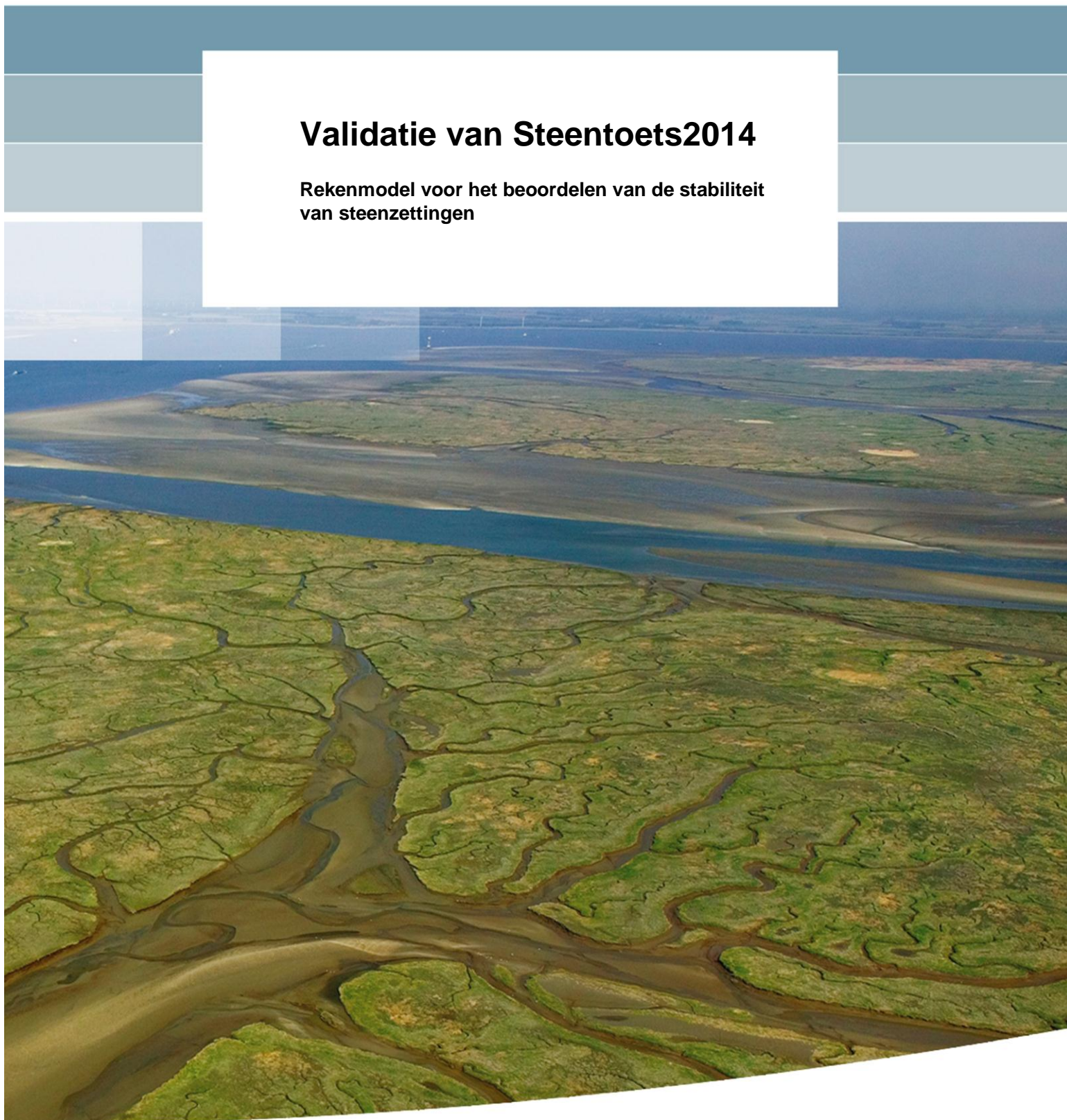


Validatie van Steentoets2014

**Rekenmodel voor het beoordelen van de stabiliteit
van steenzettingen**



Validatie van Steentoets2014

Rekenmodel voor het beoordelen van de stabiliteit van steenzettingen

M. Klein Breteler
G.C. Mourik

1208045-009

Titel

Validatie van Steentoets2014

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS WVL en Projectbureau Zeeweringen	1208045-009	1208045-009-HYE-0011	32

Trefwoorden

Steentoets, validatie, toetsing, steenzettingen, dijkbekledingen

Samenvatting

In het kader van de toetsing van de waterkeringen zoals voorgeschreven in de Waterwet dienen ook steenzettingen periodiek getoetst te worden. Dit wordt uitgevoerd met het Excel-programma Steentoets. Daarnaast kan Steentoets gebruikt worden als hulpmiddel voor het ontwerpen van steenzettingen.

De afgelopen jaren is het programma verder verbeterd, onder andere naar aanleiding van resultaten van recent onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen. Daarom is gekeken in hoeverre Steentoets nog goed aansluit op de beschikbare resultaten van grootschalig modelonderzoek met steenzettingen. Daarnaast zijn de trends beoordeeld.

Geconcludeerd wordt dat Steentoets nog uitstekend overeenkomt met de resultaten van grootschalige modelproeven en dat de trends goed verklaarbaar zijn. Daarom wordt geconcludeerd dat het geschikt is om te gebruiken voor het toetsen en ontwerpen van steenzettingen.




Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is Rijkswaterstaat WVL de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige onderzoek. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

Referenties

Waterdienst zaaknummer 31080349 / 4500210457 van 26 maart 2013

Contactpersoon Waterdienst: dhr. K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2.1	mei. 2012	M. Klein Breteler		B. Hofland		M.R.A. van Gent	
3.0	nov. 2013	M. Klein Breteler		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
3.1	Jan. 2014	M. Klein Breteler		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
3.1	febr. 2014	M. Klein Breteler		R. 't Hart		K.J. Bos	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Vergelijking met grootschalig modelonderzoek	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Schadecategorieën	3
2.3 Toelichting op tabellen A.1 t/m A.14 in bijlage A	4
2.4 Het optellen van afzonderlijke proeven tot een langeduurproef	5
2.5 Steenzettingen zonder granulaire laag en ingegoten steenzettingen	6
2.6 Plat gezette betonblokken op een filter	8
2.7 Betonblokken op hun kant	10
2.8 Zuilen	11
2.9 Overige natuursteenbekledingen	12
2.10 Steenzettingen boven de stilwaterlijn	13
2.11 Dubbele steenzetting	13
2.12 Buitentalud van havendammen	15
2.13 Kruin en binnentalud van havendammen	15
3 Analyses van de trends	17
3.1 Opzet en uitgangspunten	17
3.2 Invloed van de brekerparameter ξ_{om}	18
3.3 Invloed van de hoek van golfaanval	19
3.4 Invloed van de toplaagdikte	19
3.5 Invloed van het niveau van de bovenste overgangsconstructie	21
3.6 Invloed van de taludhelling	22
3.7 Invloed van de belastingduur	22
3.8 Invloed van de leklengte gerelateerde parameters	23
3.9 Invloed van de soortelijke massa van de toplaag	24
3.10 Invloed van het niveau van het voorland	24
4 Conclusies	27
5 Referenties	29
Bijlage(n)	
A Tabellen	A-1
B Figuren	B-1

1 Inleiding

In het kader van de toetsing van de waterkeringen zoals voorgeschreven in de Waterwet dienen ook steenzettingen periodiek getoetst te worden. Dit wordt uitgevoerd met het Excel-programma Steentoets (Klein Breteler, 2013). Daarnaast kan Steentoets gebruikt worden als hulpmiddel voor het ontwerpen van steenzettingen.

Het programma is ten behoeve van de toepassing in de derde toetsronde uitgebreid gevalideerd aan de hand van Deltagootproeven en er is een analyse uitgevoerd van de trends in de resultaten als parameters worden gewijzigd (Klein Breteler, 2009). De toenmalige versie van Steentoets betrof Steentoets2008, versie 0.80. Die versie is vrijwel gelijk aan die gedownload kan worden van de website van de Helpdesk Water:

<http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/@3672/steentoets-2008/>.

