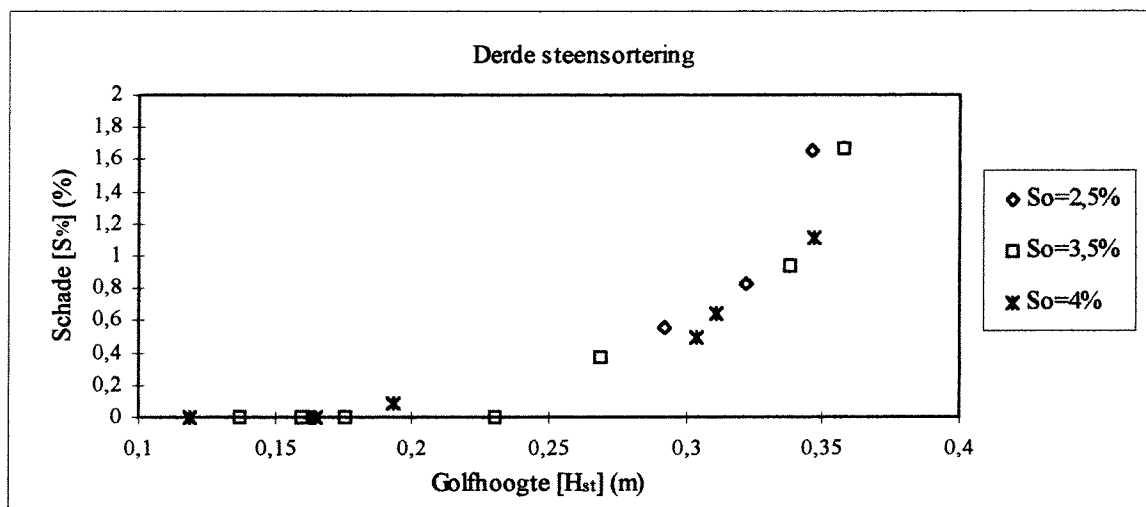
Alle proeven zijn uitgevoerd met constante strookgrootte, een lengte van 80cm (dit is de breedte van de goot) en een breedte van 10 cm.



figuur 4.3 Resultaten van de experimenten met de steen: $D_{n50}=14,04\text{mm}$ en $\Delta=1,97$



figuur 4.4 Uitgevoerde experimenten met de steen: $D_{n50}=10,9\text{mm}$ en $\Delta=1,96$



Figuur 4.5 Uitgevoerde experimenten met de steen: $D_{n50}=14,86\text{mm}$ en $\Delta=1,61$

Uit de hierboven staande figuren blijkt dat bij elke steensortering de experimenten met een hogere golfsteilheid een grotere golfhoogte nodig hebben om dezelfde schade aan te

Uit de hierboven staande figuren blijkt dat bij elke steensortering de experimenten met een hogere golfsteilheid een grotere golfhoogte nodig hebben om dezelfde schade aan te richten. In het volgende hoofdstuk zal een analyse gemaakt worden, zodat er inzicht komt in de effecten van de verschillende variabelen.

5 Analyse van de resultaten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de experimenten geanalyseerd worden. De resultaten zullen per golfsteilheid en steensoort behandeld worden. Uit verschillende proeven series zijn de golfhoogten voor de schade van een half procent en één procent bepaald. Deze zijn vergeleken met de twee in hoofdstuk twee behandelde theorieën.

5.2 De bepaling van met de schade corresponderende golfhoogten

5.2.1 De curve van de maximale schade

Om de resultaten verder te analyseren is het gemakkelijk de schade te benaderen door een schadecurve. In deze paragraaf zal als voorbeeld voor één steensortering de analyse voor het vinden van de schadecurve gedaan worden. De resultaten van alle schadecurven zijn te vinden in bijlage 4. Voor curve-fitten moet er een keuze worden gemaakt welke type regressielijn hiervoor dient te worden toegepast. De curve dient aan twee eisen voldoen: de curve moet goed overeenkomen met de resultaten en de curve moet een logische trend volgen. Als voorbeeld, de best passende curve bij n-aantal datapunten is een (n-1)-polynoom. Een polynoom komt in deze situatie niet in aanmerking, omdat een polynoom niet noodzakelijk de logische trend volgt, die aangeeft dat een toename van de golfhoogte resulteert in een hoger schadepercentage.

Een exponentiële functie voldoet goed aan de bovenstaande eisen. De in dit rapport gebruikte functies zijn van de vorm:

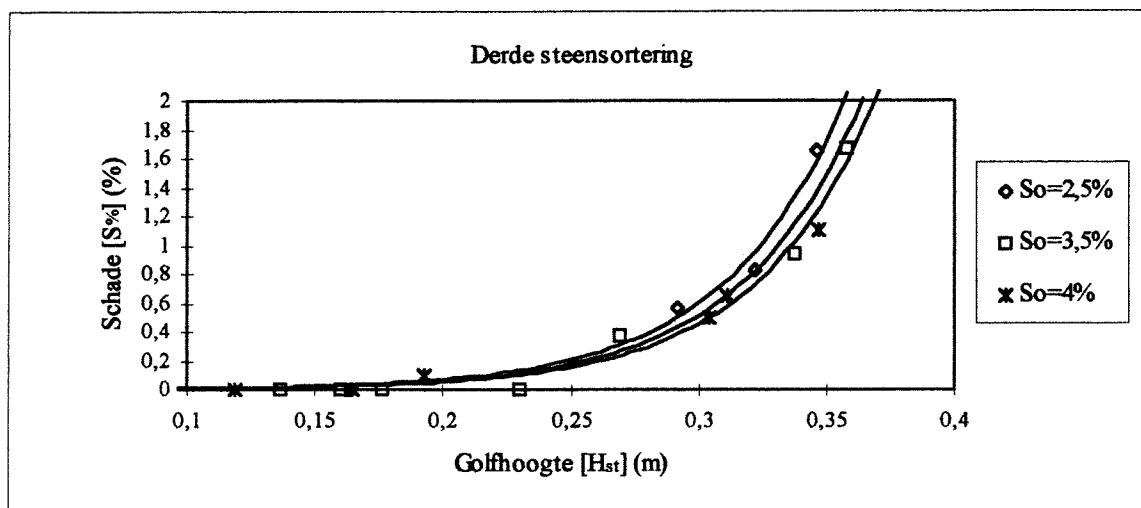
$$S_{\%} = a \cdot \exp^{b \cdot H_{st}} \quad (5.1)$$

$S_{\%}$ =maximale schadepercentage [%]

H_{st} =golfhoogte [m]

a & b =de te bepalen constanten [- & 1/m]

Er zijn ook andere functies, machten van de vorm $S_{\%} = a \cdot H_{st}^b$, zijn geprobeerd, maar vergelijking 5.1 geeft visueel gezien de resultaten het beste weer. De resultaten van deze procedure zijn in tabel 5.1 weergegeven. De hieruit voortkomende curven zijn in bijlage 4 gegeven bij de gemaakte berekeningen. Voor één steensortering is hieronder een voorbeeld weergegeven, fig. 5.1.



Figuur 5.1 Uitgevoerde experimenten met de steen: $D_{n50}=14,86\text{mm}$ en $\Delta=1,61$ met schadecurve

Elke waarde in de schadecurve is het gemiddelde van de drie waarden van de drie keer uitgevoerde experimenten. Bij lage golfhoogten is de spreiding van de schade relatief groot; de spreiding bij grotere schade neemt duidelijk af. De proefresultaten zijn opgenomen in bijlage 2. De curven volgen de punten redelijk goed, al zou de nauwkeurigheid met meer experimenten verbeteren, vooral met experimenten die resulteren in hogere schadepercentages.

Sortering	S_0 (%)	a	b (1/m)
1	2,5	$3 \cdot 10^{-5}$	$31,76 \text{ m}^{-1}$
1	3,5	$1 \cdot 10^{-6}$	$39,23 \text{ m}^{-1}$
2	3,5	$4 \cdot 10^{-4}$	$23,39 \text{ m}^{-1}$
2	4	$3 \cdot 10^{-4}$	$23,68 \text{ m}^{-1}$
3	2,5	$1 \cdot 10^{-3}$	$21,29 \text{ m}^{-1}$
3	3,5	$9 \cdot 10^{-4}$	$21,31 \text{ m}^{-1}$
3	4	$7 \cdot 10^{-4}$	$21,51 \text{ m}^{-1}$

Tabel 5.1 Bepaalde constanten van schadecurven

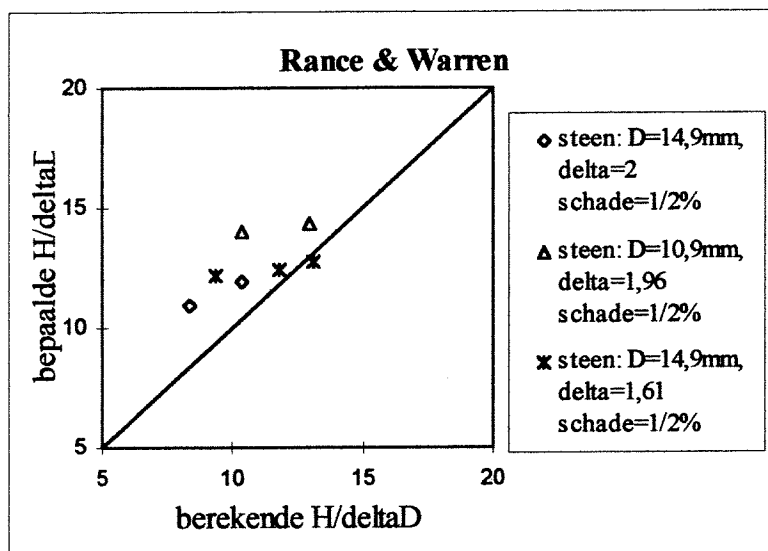
5.2.2 Vergelijking van de theorie met de gemeten waarden

Om de theorie met de bepaalde resultaten te vergelijken zijn er twee schade percentages met de theorie vergeleken. De theorieën van Jonsson & Sleath en Rance & Warren zijn vergeleken met de schade percentages van 0,5% en 1%. De benodigde golfhoogte is bepaald door middel van formule 5.1 met de waarden die zijn weergegeven in tabel 5.1. Deze golfhoogten zijn weergegeven in tabel 5.2.

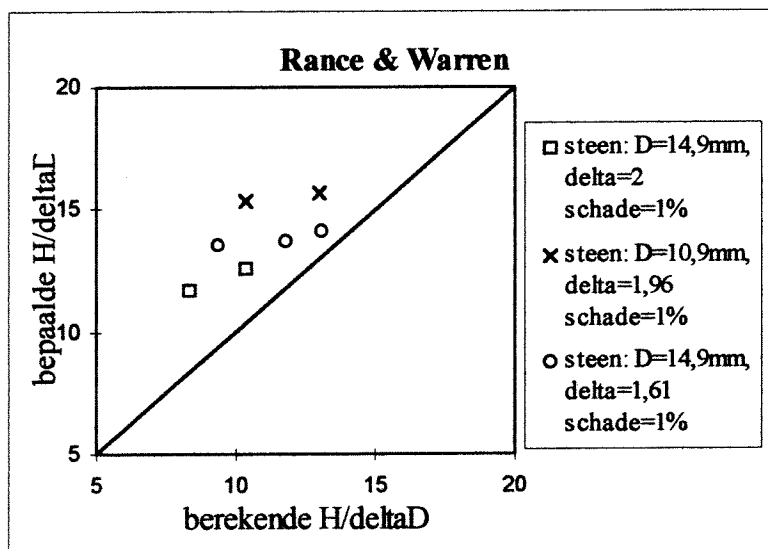
golfsteilheid	H bij $S_{\%}=0,5\%$	H bij $S_{\%}=1\%$
2,5%	0,306m	0,328m
3,5%	0,335m	0,352m
3,5%	0,305m	0,335m
4%	0,313m	0,343m
2,5%	0,292m	0,324m
3,5%	0,297m	0,329m
4%	0,305m	0,338m

Tabel 5.2 Bepaalde golfhoogte

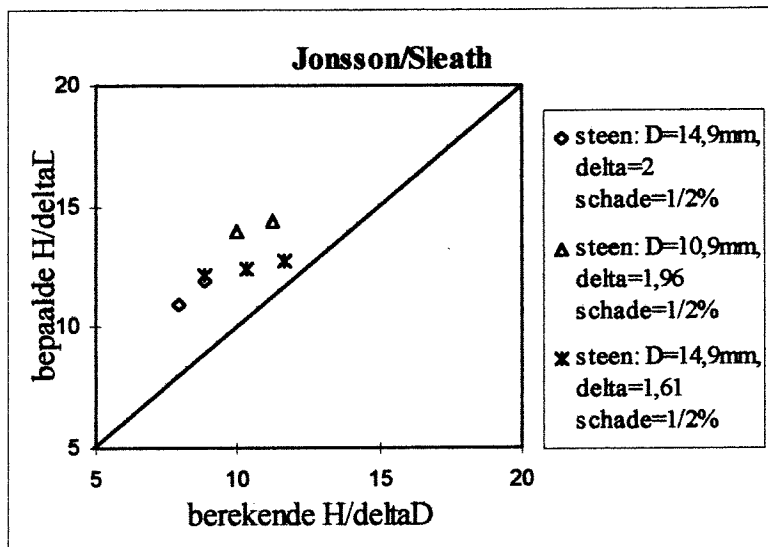
Deze bepaalde golfhoogte zijn vergeleken met de met de theorieën van Jonsson & Sleath en Rance & Warren bepaalde golfhoogte. De berekeningen staan in bijlage 4 en de resultaten zijn in grafieken 5.2 a,b,c,d weergegeven.



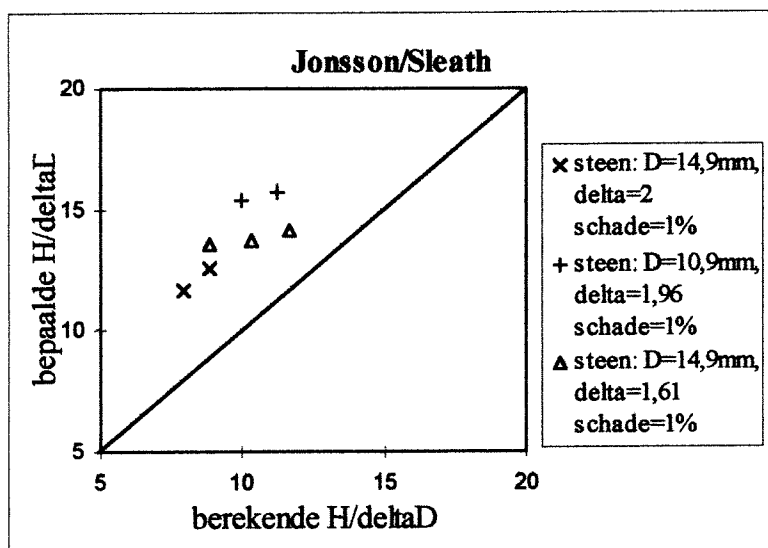
Figuur 5.2 a Vergelijking van de bepaalde golfhoogte met R&W, $S_{\%}=0,5\%$



Figuur 5.2 b Vergelijking van de bepaalde golfhoogte met R&W, $S_{\%}=1\%$



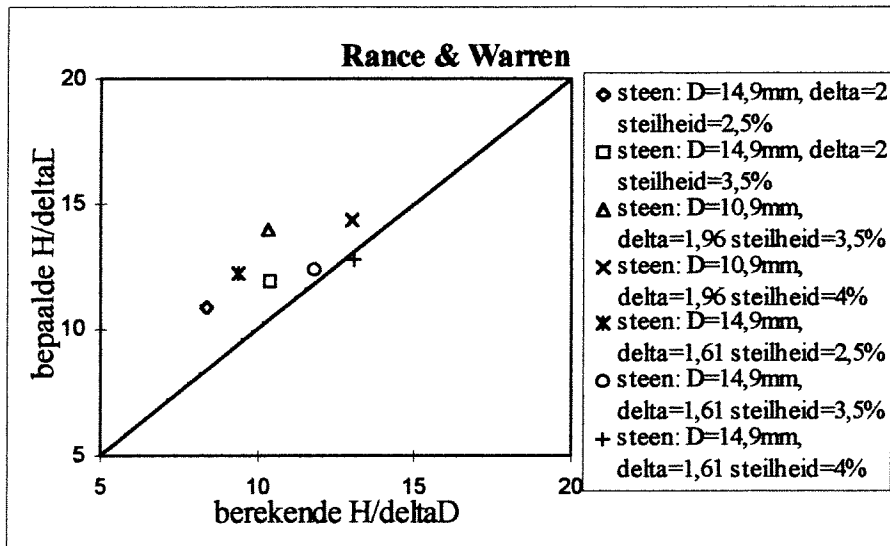
Figuur 5.2 c Vergelijking van de bepaalde golfhoogte met J/S , $S_0=0,5\%$



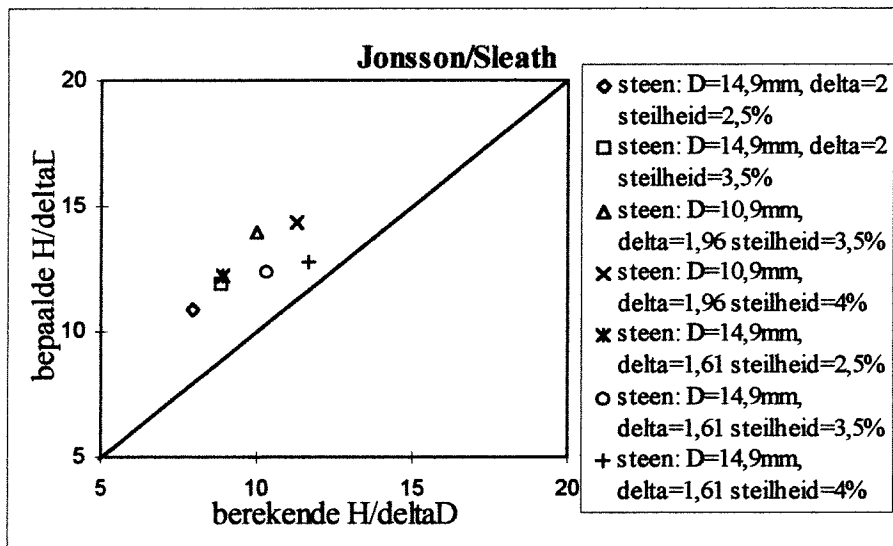
Figuur 5.2 d Vergelijking van de bepaalde golfhoogte met J/S , $S_0=1\%$

In de bovenstaande figuren is ten eerste duidelijk waar te nemen dat het schadepercentage van 0,5% beter voldoet aan de berekende waarden dan het schadepercentage van 1%. Ten tweede geven de beide theorieën, bij een schadepercentage van 0,5%, zie figuren 5.2 a & c, een conservatieve golfhoogte, de door de experimenten bepaalde golfhoogten zijn bijna allemaal hoger dan de berekende golfhoogten. Ten derde lijken de experimentele resultaten het beste te voldoen aan de theorie van Rance & Warren, de golfhoogten berekend door middel van de theorie van Jonsson/Sleath zijn erg conservatief.

In figuren 5.3 a,b zijn alleen de golfhoogte bij 0,5% schade weergegeven met de verschillende golfsteilheden. Uit de figuren 5.3 a,b is op te maken dat voor de zelfde schade, bij een grotere golfsteilheid een hogere golf toelaatbaar is.