Sindsdien is de kennisontwikkeling op het gebied van de stabiliteit van steenzettingen verdergegaan. Deze nieuwe ontwikkelingen hebben geleid tot verbeteringen in het rekenmodel, zoals:

- Als de brekerparameter $\xi_{op} > 2$, dan wordt tevens beoordeeld of de stabiliteit bij $\xi_{op} = 2$ maatgevend is.
- Als de bovenste overgangsconstructie onder het toetspeil ligt, en de overgangsconstructie goed aansluit op de bovenste stenen, dan wordt dezelfde klemming aangehouden als wanneer de bovenste overgangsconstructie op het toetspeil had gelegen (Van Steeg, 2009).
- De criteria voor het beoordelen van steenzettingen boven de waterlijn zijn versoepeld (Van Steeg, 2009).
- Het berekenen van de belastingduur is veranderd, zodat het resultaat minder gevoelig is voor kleine veranderingen (Mourik, 2011).
- De locatie van de maximale belasting is verhoogd als er sprake is van ondiepe voorlanden (Mourik, 2011).
- Bij scheve golfaanval wordt er gerekend met een minimale richtingssectorbreedte van 30°: binnen de richtingssector, die loopt van 15° grotere tot 15° kleinere invalshoeken ten opzichte van de in Steentoets ingevoerde golfinvalshoek, wordt de meest loodrecht invallende golfrichting gekozen (Mourik, 2011).
- Gebruik van $T_{m-1,0}$ als karakteristieke golfperiode (Mourik e.a., 2013)

Om te kunnen beoordelen of deze ontwikkelingen nog steeds in lijn zijn met de beschikbare resultaten van grootschalig modelonderzoek is in deze rapportage opnieuw een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van Steentoets en de beschikbare grootschalige modelproeven. Daar is nu Steentoets2014, versie 1.00, voor gebruikt. Tevens zijn de trends weer geanalyseerd en is beoordeeld of deze realistisch zijn.

De Steentoets-berekeningen zijn in eerste instantie uitgevoerd zonder rekening te houden met de regel dat bij $\xi_{op} > 2$ ook gekeken moet worden of de stabiliteit bij $\xi_{op} = 2$ maatgevend is. Dat is gedaan omdat in sommige gevallen deze regel niet toegepast hoeft te worden, namelijk als aangetoond kan worden dat de betreffende golfhoogte bij de toetscondities niet kan samenvallen met een kleinere golfperiode. In dat geval moet Steentoets ook de juiste resultaten geven.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Adviesing steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is

opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is Rijkswaterstaat WVL de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige onderzoek. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

2 Vergelijking met grootschalig modelonderzoek

2.1 Inleiding

De resultaten van Steentoets2014 (versie 1.00) zijn vergeleken met grootschalig modelonderzoek. Er wordt hier geen gebruik gemaakt van kleinschalig modelonderzoek vanwege conflicterende schaalregels die het resultaat beïnvloeden (Klein Breteler, 1986). Verder is er geen gebruik gemaakt van regelmatige golfproeven omdat de vertaling naar de praktijk tot problemen leidt.

De onderliggende vergelijking is vooral gebaseerd op Deltagootproeven, vanwege de grote hoeveelheid beschikbare data. Daarnaast is er ook gezocht naar geschikt vergelijkingsmateriaal in de internationale literatuur. Dat leverde resultaten op van grootschalig modelonderzoek in de Large Wave Flume (Hannover), dat gerapporteerd is door RWTH Aachen University (RWTH, 2011). Voor details omtrent de modelproeven wordt verwezen naar tabellen A.1 t/m A.14 in bijlage A en naar paragraaf 2.3.

De vergelijking tussen de rekenresultaten en de proefresultaten is gegeven in de vorm van $H_s/(\Delta D) - \xi_{om}$ figuren (zie Figuur B.1 t/m B.27 in bijlage B). Hierbij zijn onder andere de volgende parameters gebruikt:

H_s	=	significante golfhoogte (op basis van inkomende energie) (m)
D	=	dikte van de toplaag (m)
Δ	=	$(\rho_s - \rho)/\rho$ = relatieve soortelijke massa van de stenen (-)
ρ_s	=	soortelijke massa van de stenen (kg/m^3)
ρ	=	soortelijke massa van water (kg/m^3)
ξ_{om}	=	$\tan\alpha/\sqrt{(H_s/(gT_{m-1,0}^2/(2\pi)))}$ = brekerparameter (-)
S_{op}	=	$H_s/(gT_p^2/(2\pi))$ = golfsteilheid op basis van diepwater golflengte (-)
T_p	=	golfperiode bij de piek van het spectrum (s)
$T_{m-1,0}$	=	spectrale golfperiode (s)
α	=	taludhelling ($^\circ$)

Er is steeds zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$) omdat gebleken is dat deze het golfveld beter karakteriseert in geval van brede en dubbeltoppige spectra. Als deze niet beschikbaar is, is er gerekend met $T_p/1,084$, omdat voor relatief smalle spectra (zoals Jonswap en PM) zo een geschikte karakteristieke periodemaat wordt verkregen (Mourik e.a. 2013).

De lijnen in deze figuren zijn steeds berekend met Steentoets2014. De lijnen geven als functie van ξ_{om} de hoogste waarde van $H_s/(\Delta D)$ waar nog net het toetsresultaat 'goed' verkregen wordt. De punten in de figuren zijn de meetresultaten uit modelonderzoek. Hierbij is de volgende systematiek gehanteerd:

- open symbolen: schadecategorie a en b (zie paragraaf 2.2)
- dichte symbolen: schadecategorie c en d (zie paragraaf 2.2)
- symbolen en lijnen van dezelfde kleur horen bij elkaar.

2.2 Schadecategorieën

De genoemde schadecategorieën, bepaald in meetseries met toenemende golfhoogte, zijn als volgt gedefinieerd:

- a) De grootste golfhoogte (H_s) waarbij een verplaatsing van een blok ten opzichte van een naastliggend blok kleiner dan 10 % van de dikte van het blok optrad. In de praktijk was bij deze golfhoogte doorgaans nog geen waarneembare schade aanwezig. Vooral wanneer zelfs na afloop van een modelproef nog geen schade was ontstaan, heeft dit meetpunt gewoonlijk betrekking op een verplaatsing van ca. 0 % (geen schade).
- b) De kleinste golfhoogte (H_s) waarbij een verplaatsing van een blok ten opzichte van een naastliggend blok tussen 10% en 20% van de dikte van het blok optrad.
- c) De kleinste golfhoogte (H_s) waarbij een verplaatsing van een blok ten opzichte van een naastliggend blok tussen 20% en 50% van de dikte van het blok optrad.
- d) De kleinste golfhoogte (H_s) waarbij een verplaatsing van een blok ten opzichte van een naastliggend blok groter dan 50% van de dikte van het blok optrad (meestal is het blok dan door de golven geheel uit de bekleding gelicht).

In het ideale geval zouden de berekende lijnen overeen moeten komen met de proefresultaten uit de schadecategorie c.

Voor het vaststellen van de schadecategorie wordt gewoonlijk gekeken naar het hoogteverschil tussen twee stenen, loodrecht op het talud, ter plaatse van de tegen elkaar geplaatste zijden.

Bij het grootschalige modelonderzoek in Hannover (RWTH, 2011) is echter een iets andere methode aangehouden. In dat onderzoek is de stabiliteit onderzocht van onder meer diverse typen Verkalit-Deckwerksteinen. Dat zijn plat gezette blokken met langs twee zijden een uitstekende randen en langs twee zijden een uitsparing, waardoor aangrenzende blokken in elkaar grijpen (interlock-systeem). Bij schade komen blokken niet individueel maar in groepsverband uit het talud omhoog. Tegen elkaar geplaatste blokzijden zullen daardoor gewoonlijk niet in hoogte verschillen. Volgens de standaard methode zou dat vrijwel altijd schade a opleveren, en eventueel schade d (in het geval de steenzetting zou opbarsten). Om de ontstane schade bij de Verkalit-Deckwerksteinen toch te kunnen categoriseren op een vergelijkbare wijze als bij andere modelonderzoeken is het hoogteverschil bepaald door te kijken naar de hoogte (t.o.v. het oorspronkelijke talud) van de blokzijden die het dichtst bij de kruin liggen.

2.3 Toelichting op tabellen A.1 t/m A.14 in bijlage A

Een uitgebreid overzicht van de details omtrent de modelproeven, waarmee Steentoets2014 is vergeleken, is gegeven in tabellen A.1 t/m A.14 in bijlage A.

De modelproeven zijn gegroepeerd per steenzettinggroep, conform de paragraafindeling van het onderhavige hoofdstuk. Per steenzettinggroep zijn steeds twee tabellen gegeven: een tabel met constructie-eigenschappen en een tabel met hydraulische condities.

De tabel met constructie-eigenschappen geeft de constructieparameters zoals deze rechtstreeks in Steentoets2014 ingevuld kunnen worden. Om zo goed mogelijk op Steentoets2014 aan te sluiten zijn in de tabellen dezelfde kolomkoppen gebruikt als in Steentoets. Omdat van de modelproeven echter geen niveaus bekend zijn t.o.v. NAP, zijn de in de tabellen vermelde niveaus in werkelijkheid niveaus t.o.v. de gootbodemp. Op de resultaten van de Steentoetsberekeningen heeft dat overigens geen invloed.

Wanneer in de tabellen cellen blanco zijn gehouden, dan kan òf gerekend worden met de default waarde òf de betreffende cellen zijn niet van toepassing voor dat type steenzetting. De betreffende cellen kunnen ook in Steentoets2014 dus blanco blijven.

De typen toplagen en onderlagen van de steenzetting worden in Steentoets2014 aangeduid middels respectievelijk een nummer en een code. Tabel 2.1 en Tabel 2.2 geven een overzicht van de in de bijlage A genoemde typen toplagen en onderlagen.

Nr.	Omschrijving type toplaag
10	Betonblokken met afgeschuinde hoeken of gaten erin
11	Betonblokken zonder openingen
11,1	Haringmanblokken (uitsparing verdisconteerd in soortelijke massa)
11,4	Blokken op hun kant
11,5	Blokken op hun kant met afstandhouders
26	Basalt, gezet
26,01	Basalt, gezet, ingegoten met gietasfalt
26,1	Basalt, waarbij op een apart terrein de slechte zuilen eruit gehaald zijn
27,1	Basalton
27,11	Basalton, ingegoten met gietasfalt
27,2	PIT Polygoon zuilen
27,3	Hydroblocks
27,4	Ronaton
27,5	C-Star
27,6	Hillblocks
28,1	Vilvoordse steen
28,5	Graniet
28,52	Graniet, ingegoten met beton
29	Koperslakblokken

Tabel 2.1 Overzicht van in tabellen A.1 t/m A.14 genoemde typen toplagen.

Code	Omschrijving type onderlaag
st	Steenslag
my	Mijnsteen (breed gegradeerd)
ge	Geotextiel
gr	Grind
vl	Vlijlaag (mits het minstens 2 lagen zijn en in goede staat)
pu	Puin
kl	Klei
as	zandasfalt

Tabel 2.2 Overzicht van in tabellen A.1 t/m A.14 genoemde typen onderlagen.

2.4 Het optellen van afzonderlijke proeven tot een langeduurproef

Proevenseries zijn veelal opgebouwd uit achtereenvolgens een serie korteduurproeven en daarna één of meer langeduurproeven. Tussen de korteduurproeven wordt eventuele schade steeds hersteld en wordt indien van toepassing opnieuw ingewassen, waardoor die proeven als afzonderlijke proeven beschouwd kunnen worden. Korteduurproeven bestaan gewoonlijk uit circa 1000 golven, terwijl langeduurproeven uit vele duizenden golven kunnen bestaan. Om gedurende langeduurproeven metingen te verrichten worden die tussentijds vaak enkele keren stilgelegd, zonder dat ontstane schade daarbij wordt hersteld. Van de afzonderlijke proefgedeelten verschillen de hydraulische condities vaak enigszins, maar ze kunnen tot één proef opgeteld worden volgens de methode die beschreven staat in Klein Breteler (2006c).

De significante golfhoogte en perioden van de totale proef kunnen bepaald worden op basis van het gewogen gemiddelde van de energie (energie maal aantal golven):

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_o} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i m_{-1i})}{\sum_{i=1}^n (N_i m_{oi})} \quad (2.1)$$

$$H_{sN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i H_{si}^2)}{\sum_{i=1}^n N_i}} \quad (2.2)$$

$$T_{pN} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i H_{si}^2 T_{pi})}{H_{sN}^2 \sum_{i=1}^n N_i} \quad (2.3)$$

Met:

H_{sN} = significante golfhoogte, gemiddeld over de beschouwde proeven (m)

T_{pN} = golfperiode bij de piek van het spectrum, gemiddeld over de beschouwde proeven (s)

N_i = aantal golven in proef i (-)

H_{si} = significante golfhoogte in proef i (m)

T_{pi} = de golfperiode tijdens proef i, bij de piek van het spectrum (s)

n = aantal proeven (-)

$T_{m-1,0}$ = golfperiode op basis van het spectrum ($T_{m-1,0} \approx T_p/1,1$) (s)

m_o = $\int E(f) df$ = nulde moment van de energiedichtheid (oppervlak onder het spectrum) (m^2)

m_{-1} = $\int f^{-1} \cdot E(f) df$

$E(f)$ = energiedichtheid als functie van f (grafiek van het spectrum) (m^2s)

f = golffrequentie = $1/T$ (Hz)

Verder geldt dat het aantal golven van de totale langeduurproef gelijk is aan de som van het aantal golven van de afzonderlijke proeven. De golfsteilheid (s_{op}) en de brekerparameter (ξ_{op} of ξ_{om}) van de totale proef worden berekend met H_{sN} en T_{pN} of $T_{m-1,0}$.

2.5 Steenzettingen zonder granulaire laag en ingegoten steenzettingen

In Steentoets worden de meest gebruikte steenzettingen doorgerekend met een set formules die nauw aansluiten op de fysische processen die spelen tijdens de belasting van de steenzetting met brekende golven. Dat zijn steenzettingen op het buitentalud of buitenberm met een granulaire laag (uitvullaag en/of filter) zonder ingegoten toplaag. Voor steenzettingen op de kruin en het binnentalud van havendammen zijn de formules al veel grofstoffelijker, maar voor steenzettingen zonder granulaire laag is slechts de relatie gelegd tussen de

golfcondities en het onderwatergewicht van de steenzetting per vierkante meter in de vorm van een lijn in de $H_s/(\Delta D) - \xi_{om}$ grafiek. Dit laatste wordt het Black box model genoemd.

In alle beschikbare literatuur is gezocht naar resultaten van grootschalig modelonderzoek met proeven die uitgevoerd zijn met onregelmatige golven en die bovendien nagerekend kunnen worden met het Black box model van Steentoets. Dit betreft steenzettingen zonder filterlaag en steenzettingen met een ingegoten toplaag.

De speurtocht in de literatuur heeft 7 onderzoeken opgeleverd met bruikbare resultaten:

- Grootschalig onderzoek tbv de Oesterdam (Den Boer, 1982)
- Verweking van zand onder een steenzetting met talud 1:3 onder invloed van golfbelasting (Lindenberg 1988)
- Stabiliteit van steenzetting met klei-onderlaag (Wouters, 1993)
- Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen (Smith e.a., 2000)
- Stabiliteit ingegoten basalt en afschuiving ondergrond (Hofland en Klein Breteler, 2006)
- Geavanceerde toetsing van steenbekleding op Afsluitdijk (Klein Breteler, 2007b)
- Stabiliteit van 'modifizierte Verkalit-Deckwerksteinen' op geotextiel op zand (RWTH, 2011)

De belangrijkste eigenschappen van de modelonderzoeken zijn gegeven in tabellen A.1 en A.2 (zie bijlage A). Daarin zijn ook de golfcondities, waterstand, belastingduur en resulterende schade vermeld.

De resultaten van de proeven zijn in de $H_s/\Delta D - \xi_{om}$ grafieken in Figuur B.1 tot en met B.3 (zie bijlage B) gegeven, samen met de resultaten van berekeningen met het rekenmodel Steentoets2014. De Steentoetsresultaten hiervan betreffen de grens tussen goed en twijfelachtig. Ter vergelijking zijn ook de formules uit de VTV2006 ingetekend.

De resultaten voor steenzettingen op geotextiel op zand (Black box type 1) zijn gegeven in Figuur B.1. De rekenresultaten met Steentoets2014 liggen exact op de ondergrens van het VTV-criterium, hetgeen te verwachten was, omdat de formules hetzelfde zijn.

De meeste meetresultaten liggen mooi in het midden van het twijfelachtige gebied en een enkel meetpunt ligt rond de bovengrens van het VTV-criterium.

De resultaten voor steenzettingen op klei of op zandasfalt (Black box type 2) zijn gegeven in de bovenste grafiek van Figuur B.2. Het beeld is vergelijkbaar met Figuur B.1: de grens tussen goed en twijfelachtig van Steentoets2014 komt overeen met de ondergrens van het VTV-criterium en de metingen liggen mooi in het twijfelachtige gebied.

In de onderste grafiek van Figuur B.2 zijn de resultaten voor goed ingegoten basalt gegeven. De lijnen van het VTV-criterium ontbreken hier, omdat dit constructietype nog niet in de VTV2006 stond vermeld. Voor de rekenresultaten van Steentoets2014 is onderscheid gemaakt tussen de half ingegoten basalt en de volledige ingegoten basalt. Voor die laatste zijn er twee lijnen in de figuur getekend, omdat er bij de verschillende proeven verschil in waterstand en belastingduur was.

Het blijkt dat de rekenresultaten goed overeenkomen met de metingen. De metingen zonder schade liggen namelijk onder de lijn en die met schade liggen er net boven.

De steenzetting die overgoten is met gietasfalt uit het onderzoek van 1997/1998 (Smith e.a., 2000) wordt door Steentoets2014 doorgerekend met het Black box model alsof het een overgoten zetting van type 3c is (zie blz. 77 in het Technisch Rapport Steenzettingen, deel Toetsing). De resultaten zijn gegeven in de bovenste grafiek van Figuur B.3. De overgang

van geen schade naar schade blijkt hoog in het twijfelachtige gebied te liggen. Dat betekent dat de formules vrij conservatief zijn.