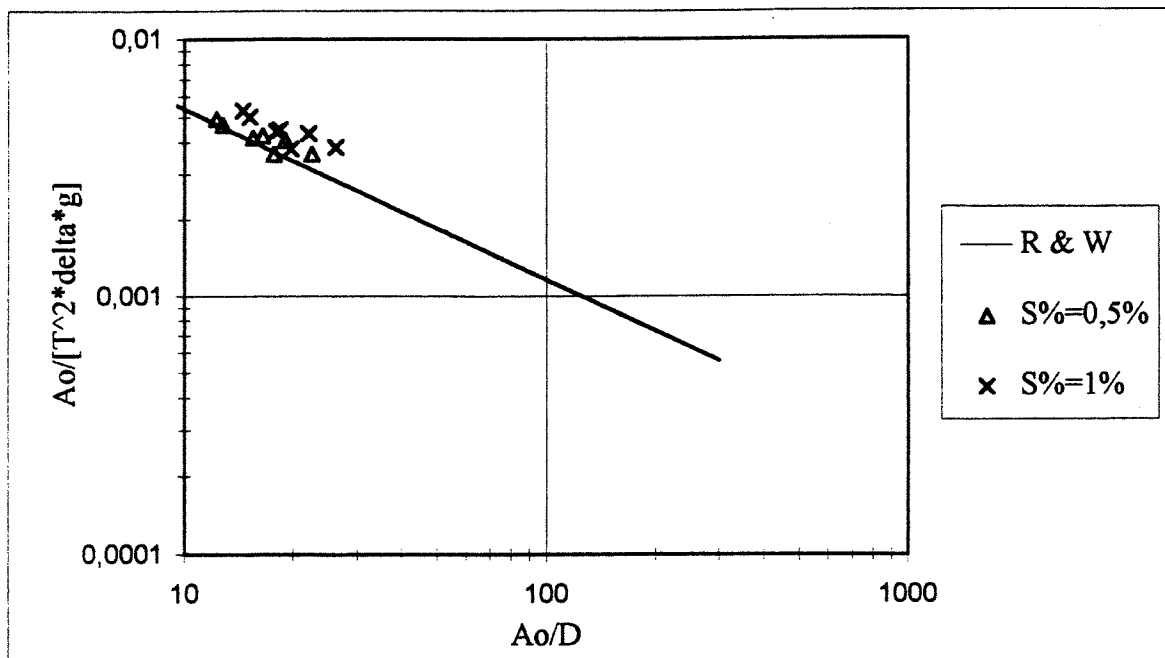


Figuur 5.3 a Vergelijking van de bepaalde golfhoogte bij 0,5% schade met de theorie van Rance & Warren



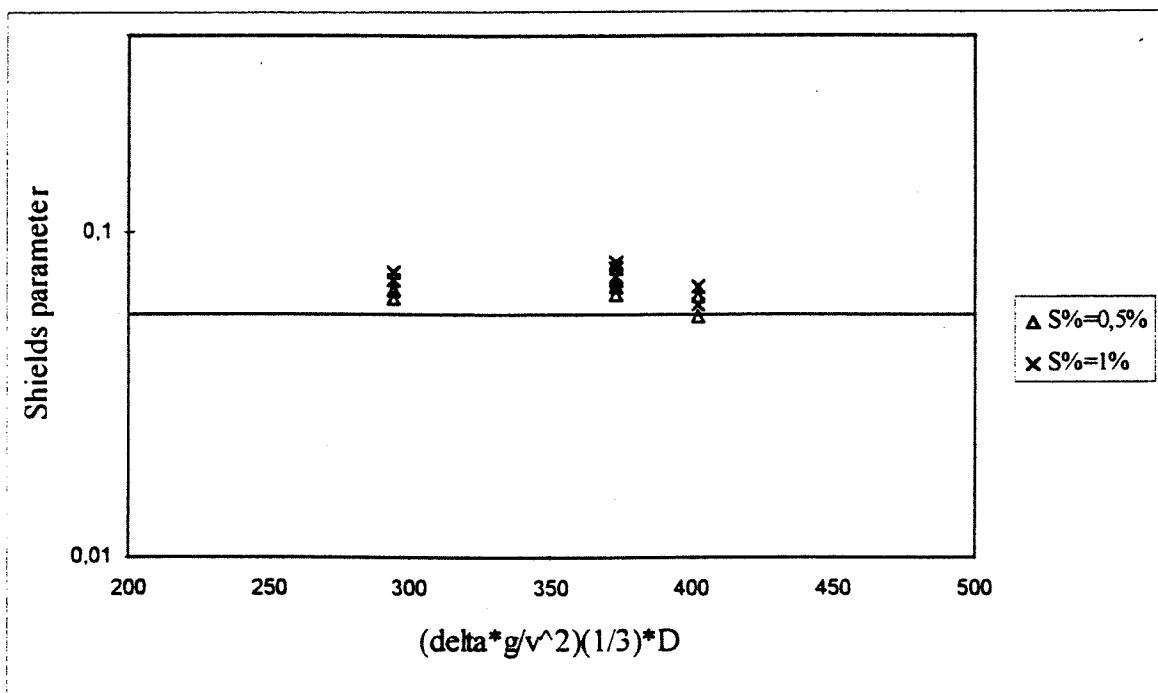
Figuur 5.3 b Vergelijking van de bepaalde golfhoogte bij 0,5% schade met de theorie van Jonsson/Sleath

Op de volgende bladzijde zijn de bepaalde golfhoogten vergeleken met die uit de theorie, zo kan men ook de bepaalde waarden vergelijken met de theorieën op de wijze zoals de theorieën tot stand zijn gekomen. Voor de theorie van Rance & Warren zijn in figuur 5.4 de bepaalde curve van Siermans en de bepaalde punten bij 0,5% en 1% schade weergegeven. Uit figuur 5.4 valt op te maken dat de curve samenvalt met de punten die overeenkomen met het schadepercentage van 0.5%. Als figuur 5.4 met figuur 2.5 uit hoofdstuk 2 vergeleken wordt valt op te maken dat de resultaten van de experimenten de theorie van Rance & Warren onderschrijft. De theorie van Rance & Warren komt dus overeen met de resultaten.



Figuur 5.4 Vergelijking van de bepaalde waarden met Rance & Warren

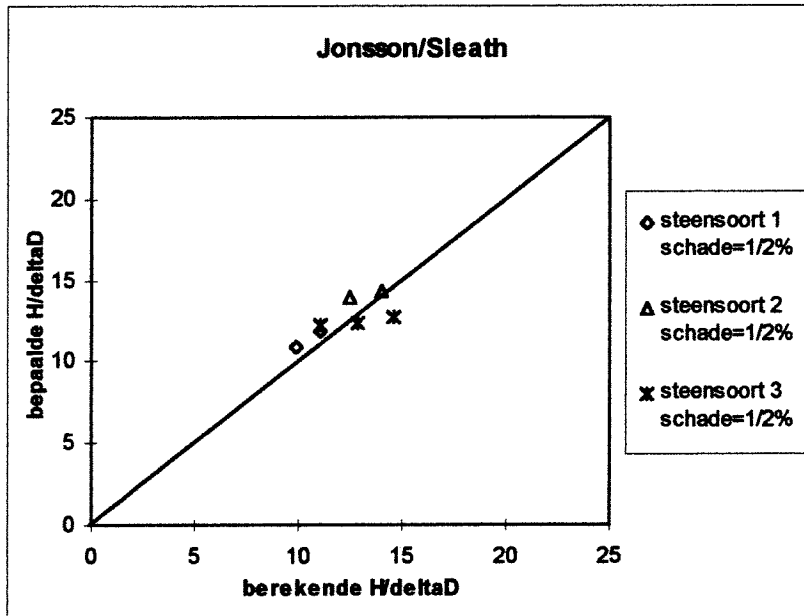
In figuur 5.5 zijn de bepaalde waarde met de schadepercentages van 0.5% en 1% weergegeven met de curve van Jonsson/Sleath. Door de keuze van de steendiameters is de waarde van de Shieldsparameter constant, 0,056, hierdoor kan de curve van Sleath worden weergegeven door middel van een horizontale lijn.



Figuur 5.5 Vergelijking van de bepaalde waarden met de curve van Jonsson/Sleath

Figuur 5.5 geeft de resultaten in combinatie met de theorie van Jonsson/Sleath weer. Op de verticale as is de Shieldsparameter logaritmisch uitgezet zoals Sleath dit heeft gedaan, zie figuur 2.3. Als in figuur 5.5 de resultaten van de proeven en de theorie met elkaar worden

vergeleken dan valt er op te maken dan de theorie van Sleath aan de veilige kan is maar dat de experimentele resultaten toch redelijk overeen komen met de waarden die gebruikt zijn in figuur 2.3. Door de berekening door middel van de theorie van Jonsson/Sleath worden de golfhoogten toch erg conservatief berekend, zie de figuren 5.2 en 5.3. De resultaten van de experimenten en de theorie stemmen wel goed met elkaar overeen als de door middel van Jonsson/Sleath bepaalde golfhoogten met een factor 1,25 vermenigvuldigd wordt, zie figuur 5.6.



Figuur 5.6 Vergelijking van de bepaalde golfhoogte met 1,25 maal de golfhoogte bepaald door middel van Jonsson/Sleath

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Bij een afname van de golfperiode is er bij een gelijk schadepercentage en bodembescherming een hogere golf toelaatbaar. Dit is conform de golftheorie die aangeeft, dat bij golven van gelijke hoogte en toenemende steilheid de orbitaalsnelheid afneemt.

De schade van een bodembescherming voor een verticale golfbreker is maximaal op ongeveer een kwart golflengte afstand van de golfbreker en minimaal bij de verticale golfbreker en op een halve golflengte afstand er van. Dit is conform de golftheorie die aangeeft dat op een kwart golflengte de orbitaalsnelheid het grootst is.

Voor het bepalen van de benodigde bodembescherming voor een verticale golfbreker voldoet de theorie van Rance & Warren goed.

De golfhoogte die door de theorie van Jonsson/Sleath bij de gebruikte bodembescherming wordt toegestaan is 1,25 maal lager dan die door middel van de experimenten bepaald is.

6.2 Aanbevelingen

De waterdiepte, de dimensies van de stroken en de breedte van de steengradatie zijn niet gevarieerd. Aangeraden wordt om deze variabelen in verder onderzoek te variëren.

Er dient onderzocht te worden wat de invloed is van staande golven in combinatie met stroming op het begin van beweging

Het effect van een niet geheel reflecterende golf op de bodembescherming dient onderzocht te worden.

Er dient onderzoek te worden gedaan bij hogere schadegevallen, het is mogelijk dat er een evenwicht ontstaat, die in de praktijk zal voldoen aan de eisen.

Literatuurlijst

Goda, Y., 1970. *Random seas and design of maritime structures/ by Yoshimi Goda*, University of Tokyo, Tokyo, Japan

Battjes, J.A. 1992, *Korte golven*, Collegedictaat, Delft, Technische Universiteit Delft

US Army Corps of Engineers, Volume 1&2, 1984, *Shore Protection Manual*, vierde editie, tweede druk, Washington, DC, U.S. Government Printing Office

De Vries, M. 1977, *Waterloopkundig Onderzoek*, Collegedictaat, Delft, Technische Universiteit Delft

Christiani, E. & Burcharth, H.F. & Dalsgaard Sørensen, J. 1996, *Reliability Based Optimal Design of Vertical Breakwaters Modelled as a Serie System of Failure*, Proceedings of the Twenty-Fifth International Conference, Orlando Florida, pp. 1589-1601

Schiereck, G.J. & Fontijn, H.L. & Grote, W.V. & Sistermans, P.G.J. 1994, *Stability of Rock on Beaches*, Proceedings of the Thenty-Fourth International Conference, Vol 2, Kobe, Japan, pp. 1553-1567

Jonsson, I.G. 1966, *Wave Boundary Layers and Friction Factors*, Proceedings of the Tenth Internetal Conference, Tokyo, pp. 127-148

Le Méhauté, B. & Divoky, D. & Lin, A. 1968, *Shallow Waves: A Comparison of Theories and Experiments*, Proceedings of the Eleventh Interational Conference on Coastal Engineering, London, pp. 86-107

Sleath, J.F.A. 1978, *Measurement of Bed Load in Oscillatory Flow*, Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE, Volume 104, no. WW4, pp. 291-491

Sistermans, P.G.J. 1993, *Stability of Rock on Beaches*, Afstudeerwerk, Technische Universiteit Delft

Rance, P.J. & Warren, N.F. 1968, *The Threshold of Movement of Coarse Material in Oscillatory Waves*, Proceedings of the eleventh International Conference, pp. 151-158, London, pp. 86-107

Xie, S.L. 1981, *Scouring patterns in front of vertical breakwaters and their influence on the stability of the foundations of the breakwaters*, Delft, Technische Universiteit Delft

Lijst van symbolen

a	=amplitude	[-]
a_0	=amplitude van de verplaatsing van waterdeeltjes aan de bodem	[m]
a_{0s}	=horizontale bodemsnelheid onder een staande golf	[m/s]
a_i	=amplitude van de inkomende golf	[m]
a_s	=amplitude van de staande golf	[m]
a_t	=amplitude van de gereflecteerde golf	[m]
A	=oppervlakte gekleurde strook	[m]
D	=steendiameter	[m]
D_n	=nominale diameter	[m]
D_s	=boldiameter	[m]
D_{50}	=gemiddelde diameter	[m]
D_*	=dimensielose diameter	[-]
f_w	=golfwrijvingsfactor volgens Jonsson	[-]
g	=gravitatiecoëfficiënt	[m/s ²]
h	=waterdiepte	[m]
H	=golfhoogte	[m]
H_{st}	=golfhoogte van de staande golf	[m]
k	=golfgetal	[1/m]
k_s	=ruwheidslengte volgens Nikuradse	[m]
L	=golflengte	[m]
L_0	=golflengte in diep water	[m]
M	=massa van de steen	[kg]
n	=aantal uitstrook verplaatste stenen	[-]
n_{max}	=maximale aantal verplaatste stenen per experiment	[-]
Re	=Reynoldsgetal	[-]
Re_*	=deeltjes Reynoldsgetal	[-]
s	=golfsteilheid	[-]
s_0	=fictieve golfsteilheid	[-]
S	=schade	[-]
$S\%$	=schadepercentage	[%]
t	=tijd	[s]
T	=golfperiode	[s]
u	=horizontale snelheid	[m/s]
u_0	=horizontale snelheid op de bodem	[m/s]
$\hat{u}_0$	=amplitude van de orbitale bodemsnelheid	[m/s]
U_0	=orbitaalsnelheid aan de bodem	[m/s]
u_*	=schuifspanningstroming	[m/s]
V	=volume van de stenen	[m ³]
w	=verticale snelheid	[m/s]
x	=horizontale coördinaat met positieve x-richtig samenvallend met de looprichting van de golfbeweging	[m]
z	=verticale coördinaat met het stilstaande wateroppervlak als nulpunt met de z-richting positief omhoog	[m]
Δ	=relatieve massadichtheid	[-]

ε	=fout door niet volledige reflectie van de golf	[m]
η	=uitwijking van het wateroppervlak ten opzichte van het gemiddelde wateroppervlak	[m]
η_i	=uitwijking van de inkomende golf	[m]
η_s	=uitwijking van de staande golf	[m]
η_t	=uitwijking van de uitkomende golf	[m]
η_1	=uitwijking van de eerste orde golf	[m]
η_2	=uitwijking van de tweede orde golf	[m]
ν	=kinematische viscositeit van het water	[m ² /s]
ρ_w	=dichtheid van het water	[kg/m ³]
ρ_s	=dichtheid van de steen	[kg/m ³]
τ_b	=amplitude van de bodemschuifspanning	[N/m ²]
τ_{kr}	=kritieke bodemschuifspanning	[N/m ²]
ω	=hoekfrequentie	[1/s]
ψ_{kr}	=kritische Shieldsparameter	[-]

Bijlage 1: De steenfracties.

In deze bijlage worden de steenfracties beschreven. Er zijn drie steensorteringen gebruikt. De gewichtskrommen zijn bepaald door het gewicht van een aantal stenen te rangschikken op gewicht, van licht naar zwaar waarna de procentuele gewichtsbijdrage van iedere steen ten opzichte van het totale gewicht te bepalen.

Aan de hand van de gewichtskrommen kan het gewicht van de stenen bepaald worden die bijvoorbeeld door 50% of 80% van het aantal stenen wordt onderschreden. De nominale diameter is hier uit te bepalen met de formule:

$$D_n = (M/\rho)^3 \quad [\text{m}]$$

D_n = nominale steendiameter

M = massa van de steen

ρ = soortelijke massa van het gesteente

De nominale steendiameter beschrijft een steen van willekeurige vorm en afmeting met een kubusvormige steen van het zelfde gewicht en volume. De soortelijke massa van het gesteente is bepaald door de massa van de stenen door het volume:

$$\rho = M/V \quad [\text{kg/m}^3]$$

V = volume van de stenen

De massa is bepaald door de stenen te wegen. Het gemiddelde volume per steensortering is bepaald door middel van het principe van Archimedes, een aantal keren is een aantal stenen in een half gevulde maatbeker legen waarna het waterstandsverschil gemeten is.

Voor de eerste steenfractie geldt:

Gewicht [M]	Volume [V]	Soortelijke massa [ρ]
955,7 g.	320 ml.	2987 kg/m ³
982,8 g.	320 ml.	3071 kg/m ³
890,3 g.	300 ml.	2968 kg/m ³
948 g.	320 ml.	2963 kg/m ³
959 g.	320 ml.	2997 kg/m ³

Tabel I.I Bepaling soortelijke massa van de eerste steenfractie

De gemiddelde soortelijke massa is 2997 kg/m³ ($\approx 3000 \text{ kg/m}^3$). Uit de gewichtskromme op bladzijde III en de tabel op bladzijde IV vallen de steen gewichten af te lezen. Waarmee de gemiddelde nominale steendiameters en de spreiding (D_{n15}/D_{n85}) zijn af te leiden.

$M_{50}=9,9 \text{ g}$ $D_{n50}=14,92 \text{ mm}$

$M_{15}=6,6 \text{ g}$ $D_{n15}=13,05 \text{ mm}$

$M_{85}=14,5 \text{ g}$ $D_{n85}=16,95 \text{ mm}$

De spreiding is ongeveer 1,3 dit houdt een fijne gradatie in. Voor de gewichtskromme zie bladzijde II en de hiervoor gebruikte waarden bladzijde III.

Voor de tweede steenfractie geldt:

Gewicht [M]	Volume [V]	Soortelijke massa [ρ]
652,1 g	222 ml	2939 kg/m ³
627,9 g	210 ml	2990 kg/m ³
668,6 g	225 ml	2962 kg/m ³
559,2 g	190 ml	2944 kg/m ³
651,3 g	220 ml	2960 kg/m ³

Tabel I.II Bepaling soortelijke massa van de tweede steenfractie

De gemiddelde soortelijke massa is 2959 kg/m³ (≈ 3000 kg/m³). Uit de gewichtskromme op bladzijde V en de tabel op bladzijde VI tot te met IX vallen de steen gewichten af te lezen. Waarmee de gemiddelde nominale steendiameters en de spreiding (D_{n15}/D_{n85}) zijn af te leiden.

$M_{50}=3,83$ g $D_{n50}=10,9$ mm

$M_{15}=2,13$ g $D_{n15}=8,96$ mm

$M_{85}=5,91$ g $D_{n85}=12,6$ mm

De spreiding is ongeveer 1,2 dit houdt een fijne gradatie in. Voor de gewichtskromme zie bladzijde V en de hiervoor gebruikte waarden de daarop volgende pagina's.

Voor de derde steenfractie geldt:

Gewicht [M]	Volume [V]	Soortelijke massa [ρ]
373,8 g	144 ml	2596 kg/m ³
445,3 g	171 ml	2604 kg/m ³
461,2 g	175 ml	2636 kg/m ³
421,4 g	161 ml	2617 kg/m ³

Tabel I.II Bepaling soortelijke massa van de derde steenfractie

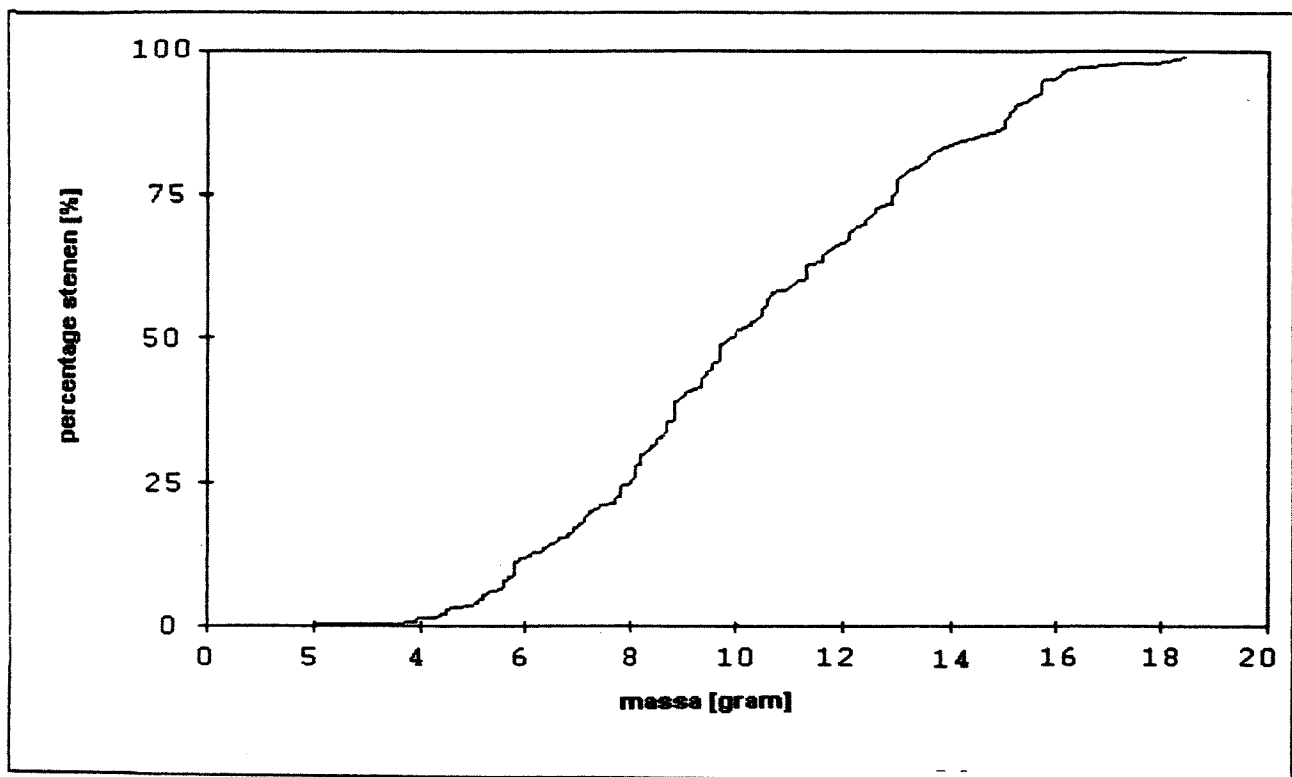
De gemiddelde soortelijke massa is 2613 kg/m³ (≈ 2610 kg/m³). Uit de gewichtskromme op bladzijde V en de tabel op bladzijde VI tot te met IX vallen de steen gewichten af te lezen. Waarmee de gemiddelde nominale steendiameters en de spreiding (D_{n15}/D_{n85}) zijn af te leiden.

$M_{50}=8,7$ g $D_{n50}=14,86$ mm

$M_{15}=5,88$ g $D_{n15}=83,04$ mm

$M_{85}=12,86$ g $D_{n85}=16,93$ mm

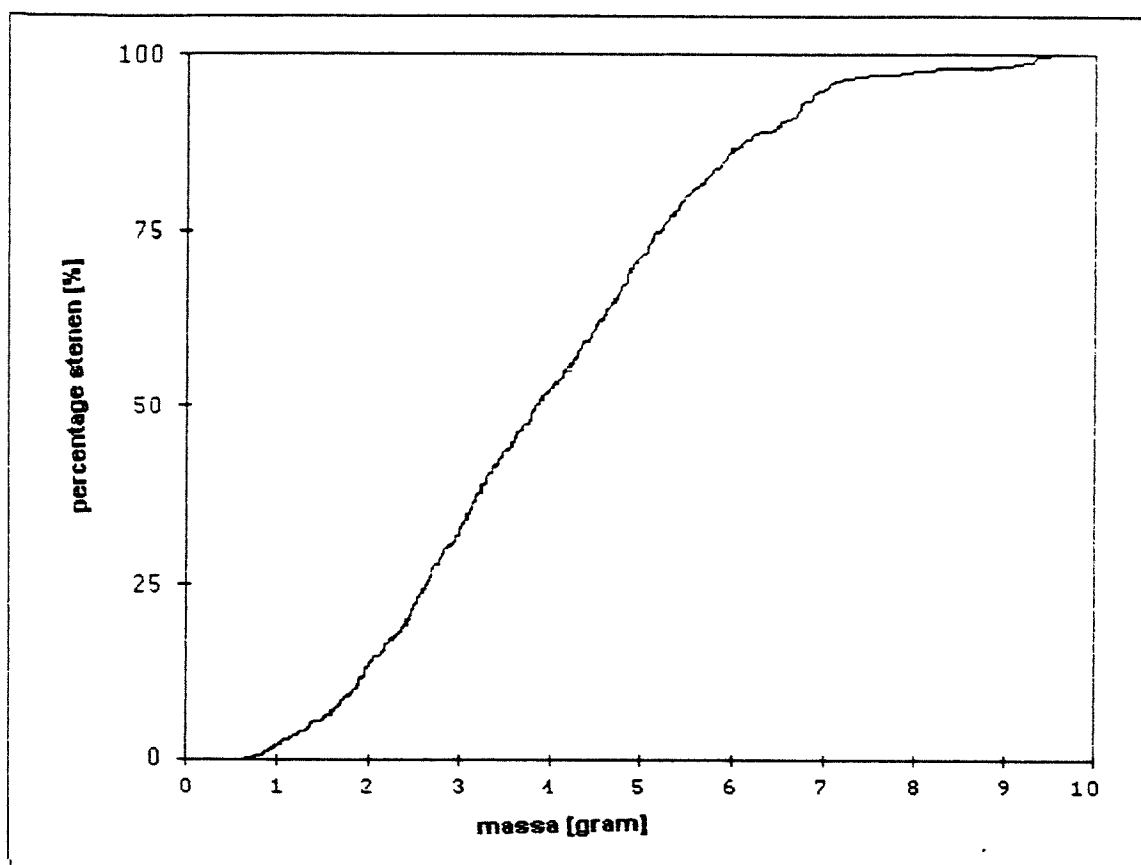
De spreiding is ongeveer 1,3 dit houdt een fijne gradatie in. Voor de gewichtskromme zie bladzijde X en de hiervoor gebruikte waarden de daarop volgende pagina's.



Figuur I.I Gewichtskromme van de eerste steensortering

De gewogen stenen van de eerste fractie.

gewichtspercentage	gewicht	18,61	7,1	47,90	9,7	89,43	15,1
0,06	1	19,00	7,1	48,44	9,7	90,27	15,2
0,11	2	19,40	7,2	48,97	9,7	91,13	15,4
0,11	2	19,80	7,2	49,52	9,8	91,99	15,5
0,29	3,3	20,21	7,3	50,07	9,9	92,86	15,7
0,51	3,8	20,62	7,4	50,62	10	93,73	15,7
0,72	3,9	21,03	7,4	51,18	10	94,60	15,7
0,94	3,9	21,46	7,7	51,74	10,1	95,49	16
1,16	4	21,89	7,7	52,31	10,3	96,39	16,1
1,39	4,2	22,32	7,8	52,88	10,3	97,33	17
1,64	4,4	22,75	7,8	53,46	10,4	98,34	18,1
1,88	4,4	23,19	7,8	54,05	10,5	99,36	18,5
2,13	4,5	23,62	7,8	54,63	10,5		
2,38	4,5	24,05	7,8	55,21	10,5		
2,63	4,5	24,49	7,9	55,80	10,6		
2,89	4,7	24,94	8	56,39	10,6		
3,16	4,7	25,38	8	56,98	10,6		
3,43	4,9	25,83	8,1	57,57	10,7		
3,71	5,1	26,28	8,1	58,17	10,7		
3,99	5,1	26,73	8,1	58,78	11		
4,28	5,2	27,18	8,1	59,40	11,1		
4,57	5,2	27,63	8,1	60,02	11,2		
4,86	5,2	28,09	8,2	60,65	11,3		
5,15	5,2	28,54	8,2	61,27	11,3		
5,44	5,3	29,00	8,2	61,90	11,3		
5,74	5,4	29,45	8,2	62,53	11,3		
6,04	5,4	29,91	8,2	63,17	11,6		
6,35	5,5	30,37	8,3	63,82	11,6		
6,66	5,6	30,84	8,4	64,46	11,6		
6,97	5,6	31,30	8,4	65,11	11,7		
7,28	5,6	31,78	8,5	65,77	11,8		
7,59	5,6	32,25	8,5	66,43	12		
7,91	5,7	32,73	8,6	67,11	12,1		
8,23	5,7	33,20	8,6	67,78	12,1		
8,54	5,7	33,69	8,7	68,45	12,1		
8,87	5,8	34,17	8,7	69,13	12,2		
9,19	5,8	34,65	8,7	69,82	12,4		
9,51	5,8	35,14	8,7	70,51	12,4		
9,83	5,8	35,62	8,7	71,20	12,5		
10,15	5,8	36,11	8,8	71,90	12,6		
10,48	5,8	36,60	8,8	72,60	12,6		
10,80	5,8	37,09	8,8	73,32	12,9		
11,13	5,9	37,57	8,8	74,03	12,9		
11,45	5,9	38,06	8,8	74,75	12,9		
11,79	6,1	38,55	8,8	75,47	13		
12,13	6,1	39,04	8,8	76,19	13		
12,48	6,2	39,54	8,9	76,92	13		
12,82	6,2	40,04	9	77,64	13		
13,17	6,3	40,54	9	78,37	13,1		
13,52	6,3	41,04	9,1	79,10	13,2		
13,88	6,4	41,56	9,3	79,84	13,4		
14,24	6,5	42,07	9,3	80,59	13,5		
14,60	6,6	42,59	9,3	81,35	13,6		
14,97	6,6	43,11	9,3	82,11	13,7		
15,35	6,8	43,63	9,4	82,88	13,8		
15,73	6,8	44,15	9,4	83,65	14		
16,11	6,9	44,68	9,5	84,44	14,2		
16,49	6,9	45,21	9,5	85,25	14,6		
16,88	6,9	45,74	9,6	86,08	14,9		
17,27	7	46,28	9,7	86,92	15		
17,65	7	46,82	9,7	87,75	15		
18,05	7,1	47,36	9,7	88,59	15,1		



Figuur I.II Gewichtskromme van de tweede steensortering

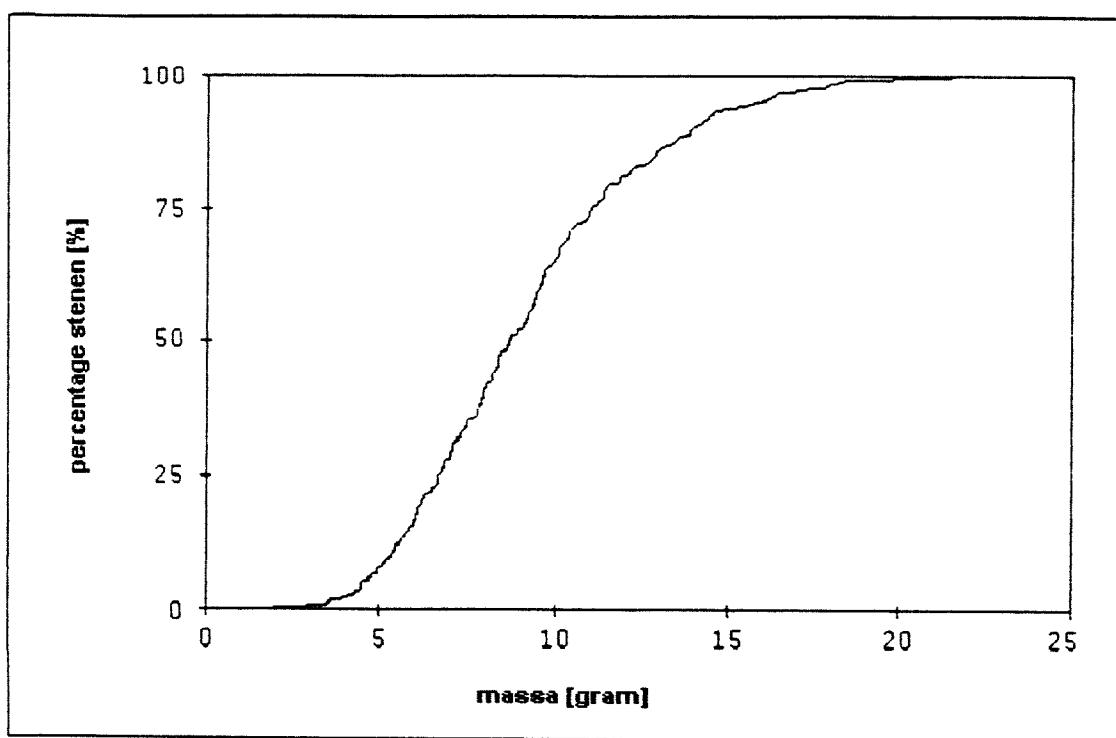
De gewogen stenen van de tweede fractie.

gewichtspercentage	gewicht						
0,016	0,4	2,144	1,01	5,099	1,36	9,082	1,78
0,035	0,46	2,185	1,02	5,153	1,36	9,153	1,78
0,057	0,57	2,226	1,02	5,208	1,37	9,225	1,78
0,082	0,6	2,267	1,02	5,263	1,37	9,296	1,78
0,107	0,63	2,308	1,02	5,319	1,38	9,368	1,79
0,133	0,66	2,349	1,02	5,374	1,38	9,440	1,79
0,160	0,66	2,390	1,02	5,430	1,39	9,513	1,8
0,188	0,69	2,432	1,03	5,486	1,4	9,585	1,8
0,216	0,71	2,473	1,04	5,544	1,43	9,658	1,81
0,245	0,72	2,516	1,05	5,603	1,46	9,730	1,81
0,275	0,73	2,558	1,06	5,661	1,46	9,803	1,81
0,304	0,73	2,601	1,06	5,721	1,49	9,876	1,81
0,333	0,73	2,644	1,07	5,781	1,5	9,949	1,82
0,363	0,73	2,687	1,07	5,842	1,5	10,023	1,83
0,393	0,77	2,730	1,07	5,902	1,51	10,096	1,83
0,424	0,77	2,773	1,08	5,963	1,51	10,170	1,84
0,456	0,78	2,817	1,08	6,024	1,51	10,244	1,85
0,487	0,78	2,860	1,08	6,085	1,52	10,319	1,86
0,519	0,8	2,904	1,09	6,146	1,53	10,394	1,86
0,552	0,81	2,949	1,11	6,209	1,55	10,469	1,86
0,584	0,81	2,993	1,11	6,271	1,55	10,543	1,86
0,617	0,81	3,038	1,12	6,333	1,55	10,618	1,86
0,650	0,81	3,083	1,12	6,396	1,56	10,693	1,87
0,683	0,84	3,129	1,13	6,459	1,57	10,769	1,88
0,717	0,85	3,174	1,14	6,523	1,58	10,845	1,89
0,752	0,85	3,221	1,16	6,586	1,58	10,921	1,89
0,786	0,85	3,268	1,16	6,650	1,59	10,997	1,89
0,820	0,85	3,314	1,16	6,714	1,6	11,073	1,9
0,855	0,86	3,361	1,17	6,779	1,6	11,150	1,9
0,889	0,86	3,408	1,17	6,843	1,61	11,226	1,9
0,924	0,86	3,455	1,17	6,908	1,61	11,302	1,9
0,959	0,87	3,502	1,17	6,973	1,61	11,379	1,9
0,994	0,87	3,550	1,18	7,037	1,61	11,455	1,9
1,029	0,88	3,597	1,18	7,102	1,61	11,532	1,91
1,065	0,89	3,645	1,19	7,167	1,62	11,609	1,91
1,101	0,9	3,693	1,19	7,232	1,62	11,685	1,91
1,137	0,91	3,741	1,2	7,298	1,63	11,762	1,91
1,174	0,92	3,790	1,21	7,364	1,64	11,839	1,92
1,212	0,93	3,839	1,22	7,430	1,64	11,917	1,93
1,249	0,93	3,888	1,22	7,496	1,66	11,994	1,93
1,287	0,93	3,937	1,22	7,563	1,66	12,072	1,94
1,324	0,94	3,986	1,23	7,630	1,67	12,150	1,94
1,362	0,94	4,036	1,23	7,697	1,67	12,228	1,94
1,400	0,95	4,086	1,24	7,765	1,67	12,307	1,95
1,439	0,95	4,136	1,25	7,832	1,68	12,385	1,95
1,477	0,95	4,187	1,26	7,900	1,69	12,464	1,95
1,515	0,95	4,238	1,27	7,968	1,69	12,542	1,95
1,553	0,95	4,290	1,31	8,036	1,7	12,620	1,95
1,592	0,96	4,343	1,31	8,105	1,7	12,699	1,96
1,630	0,96	4,396	1,32	8,173	1,7	12,778	1,96
1,669	0,96	4,449	1,33	8,242	1,71	12,857	1,96
1,707	0,96	4,503	1,33	8,311	1,72	12,935	1,96
1,746	0,97	4,556	1,33	8,380	1,72	13,015	1,97
1,785	0,97	4,610	1,34	8,449	1,72	13,094	1,97
1,825	0,98	4,664	1,34	8,518	1,72	13,173	1,98
1,864	0,98	4,718	1,34	8,588	1,73	13,253	1,98
1,904	0,98	4,772	1,34	8,658	1,74	13,333	1,99
1,943	0,98	4,826	1,35	8,728	1,74	13,413	1,99
1,982	0,98	4,880	1,35	8,798	1,75	13,493	2
2,023	1	4,935	1,35	8,868	1,75	13,574	2
2,063	1,01	4,989	1,36	8,939	1,76	13,654	2,01
2,104	1,01	5,044	1,36	9,010	1,77	13,735	2,01