Het onderzoek ten behoeve van de Afsluitdijk (Klein Breteler, 2007b) heeft concrete resultaten opgeleverd m.b.t. de stabiliteit van een steenzetting boven de waterlijn. Het betrof een steenzetting van granietblokken met DV-voegvulling op zand en klei. Deze wordt volgens de systematiek van Steentoets2014 ingedeeld bij het Black box type 2. Doordat de steenzetting boven de waterlijn ligt, wordt er gerekend met een rekenwaarde van de toplaagdikte die groter is dan de werkelijke dikte.

De resultaten zijn in de onderste grafiek van Figuur B.3 gegeven. Het blijkt dat het meetpunt zonder schade ver boven de berekende lijnen ligt. Dat betekent dat de steenzetting boven de waterlijn veel stabiel is dan volgens Steentoets2014. Dit geldt overigens waarschijnlijk voor alle type steenzettingen boven de waterlijn.

Concluderend kan gesteld worden dat uit de vergelijking tussen de metingen en Steentoets2014 blijkt dat de rekenresultaten goed overeenkomen met de metingen, behalve voor de steenzetting boven de waterlijn. In het laatste geval zijn de rekenregels kennelijk erg conservatief.

2.6 Plat gezette betonblokken op een filter

Er zijn in het verleden veel metingen in de Deltagoot uitgevoerd met betonblokken die plat op een filterlaag zijn gezet. Alle details omtrent deze proeven zijn samengevat in tabellen A.3, A.4, A.5 en A.6. De meetresultaten zijn samen met de rekenresultaten van Steentoets2014 gegeven in Figuur B.4 tot en met B.10.

In Figuur B.4 zijn de proeven gegeven die in 1997 zijn uitgevoerd in de Deltagoot (Smith e.a., 2000) met blokken van 50x50 cm² en een dikte van 0,20 en 0,25m. Deze proeven zijn uitgevoerd met een 5 m brede berm op 5 m boven de gootbodem. De proeven uit serie 4 zijn uitgevoerd met al dan niet dichtgeslibde spleten en een dichtgeslibd filter. De proeven uit serie 6 zijn uitgevoerd met een bijzonder breed spectrum. De constructie was echter identiek aan die van serie 5, waardoor de rekenresultaten van Steentoets2014 ook identiek zijn. Het blijkt dat alle proeven met schade boven de lijnen van Steentoets2014 liggen. Sommige punten zonder schade liggen echter ook boven de lijnen, en dat maakt het rekenmodel wat conservatief.

De meetresultaten in Figuur B.5 zijn verkregen in Deltagootonderzoek dat is uitgevoerd in 1998 (Smith e.a., 2000) met grote en kleine blokken. In dit onderzoek is ook aandacht geweest voor schaaffecten.

We zien dat de proefresultaten met de kleine blokken netjes overeenkomen met de rekenresultaten, want de punten met schade liggen boven de lijn en die zonder schade liggen eronder.

Voor de grote blokken is dit echter niet het geval. Zeker proef 20ao4 (blauwe ruit) ligt ver onder de berekende lijn. Deze proef is uitgevoerd met blokken met brede stootvoegen, zonder inwasmateriaal in de spleten. Dit maakt dat de blokken meer vrijheid om te bewegen hebben dan normaal. Deze blokken gingen tijdens de proeven zijdelings schuiven, zodat er plaatselijk zeer brede spleten ontstonden en op andere plaatsen vrijwel dichte spleten. Deze vrijheid heeft kennelijk ervoor gezorgd dat er al bij een vrij lage golfhoogte instabiliteit

optreedt. Een vergelijkbaar resultaat is ontstaan tijdens serie 12b (Smith e.a., 2000). De proeven 20ao3 en 20ao4 kunnen daarom niet goed vergeleken worden met het rekenmodel.

De proeven 20ao05 t/m 20ao08 zijn ook uitgevoerd met grote blokken met brede stootvoegen, maar die stootvoegen waren gevuld met steenslag. Daardoor was er veel minder vrijheid voor de blokken om zijdelings te schuiven. Desondanks ligt het schadepunt toch iets onder de berekende lijn, mogelijk omdat er na verloop van tijd veel inwasmateriaal uitspoelt en de blokken toch zijdelings kunnen gaan schuiven.

Het wordt afgeraden om dit constructietype in de praktijk toe te passen.

De proeven met blokken uit het eindverificatie-onderzoek (Wouters, 1991) zijn gegeven in Figuur B.6. Hier geldt dat er veel punten zonder schade ver boven de berekende lijnen liggen, zodat geconcludeerd kan worden dat voor deze bekledingen het rekenmodel erg conservatief is.

Hetzelfde beeld is te zien in Figuur B.7. Hier zijn de resultaten van langeduurproeven op Haringmanblokken gegeven, en proeven op Armorflexblokken zonder kabels.

Mogelijk is er in de Deltagoot soms sprake van enige klemming, waardoor de stabiliteit hoger is dan volgens het rekenmodel.

De proeven uit de tachtiger jaren zijn weergegeven in Figuur B.8. Hoewel er van alles gevarieerd is aan de bekledingen, zoals gaten in de blokken e.d., is de stabiliteit er niet erg door beïnvloed. De berekeningen blijken hier goed mee overeen te stemmen. Het rekenmodel is wat conservatief te noemen. Het verschil tussen de rekenresultaten en de metingen is nu veel kleiner dan in Figuur B.7. Mogelijk is dat een gevolg van het feit dat hier gewerkt is met blokken op pennen, zodat er zeker geen klemming is opgetreden.

In Figuur B.9 zijn grootschalige modelproeven gegeven die zijn uitgevoerd in Hannover (RWTH, 2011). De proeven zijn uitgevoerd om de stabiliteit van diverse typen Verkalit-Deckwerksteinen te onderzoeken. De Verkalit-Deckwerksteinen in Figuur B.9 zijn betonnen rechthoekige blokken met zijden van 0,30 m en een dikte van 0,18 m. De blokken bevatten aan twee zijden een uitstekende rand en aan twee zijden een uitsparing, waardoor aangrenzende blokken in elkaar grijpen (interlock-systeem). Omdat daardoor verhinderd wordt dat individuele blokken uit het talud gedrukt worden, is voor Verkalit-Deckwerksteinen de schadecategorie iets anders bepaald dan bij andere modelonderzoeken (zie paragraaf 2.2). De meetpunten van Standard- en haufwerksporige Verkalit-Deckwerksteinen vallen allemaal binnen schadecategorie a en die van modifizierte Verkalit-Deckwerksteinen vallen binnen categorie b.

Omdat Verkalit-Deckwerksteinen niet standaard in Steentoets ingevoerd kunnen worden, zijn de blokken in Steentoets gemodelleerd als koperslakblokken met klemming.

Een opmerkelijk aspect van de constructie is de grote dikte van het geotextiel onder de filterlaag: afhankelijk van de proef 1 of 3 cm. In Nederland wordt een dergelijk dik geotextiel niet onder steenzettingen toegepast, waardoor het bijgevolg niet direct in Steentoets kan worden ingevoerd. Het geotextiel is daarom in Steentoets gemodelleerd als een tweede filterlaag met dezelfde dikte als het geotextiel en met $D_{f15} = 0,56$ mm. Daarmee wordt een laag met dezelfde dikte en waterdoorlatendheid ($2,86 \cdot 10^{-3}$ m/s) gesimuleerd.

Er wordt opgemerkt dat eventuele schade tussen de afzonderlijke proeven niet is hersteld. Dat maakt van een totale proevenserie dus in principe één langeduurproef. Doordat de golfhoogten en perioden echter dermate veel van elkaar verschillen, zijn toch niet alle proeven bij elkaar opgeteld. De gemiddelde H_s zou aanzienlijk lager zijn dan de maximaal

opgetreden H_s . Afzonderlijke proeven moesten in veel gevallen dus toch beschouwd worden als losstaande proeven. Van de proevenseries met schade a is bij diverse waarden van de golfsteilheid de proef geselecteerd met de grootst opgetreden H_s . Uitsluitend wanneer rond de beschouwde golfsteilheid meerdere proeven een vergelijkbare golfsteilheid (+ of - 10%) en H_s (tot 5% kleiner dan de maximale H_s bij die golfsteilheid) hebben, zijn proeven bij elkaar opgeteld.

De meetpunten met schade a van niet-opgetelde proeven vallen ruim onder de berekende lijn. De meetpunten met schade a van opgetelde proeven en meetpunten met schade b vallen over het algemeen vrij dicht onder de berekende lijn. Vanwege het uitblijven van schades van de categorieën c en d kan gesteld worden dat de steenzettingen helaas niet zwaar genoeg zijn belast voor een goede vergelijking met Steentoets2014. Maar desondanks duiden de resultaten niet op een foutieve berekening door Steentoets2014.