13,816	2,02	19,331	2,41	25,629	2,66	25,629	2,66
13,898	2,02	19,427	2,41	25,736	2,66	25,736	2,66
13,979	2,03	19,524	2,41	25,843	2,67	25,843	2,67
14,061	2,03	19,622	2,42	25,951	2,68	25,951	2,68
14,142	2,03	19,719	2,42	26,058	2,68	26,058	2,68
14,224	2,04	19,816	2,42	26,166	2,68	26,166	2,68
14,307	2,05	19,914	2,43	26,274	2,68	26,274	2,68
14,389	2,05	20,011	2,43	26,382	2,68	26,382	2,68
14,472	2,06	20,109	2,43	26,490	2,69	26,490	2,69
14,555	2,07	20,207	2,44	26,598	2,69	26,598	2,69
14,638	2,07	20,305	2,44	26,706	2,69	26,706	2,69
14,722	2,08	20,403	2,44	26,814	2,69	26,814	2,69
14,806	2,09	20,501	2,44	26,923	2,7	26,923	2,7
14,890	2,1	20,600	2,45	27,031	2,7	27,031	2,7
14,976	2,13	20,698	2,45	27,140	2,72	27,140	2,72
15,062	2,13	20,797	2,45	27,250	2,72	27,250	2,72
15,147	2,13	20,895	2,45	27,359	2,72	27,359	2,72
15,233	2,13	20,994	2,46	27,469	2,73	27,469	2,73
15,319	2,14	21,093	2,47	27,579	2,73	27,579	2,73
15,405	2,15	21,193	2,47	27,689	2,74	27,689	2,74
15,492	2,15	21,292	2,47	27,799	2,75	27,799	2,75
15,578	2,15	21,391	2,47	27,910	2,75	27,910	2,75
15,665	2,15	21,491	2,47	28,021	2,76	28,021	2,76
15,752	2,17	21,590	2,48	28,132	2,76	28,132	2,76
15,839	2,17	21,690	2,48	28,243	2,76	28,243	2,76
15,927	2,18	21,790	2,49	28,354	2,76	28,354	2,76
16,014	2,18	21,890	2,5	28,465	2,77	28,465	2,77
16,102	2,19	21,991	2,5	28,576	2,77	28,576	2,77
16,190	2,19	22,092	2,51	28,688	2,77	28,688	2,77
16,278	2,19	22,193	2,52	28,800	2,79	28,800	2,79
16,367	2,21	22,294	2,52	28,912	2,8	28,912	2,8
16,456	2,21	22,396	2,53	29,025	2,8	29,025	2,8
16,545	2,21	22,498	2,53	29,138	2,81	29,138	2,81
16,634	2,22	22,599	2,53	29,251	2,81	29,251	2,81
16,723	2,22	22,702	2,55	29,364	2,81	29,364	2,81
16,812	2,22	22,804	2,55	29,477	2,82	29,477	2,82
16,902	2,23	22,907	2,55	29,590	2,82	29,590	2,82
16,992	2,24	23,009	2,55	29,704	2,83	29,704	2,83
17,082	2,24	23,112	2,56	29,818	2,84	29,818	2,84
17,173	2,25	23,216	2,57	29,933	2,86	29,933	2,86
17,263	2,25	23,319	2,57	30,048	2,86	30,048	2,86
17,354	2,26	23,422	2,57	30,163	2,86	30,163	2,86
17,445	2,27	23,526	2,57	30,278	2,86	30,278	2,86
17,536	2,27	23,629	2,58	30,393	2,87	30,393	2,87
17,628	2,29	23,733	2,58	30,509	2,88	30,509	2,88
17,720	2,29	23,837	2,58	30,625	2,89	30,625	2,89
17,813	2,3	23,941	2,59	30,742	2,91	30,742	2,91
17,905	2,3	24,045	2,59	30,860	2,92	30,860	2,92
17,998	2,3	24,149	2,6	30,977	2,92	30,977	2,92
18,091	2,32	24,254	2,6	31,095	2,94	31,095	2,94
18,185	2,33	24,358	2,6	31,213	2,94	31,213	2,94
18,278	2,33	24,463	2,61	31,331	2,94	31,331	2,94
18,372	2,34	24,568	2,61	31,450	2,95	31,450	2,95
18,467	2,35	24,673	2,61	31,569	2,95	31,569	2,95
18,562	2,37	24,778	2,62	31,688	2,96	31,688	2,96
18,657	2,37	24,884	2,63	31,807	2,97	31,807	2,97
18,753	2,38	24,990	2,64	31,927	2,99	31,927	2,99
18,849	2,38	25,096	2,64	32,047	2,99	32,047	2,99
18,945	2,39	25,202	2,64	32,167	2,99	32,167	2,99
19,041	2,39	25,309	2,65	32,288	2,99	32,288	2,99
19,137	2,4	25,415	2,65	32,408	3	32,408	3
19,234	2,4	25,522	2,65	32,529	3	32,529	3

25,629	2,66	32,649	3	40,521	3,3	49,391	3,79
25,736	2,66	32,770	3,01	40,654	3,3	49,544	3,8
25,843	2,67	32,892	3,02	40,788	3,33	49,697	3,82
25,951	2,68	33,013	3,02	40,922	3,35	49,851	3,82
26,058	2,68	33,135	3,03	41,057	3,36	50,005	3,83
26,166	2,68	33,257	3,03	41,192	3,36	50,160	3,86
26,274	2,68	33,378	3,03	41,328	3,36	50,315	3,86
26,382	2,68	33,501	3,05	41,463	3,37	50,470	3,86
26,490	2,69	33,624	3,06	41,598	3,37	50,625	3,86
26,598	2,69	33,747	3,06	41,734	3,38	50,781	3,87
26,706	2,69	33,870	3,07	41,870	3,38	50,937	3,87
26,814	2,69	33,994	3,07	42,007	3,4	51,092	3,88
26,923	2,7	34,117	3,07	42,143	3,4	51,250	3,91
27,031	2,7	34,241	3,07	42,280	3,4	51,407	3,91
27,140	2,72	34,364	3,07	42,417	3,4	51,564	3,91
27,250	2,72	34,488	3,08	42,554	3,41	51,722	3,94
27,359	2,72	34,612	3,08	42,692	3,43	51,881	3,95
27,469	2,73	34,735	3,08	42,830	3,44	52,040	3,95
27,579	2,73	34,859	3,08	42,968	3,44	52,199	3,97
27,689	2,74	34,983	3,09	43,107	3,45	52,359	3,97
27,799	2,75	35,108	3,09	43,246	3,46	52,519	3,97
27,910	2,75	35,232	3,1	43,385	3,46	52,678	3,98
28,021	2,76	35,357	3,11	43,524	3,47	52,839	3,99
28,132	2,76	35,483	3,12	43,664	3,47	53,000	4
28,243	2,76	35,608	3,13	43,804	3,48	53,161	4,02
28,354	2,76	35,734	3,13	43,944	3,48	53,323	4,02
28,465	2,77	35,860	3,13	44,085	3,51	53,486	4,05
28,576	2,77	35,986	3,13	44,226	3,51	53,649	4,06
28,688	2,77	36,112	3,13	44,369	3,56	53,812	4,06
28,800	2,79	36,238	3,14	44,512	3,56	53,976	4,08
28,912	2,8	36,364	3,15	44,655	3,56	54,140	4,09
29,025	2,8	36,491	3,16	44,798	3,56	54,306	4,11
29,138	2,81	36,618	3,16	44,942	3,57	54,471	4,12
29,251	2,81	36,746	3,17	45,086	3,58	54,637	4,12
29,364	2,81	36,874	3,18	45,229	3,58	54,802	4,12
29,477	2,82	37,002	3,18	45,373	3,58	54,968	4,13
29,590	2,82	37,129	3,18	45,518	3,59	55,135	4,16
29,704	2,83	37,258	3,19	45,662	3,59	55,303	4,16
29,818	2,84	37,386	3,19	45,806	3,59	55,470	4,17
29,933	2,86	37,514	3,19	45,951	3,61	55,639	4,19
30,048	2,86	37,643	3,2	46,096	3,61	55,808	4,2
30,163	2,86	37,772	3,21	46,242	3,61	55,977	4,21
30,278	2,86	37,901	3,21	46,388	3,65	56,146	4,22
30,393	2,87	38,030	3,22	46,535	3,65	56,316	4,22
30,509	2,88	38,159	3,22	46,682	3,66	56,486	4,22
30,625	2,89	38,289	3,23	46,830	3,68	56,656	4,24
30,742	2,91	38,419	3,23	46,978	3,69	56,827	4,25
30,860	2,92	38,549	3,23	47,127	3,69	56,998	4,26
30,977	2,92	38,679	3,23	47,275	3,7	57,170	4,27
31,095	2,94	38,809	3,24	47,424	3,7	57,341	4,27
31,213	2,94	38,939	3,24	47,574	3,73	57,513	4,28
31,331	2,94	39,070	3,25	47,724	3,74	57,685	4,28
31,450	2,95	39,201	3,26	47,875	3,74	57,857	4,28
31,569	2,95	39,332	3,27	48,025	3,75	58,030	4,29
31,688	2,96	39,464	3,27	48,176	3,76	58,203	4,32
31,807	2,97	39,595	3,27	48,328	3,76	58,377	4,33
31,927	2,99	39,727	3,28	48,479	3,77	58,552	4,33
32,047	2,99	39,859	3,28	48,631	3,77	58,726	4,34
32,167	2,99	39,991	3,29	48,783	3,78	58,900	4,34
32,288	2,99	40,123	3,29	48,934	3,78	59,075	4,34
32,408	3	40,256	3,3	49,086	3,78	59,250	4,35
32,529	3	40,389	3,3	49,239	3,79	59,425	4,35

59,602	4.41	71,294	4.97	84,745	5.87
59,779	4.42	71,495	5	84,982	5.9
59,958	4.44	71,697	5.02	85,220	5.93
60,136	4.44	71,899	5.03	85,459	5.95
60,315	4.44	72,102	5.04	85,699	5.96
60,493	4.44	72,304	5.04	85,939	5.97
60,672	4.44	72,507	5.05	86,180	5.99
60,851	4.47	72,710	5.05	86,421	6
61,031	4.48	72,914	5.06	86,662	6
61,212	4.48	73,117	5.06	86,903	6.01
61,392	4.49	73,321	5.08	87,149	6.1
61,572	4.49	73,526	5.1	87,394	6.11
61,754	4.51	73,731	5.1	87,641	6.14
61,935	4.52	73,937	5.11	87,889	6.17
62,117	4.52	74,142	5.12	88,138	6.2
62,300	4.54	74,349	5.13	88,388	6.21
62,482	4.54	74,555	5.13	88,638	6.22
62,665	4.56	74,763	5.17	88,893	6.34
62,849	4.57	74,972	5.2	89,152	6.46
63,033	4.58	75,181	5.2	89,413	6.49
63,217	4.58	75,391	5.23	89,674	6.49
63,401	4.58	75,601	5.24	89,936	6.51
63,586	4.6	75,813	5.26	90,198	6.52
63,771	4.6	76,024	5.26	90,461	6.54
63,956	4.6	76,236	5.27	90,724	6.55
64,141	4.61	76,449	5.3	90,989	6.6
64,327	4.63	76,663	5.31	91,257	6.66
64,515	4.66	76,876	5.32	91,525	6.68
64,702	4.66	77,091	5.35	91,794	6.68
64,890	4.68	77,306	5.35	92,064	6.73
65,078	4.68	77,522	5.36	92,335	6.74
65,266	4.68	77,737	5.36	92,606	6.74
65,455	4.69	77,953	5.36	92,877	6.75
65,643	4.69	78,169	5.38	93,149	6.75
65,833	4.71	78,386	5.39	93,422	6.81
66,023	4.73	78,603	5.4	93,698	6.86
66,213	4.74	78,821	5.42	93,975	6.88
66,404	4.75	79,039	5.43	94,251	6.88
66,595	4.76	79,257	5.44	94,528	6.89
66,787	4.77	79,477	5.46	94,808	6.97
66,979	4.78	79,697	5.48	95,090	7.02
67,171	4.78	79,918	5.5	95,373	7.04
67,364	4.79	80,140	5.51	95,659	7.11
67,558	4.83	80,362	5.54	95,945	7.12
67,753	4.84	80,586	5.56	96,236	7.24
67,947	4.84	80,809	5.56	96,533	7.38
68,142	4.84	81,033	5.57	96,830	7.4
68,337	4.85	81,259	5.61	97,137	7.62
68,531	4.85	81,486	5.66	97,456	7.94
68,726	4.85	81,714	5.67	97,779	8.05
68,922	4.86	81,943	5.7	98,123	8.54
69,117	4.86	82,172	5.7	98,485	9.02
69,313	4.88	82,403	5.73	98,857	9.24
69,509	4.88	82,633	5.74	99,230	9.3
69,706	4.89	82,866	5.78	99,608	9.39
69,903	4.91	83,098	5.79	100,000	9.76
70,101	4.91	83,331	5.8		
70,299	4.93	83,565	5.82		
70,497	4.93	83,801	5.86		
70,696	4.94	84,037	5.87		
70,895	4.96	84,273	5.87		
71,095	4.97	84,509	5.87		



Figuur I.III Gewichtskromme van de derde steensortering

De gewogen stenen van de derde fractie.

gewichtspercentage	gewicht						
0	1,04	11,4	5,52	27,4	6,91	47,4	8,41
0,1	1,65	11,6	5,53	27,7	6,92	47,7	8,43
0,2	2,09	11,9	5,53	28	7	48,1	8,46
0,3	2,45	12,1	5,53	28,3	7,03	48,4	8,56
0,4	2,54	12,3	5,57	28,6	7,07	48,8	8,59
0,5	2,92	12,6	5,6	28,9	7,09	49,2	8,64
0,7	2,97	12,8	5,63	29,2	7,1	49,5	8,66
0,8	3,43	13	5,65	29,8	7,11	49,9	8,7
0,9	3,5	13,3	5,66	30,1	7,12	50,2	8,71
1,1	3,51	13,5	5,68	30,4	7,13	50,6	8,74
1,2	3,55	13,7	5,73	30,4	7,16	51	8,76
1,4	3,56	14	5,75	30,7	7,16	51,3	8,8
1,5	3,59	14,2	5,78	31	7,16	51,7	8,96
1,7	3,62	14,5	5,84	31,3	7,21	52,1	8,97
1,8	3,66	14,7	5,87	31,6	7,23	52,5	8,97
2	3,77	14,9	5,88	31,9	7,26	52,8	9,08
2,2	3,94	15,2	5,92	32,2	7,28	53,2	9,1
2,3	3,99	15,4	5,93	32,5	7,3	53,6	9,11
2,5	4,13	15,7	5,94	32,8	7,31	54	9,14
2,7	4,2	15,9	5,99	33,1	7,34	54,4	9,16
2,8	4,26	16,2	6	33,4	7,37	54,7	9,19
3	4,27	16,4	6,02	33,7	7,44	55,1	9,22
3,2	4,31	16,7	6,04	34	7,45	55,5	9,24
3,4	4,33	16,9	6,05	34,3	7,48	55,9	9,29
3,6	4,4	17,2	6,05	34,7	7,5	56,3	9,31
3,8	4,49	17,4	6,07	35	7,53	56,7	9,34
3,9	4,5	17,7	6,08	35,3	7,54	57,1	9,35
4,1	4,51	18	6,09	35,6	7,58	57,4	9,37
4,3	4,51	18,2	6,11	35,9	7,7	57,8	9,37
4,5	4,51	18,5	6,12	36,2	7,8	58,2	9,4
4,7	4,52	18,7	6,13	36,6	7,83	58,6	9,43
4,9	4,52	19	6,15	36,9	7,84	59	9,45
5,1	4,53	19,2	6,16	37,2	7,85	59,4	9,46
5,3	4,6	19,5	6,2	37,5	7,86	59,8	9,51
5,5	4,64	19,7	6,24	37,9	7,87	60,2	9,58
5,6	4,69	20	6,28	38,2	7,87	60,6	9,58
5,8	4,69	20,3	6,28	38,5	7,89	61	9,58
6	4,7	20,5	6,29	38,9	7,95	61,4	9,63
6,2	4,73	20,8	6,3	39,2	7,95	61,8	9,67
6,4	4,77	21,1	6,31	39,5	7,97	62,2	9,68
6,6	4,79	21,3	6,34	39,9	7,99	62,6	9,69
6,8	4,83	21,6	6,36	40,2	8,01	63	9,7
7	4,91	21,9	6,44	40,5	8,01	63,4	9,71
7,2	4,92	22,1	6,46	40,9	8,03	63,8	9,75
7,4	4,92	22,4	6,49	41,2	8,04	64,2	9,83
7,7	4,93	22,7	6,52	41,5	8,05	64,6	9,92
7,9	5,02	22,9	6,53	41,9	8,06	65,1	9,95
8,1	5,02	23,2	6,66	42,2	8,06	65,5	9,99
8,3	5,13	23,5	6,68	42,5	8,14	65,9	10,04
8,5	5,14	23,8	6,68	42,9	8,18	66,3	10,06
8,7	5,16	24	6,7	43,2	8,2	66,7	10,06
8,9	5,17	24,3	6,71	43,6	8,21	67,1	10,06
9,1	5,22	24,6	6,73	43,9	8,21	67,6	10,08
9,4	5,31	24,9	6,73	44,2	8,21	68	10,17
9,6	5,32	25,2	6,73	44,6	8,26	68,4	10,22
9,8	5,33	25,4	6,76	44,9	8,33	68,8	10,26
10	5,37	25,7	6,8	45,3	8,36	69,3	10,31
10,3	5,41	26	6,81	45,6	8,37	69,7	10,32
10,5	5,43	26,3	6,83	46	8,39	70,1	10,39
10,7	5,45	26,6	6,85	46,3	8,39	70,6	10,4
10,9	5,48	26,9	6,88	46,7	8,4	71	10,46
11,2	5,51	27,2	6,9	47	8,4	71,4	10,54

gewichtspercentage	gewicht
71,9	10,58
72,3	10,73
72,8	10,78
73,2	10,82
72,7	10,89
74,1	10,94
74,6	10,98
75,1	11,05
75,5	11,08
76	11,23
76,4	11,24
76,9	11,31
77,4	11,38
77,9	11,41
78,3	11,41
78,8	11,44
79,3	11,56
79,8	11,73
80,3	11,86
80,8	11,87
81,3	11,9
81,8	12,13
82,3	12,17
82,8	12,37
83,3	12,39
83,8	12,66
84,4	12,8
84,9	12,86
85,4	12,88
86	12,88
86,5	13,01
87,1	13,22
87,6	13,43
88,2	13,56
88,8	13,88
89,4	13,92
89,9	13,94
90,5	14,12
91,1	14,25
91,7	14,35
92,3	14,43
92,9	14,56
93,5	14,57
94,1	14,95
94,8	15,6
95,5	16
96,1	16,27
96,8	16,49
97,6	17,74
98,3	17,9
99,1	18,81
100	21,88

Bijlage 2: Experimentele data

De experimentele gegevens zijn in de volgende pagina's weergegeven. Op de volgende pagina's zullen de gegevens worden gepresenteerd. Eerst zullen de drie tests die met intervallen van 100 golven gedaan zijn worden beschreven.

	Trillingstijd	Golfhoogte	Waterdiepte	Max. schade 100 golven	200 golven	300 golven	400 golven	500 golven
Test 1	2,16sec.	0,32m	29cm.	3 stenen	3 stenen	2 stenen	3 stenen	3 stenen
Test 2	1,79sec.	0,36m	32cm.	3 stenen	4 stenen	5 stenen	5 stenen	5 stenen
Test 3	2,16sec.	0,355m	30cm.	3 stenen	4 stenen	4 stenen	4 stenen	4 stenen

De algemene gegevens van de proeven:

Proef: S1H1	De proefnaam, S1 betekent de eerste steenfractie gebruikt en H1 betekent de eerste golfhoogte.
H_s [m]	De golfhoogte van de staande golf boven het beproefde gebied.
T [s]	Golfperiode.
L_0 [m]	Golflengte op diepwater. Berekent met: $[(gT^2)/2\pi]$.
S_0 [-]	Golfsteilheid, gedefinieerd door $[H/L_0]$.
S_{max} [-]	Maximale schade van een strip in het proefgebied. Berekent met: $[n \cdot D_{n50}/A]$.

In de kolommen worden de volgende waarden gepresenteerd:

Kolom 1 [-]	Strook nummer oplopend genummerd vanaf de verticale wand.
Kolom 2,3,4 [-]	De drie gedane proeven.
Kolom 5 [-]	Het gemiddelde van de proeven.
Kolom 6 [-]	Het aantal stenen die van de verticale wand af hebben verplaatst.
Kolom 7 [-]	Het aantal stenen die naar de verticale wand toe hebben verplaatst.
Kolom 8 [-]	De schade per strook. Berekent met: $[n \cdot D_{n50}/A]$.

Na een serie van één steilheid is de schade, van de proeven met schade, in staafdiagrammen weergegeven.