Figuur B.10 heeft eveneens betrekking op de grootschalige modelproeven die zijn uitgevoerd in Hannover (RWTH, 2011). Gedurende één proevenserie werd een steenzetting getest van het type Pflasterstein: rechthoekige betonblokken zonder interlock met zijden van 0,30 m en een dikte van 0,18 m. Net zoals bij de in Figuur B.9 behandelde proeven is ook bij de Pflastersteinproeven in Figuur B.10 het 3 cm dikke geotextiel gemodelleerd als een 3 cm dikke tweede filterlaag met $D_{f15} = 0,56$ mm.

In tegenstelling tot de Verkalit-Deckwerksteinen hebben Pflastersteinen vlakke zijanten, waardoor ze wel als individueel blok uit het talud gedrukt kunnen worden. Gedurende de proevenserie werden schades a, b en d geconstateerd. De meetpunten zijn ingetekend in de grafiek, evenals de berekende lijn (blauwe lijn met vierkante markers). Opmerkelijk is dat alle meetpunten, inclusief die van schade d, ruim onder de berekende lijn vallen. Dat zou betekenen dat Steentoets2014 in dat geval te onveilig rekent. Nadere beschouwing van de proeven geeft een mogelijke verklaring. Volgens RWTH (2011) is in het filter steenslag gebruikt met een korrelverdeling van 2-16 mm en een porositeit $n = 0,177$. De lijn met vierkante markers is gebaseerd op die gegeven porositeit en een geschatte $D_{f15} = 3$ mm. De gegeven porositeit is echter onrealistisch laag: gewoonlijk is n zelden kleiner dan 0,3. Daarnaast betreft de D_{f15} een schatting en kan eveneens enkele mm groter zijn. Door n en D_{f15} te variëren is gezocht naar een lijn, die net onder het meetpunt met schade d doorgaat. Dat blijkt het geval voor $n = 0,3$ in combinatie met $D_{f15} = 5$ mm, beide realistische waarden (zie de blauwe lijn met driehoekige markers).

Hoewel Steentoets2014 in eerste instantie onveilig lijkt, is dat resultaat mogelijk toe te schrijven aan onzekerheid betreffende de invoergegevens.

2.7 Betonblokken op hun kant

De proefresultaten met betonblokken op hun kant op een filterlaag zijn te vinden in tabel A.7 en A.8, en in de Figuren B.11 tot en met B.14.

De proeven uit 1998 (Smith e.a. 2000, zie Figuren B.11 t/m B.13) zijn uitgevoerd met een talud van 1:3,5 met een 5 m brede berm op 5 m boven de gootbodem. In de figuren is te zien dat de schadepunten steeds boven de berekende lijnen liggen. Bij proef 12ao11 (Figuur B.11) is de afstand tot de berekende lijn echter vrij klein.

In serie 21 en 23 (Figuur B.13) liggen de punten zonder schade vrij ver boven de berekende lijnen, behalve die voor blokken op hun kant met brede stootvoegen zonder inwassing (groene punten en lijn). Hier speelt hetzelfde probleem als bij proef 20ao4 in Figuur B.5. Tijdens de proeven gingen de blokken in zijdelings richting verschuiven, waarna tijdens proef

23o2 al bij een relatief lage belasting begin van beweging werd geconstateerd. Dat het rekenmodel een veel hogere bezwijkbelasting geeft, komt doordat het geen rekening houdt met die bewegingsvrijheid. Het is daarom ook niet aan te bevelen een dergelijke steenzetting in de praktijk te bouwen.

De langeduurproeven met blokken op hun kant zijn gegeven in Figuur B.14. De schadepunten liggen weer allemaal boven de berekende lijnen, waaruit blijkt dat het rekenmodel conservatief is.

2.8 Zuilen

Een overzicht van de proefresultaten en constructie-eigenschappen m.b.t. steenzettingen met zuilen (Basalton, Hydroblocks, basalt, C-Star, Pit-polygoonzuilen, Hillblocks en Rona®Ton+) is opgenomen in tabellen A.9, A.10, A.11 en A.12. De proefresultaten zijn samen met de rekenresultaten weergegeven in Figuur B.15 tot en met B.20.

In Figuur B.15 zijn de metingen en berekeningen weergegeven van proeven met Basalton. Een aantal proeven daarvan is uitgevoerd in het kader van een onderzoek naar de invloed van een overgangsconstructie op de stabiliteit (Van Steeg e.a., 2009). Een deel van de meetpunten heeft betrekking op de stabiliteit van de Basaltonzetting onder de overgangsconstructie en één meetpunt op de stabiliteit erboven. Ter referentie is tevens een deel van de steenzetting uitgevoerd zonder overgangsconstructie, waaruit eveneens een meetpunt volgde. Overige proeven worden beschreven in Klein Breteler e.a. (2005), Eysink e.a. (2003), V.d. Wijde e.a. (1983) en Wolters e.a. (2010).

Een groot aantal metingen heeft betrekking op proeven waarbij geen schade ontstond (schade a). In de meeste gevallen liggen deze meetpunten onder de lijn, waardoor die proeven minder relevant zijn voor de validatie. In een aantal gevallen liggen de meetpunten met schade a echter vlak tot ruim boven de berekende lijn. In die gevallen blijkt Steentoets2014 conservatief te rekenen.

In twee gevallen is schade d ontstaan. Het groene meetpunt ligt net boven de groene lijn, wat duidt op een goede overeenkomst tussen Steentoets2014 en de meting. Het gele meetpunt ligt ruim boven de berekende lijn. Doordat ook het bijbehorende gele meetpunt met schade a ruim boven de lijn ligt, kan gesteld worden dat Steentoets2014 voor dat geval te conservatief rekent.

De formules komen in een enkel geval goed overeen met de metingen, maar zijn over het algemeen vrij conservatief.

In Figuur B.16 zijn de metingen en berekeningen met Hydroblocks gegeven. Het blijkt dat het zwarte meetpunt met schade nog net boven de zwarte berekende lijn (korte duur stabiliteit) ligt. De blauwe ruit (schade) ligt echter onder de berekende lijn en dat is in principe niet goed. In dit geval gaat het echter om hergebruikte Hydroblocks waarvan door Klein Breteler e.a. (2005) al was vastgesteld dat deze een lagere stabiliteit hebben dan de nieuwe Hydroblocks die normaal gebruikt worden. Daarom is een apart type steenzetting in Steentoets toegevoegd: hergebruikte zuilen (type 27.09). In dat geval is het toetsresultaat nooit beter dan "geavanceerd". In deze figuur is de berekening uitgevoerd met toplaagtype 27.3, zodat het meetpunt vergeleken kan worden met het resultaat van Steentoets met normale Hydroblocks. Ook voor relatief lange golven (lichtblauwe lijn) komen de berekeningen goed overeen met de meetpunten.

In Figuur B.17 is te zien dat de berekeningen voor basalt goed overeenkomen met de metingen. Wel opvallend is de grote spreiding in meetresultaten uit 2003. De driehoeken van proef 5 en 6 liggen ver boven de lijn die berekend is voor niet uitgezochte basalt (type 26.0, blauwe lijn met dichte driehoeken), ook het punt zonder schade (proef 5), terwijl proef 8 er net onder ligt. Daarom is ook een lijn berekend voor basalt waar de slechte zuilen zijn uitgehaald (type 26.1, blauwe lijn met open driehoeken). Proef 6 (dichte driehoek) ligt daar zelfs boven. De rekenresultaten zijn in vergelijking tot de langeduurproeven (groene, zwarte en grijze lijnen en punten) behoorlijk conservatief.

Zoals te zien is in Figuur B.18 liggen de meetpunten voor C-Star en Pit-Polygoonzuilen veel hoger dan de berekende lijnen. Voor C-Star zou dit veroorzaakt kunnen zijn door de mogelijk grote wrijving van de blokken onderling. In het rekenmodel wordt voor alle steenzettingen behalve basalt gerekend met een wrijvingscoëfficiënt van 0,55, terwijl C-Star blokken onder druk mogelijk enigszins aan elkaar gaan plakken.

Voor Hillblocks is in Figuur B.19 te zien dat de meetpunten allemaal vlak tot ruim boven de lijnen liggen. De meetpunten betreffen allen schade a, wat duidt op een conservatief rekenresultaat.

Meteen aan het begin van de proeven met Rona®Ton+ ontstond al een kleine vervorming van de toplaag, die door de geringe dikte van de toplaag direct in de categorie b valt. Daardoor liggen voor Rona®Ton+ de meetpunten met schade b (rood, korteduurproeven) zowel onder als boven de berekende lijn. De meetpunten met schade c en d (lichtblauw en zwart, langeduurproeven) liggen er beide vrij ruim boven. Ook voor Rona®Ton+ is het rekenmodel dus conservatief.

In 1997 is in de Deltagoot een steenzetting van Basalton op een 5 m brede berm op 4 m boven de gootbodem beproefd. De meetresultaten zijn samen met de berekeningen gegeven in Figuur B.20. Het blijkt dat het schadepunt ruim boven de berekende lijn ligt. Het rekenmodel geeft ook hier een conservatief resultaat.

2.9 Overige natuursteenbekledingen

In de categorie natuursteenbekledingen zijn er, naast steenzettingen van basalt (welke behandeld zijn in paragraaf 2.8, 'Zuilen'), in de Deltagoot ook proeven gedaan met granietblokken en Vilvoordse steen. De resultaten ervan zijn samen met de rekenresultaten in Figuur B.21 gezet. De details omtrent de constructie en hydraulische randvoorwaarden zijn vermeld in tabel A.9 en A.10.

Door Vilvoordse steen te beschouwen als Noorse steen komen de rekenresultaten redelijk overeen met de berekeningen, hoewel er weinig veiligheidsmarge in het rekenresultaat blijkt te zitten. Dit geldt ook voor de zeer diep onder water liggende Vilvoordse steen (magenta blokjes), waarbij het meetpunt met schade d net iets onder de lijn ligt.

De granietblokken waren volledig dichtgeslibd, inclusief het filter. Het slib is in de berekeningen niet meegenomen. Volgens de berekeningen had de golfhoogte nog aanzienlijk opgevoerd kunnen worden voordat schade zou zijn ontstaan. Dat er tijdens proef 4a07 al enige beweging in de bekleding kwam, kan toegeschreven worden aan een wat gebrekkige uitvoering van de bekleding. Dit was tijdens het onderzoek al gesignaleerd, en daarom is de serie proeven overgedaan (serie 4d, waarvan proef 4d010 in Figuur B.21 vermeld is).

2.10 Steenzettingen boven de stilwaterlijn

Een overzicht van de proefresultaten en constructie-eigenschappen m.b.t. steenzettingen boven de stilwaterlijn is opgenomen in de tabellen A.11 en A.12. De proefresultaten zijn samen met de rekenresultaten weergegeven in Figuur B.22.

In de Deltagoot is onderzoek gedaan naar de stabiliteit van steenzettingen boven de stilwaterlijn (Van Steeg e.a., 2009). Daarbij zijn 3 proevenseries uitgevoerd: serie L (waterlijn 0,26 m lager dan de onderste overgangsconstructie), serie N (waterlijn 0,04 m hoger dan de onderste overgangsconstructie) en serie H (waterlijn 0,54 m hoger dan de onderste overgangsconstructie).

De modelopstelling bestond uit een testsectie met rechthoekige plat gezette blokken en een testsectie met afgezaagde palissadepalen (zuilen). De palissadepalen zijn in Steentoets2014 gemodelleerd als basalt vanwege het vergelijkbare open oppervlak.

Serie H is alleen uitgevoerd voor de zuilentestsectie. Binnen die serie liggen de meetpunten met schade a net onder de berekende lijn en de meetpunten met de schades c en d net erboven. Het rekenmodel komt in dat geval goed overeen met de proef, maar met weinig veiligheidsmarge. Binnen serie N is in beide testsecties zowel schade a als d ontstaan. De meetpunten met beide schades liggen zeer ruim boven de lijn, wat duidt op een zeer conservatieve berekening. Het rekenmodel lijkt voor zuilen iets conservatiever dan voor plat gezette blokken. De binnen serie L verkregen meetpunten met schade a liggen zowel boven als onder de lijn, waaruit blijkt dat Steentoets2014 ook voor deze serie conservatief is.

Wat betreft steenzettingen boven de stilwaterlijn kan geconcludeerd worden dat Steentoets2014 goed overeenkomt met de metingen als de onderste overgangsconstructie net onder de stilwaterlijn ligt (orde halve significante golfhoogte onder SWL). Voor hooggelegen steenzettingen waarbij de onderste overgangsconstructie op of boven de stilwaterlijn ligt, blijkt Steentoets2014 zeer conservatief.

2.11 Dubbele steenzetting

In 2011 is in de Deltagoot de stabiliteit onderzocht van een dubbele steenzetting: een oude basaltsteenzetting, die overlaagd is met een nieuwe basaltzetting op een uitvullaag ('t Hart e.a., 2012). Een overzicht van de proefresultaten en constructie-eigenschappen is opgenomen in de tabellen A.11 en A.12. De proefresultaten zijn samen met de rekenresultaten weergegeven in Figuur B.23.

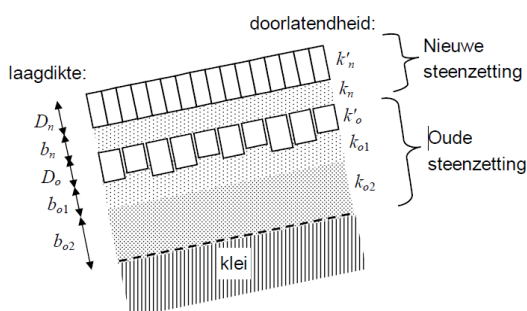
Wanneer onder een steenzetting met filterlaag nog een oude steenzetting ligt, dan ligt het aan de waterdoorlatendheid van die oude steenzetting of deze mee zal werken aan de druktransmissie of niet. Als de oude steenzetting bijvoorbeeld is dichtgeslibd of ingegoten, dan is de waterdoorlatendheid zo laag dat de oude steenzetting niet meegeteld hoeft te worden bij het bepalen van de stabiliteit van de nieuwe toplaag. Oude steenzettingen die echter niet zijn dichtgeslibd of ingegoten, kunnen wél een aanzienlijke doorlatendheid hebben. De oude zetting dient dan, inclusief eventuele aanwezige filterlagen, wel meegeteld te worden.

Als de oude steenzetting moet worden meegeteld, dan vraagt dat om een aangepaste aanpak ten aanzien van Steentoets. Dubbele steenzettingen kunnen in Steentoets immers niet ingevoerd worden. Om toch de stabiliteit van dubbele steenzettingen te kunnen berekenen, is in 't Hart e.a. (2012) een methode ontwikkeld.

Wanneer de oude steenzetting moet worden meegerekend, dan heeft dat alleen consequenties voor de leklengte. Als wordt aangenomen dat in geval van de overlaging de doorlatendheid van de oude toplaag in het vlak van het talud hetzelfde is als die in de richting haaks op het talud, zoals deze door Steentoets wordt berekend (zonder rekening te houden met de overlaging), dan is de leklengte van de totale constructie als volgt:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{D_n (b_n k_n + D_o k'_o + b_{o1} k_{o1} + b_{o2} k_{o2})}{k'_n}} \quad (2.4)$$

- Λ = leklengte van de totale constructie (m)
- D_n = dikte van de toplaag van de nieuwe (bovenste) steenzetting (m)
- k'_n = doorlatendheid van de nieuwe toplaag (m/s)
- b_n = dikte van de bovenste filterlaag van de nieuwe steenzetting (m)
- k_n = doorlatendheid van de filterlaag van de nieuwe steenzetting (m/s)
- D_o = dikte van de toplaag van de oude (onderste) steenzetting (m)
- k'_o = doorlatendheid van de oude toplaag (m/s)
- b_{o1} = dikte van de bovenste filterlaag van de oude steenzetting (m)
- k_{o1} = doorlatendheid van de bovenste filterlaag van de oude steenzetting (m/s)
- b_{o2} = dikte van de onderste filterlaag van de oude steenzetting (als deze niet aanwezig is, dan vult men in de formule nul in) (m)
- k_{o2} = doorlatendheid van de onderste filterlaag van de oude steenzetting (m/s)



Figuur 2.1 Nieuwe steenzetting op oude steenzetting.

Voordat de stabiliteit van de totale constructie kan worden berekend, zal men een berekening met Steentoets2014 moeten maken voor de oude steenzetting en een berekening voor de nieuwe steenzetting (met een fictieve kleilaag ter plaatse van de oude steenzetting en onderliggende filterlagen). Voor beide steenzettingen geeft Steentoets2014 de doorlatendheid van de toplaag en de filterlaag. Daarmee kan met formule (2.4) de leklengte van de totale dubbele steenzetting berekend worden.

Voor de stabiliteitberekening van de nieuwe toplaag wordt tenslotte de nieuwe zetting wederom berekend (met fictieve kleilaag ter plaatse van de oude steenzetting en de eventuele filterlagen daaronder), maar moet de dikte van de filterlaag en/of korrelgrootte van de nieuwe granulaire laag zodanig vergroot worden dat de door Steentoets2014 berekende leklengte van de totale constructie gelijk is aan de leklengte volgens formule (2.4).