Proef: S1H1	H _{st} =0,33m	T=2.16s	L=3,13m	L ₀ =6,63m	s ₀ =2,48%	S _{max} =1,2%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5							
6	2	4	3	3	6	3	0,83
7	3	4	6	4,33	9	4	1,20
8	2	4	4	3,33	10		0,92
9	1	4	1	2	6		0,56
10							
11							
12							
13							
14		4	2	2		6	0,56
15							
16							
17	1		1	0,67		2	0,19
18							
19							
20	1	1	1	1	1	2	0,28
21	1	3	2	2	3	3	0,56
22	3	1	2	2	3	3	0,56
23							
24	1		2	1	3		0,28
25	4	2	3	3	6	3	0,83
26	2	1	3	2		6	0,56
27	1	1	4	2	3	3	0,56
28							
29							
30							
31							
32	1			0,33		1	0,09
33							
34	2	3	2	2,33	4	1	0,65
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41			1	0,33	1		0,09
42	3	3	3	3	6	3	0,83
43	2	1	1	1,33	2	2	0,37
44	1		2	1	3	2	0,28
45	3	3		2	6		0,56
46	1	2		1		3	0,28
47	1	1	1	1		3	0,28
48	1	1	1	1	1	2	0,28
49		2	1	1		3	0,28
50	3	2	2	2,33		4	0,65

Proef:S1H2	H _{st} =0,32m	T=1,92s	L=3,11m	L ₀ =5,75m	s ₀ =2,78%	S _{max} =0,92%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4	1	1		0,67	1	1	0,18
5							
6	2	3	3	2,33	3	4	0,65
7	2	5	3	3,33	6	4	0,92
8	2	3	1	2		6	0,56
9	5	1	3	3	2	4	0,83
10				1		3	0,28
11							
12							
13							
14			1	0,33	1		0,09
15							
16							
17	3	3		2	6		0,56
18							
19							
20	1	1	1	1	1	2	0,28
21	1	5	4	3,33	6	4	0,92
22	5	4	1	3,33	5	5	0,92
23	3	2	2	2,33	4	3	0,65
24	2	1		1	3		0,28
25		2	1	1	2	1	0,28
26		3		1		3	0,28
27	2	1	3	2	2	4	0,56
28	1		2	1	1	2	0,28
29			2	0,67	1	1	0,18
30	2	2	1	1,67	3	2	0,46
31	3	2	4	3	2	4	0,83
32	2	1	3	2	3	3	0,56
33							
34	1	1	1	1	2	1	0,28
35	2	1	4	2,33	5	2	0,65
36	2	2	2	2	3	3	0,56
37		2	2	1,33	1	3	0,37
38		1	2	1		3	0,28
39	2	1	3	2	1	5	0,56
40	1		2	1		3	0,28
41	4	1	3	2,67	2	6	0,74
42	4	3	3	3,33	5	5	0,92
43							
44							
45		2	1	1		3	0,28
46	4	6	5	5	4	11	1,39
47	6	5	4	5	3	12	1,39
48	4	3	2	3		9	0,83
49	3	3	3	3	3	6	0,83
50	4	4	4	4		12	1,11

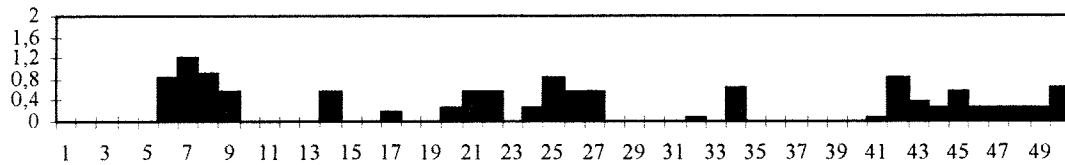
Proef: S1H3	H _{st} =0,31m	T=1,96s	L=3,19m	L ₀ =6,0m	s ₀ =2,5%	S _{max} =0,46%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5							
6	1		2	1		3	0,28
7	2	1	2	1,67	2	3	0,46
8	2	1	2	1,67	2	3	0,46
9							
10	1	2		1	3		0,28
11							
12							
13							
14		1		0,33	1		0,09
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23			2	0,67		2	0,18
24	1		2	1	1	2	0,28
25	1	1	1	1	2	1	0,28
26			1	0,33	1		0,09
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34		1	1	0,67		1	0,18
35							
36							
37							
38		1	2	1		3	0,28
39	1	2	2	1,67	2	3	0,46
40	1	1	1	1	2	1	0,28
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47		1	2	1	1	2	0,28
48							
49	1	2	3	2	1	5	0,56
50	4	3	5	4		12	1,11

Proef:SIH4	H _{gt} =0,24m	T=1,76s	L=2,82m	L ₀ =4,84m	s ₀ =2,48%	S _{max} =0,09%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5							
6			1	0,33		1	0,09
7		1		0,33		1	0,09
8							
9							
10			1	0,33	1		0,09
11							
12							
13	1			0,33	1		0,09
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20		1		0,33		1	0,09
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47			2	0,67		2	0,18
48							
49	1	1	3	1,67	1	4	0,46
50			2	0,67		2	0,18

Proef: S1H5	$H_{st}=0,19m$
$T=1,58s$	$L=2,49m$
$L_0=3,9m$	$s_0=2,43\%$

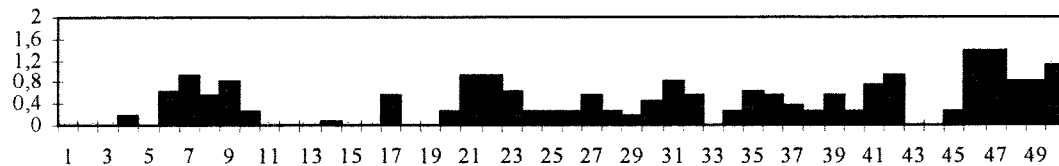
Proef: S1H6	$H_{st}=0,167m$
$T=1,52s$	$L=2,63m$
$L_0=3,63m$	$s_0=2,35\%$

S1H1



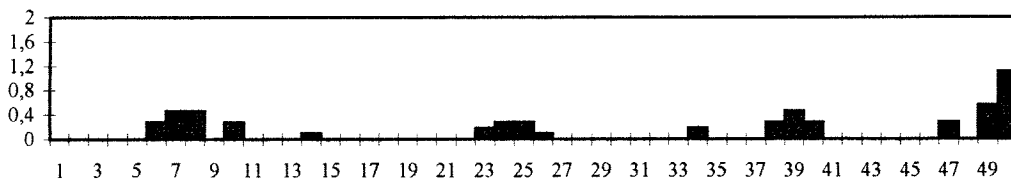
Tabel II.I Schadedistributiediagram van proef S1H1. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=2,5\%$ en $L=3,13m$

S1H2



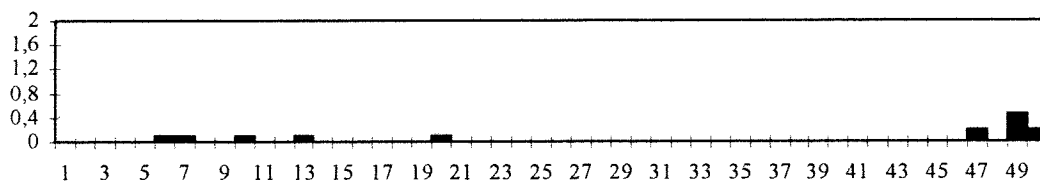
Tabel II.II Schadedistributiediagram van proef S1H2. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=2,5\%$ en $L=3,11m$.

S1H3



Tabel II.III Schadedistributiediagram van proef S1H3. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=2,5\%$ en $L=3,19m$.

S1H4



Tabel II.IV Schadedistributiediagram van proef S1H4. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=2,5\%$ en $L=2,82m$.

Proef: S1H7	H _{gr} =0,36m	T=1,79s	L=2,89m	L ₀ =5,05m	s ₀ =3,61%	S _{max} =1,3%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5	2	4	3	2,67	1	4	0,74
6	4	3	2	3	6	6	0,83
7	4	6	5	4,67	14		1,29
8	2	3	1	2	3	3	0,56
9	2	8	2	4	6	6	1,11
10	2	2	2	2	3	3	0,56
11	3	5	1	3	2	7	0,83
12	2	3	1	2	2	4	0,56
13	2	2	2	2	2	4	0,56
14	1	2	3	2	3	3	0,56
15		1	2	1	2	1	0,28
16							
17	3	2	4	3	4	5	0,83
18	2	2	2	2	2	4	0,56
19	1		2	1	2	1	0,28
20	2	2	5	3	6	3	0,83
21	3	2	10	4,67	4	10	1,29
22	1	1	4	2	3	3	0,56
23	2	1	3	2	4	2	0,56
24	1	1	1	1	3	1	0,28
25	2	3	4	3	3	6	0,83
26							
27	4	3	5	4	6	6	1,11
28							
29	5	2	3	3,33	4	6	0,92
30	2		1	1		3	0,28
31							
32							
33							
34	4	2	3	3	1	5	0,83
35	4	2	3	3	2	4	0,83
36	1	1	1	1	2	1	0,28
37							
38	3	1	1	2	4	2	0,56
39	3	3	3	3	6	3	0,83
40	5	4	3	4	6	6	1,11
41	4	3	2	3	2	4	0,83
42							
43							
44		1	5	2,33	2	3	0,65
45							
46	4	5	3	4	6	6	1,11
47	2	5	3	3	2	7	0,83
48	1	3	2	2		6	0,56
49	1	4	1	3	1	8	0,83
50	5	10	6	7	5	16	1,94

Proef: S1H8	H _{gt} =0,35m	T=1,79s	L=2,89m	L ₀ =5,05m	s ₀ =3,47%	S _{max} =1,0%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3			1	0,33		1	0,09
4	1			0,33		1	0,09
5	2	1	2	1,66	2	3	0,46
6	2	1	3	2	3	3	0,56
7	3	2	6	3,67	7	4	1,02
8	2		4	2	3	3	0,56
9							
10							
11							
12							
13							
14		1		0,33		1	0,09
15							
16							
17							
18		6	2	2,67	3	5	0,74
19							
20	3	2	4	3	3	6	0,83
21		1	2	1	3		0,28
22							
23	1	1	1	1	2	1	0,28
24		1	2	1	2	1	0,28
25		3		1	1	2	0,28
26	2	1		1	1	2	0,28
27	2	2	2	2	4	2	0,56
28							
29							
30	1	3	1	1,33	2	2	0,37
31							
32	2	2	5	3	5	4	0,83
33							
34							
35	2	2	2	2	2	4	0,56
36							
37	2		1	1	1	2	0,28
38	3	1	2	2	3	3	0,56
39	1	1	4	2	2	4	0,56
40	4	2	2	2,67	3	5	0,74
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47	1	1	1	1	1	2	0,28
48	2	2	2	2	3	3	0,56
49	4	4	5	4,33	4	9	1,20
50	4	4	4	4	3	9	1,11

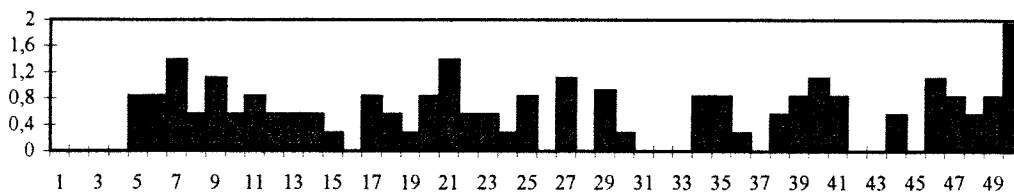
Proef: S1H9	H _{st} =0,32m	T=1,87s	L=2,77m	L ₀ =4,67m	s ₀ =3,43%	S _{max} =0,28%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef: 3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7		1	2	1	1	2	0,28
8							
9							
10							
11	2			0,67	1	1	0,18
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25		1		0,33		1	0,09
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35	3			1		3	0,28
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43	1		2	1	3		0,28
44							
45	2	2		1,33	1	3	0,37
46		2	1	1		3	0,28
47							
48							
49	1	1	1	1	1	2	0,28
50	1	3	2	2		6	0,56

Proef: S1H10	$H_{st}=0,22m$
$T=1,5s$	$L=2,34m$
$L_0=3,5m$	$s_0=3,14\%$

Proef: S1H11	$H_{st}=0,21m$
$T=1,45s$	$L=2,26m$
$L_0=3,3m$	$s_0=3,18\%$

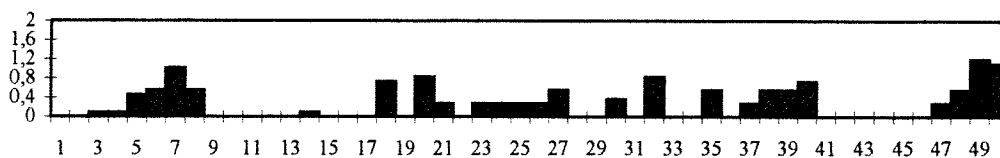
Proef: S1H12	$H_{st}=0,33m$
$T=1,41s$	$L=2,17m$
$L_0=3,1m$	$s_0=3,31\%$

S1H7



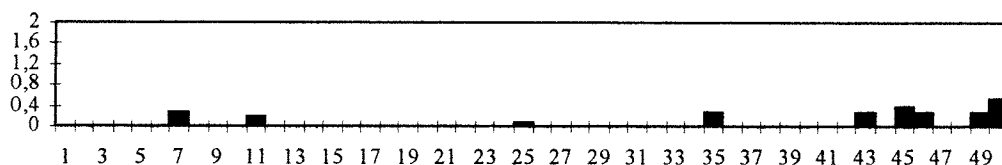
Tabel II.V Schadedistributiediagram van proef S1H7. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,89m$.

S1H8



Tabel II.VI Schadedistributiediagram van proef S1H8. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,89m$.

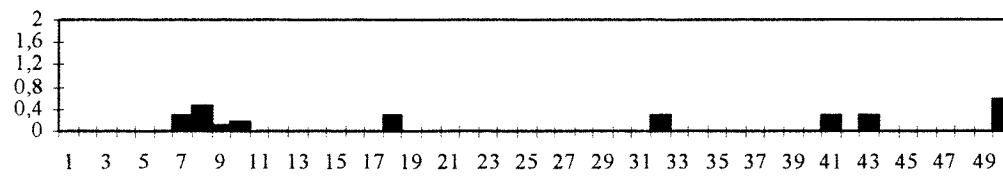
S1H9



Tabel II.VII Schadedistributiediagram van proef S1H9. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04mm$, $\Delta=1,97$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,77m$.

Proef:SIH13	$H_{st}=0,33m$	$T=1,62s$	$L=2,57m$	$L_0=4,1m$	$s_0=4,18\%$	$S_{max}=0,46$	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7	1	1	1	1	1	2	0,28
8	2		2	1,67	2	2	0,46
9		1		0,33	1		0,09
10	1	1		0,67	2		0,18
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18	2	1		1	1	2	0,28
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32	1	1	1	1	2	1	0,28
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41	2	1		1	1	2	0,28
42							
43	1		2	1	1	2	0,28
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50	4	2	2	2		6	0,56

S1H13



Tabel II.VIII Schadedistributiediagram van proef S1H13. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,04\text{mm}$, $\Delta=1,97$, $s_0=4\%$ en $L=2,57\text{m}$.

Proef: S2H1	H _{st} =0,359m	T=1,81s	L=2,92m	L ₀ =5,13m	s ₀ =3,5%	S _{max} =2%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2				0,33		1	0,05
3							
4		2	2	1,67	1	4	0,25
5	1	10	10	7	15	6	1,04
6	6	9	11	9	15	12	1,34
7	7	8	5	6,67	17	3	0,99
8	3	3	4	3,33	5	5	0,49
9	4	5	3	4	6	6	0,59
10	1	5	6	4	9	3	0,59
11			3	1	3		0,15
12	5	4	2	3,67	1	10	0,54
13	4	2	3	3	2	7	0,45
14	2			0,67		2	0,10
15	1	1	1	1		3	0,15
16	5	2	4	3,67	2	9	0,54
17	2	2	2	2	2	4	0,30
18		1	2	1	1	2	0,15
19	5	23	6	11,33	30	4	1,68
20	8	12	7	9	18	9	1,34
21	10	10	8	9,33	14	14	1,39
22	12	19	10	13,67	30	11	2,03
23	5	4	4	4,33	10	3	0,64
24	5	10	6	7	12	9	1,04
25	6	15	8	9,67	17	12	1,43
26	3	9	3	5	4	11	0,74
27	2	3	1	2	4	2	0,30
28	3	5	4	4	2	4	0,59
29							
30	4	3	2	2,33	2	5	0,35
31	4	3	5	4	6	6	0,59
32	3	2	2	2,33	5	2	0,35
33	4	4	3	3,67	8	3	0,54
34	4	6	5	5	10	5	0,74
35	2	3	2	2,33	2	5	0,35
36	8	8	5	7	6	15	1,04
37		1	1	0,67		2	0,10
38	4	8	6	6	6	12	0,89
39	5	9	7	7	2	19	1,04
40	2	4	4	3,33	3	7	0,49
41	6	9	7	7,33	2	20	1,09
42	3	4	5	4	1	11	0,59
43							
44	1	1	1	1		3	0,15
45	4	4	6	4,67	2	12	0,69
46	4	5	6	5	2	13	0,74
47	7	8	9	8	8	16	1,19
48	8	8	9	8,33	10	15	1,24
49	1	4	3	2,67	3	5	0,40
50	9	7	9	8,33		25	1,24

Proef: S2H2	H _{st} =0,358m	T=1.75s	L=2,90m	L ₀ =5,06m	s ₀ =3,54%	S _{max} =1,2%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2	1			0,33			0,05
3		1	1	0,67		1	0,10
4		1	1	0,67		2	0,10
5	1	3	2	2	1	5	0,30
6	2	3	4	3	6	3	0,45
7	10	9	5	8	15	9	1,19
8	2	3	2	2,33	4	3	0,35
9	3	4	1	2,67	8		0,40
10		2	4	2	2	4	0,30
11	4	5	3	4	2	10	0,59
12	1	1		0,67	1	1	0,10
13	5	3	3	3,67	2	9	0,54
14	2	4	3	3		9	0,45
15	2	2	2	2	1	5	0,30
16	4	2	3	3	3	6	0,45
17							
18	3	1	2	2	3	3	0,30
19	2	3	1	2		6	0,30
20	3	2	2	2,33	1	1	0,35
21	8	7	10	8,33	15	10	1,24
22	2	6	7	5	6	9	0,74
23	4	2	3	3	8	1	0,45
24	4	7	4	5,33	6	10	0,79
25	5	4	7	7	12	9	1,04
26	6	10	4	6,67	5	15	0,99
27	3	4	1	3	2	7	0,45
28		2	4	2	4	2	0,30
29			2	0,67		2	
30	4	3	2	3	3	6	0,45
31	4	3	5	4	3	12	0,59
32			1	0,33		1	
33	1		2	1	1	2	0,15
34	2	1	2	1,67	1	4	0,25
35	2	2	3	2,33	3	4	0,35
36	1	1	1	1	1	2	0,15
37	1	3	3	2,33	1	6	0,35
38	2	2	6	3,33	5	5	0,49
39	5	7	3	5	3	12	0,74
40		1	2	1		3	0,15
41	3	5	3	3,67	2	9	0,54
42	4	7	13	8,33		25	1,24
43	2		7	3	1	8	
44	9	9	6	8	2	22	1,19
45	7	8	5	6	3	15	0,89
46	7	5	7	6,67	2	18	0,99
47	6	8	8	7,33	6	16	1,09
48	1	2	7	3,33	1	9	0,49
49	6	4	5	5		15	0,74
50	5	9	7	7		21	1,04