De in de Deltagoot beproefde dubbele steenzetting bestond van boven naar beneden uit een nieuwe toplaag van basalt ($D_n = 0,15$ m), daaronder een filterlaag ($b_n = 0,07$ m en $D_{f15} = 15$ mm), daaronder de oude toplaag van basalt ($D_o = \text{gem. } 0,14$ m) en daaronder de oude filterlaag ($b_o = 0,07$ m en $D_{f15} = 15$ mm) op geotextiel op zandcementstabilisatie (schematisatie voor ondoorlatende klei).

De dubbele steenzetting is op basis van de beschreven methode in Steentoets2014 gemodelleerd als de volgende equivalente steenzetting: basalt ($D = 0,15$ m) op een filterlaag ($b = 0,18$ m en $D_{f15} = 15$ mm) op geotextiel op zandcementstabilisatie.

Figuur B.23 toont van de equivalente steenzetting de metingen en de berekeningen. Vanwege inwassing van de steenzetting ligt het voor de hand in het rekenmodel uit te gaan van klemming (blauwe lijn met vierkanten markers). Uit de grafiek blijkt echter dat in dat geval een deel van de meetpunten met schade c en d onder de berekende lijn ligt. De methode voor het modelleren van dubbele steenzettingen lijkt in dat geval een onveilig resultaat te geven. Als de proeven echter nader beschouwd worden, blijkt dat gedurende de proeven steeds een aanzienlijke hoeveelheid inwasmateriaal wegspoelde, doordat van de basalt uitsluitend de dikte was geschaald en niet de lengte en breedte. De gaten tussen de elementen waren daardoor relatief groot ten opzichte van het inwasmateriaal. Omdat op de momenten dat de schades c en d ontstonden de klemming grotendeels was verdwenen door uitspoeling van het inwasmateriaal is het vermoedelijk beter om de meetpunten te vergelijken met een berekening zonder klemming (blauwe lijn met kruisjes). De berekening zonder klemming komt goed overeen en is zelfs enigszins conservatief. Er kan geconcludeerd worden dat de metingen de rekenmethode voor het optellen van dubbele steenzettingen niet tegenspreken.

2.12 Buitentalud van havendammen

Tijdens Deltagootonderzoek met havendammen is meerdere malen vastgesteld dat de stabiliteit van de steenzetting op het buitentalud van havendammen wat minder is dan op een normale dijk. Daarom wordt gerekend zonder klemming.

De eigenschappen van de steenzettingen en de hydraulische omstandigheden van de proeven zijn vermeld in tabel A.13 en A.14. De resultaten van de proeven en de berekeningen zijn weergegeven in Figuur B.24 en B.25.

In bijna alle gevallen liggen de schadepunten boven de berekende lijnen, zoals de bedoeling is. Alleen proef 2 van de havendam van Urk (groen blokje in figuur B.24) ligt erop. Dit was een steenzetting met basalt die al snel schade gaf. Omdat er ook een hoger gelegen punt is zonder schade, wordt dit toegeschreven aan normale spreiding in de metingen.

2.13 Kruin en binnentalud van havendammen

In Figuur B.26 en B.27 in bijlage B zijn de proefresultaten en rekenresultaten van steenzettingen op de kruin en het binnentalud gegeven. Nadere details omtrent deze proeven zijn vermeld in tabel A.13 en A.14.

Uit de figuur blijkt dat de formules voor de kruin goed aansluiten op de metingen, want de schadepunten (dichte punten) liggen allemaal boven de lijnen, maar niet te ver erboven. Die voor het binnentalud zijn vrij conservatief. Er zijn namelijk helemaal geen schade punten, terwijl er een aantal punten zonder schade (schade a) ruim boven de lijnen liggen. De open

blauwe punten liggen wel vrij ver onder de berekende lijn, maar hebben betrekking op proeven waarbij geen enkele schade was opgetreden. De bezwijkgolffhoogte zou voor binnentaluds van havendammen wellicht een factor 1,5 hoger kunnen zijn dan volgens het rekenmodel.

3 Analyses van de trends

3.1 Opzet en uitgangspunten

Als tweede onderdeel van de validatie is gekeken of de trends in de rekenresultaten overeenkomen met de verwachtingen. Met de trends wordt bedoeld het verband tussen een invoerparameter en het resultaat van de berekeningen. Dit kan bijvoorbeeld de variatie van de maximaal toelaatbare golfhoogte zijn (die nog net leidt tot 'goed' als toetsresultaat van de toplaagstabiliteit) als functie van de taludhelling.

Voor het beoordelen van de trends in het rekenmodel is een groot aantal berekeningen met Steentoets2014 (versie 1.00) gemaakt. In deze analyse is steeds gekeken naar de relatie tussen de stabiliteit volgens het rekenmodel en een (invoer) parameter. De stabiliteit is steeds weergegeven met de grootste waarde van $H_s/(\Delta D)$ die nog net het toetsresultaat 'goed' oplevert.

De resultaten van de berekeningen zijn grafisch weergegeven met de gekozen parameter op de horizontale as en de $H_s/(\Delta D)$ die nog net het toetsresultaat 'goed' oplevert op de verticale as. De volgende parameters zijn gekozen om de trend voor weer te geven:

- brekerparameter: ξ_{om}
- hoek van golfaanval: β
- toplaagdikte: D
- niveau van de bovenste overgangsconstructie ten opzichte van stilwaterlijn: Z_b
- taludhelling: $\tan\alpha$
- aantal golven (belastingduur): N
- dikte van de filterlaag: b
- korrelgrootte van het filter: D_{f15}
- relatief open oppervlak in de toplaag: Ω
- leklengte: Λ
- soortelijke massa van de toplaag: ρ_s
- niveau van het voorland ten opzichte van stilwaterlijn

Bij het uitvoeren van de berekeningen is steeds uitgegaan van de volgende steenzetting, en is de betreffende parameter vervolgens gevarieerd:

- talud 1:3,5 ($\tan\alpha = 0,286$)
- niveau van het voorland ten opzichte van stilwaterlijn: -10 m
- helling van het voorland is 1:100
- niveau van de bovenste overgangsconstructie ten opzichte van stilwaterlijn: $Z_b = 0,5$ m
- golfsteilheid:
 - korte golven: $s_{op} = 0,04$
 - lange golven: $s_{op} = 0,01$
- hoek van golfaanval: $\beta = 0^\circ$
- aantal golven (belastingduur): $N = 1000$
- toplaagdikte: $D = 0,30$ m
- blokopervlak: $L \cdot B = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09$ m²
- soortelijke massa van de toplaag: $\rho_s = 2600$ kg/m³ ($\Delta = 1,60$)
- relatief open oppervlak in de toplaag:
 - korte leklengte: $\Omega = 13\%$ ($s = 21,65$ mm) (als $D = 0,3$ m geldt: $\Lambda = 0,43$ m), bijvoorbeeld Basalton of Hydroblocks

- medium leklengte: $\Omega = 2\%$ ($s = 3,047$ mm) (als $D = 0,3$ m geldt: $\Lambda = 0,89$ m), bijvoorbeeld koperslabblokken
- lange leklengte: $\Omega = 1\%$ ($s = 1,5115$ mm) (als $D = 0,3$ m geldt: $\Lambda = 1,25$ m), bijvoorbeeld grote rechthoekige betonblokken (plat gezet)
- dikte van de filterlaag: $b = 0,15$ m
- korrelgrootte van het filter: $D_{f15} = 20$ mm
- porositeit van het filter: $n = 0,35$
- inwassing van de spleten: $D_{15} = 8$ mm, $n = 0,7$

In een aantal gevallen zijn de trends weergegeven met klemming in de steenzetting en in een aantal gevallen zonder klemming.

De resultaten van de berekeningen zijn gegeven in Figuur B.28 tot en met B.38. Waar in de figuren een waarde voor “sop” of “s_op” is gegeven, wordt de golfsteilheid s_{op} op basis van de piek van het spectrum bedoeld.

Onderstaand zijn de opmerkelijke aspecten van de trends nader verklaard. In zijn algemeenheid geldt dat de met Steentoets2014 berekende lijnen lokaal vreemde knikken kunnen vertonen. Dit komt doorgaans doordat het rekenmodel voor 5 belastingsituaties en bovendien voor losse blokken en geklemde blokken (indien van toepassing) de stabiliteit berekent en vervolgens beoordeelt welke maatgevend is. Bij het variëren van een parameter zal daardoor de ene keer de ene situatie maatgevend zijn en bij een kleine verandering de andere situatie. Hierdoor is het verloop van de stabiliteit niet altijd vloeiend.

De Steentoets2014-berekeningen zijn uitgevoerd zonder rekening te houden met de regel dat bij $\xi_{op} > 2$ ook gekeken moet worden of de stabiliteit bij $\xi_{op} = 2$ maatgevend is. Dat is gedaan omdat in sommige gevallen deze regel niet toegepast hoeft te worden, namelijk als aangetoond kan worden dat de betreffende golfhoogte bij de toetscondities niet kan samenvallen met een kleinere golfperiode. In dat geval moet Steentoets2014 ook de juiste resultaten geven.