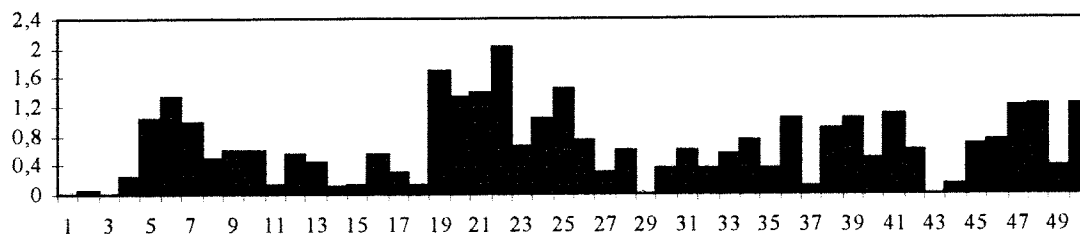
Proef: S2H3	H _{st} =0,255m	T=1,52s	L=2,21m	L ₀ =3,61m	s ₀ =3,53%	S _{max} =0,4%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4	2	1	1	1,33	3	1	0,20
5	1	2		1	2	1	0,15
6	3	3	1	2,67	6	2	0,40
7							
8	1	1	1	1		3	0,15
9	3	3	1	2	3	3	0,30
10							
11							
12							
13							
14	2	1		1	2	1	0,15
15			1	0,33	1		0,05
16	4	4	1	3		9	0,45
17		1	1	0,67	1	1	0,10
18							
19							
20							
21							
22	2	1	1	1,33	1	3	0,20
23							
24	2	2	3	2,33	6	1	0,35
25	3	2	1	2	3	3	0,30
26	4	4	2	3	3	6	0,45
27	2	1		1		3	0,15
28							
29							
30							
31	1	1	1	1		3	0,15
32	2	1	1	1,33	1	3	
33	3	4	2	3	6	3	0,45
34	2	2	3	2,33	3	4	0,35
35	3	2	1	3	4	5	0,45
36	2	2	2	2	6	6	0,30
37							
38	2	1		1		3	0,15
39							
40							
41		1		0,33		1	0,05
42	3	2	4	3	8	1	0,45
43			1	0,33	1		
44	1	2	3	2		6	0,30
45	2	2	2	2	3	3	0,30
46		2	1	1		3	0,15
47	1	1	1	1		3	0,15
48	2	4	2	3	4	5	0,45
49			1	0,33		1	0,05
50	3	3	3	3	4	5	0,45

Proef: S2H4	$H_{st}=0,161\text{m}$
$T=1,25\text{s}$	$L=1,74\text{m}$
$L_0=2,42\text{m}$	$s_0=3,31\%$

Proef: S2H5	$H_{st}=0,146\text{m}$
$T=1,52\text{s}$	$L=1,64\text{m}$
$L_0=2,2\text{m}$	$s_0=3,32\%$

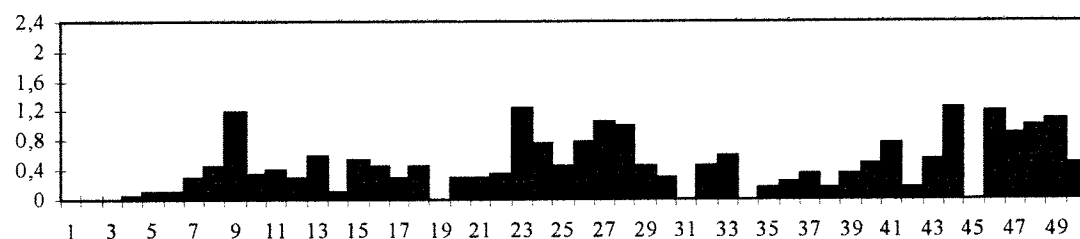
Proef: S2H6	$H_{st}=0,137\text{m}$
$T=1,52\text{s}$	$L=1,61\text{m}$
$L_0=2,15\text{m}$	$s_0=3,19\%$

S2H1



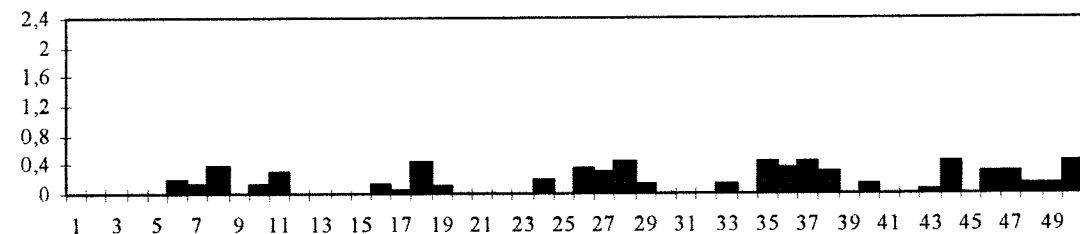
Tabel II.IX Schadedistributiediagram van proef S2H1. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=10,9\text{mm}$, $\Delta=1,96$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,92\text{m}$.

S2H2



Tabel II.X Schadedistributiediagram van proef S2H2. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=10,9\text{mm}$, $\Delta=1,96$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,9\text{m}$.

S2H3



Tabel II.XI Schadedistributiediagram van proef S2H3. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=10,9\text{mm}$, $\Delta=1,96$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,21\text{m}$.

Proef: S2H7	H _{st} =0,342m	T=1,68s	L=2,68m	L ₀ =4,41m	s ₀ =3,88%	S _{max} =2%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3	4	1	1	2	2	4	0,30
4	2	2	2	2	1	5	0,30
5	5	4	7	5,33	9	7	0,79
6	20	9	10	13	20	19	1,93
7	11	10	10	10,33	21	10	1,53
8	8	6	7	7	15	6	1,04
9	2	1	1	1,67		5	0,25
10	10	7	7	8	9	15	1,19
11	12	9	7	9,33	5	23	1,39
12	4	2		2	2	4	0,30
13	2	2	2	2	1	5	0,30
14	8	9	10	9	6	21	1,34
15			6	2		6	0,30
16	7	8	12	9	9	18	1,34
17	12	11	15	12,67	29	9	1,88
18	3	3	5	3,33	5	5	0,50
19	14	12	15	13,67	14	27	2,03
20	10	9	12	10,33	13	18	1,53
21	9	13	8	10	21	9	1,49
22	11	14	14	13	19	20	1,93
23	7	6	6	6,33	8	11	0,94
24	5	6	10	7	9	12	1,04
25	9	9	6	8	6	18	1,19
26	6	7	5	6	7	11	0,89
27	6	5	7	6	5	13	0,89
28	13	12	15	13,33	19	21	1,98
29	11	8	9	9,33	6	22	1,39
30	8	5	5	6	6	12	0,89
31	13	11	10	11,33	9	25	1,68
32	6	9	3	6	5	13	0,89
33	3	2	2	2,33	2	5	0,35
34	20	7	6	11	18	15	1,63
35	10	8	6	8	8	16	1,19
36	9	6	6	7	6	15	1,04
37	11	7	9	9	18	9	1,34
38	8	7	2	5,67	3	14	0,84
39	9	7	5	7	3	18	1,04
40	5	4	6	5	4	11	0,74
41	8	9	9	8,67	12	14	1,29
42	5	12	14	10,33	7	24	1,53
43	3	4	8	5	4	11	0,74
44	13	13	17	14,33	28	15	2,13
45	6	8	8	7,33	8	14	1,09
46	15	16	15	15,33	8	38	2,28
47	10	10	10	10	13	17	1,49
48	22	26	24	24	18	54	3,56
49	9	9	10	9,33	1	27	1,39
50	18	14	15	15,67	5	42	2,33

Proef: S2H8	H _{st} =0,33m	T=1,66s	L=2,64m	L ₀ =4,41m	s ₀ =3,74%	S _{max} =1,53%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5	3	2	1	6	9	9	0,89
6	6	5	5	5,33	12	4	0,79
7	8	7	5	6,67	18	2	0,99
8	4	3	1	2,67	3	5	0,40
9	4	4	1	3	1	8	0,45
10	2	2	2	2	3	3	0,30
11	4	5	4	3,33	3	10	0,49
12	6	5	4	5	6	9	0,74
13	1	2	2	2	3	3	0,30
14							
15							
16	1			0,33		1	0,05
17	2	1		1		3	0,15
18							
19	4	5	3	4	9	3	0,59
20	7	7	6	6,67	10	10	0,99
21	10	11	8	9,67	12	17	1,43
22	9	8	7	8,33	18	7	1,24
23	7	5	6	6	12	6	0,89
24	11	10	9	10,33	24	17	1,53
25	2	3	1	2	4	2	0,30
26	4	7	4	5	5	10	0,74
27	2	3	1	2	3	3	0,30
28	3	5	3	4	6	6	0,59
29	2	3	2	2,33	2	6	0,35
30							
31							
32	1	1	1	1	3		0,15
33		1	2	1		3	0,15
34	1	2	6	3	4	5	0,45
35	2	2	5	3	3	6	0,45
36	1		2	1	2	1	0,15
37							
38	3	5	4	4	2	10	0,59
39	4	4	4	4	3	9	0,59
40	4	3	5	4	2	10	0,59
41	2	1	2	1,67	2	3	0,25
42	1		2	1	1	2	0,15
43	1		1	0,67	2		0,10
44	1		2	1	1	2	0,15
45	3	2	4	3	2	4	0,45
46	9	8	17	10,33	7	27	1,53
47	5	1	6	4	3	9	0,59
48	4	4	4	4	6	6	0,59
49	2	1	6	3	6	3	0,45
50	6	5	19	10	5	25	1,49

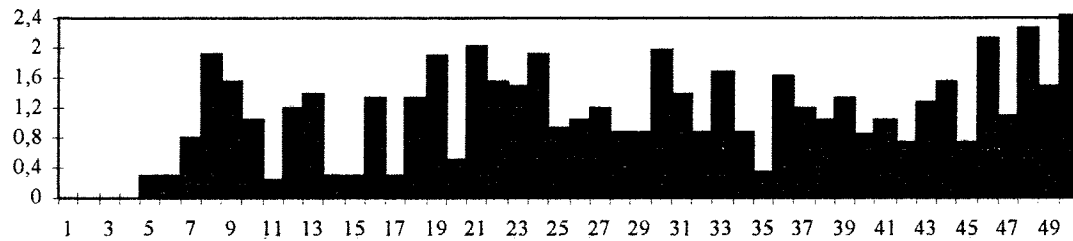
Proef: S2H9	H _{st} =0,312m	T=1,59s	L=2,51m	L ₀ =3,95m	s ₀ =4,95%	S _{max} =0,4%	
Rij	proef:1	proef:2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4	1	2	1	1,33	3	1	0,20
5	2	1		1	2	1	0,15
6	3	3	1	2,67	6	2	0,40
7	3	3	1	2	3	3	0,30
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15			1	0,33	1		0,05
16	1	1		0,67	1	1	0,10
17		1	1	0,67	1	1	0,10
18	4	3	1	2,67		9	0,40
19		1	1	0,67	1	1	0,10
20	2	1	1	1,33	1	3	0,20
21							
22							
23							
24							
25							
26	4	4	2	3	3	6	0,45
27	2	1		1		3	0,15
28							
29	3	2	1	2	3	3	0,30
30	2	2	2	2	6	6	0,30
31	1	1	1	1		3	0,15
32	2	1	1	1,33	1	3	0,20
33	3	4	2	3	6	3	0,45
34	3	2	1	3	4	5	0,45
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41		1		0,33		1	0,05
42		1	2	1		3	0,15
43			1	0,33	1		0,05
44	1	2	3	2		6	0,30
45	1	3	2	2	3	3	0,30
46		2	1	1		3	0,15
47	1	1	1	1		3	0,15
48	2	4	2	3	4	5	0,45
49		2	1	1		3	0,15
50	5	3	4	4	4	5	0,59

Proef:S2H10	$H_{st}=0,146m$
$T=1,14s$	$L=1,55m$
$L_0=2,03m$	$s_0=3,71\%$

Proef:S2H11	$H_{st}=0,142m$
$T=1,07s$	$L=1,44m$
$L_0=1,8m$	$s_0=3,94\%$

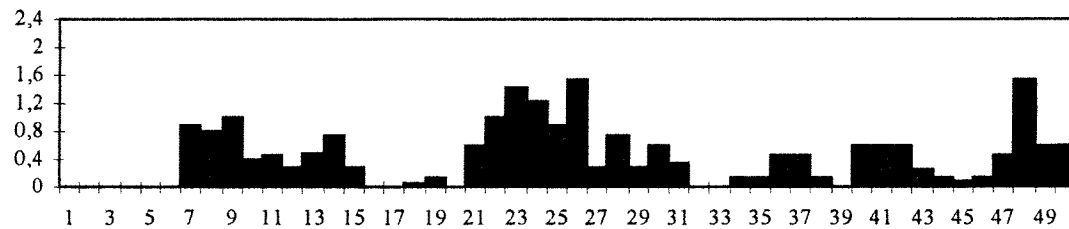
Proef:S2H12	$H_{st}=0,137m$
$T=1,07s$	$L=1,44m$
$L_0=1,8m$	$s_0=3,81\%$

S2H7



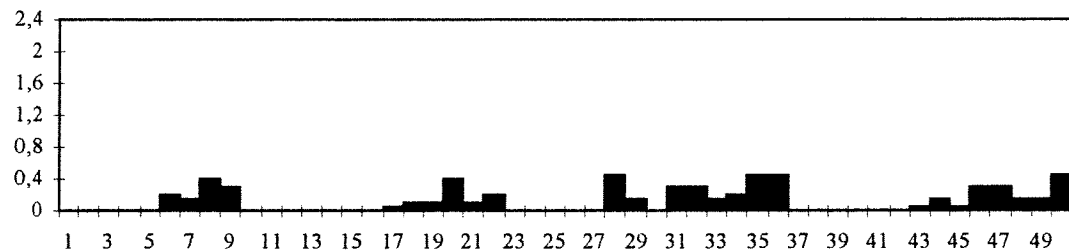
Tabel II.XII Schadedistributiediagram van proef S2H7. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=10,9mm$, $\Delta=1,96$, $s_0=4\%$ en $L=2,68m$.

S2H8



Tabel II.XIII Schadedistributiediagram van proef S2H8. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=10,9mm$, $\Delta=1,96$, $s_0=4\%$ en $L=2,64m$.

S2H9



Tabel II.XIV Schadedistributiediagram van proef S2H9. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=10,9mm$, $\Delta=1,96$, $s_0=4\%$ en $L=2,51m$.

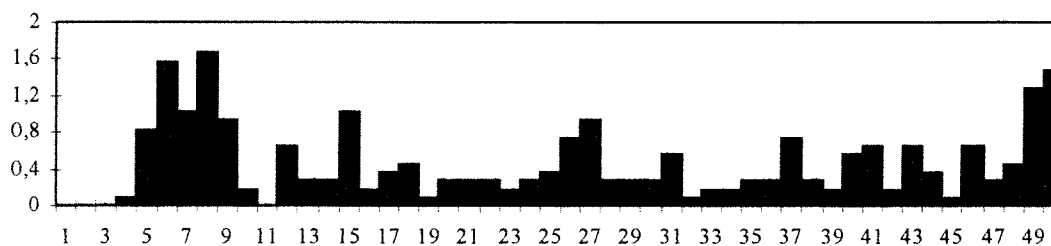
Proef: S3H1	H _{st} =0,346m	T=2,10s	L=3,44m	L ₀ =6,89m	s ₀ =2,51%	S _{max} =1,67%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef: 3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4			1	0,33	1		0,09
5	3	2	4	3	6	3	0,83
6	7	5	5	5,67	14	3	1,57
7	5	3	3	3,66	6	5	1,02
8	5	8	5	6	12	6	1,67
9	3	4	3	3,33	7	3	0,92
10		1	1	0,67	1	1	0,19
11							
12	1	3	3	2,33	4	3	0,65
13	2	1		1	1	2	0,28
14	1		2	1	1	2	0,28
15	3	3	5	3,67	5	6	1,02
16		1	1	0,67		2	0,19
17	2	1	1	1,33	1	3	0,37
18	2	2	1	1,67	2	3	0,46
19			1	0,33		1	0,09
20	1	2		1	2	1	0,28
21	3			1		3	0,28
22	1	1	1	1	2	1	0,28
23		1	1	0,67		2	0,19
24	2		1	1		3	0,28
25		2	2	1,33	1	3	0,37
26	2	4	2	2,67	2	6	0,74
27	2	4	3	3,33	6	4	0,92
28		1	2	1	1	2	0,28
29	1	1	1	1		3	0,28
30	2		1	1		3	0,28
31	1	3	2	2	4	2	0,56
32			1	0,33	1		0,09
33		1	1	0,67	2		0,19
34	1		1	0,67	1	1	0,19
35		1	2	1		3	0,28
36	2		1	1	1	2	0,28
37	3	3	2	2,67	4	4	0,74
38	1	1	1	1	3		0,28
39		1	1	0,67		2	0,19
40	3	1	2	2	2	4	0,56
41	3	2	2	2,33		2	0,65
42		1	1	0,67	2		0,19
43	3	2	2	2,33	1	6	0,65
44	1	1	2	1,33	2	2	0,37
45			1	0,33		1	0,09
46	2	3	2	2,33	3	4	0,65
47	2		1	1	2	1	0,28
48	2	1	2	1,67	2	3	0,46
49	5	3	6	4,67	5	9	1,30
50	6	6	4	5,33	3	13	1,48

Proef: S3H2	H _{st} =0,322m	T=2,01s	L=3,28m	L ₀ =6,327m	s ₀ =2,54%	S _{max} =0,83%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5	3	2	1	2	3	3	0,56
6	2	2	2	2	5	1	0,56
7	2	2	3	2,33	3	4	0,65
8	4	4	1	3	3	6	0,83
9	2	2	1	1,67	4	1	0,46
10	4	2	2	2,67	2	6	0,74
11	2	1	1	1,33	1	3	0,37
12	1	1	1	1		3	0,28
13	1	2	1	1	1	2	0,28
14	2	1	2	1,67	2	3	0,46
15	1	2	2	1,67	3	1	0,46
16	1	2	1	1,33	2	2	0,37
17	2	2	1	1,67	2	3	0,46
18	2	3	2	2,33	3	4	0,65
19	3	4	1	2,67	4	4	0,74
20	1	3	2	2	4	2	0,56
21	1	1	2	1,33	1	3	0,37
22	2	1	2	1,67	2	3	0,46
23	2	3	1	2	2	4	0,56
24	2	4	3	3	2	7	0,83
25	3	3	3	3	7	2	0,83
26	4	4	1	3	3	6	0,83
27	2	1	1	1,33	1	3	0,37
28	2	2	3	2,33	3	4	0,65
29	1	1	2	1,33	1	3	0,37
30	2		1	1	1	2	0,28
31	1	1	4	2	1	2	0,56
32	2	2	1	1,67	3	2	0,46
33		2	1	1	3		0,28
34							0,00
35	2	2		1,67	3	2	0,46
36		2	1	1		3	0,28
37							0,00
38	3	3	2	2,67	3	5	0,74
39	2	5	3	3,33	5	5	0,92
40	2	2		1,67	1	4	0,46
41	1	1	3	1,67	1	4	0,46
42	1	1	2	1,33	1	3	0,37
43	2	1	1	1,33	2	2	0,37
44	2	4	4	3,33	2	8	0,92
45	5	3	4	4	3	9	1,11
46	2	2	5	3	4	5	0,83
47	3	2	2	2,33	4	3	0,65
48	3	2	4	3	4	5	0,83
49	3	4	5	4	3	8	1,11
50	7	4	5	5,33	3	13	1,48

Proef: S3H3	H _{st} =0,292m	T=1,96s	L=3,19m	L ₀ =8,08m	s ₀ =2,43%	S _{max} =0,56%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5		2	2	1,33	3	1	0,37
6	1	2	3	2	5	1	0,56
7	1	2	2	1,67	3	2	0,46
8	2	2	2	2	6		0,56
9	1	1	2	1,33	3	1	0,37
10	2	2	2	2	4	2	0,56
11	2	1	2	1,67	1	4	0,46
12	1		2	1	2	1	0,28
13							
14							
15	1	1	2	1,33	1	3	0,37
16			1	0,33		1	0,09
17			1	0,33		1	0,09
18		1	1	0,67		2	0,19
19	1	2	1	1,33	1	3	0,37
20	2	3	1	2	3	3	0,56
21	1	1	2	1,33	1	3	0,37
22		1	1	0,67	1	1	0,19
23	2	2	2	2	4	2	0,56
24	2	3	1	2	2	4	0,56
25	3	2	1	2	3	3	0,56
26	2	1	1	1,33	1	3	0,37
27	2	2		1,33		4	0,37
28	1	2		1		3	0,28
29	1	1	1	1		3	0,28
30	2	2		1,33	1	3	0,37
31	2		1	1	2	1	0,28
32	2	2	1	1,67	2		0,46
33	1			0,33		1	0,09
34	1	2	1	1,33	2	2	0,37
35			1	0,33		1	0,09
36	1	1	1	1	2	1	0,28
37							
38	2	2	1	1,67	2	3	0,46
39	3	2	1	2	2	4	0,56
40	4	1	1	2		6	0,56
41	1	1	2	1,33	1	3	0,37
42	2	3	2	2,33	3	4	0,65
43	1	3	3	2,33	3	4	0,65
44	2	2	1	1,67	1	4	0,46
45	1	3	3	2,33	4	3	0,65
46	1	1	2	1,33	2	2	0,37
47	1		2	1	2	1	0,28
48		1	1	0,67		2	
49	2	3	3	2,67	2	6	0,74
50	2	2	2	2	1	2	0,56

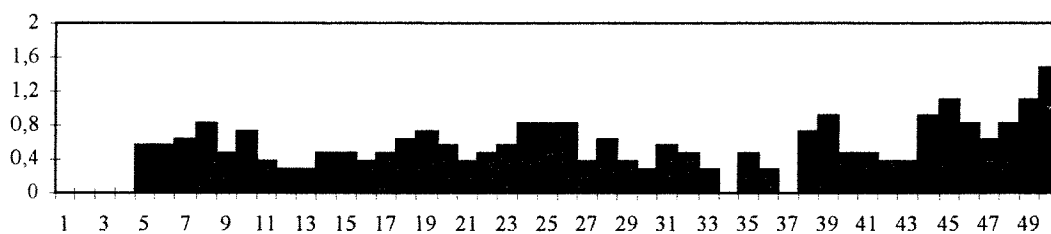
Proef: S3H4	$H_{st}=0,164m$
$T=1,45s$	$L=2,25m$
$L_0=2,25m$	$s_0=2,5\%$

S3H1



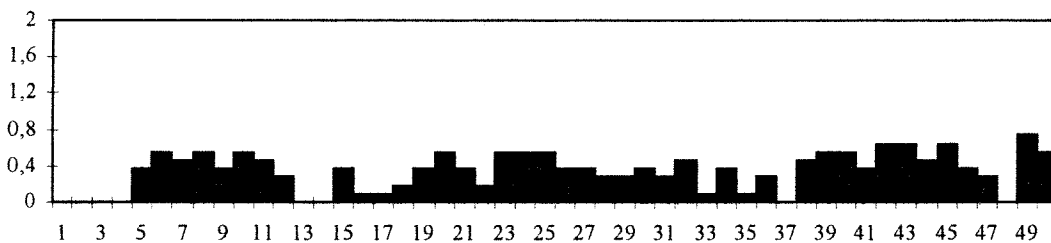
Tabel II.XV Schadedistributiediagram van proef S3H1. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=2,5\%$ en $L=3,44m$.

S3H2



Tabel II.XVI Schadedistributiediagram van proef S3H2. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=2,5\%$ en $L=3,28m$.

S3H3



Tabel II.XVII Schadedistributiediagram van proef S3H3. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=2,5\%$ en $L=3,19m$.

Proef: S3H5	H _{st} =0,358m	T=1,80s	L=3,04m	L ₀ =5,5m	s ₀ =3,23%	S _{max} =1,67%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3	1	1	3	1,67	4	1	0,46
4	4	3	2	3	3	6	0,83
5	3	3	3	3	6	3	0,83
6	7	7	4	6	2	7	1,67
7	6	6	3	5	7	8	1,39
8	5	5	5	5	4	11	1,39
9	4	5	4	4,33	10	3	1,20
10	2	2	1	1,67	3	2	0,46
11	1	4	3	2,67	2	6	0,74
12	1	2	3	2	1	5	0,56
13	1	3	5	2,67	2	6	0,74
14		2	4	2	1	5	0,56
15	1	2	1	1,33	1	2	0,37
16		1	2	1	2	1	0,28
17							
18							
19		2	2	1,33	3	1	0,37
20	4	4	2	3,33	3	7	0,92
21	3	3	3	3	3	6	0,83
22	8	5	5	6	3	15	1,67
23	7	6	2	5	6	9	1,39
24	6	6	3	3,33	4	6	0,92
25	3	7	5	5	9	6	1,39
26	3	5	5	4,33	6	7	1,20
27	2	4	3	3		9	0,83
28	2	6	3	3,67	8	3	1,02
29	1	4	2	2,33	5	2	0,65
30	3	4	4	3,67	5	6	1,02
31		2	4	2	3	3	0,56
32	5		3	2	2	4	0,56
33	4	1	2	2,33	2	5	0,65
34	10	4	4	6	15	3	1,67
35	15	6	7	9,33	13	15	2,59
36	5	3	1	3	4	5	0,83
37	6	4	2	4	3	9	1,11
38	7	6	5	6	6	12	1,67
39	4	3	6	4,33	3	10	1,20
40	4	4	6	4,67	5	9	1,30
41	5	12	13	10	9	21	2,78
42	5	6	13	8	8	16	2,22
43	8	5	5	6	6	12	1,67
44	5	5	6	5,33	11	5	1,48
45	6	9	9	8	6	12	2,22
46	4	4	6	4,67	6	8	1,30
47	2	6	7	5	3	12	1,39
48	2	5	3	3,33	1	9	0,92
49	6	6	6	6	6	12	1,67
50	7	7	9	7,67	4	19	2,13

Proef: S3H6	H _{st} =0,338m	T=2,10s	L=2,88m	L ₀ =5m	s ₀ =3,4%	S _{max} =0,942%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef: 3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5			1	0,33			0,09
6							
7	2	2	1	1,67	1	4	0,46
8	4	3	3	3,33	4	4	0,92
9		1		0,33		1	0,09
10	1	2	3	2	1	5	0,56
11							
12	2		1	1	1	2	0,28
13	2	2		1,33		4	0,37
14	6	2	1	3,33	3	7	0,92
15	2			0,67	1	1	0,19
16	1	3	2	2	3	3	0,56
17	2	2	2	2	5	1	0,56
18	1	2	1	1,33	3	1	0,37
19		1	2	1		3	0,28
20	2	1	1	1,33	1	3	0,37
21	2	1	2	1,67	2	3	0,46
22	1	2	3	3	4	5	0,83
23	1	2	4	2,33	4	3	0,65
24	1	3	2	2	4	2	0,56
25	2	1	1	1,33	2	2	0,37
26	3	1	2	2		6	0,56
27							
28		2	1	1		3	0,28
29		2		0,67	1	1	0,19
30		5	2	2,33	2	5	0,65
31	3	4	2	3	7	2	0,83
32	2	2	2	2	2	4	0,56
33							
34	2	1	1	1,33	2	2	0,37
35	1	3	2	2	2	4	0,56
36	2	2	3	2,33	3	4	0,65
37	2	1	1	1,33	2	2	0,37
38	1	1	2	1,33	1	3	0,37
39	1	1	1	1	1	2	0,28
40	2	4	1	2,33	2	5	0,65
41	5	3	3	3,66	3	8	1,02
42	1	3	2	2	2	4	0,56
43	2	5	3	3,33	4	6	0,92
44	2	3	1	2	3	3	0,56
45	3	3	3	3	4	5	0,83
46	3	2	2	2,33	2	5	0,65
47	2	3	4	3	2	7	0,83
48	3	2	5	3,33	1	9	0,92
49		2	2	1,33	2	2	0,37
50	8	6	5	6,33	5	14	1,76

Proef: S3H7	H _{st} =0,268m	T=1,56s	L=2,45m	L ₀ =3,8m	s ₀ =3,68%	S _{max} =0,369%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef: 3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4	1	2		1	1	2	0,28
5	1			0,33		1	0,09
6	3	3		2	2	4	0,56
7	1	1	2	1,33	2	2	0,37
8		1		0,33	1		0,09
9		1	1	0,67	1	1	0,19
10							
11							
12							
13			1	0,33		1	0,09
14							
15							
16		1	1	0,67		2	0,19
17	2	2	2	2	2	4	0,56
18	1	2	2	1,67	2	3	0,46
19		2	3	1,67	3	2	0,46
20		2		0,67	1	1	0,19
21							
22	1		2	1	1	2	0,28
23							
24							
25		1		0,33		1	0,09
26							
27							
28							
29			1	0,33		1	0,09
30	2	1	2	1,67	2	3	0,46
31	1	2	1	1,33	2	2	0,37
32	1	2	2	1,67	3	2	0,46
33	2	1		1	2	1	0,28
34	4	1	1	2	2	4	0,56
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41	1	2	1	1,33	2	2	0,37
42	3	2	1	2	2	4	0,56
43	4	2	2	2,67	4	4	0,74
44	3	1	2	2	4	2	0,56
45	1	2	2	1,67	2	3	0,46
46	2	2	2	2	2	4	0,56
47	1	2	3	2	3	3	0,56
48	3	3	2	2,67	3	5	0,74
49	1	1	2	1,33	2	2	0,37
50	5	3	4	4	2	10	1,11

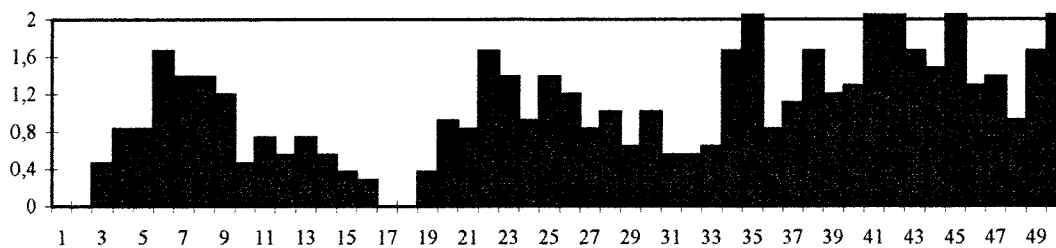
Proef:S3H8	$H_{st}=0,176m$
$T=1,32s$	$L=2,0m$
$L_0=2,72m$	$s_0=3,13\%$

Proef:S3H9	$H_{st}=0,137m$
$T=1,09s$	$L=1,55m$
$L_0=1,85m$	$s_0=3,7\%$

Proef:S3H10	$H_{st}=0,119m$
$T=1,09s$	$L=1,35m$
$L_0=1,85m$	$s_0=3,22\%$

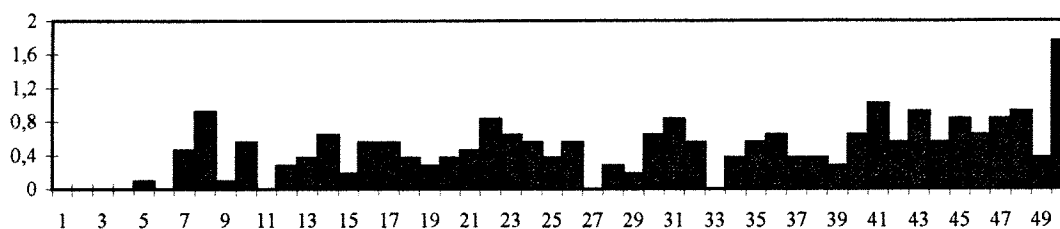
Proef:S3H11	$H_{st}=0,23m$
$T=1,54s$	$L=2,42m$
$L_0=3,7m$	$s_0=3,11\%$

S3H5



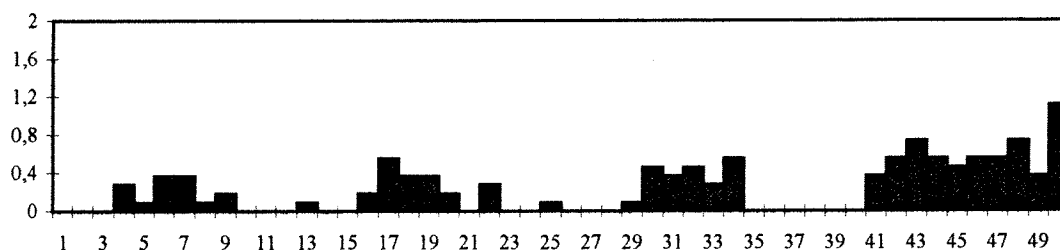
Tabel II.XVIII Schadedistributiediagram van proef S3H5. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=3,5\%$ en $L=3,04m$.

S3H6



Tabel II.XIX Schadedistributiediagram van proef S3H6. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,88m$.

S3H7



Tabel II.XX Schadedistributiediagram van proef S3H7. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=3,5\%$ en $L=2,45m$.

Proef: S3H12	H _{st} =0,304m	T=1,53s	L=2,36m	L ₀ =3,55m	s ₀ =4,28%	S _{max} =0,647%	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef:3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3	2	1	1	1		3	0,28
4							
5	3	2	1	2	2	4	0,56
6	2	2	2	2	3	3	0,56
7		2	2	1,33	2	2	0,37
8	1	2	2	1,67		5	0,46
9	1	2	3	2	4	2	0,56
10	2	2	1	1,67	1	4	0,46
11	1	1	2	1,33	2	2	0,37
12	2		2	1,33	1	3	0,37
13							
14			2	0,67	1	1	0,19
15	1		2	1	1	2	0,28
16	3	1	1	1,67	2	3	0,46
17	3	2	1	2	2	4	0,56
18	3	1	2	2	4	2	0,56
19	2	2	2	2	4	2	0,56
20	2	1	2	1,67	2	3	0,46
21	2	1		1	1	2	0,28
22	1	2	1	1,33	1	3	0,37
23		1	2	1	1	2	0,28
24	3	1	1	1,67	3	2	0,46
25		2	3	1,67	1	4	0,46
26	2	2	2	2	2	4	0,56
27	1	4	4	3	1	8	0,83
28	2	3	3	2,67	4	4	0,74
29	3	3	3	3	6	3	0,83
30	3	1	2	2	4	2	0,56
31	3	3	2	2,67	6	2	0,74
32	5	2	2	3	2	7	0,83
33	2	2	4	2,67	2	6	0,74
34	4	2	3	3	2	2	0,83
35	2	2	2	2		3	0,56
36		1	1	0,67	2		0,19
37	2	1	3	2	2	4	0,56
38	3	2	2	2,33	5	2	0,65
39	3	3	2	2,67	2	6	0,74
40	3	2	3	2,67	3	5	0,74
41	3	1	2	2	1	5	0,56
42	1	4	3	2,67		8	0,74
43	7	3	2	4	3	9	1,11
44	5	2	2	3		9	0,83
45	6	7	4	5,67	10	7	1,57
46	3	3	3	3	2	7	0,83
47	3	5	5	4,33	3	10	1,20
48	2	2	3	2,33	1	6	0,65
49	6	5	5	5,33	5	11	1,48
50	5	8	9	7,33	5	17	2,03

Proef. S3H13	H _{st} =0,347m	T=1,7s	L=2,71m	L ₀ =4,51m	s ₀ =3,86%	S _{max} =1,11%	
Rij	proef. 1	proef. 2	proef. 3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3	1		2	1		3	0,28
4	1	1	2	1,33	2	2	0,37
5		1	2	1	1	2	0,28
6	2	1	2	1,67	1	4	0,46
7	3	4	5	4	6	6	1,11
8	2	2	1	1,67	2	3	0,46
9							
10							
11	1	2	3	2	5	1	0,56
12		1	2	1		3	0,28
13	2		2	1,33	1	3	0,37
14	2	1		1	2	1	0,28
15		2	1	1	1	2	0,28
16	2	1	2	1,67	3	2	0,46
17	2	1		1		3	0,28
18	1	1	1	1	1	2	0,28
19	1	2	2	1,67	2	3	0,46
20	3	4	3	3,33	5	5	0,92
21	1	2	1	1,33	2	2	0,37
22	1	3	2	2	3	3	0,56
23							
24	1	2	1	1,33	1	3	0,37
25		2	1	1		3	0,28
26	2	1	1	1,33	2	2	0,37
27	1	1	1	1	3		0,28
28	2	1	2	1,67	1	4	0,46
29	1	2		1	1	2	0,28
30							
31		2	1	1	3		0,28
32	1	1	1	1	2	1	0,28
33	1	2	2	1,67	3	1	0,46
34	2	2	2	2	3	3	0,56
35	2	1	2	1,67	4	1	0,46
36	1		2	1	1	2	0,28
37	1	1	1	1	3		0,28
38							
39							
40	2		2	1,67	2	2	0,46
41	2	1		1		3	0,28
42	2	2	1	1,67	2	3	0,46
43	2	2	2	2	3	3	0,56
44	2	3	4	3	6	3	0,83
45	1	3	2	2	3	3	0,56
46	2	2	2	2	1	5	0,56
47	2	3	2	2,33	2	5	0,65
48	4	2	3	3	6	3	0,83
49	2	3	3	2,67	3	5	0,74
50	4	7	6	5,67	7	10	1,57

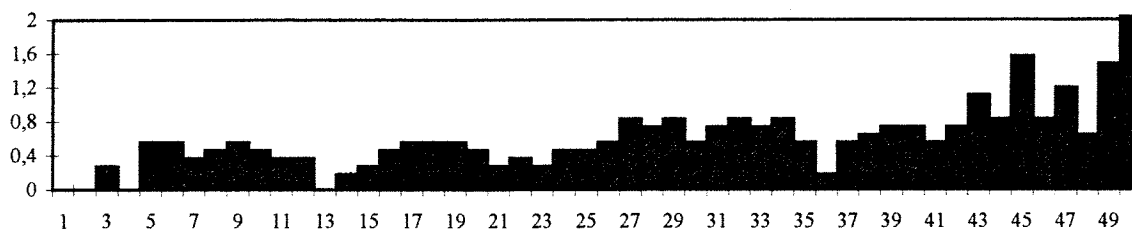
Proef: S3H14	H _{st} =0,311m	T=1,57s	L=2,47m	L ₀ =3,85m	s ₀ =4,04%	S _{max} =0,738%	
Rij	proef. 1	proef. 2	proef.3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4		2	2	1,33	2	2	0,37
5	2	2	2	2	3	3	0,56
6	4	2	2	2,67	6	2	0,74
7	3	2	3	2,66	4	4	0,74
8	1			0,33		1	0,09
9							
10							
11		2	1	1		3	0,28
12			1	0,33	1		0,09
13	2	1		1	1	2	0,28
14							
15	2	3		1,67	3	2	0,46
16							
17	1	2	1	1,33	1	3	0,37
18	2	3	3	2,66	2	6	0,74
19	2	2	1	1,67	2	3	0,46
20	2	2	5	3	6	3	0,83
21	1	3	2	2	3	3	0,56
22	2	2	2	2	4	2	0,56
23	2	1		1	3		0,28
24	1	1	1	1	2	1	0,28
25	2		2	1,33	2	2	0,37
26	1	2	1	1,33	2	2	0,37
27	1	2	1	1,33	3	1	0,37
28							
29							
30	2	1	1	1,33	1	3	0,37
31	2	2	2	2	3	3	0,56
32	4	2	3	3	6	3	0,83
33	1	2	2	1,67	1	3	0,46
34	2	2	2	2	1	5	0,56
35		1	2	1	3		0,28
36	1	1		0,67		2	0,19
37							
38	1	3	3	2,33	3	4	0,65
39	1	2	3	2	1	5	0,56
40							
41	2	2	2	2		6	0,56
42	3	2	2	2,33	5	2	0,65
43	3	2	7	4	4	8	1,11
44	2	2	2	2	3	3	0,56
45	2	1	1	1,33	3	1	0,37
46	1	2	1	1,33	1	3	0,37
47	4	4	6	4,67	5	9	1,30
48	2	2	3	2,33	1	6	0,65
49	5	4	5	4,67	3	11	1,30
50	5	6	5	5,33	4	12	1,48

Proef: S3H15	$H_{st}=0,193m$	$T=1,26s$	$L=1,89m$	$L_0=2,48m$	$s_0=3,89\%$	$S_{max}=0,09\%$	
Rij	proef: 1	proef: 2	proef: 3	Gem.	Opw.	Neerw.	Schade
1							
2							
3							
4							
5							
6	1			0,33		1	0,09
7							
8							
9			1	0,33		1	0,09
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17		1		0,33		1	0,09
18							
19		1		0,33		1	0,09
20							
21							
22							
23	1			0,33	1		0,09
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30			1	0,33		1	0,09
31							
32							
33				0,33		1	0,09
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42			1	0,33		1	0,09
43		1		0,33		1	0,09
44		1		0,33	1		0,09
45							
46	1			0,33	1		0,09
47							
48							
49		1	2	1	1	2	0,28
50	1	1		0,66		2	0,18

Proef:S3H16	$H_{st}=0,165m$
$T=1,16s$	$L=1,69m$
$L_o=2,1m$	$s_0=3,93\%$

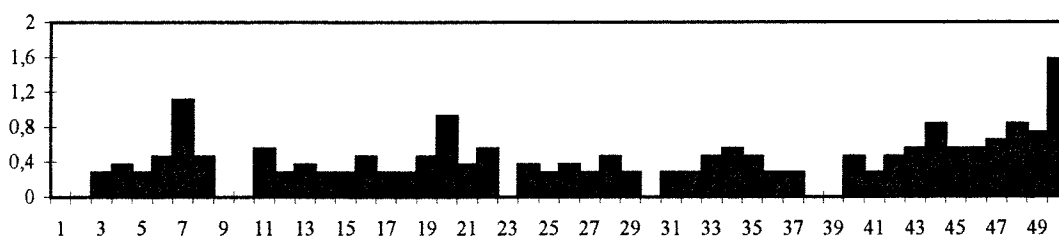
Proef:S3H17	$H_{st}=0,16m$
$T=1,21s$	$L=2,29m$
$L_o=1,79m$	$s_0=4,47\%$

S3H12



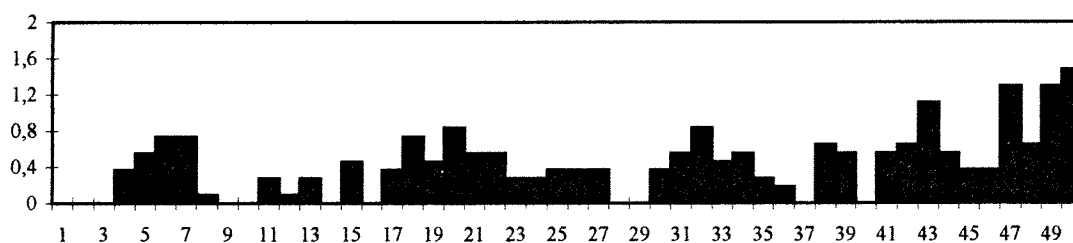
Tabel II.XXI Schadedistributiediagram van proef S3H12. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=4\%$ en $L=2,36m$.

S3H13



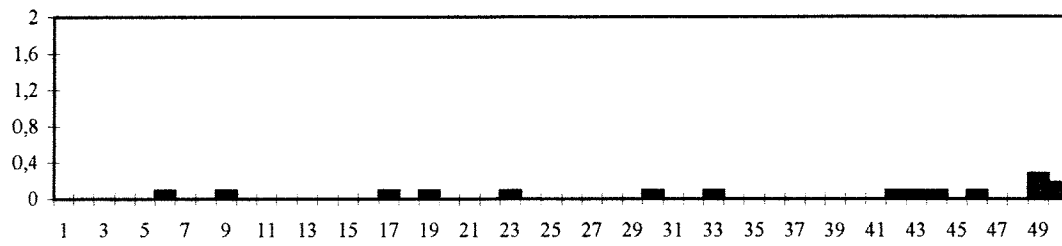
Tabel II.XXII Schadedistributiediagram van proef S3H13. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=4\%$ en $L=2,71m$.

S3H14



Tabel II.XXIII Schadedistributiediagram van proef S3H14. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86mm$, $\Delta=1,61$, $s_0=4\%$ en $L=2,47m$.

S3H15



Tabel II.XXIV Schadedistributiediagram van proef S3H15. De strooknummering loopt op vanaf de verticale wand. $D_{n50}=14,86\text{mm}$, $\Delta=1,61$, $s_0=4\%$ en $L=1,89\text{m}$.

Bijlage 3 Testprocedures

Uitgebreidere omschrijving procedure voor de golfproeven:

1. De frequentie en de uitslag van de het golfblad wordt afgesteld en door middel van het proefdraaien en bekeken of de golf stabiel en zonder te veel storingen is, waarna de golfbak wordt leeggepompt.
2. De stenen worden losgemaakt en in de bij de kleur behorende 10cm. brede stenen strook geplaatst.
3. De golfgoot wordt gevuld tot de stenen laag zo dat de stenen vlak gelegd kan worden op de waterspiegel.
4. Vullen van de golfgoot tot de benodigde diepte, 30cm. Dit gebeurt zonder dat dit invloed heeft op de los geplaatste stenen.
5. IJken van de golfhoogte meters door de EMS-meters op twee waterdiepten te bepalen, met deze waarden wordt door middel van het programma MAT-lab. De spanningsverschillen om gerekend naar waterhoogten of wel golfhoogten. Deze waarden zijn digitaal opgeslagen.
6. Start de golfmachine.
7. Er zijn 10 a 20 golven nodig voordat er een goede stabiele staande golf in de golfbak staat. De gemeten golfhoogte is de stabiele staande golf.
8. Stop test na 600 golven.
9. Tel de stenen die verplaatst zijn en bepaal de richting van de verplaatsing.
10. De golfgoot wordt leeggepompt doormiddel van een pomp
11. Deze procedure wordt 3 maal vanaf stap twee herhaalt.

Bijlage 4 Berekeningen

In deze bijlage zijn de berekeningen die voor dit rapport zijn gemaakt opgeschreven. Eerst zullen de berekeningen met de resultaten gepresenteerd die gebruikt zijn voor figuur 2.6. Daarna worden de berekeningen gepresenteerd die gemaakt zijn bij de analyse van de resultaten, met de bij behorende figuren en voor de vergelijking met de theorieën van Rance & Warren en Sleath & Jonsson.

Bewerking van formule (2.21) tot (2.22)

$$\eta = H/2 \sin(kx - \omega t) + (\pi H^2/8L) \cdot \cosh(kh) / \sinh^3(kh) [2 + \cosh(2kh)] \cdot \sin(2kx - 2\omega t) \quad (2.21)$$

De formule is gesplitst in een eerste orde deel, η_1 , en een tweede orde deel, η_2 .

Het eerste orde deel is:

$$\eta_1 = H_1 \sin(\omega t - kx) + H_1 \sin(\omega t + kx) \quad \text{IV.I}$$

$$= H_1 \sin(\omega t) \cos(kx) - H_1 \cos(\omega t) \sin(kx) + H_1 \sin(\omega t) \cos(kx) - H_1 \cos(\omega t) \sin(kx) \quad \text{IV.II}$$

met $H_1 = H_1 - \epsilon$ wordt IV.II:

$$\eta_1 = 2H_1 \sin(\omega t) \cos(kx) - \epsilon \sin(\omega t) \cos(kx) + \epsilon \cos(\omega t) \sin(kx) \quad \text{IV.III}$$

De eerste knoop van de staande golf bevindt zich op $1/4L$, hieruit volgt:

$$\eta_1(1/4L, t) = \epsilon \cos(\omega t) \quad \text{IV.III}$$

Het tweede orde deel is:

$$\eta_2 = C \sin(2\omega t - 2kx) + D \sin(2\omega t + 2kx) \quad \text{IV.IV}$$

waarin:

$$C = D = (\pi H^2/8L) \cdot \cosh(kh) / \sinh^3(kh) [2 + \cosh(2kh)]$$

Met de zelfde bewerking als IV.I volgt hieruit:

$$\eta_2 = 2C \sin(2\omega t) \cos(2kx) \quad \text{IV.V}$$

De eerste knoop van de staande golf bevindt zich op $1/4L$, hieruit volgt:

$$\eta_2 = -2C \sin(2\omega t) \quad \text{IV.VI}$$

Uit IV.III en IV.VI volgt:

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_2 + \eta_1 = -2C \sin(2\omega t) + \epsilon \cos(\omega t) \quad (2.22)$$

De waarden voor C van de experimenten uit paragraaf 3.5 zijn:

$$C_1 = 0,062 \text{ m}$$

$$C_2 = 0,063 \text{ m}$$

$$C_3 = 0,080 \text{ m}$$

Voor ingevoerde waarden zie bijlage 2.

Berekeningen gemaakt voor figuur 2.6:

De ingevoerde waarden zijn:

de amplitude van de verplaatsing van waterdeeltjes aan de bodem, a_0 van 0,1 m tot 19,9 m met stapgrootte van 0,1 m
Steendiameter, D , van 0,05 m

Berekening voor lijn van Jonsson & Sleath.

Golfwrijvingsfactor, f_w , is bepaald met de formule 2.26:

$$f_w = \exp[-5,977 + 5,213(a_0/k_s)^{-0,194}] \quad (2.26)$$

Hieruit volgt: $f_w = 0,241737$

Voor de bepaling van de waarden is formule 2,28 gebruikt.

$$a_0/[T^2 \Delta g] = 0.025(a_0/D_s)^{-2/3} \quad (2.28)$$

Berekening voor lijn van Rance & Warren.

Voor de bepaling van de waarden is formule 2,29 gebruikt.

$$a_0/T^2 \Delta g = 0.056 D_{50}/[2\pi^2 f_w a_0] \quad (2.29)$$

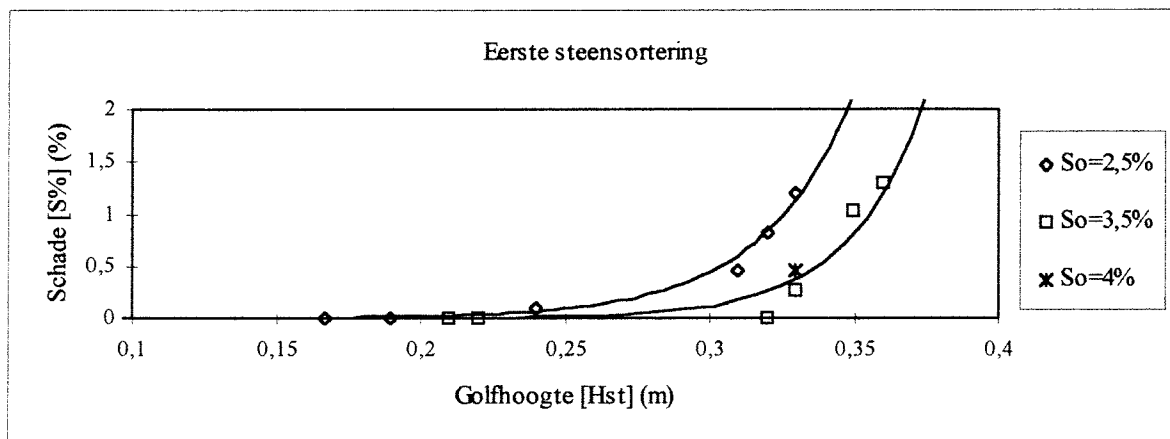
Berekeningen gebruikt bij de analyse van de resultaten.

De berekening van de schade curven.

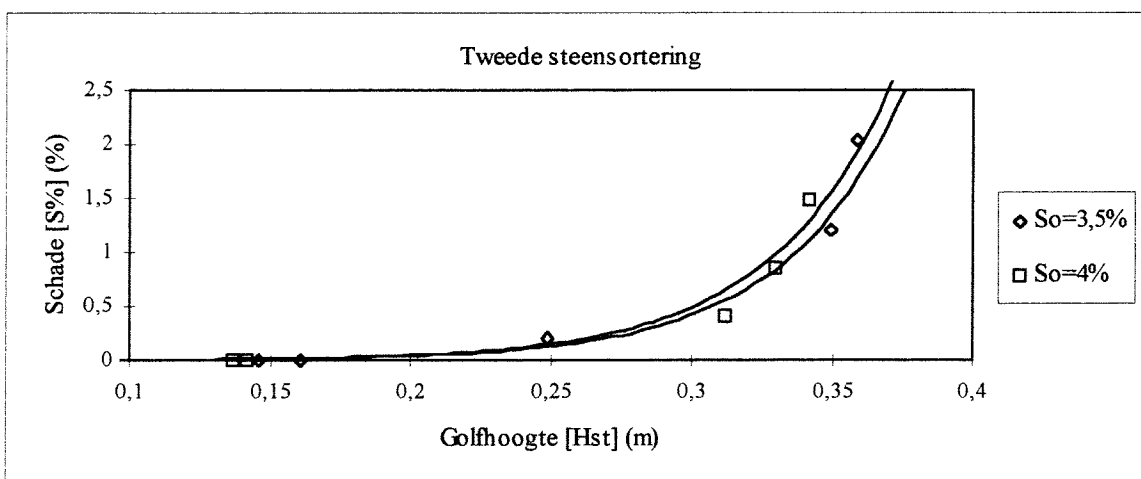
De maximale schadecurven zijn benaderd door formule :

$$S_{\%} = a \cdot \exp^{b \cdot H_{st}} \quad (5.1)$$

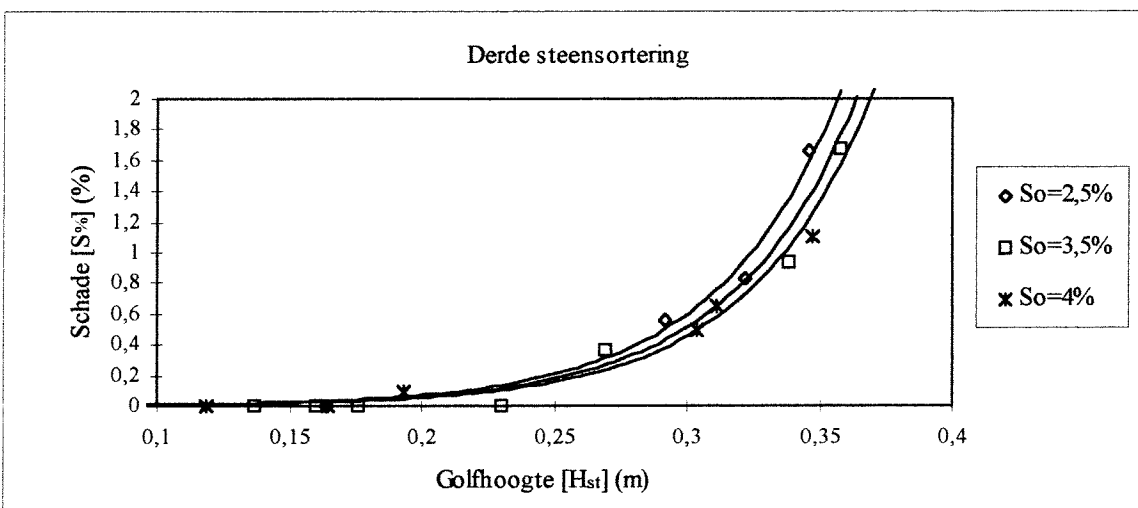
De curven zijn in de volgende drie figuren weergegeven.



figuur IV.I Uitgevoerde experimenten met de eerste steensortering met schadecurve



figuur IV.II Uitgevoerde experimenten met de tweede steensortering met schadecurve



figuur IV.II Uitgevoerde experimenten met de derde steensortering met schadecurve

De waarden van a en b zijn weergegeven in tabel 5.1.

Sortering	S ₀ (%)	a	b (1/m)
1	5	3·10 ⁻⁵	31,76 m ⁻¹
1	7	1·10 ⁻⁶	39,23 m ⁻¹
2	5	4·10 ⁻⁴	23,39 m ⁻¹
2	7	3·10 ⁻⁴	23,68 m ⁻¹
3	5	1·10 ⁻³	21,29 m ⁻¹
3	7	9·10 ⁻⁴	21,31 m ⁻¹
3	8	7·10 ⁻⁴	21,51 m ⁻¹

Tabel 5.1 Bepaalde constanten van schadecurven

De waarde van de golfhoogte die nodig is voor de verschillende schadepercentages is berekend met formule IV.I.

$$H_{st} = \ln[S_{\%}/a]/b \quad (\text{IV.VII})$$

Hierna is de golfhoogte gedeeld door de relatieve massadichtheid, Δ, en door de diameter van de verschillende steensoorten. In tabel IV.VII zijn de resultaten weergegeven.

Steilheid s ₀ (%)	H bij S _% =0,5%	H bij S _% =1%	H/ΔD _{n50} bij S _% =0,5%	H/ΔD _{n50} bij S _% =1%
5	0,3061	0,3279	11,066	11,855
7	0,3345	0,3522	12,095	12,734
7	0,3049	0,3345	14,285	15,674
8	0,3132	0,3425	14,677	16,049
5	0,2919	0,3245	12,202	13,562
7	0,2966	0,3291	12,396	13,756
8	0,3055	0,3377	12,767	14,114

Tabel IV.I Waarden voor figuur 5.2 en 5.3 'De vergelijkende figuren'

De formule voor de berekeningen voor het bepalen van de golfhoogten door de theorie van Rance & Warren is:

$$a_0 = (0,025 \cdot D^{2/3} \cdot T^2 \cdot \Delta \cdot g)^{3/5} \quad (\text{IV.VIII})$$

Formule IV.VIII is gelijk aan formule 2.30.

De formules voor de berekeningen voor het bepalen van de golfhoogten door de theorie van Jonsson/Sleath zijn:

$$a_0 = [(0,056 \cdot D \cdot T^2 \cdot \Delta \cdot g) / (2 \cdot \pi^2 \cdot f_w)]^{1/2} \quad (\text{IV.IX})$$

$$f_w = \exp[-5,977 + 5,213(a_0/D)^{-0,194}] \quad (2.26)$$

$$f_{w,max} = 0,30 \quad (2.27)$$

Formule IV.IX is gelijk aan formule 2.29.

Voor de verdere berekening met de beide theorieën zijn de volgende formules gebruikt:

$$\hat{u}_0 = \omega a_0 \quad (2.11)$$

$$L_0 = gT^2/2\pi \quad (2.5)$$

$$L = L_0 \tanh(kh) \quad (IV.IV)$$

$$H = T/\pi \cdot u_0 \sinh(kh) \quad (IV.V)$$

$$S_0 = H/L_0 \cdot 100\% \quad (2.4)$$

waarin: $k = 2\pi/L$

$$\omega = 2\pi/T$$

Formules IV.IV en IV.V zijn gelijk aan de formules 2.17 en 2.9.

In de formules zijn de vaste waarden die voor de experimenten zijn gebruikt voor de steendiameter, D , de waterdiepte, h en delta, Δ , ingevoerd. De golfperiode, T gekozen zodat de golfsteilheid, s_0 , voldoet. En de golflengte is iteratief bepaald. De waarden staan in tabel IV.II.

\steensoort steilheid s_0	$D_{n50}=14,9\text{mm},$ $\Delta=2$	$D_{n50}=10,9\text{mm},$ $\Delta=2$	$D_{n50}=14,9\text{mm},$ $\Delta=1,61$
5	8,34698		9,39054
7	10,3744	10,3297	11,8186
8		12,9914	13,0819

Tabel IV.II $H/\Delta D$ volgens de theorie van Rance & Warren gebruikt in de figuren 5.2 en 5.3.

\steensoort steilheid s_0	$D_{n50}=14,9\text{mm},$ $\Delta=2$	$D_{n50}=10,9\text{mm},$ $\Delta=2$	$D_{n50}=14,9\text{mm},$ $\Delta=1,61$
5	7,95953		8,87865
7	8,83933	9,97884	10,3042
8		11,2669	11,6579

Tabel IV.II $H/\Delta D$ volgens de theorie van Jonsson/Sleath gebruikt in de figuren 5.2 en 5.3.