3.2 Invloed van de brekerparameter ξ_{om}

De invloed van de brekerparameter $\xi_{om} = \tan\alpha/\sqrt{(H_s/(gT_{m-1,0}^2/(2\pi)))}$ op de stabiliteit voor steenzettingen met een kleine leklengte (zoals Basalton en Hydroblocks) is te zien in de bovenste figuur van Figuur B.28. In deze figuur is onderscheid gemaakt tussen geklemde en niet geklemde steenzettingen.

Het blijkt dat de stabiliteit voor niet geklemde steenzettingen voor $\xi_{om} < 2$ ongeveer evenredig is met $\xi_{om}^{-2/3}$. Bij grotere waarden van ξ_{om} neemt de stabiliteit toe.

Voor geklemde steenzettingen is de stabiliteit bij kleine waarden van ξ_{om} veel minder afhankelijk van ξ_{om} , tot zelfs ongeveer constant (tot $\xi_{om} \approx 2$) bij een kleine toplaagdikte D , om vervolgens bij grotere waarden van ξ_{om} geleidelijk op te lopen, maar minder sterk dan de niet geklemde steenzettingen.

Het verloop van de stabiliteit als functie van ξ_{om} voor steenzettingen met een medium leklengte is te zien in de onderste figuur van Figuur B.28. Het valt op dat de stabiliteit voor geklemde steenzettingen ongeveer constant is (nauwelijks afhankelijk van ξ_{om}). Dit in tegenstelling tot steenzettingen met een korte leklengte, zie de bovenste grafiek van Figuur B.28. Voor niet geklemde steenzettingen is er een daling van $H_s/\Delta D$ die ongeveer evenredig is met $\xi_{om}^{-2/3}$ tot $\xi_{om} \approx 2,5$, en daarna een lichte stijging als $2,5 < \xi_{om} < 3,5$.

Het ontbreken van een duidelijke stijging bij een grotere waarde van ξ_{om} komt overeen met de conclusies van Klein Breteler e.a. (2006b). Zo'n stijging moet er alleen zijn bij steenzettingen met een korte leklengte omdat juist die erg zwaar belast worden door golfklappen. Bij grotere waarden van ξ_{om} nemen de golfklappen af.

In de bovenste figuur van Figuur B.29 zijn de resultaten voor een lange leklengte weergegeven. De globale tendens is nu dat de stabiliteit afneemt of ongeveer constant blijft met toenemende ξ_{om} , ook als de brekerparameter een grote waarde heeft.

Uit de figuren voor de korte, medium en lange leklengte volgt dat naarmate de leklengte toeneemt, de minimum waarde van $H_s/\Delta D$ kleiner wordt. Gezien de invloed van de leklengte op de stabiliteit (zie paragraaf 3.8) was dat te verwachten.

De resulterende trends komen overeen met de verwachtingen.

3.3 Invloed van de hoek van golfaanval

De invloed van de hoek van golfaanval op de grootte van $H_s/\Delta D$ is getoond in de onderste figuur van Figuur B.29.

Deze invloed blijkt vrij beperkt te zijn zolang $\beta < 40$ à 60° , maar wordt zeer belangrijk als $\beta > 60$ à 70° .

De stabiliteit bij strijkgolven is extreem groot. Er is wel een kunstmatige bovengrens in Steentoets2014 aangebracht om te voorkomen dat zeer dunne steenzettingen goedgekeurd worden, maar die is kennelijk nog niet te zien in deze figuur. Bij een dikkere toplaag wordt deze bovengrens wel zichtbaar, namelijk bij $D = 0,35$ m bij ongeveer 70 à 80° , afhankelijk van de leklengte.

De resulterende trends komen overeen met de verwachtingen.

3.4 Invloed van de toplaagdikte

In Figuur B.30 en B.31 is de invloed van de toplaagdikte (D) op de stabiliteit weergegeven:

- met klemming, bij een golfsteilheid van $s_{op} = 0,04$ ($\xi_{op} = 1,43$; $\xi_{om} = 1,32$): bovenste figuur van Figuur B.30
- met klemming, bij een golfsteilheid van $s_{op} = 0,01$ ($\xi_{op} = 2,86$; $\xi_{om} = 2,64$): onderste figuur van Figuur B.30
- zonder klemming, bij een golfsteilheid van $s_{op} = 0,04$ ($\xi_{op} = 1,43$; $\xi_{om} = 1,32$): Figuur B.31

In deze figuren is op de verticale as de grootste dimensieloze golfhoogte gegeven die nog net het toetsresultaat 'goed' geeft. Deze golfhoogte is dimensieloos gemaakt door hem te delen door de toplaagdikte D en de relatieve soortelijke massa Δ . Daardoor is de maximaal toelaatbare golfhoogte evenredig met de toplaagdikte als er in de figuur een horizontale lijn staat. Als het een stijgende lijn is, neemt de toelaatbare golfhoogte meer dan evenredig toe met de toplaagdikte.

In de bovenste grafiek van Figuur B.30 is te zien dat de invloed van de toplaagdikte op $H_s/\Delta D$ voor steenzettingen met een kleine leklengte beduidend groter is dan voor steenzettingen met een medium of lange leklengte. Vanaf $D \approx 0,3$ m is de stabiliteit bij een kleine leklengte zo groot dat deze begrensd wordt door Steentoets. Steentoets houdt een bepaalde maximale stabiliteit aan. Er wordt in feite een bovengrens aangehouden voor de waarde van $H_s/(\Delta D)$ bij

het bezwijken van de steenzetting. Deze bovengrens wordt voor buitentalud van een dijk onder de maatgevende waterstand berekend met de volgende formules (voor bermen worden andere formules gebruikt):

$$\left[\frac{H_s}{\Delta D} \right]_{\max} = \frac{\left(7 \left(\min(\xi_{\text{op}}; 2) \right)^{\frac{1}{3}} + \max\left(0,5 \left(\min(\xi_{\text{op}}; 5) - 2 \right); 0 \right) \right)}{\max\left((\cos \beta)^{2/3}; 0,4\right)} \cdot \min(f_{\text{sfront}}; 2,5) \quad (3.1)$$

$$f_{\text{sfront}} = \max\left(1 - c_1 \cdot \log\left(\frac{N}{1000}\right); c_2\right) \quad (3.2)$$

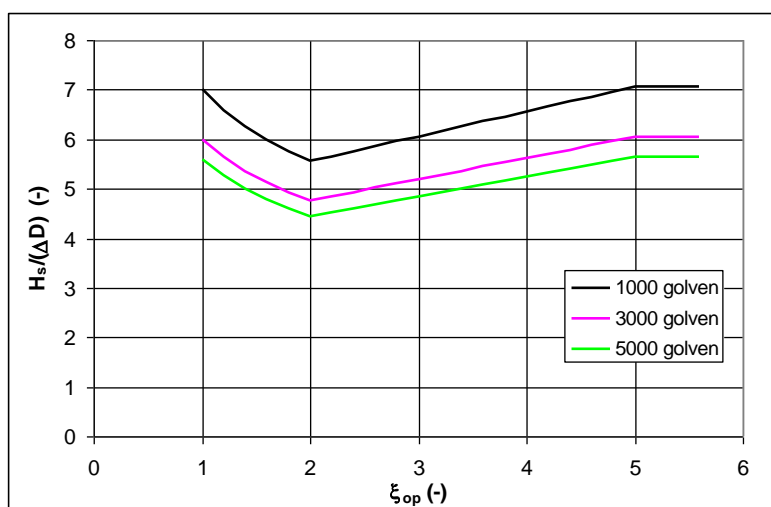
Met:

$[H_s/(\Delta D)]_{\max}$ = bovengrens voor de maximaal toelaatbare $H_s/(\Delta D)$ in Steentoets (-)

$f_{\text{s,front}}$ = invloedsfactor in Steentoets voor de belastingduur (-)

ξ_{op} = $\tan \alpha / \sqrt{s_{\text{op}}} =$ brekerparameter (-)

c_1, c_2 = coëfficiënten in verband met de belastingduur (-)



Figuur 3.1 Bovengrens voor $H_s/(\Delta D)$ bij het bezwijken van steenzettingen volgens Steentoets (loodrechte golfaanval, plat gezette blokken)

Voor de waarde van de coëfficiënten c_1 en c_2 geldt:

- Blokken: $c_1 = 0,30$ $c_2 = 0,80$
- Zuilen: $c_1 = 0,15$ $c_2 = 0,85$
- Blokken op hun kant: $c_1 = 0,35$ $c_2 = 0,80$

Deze formules zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.1 voor blokken met loodrechte golfaanval ($\beta = 0$).

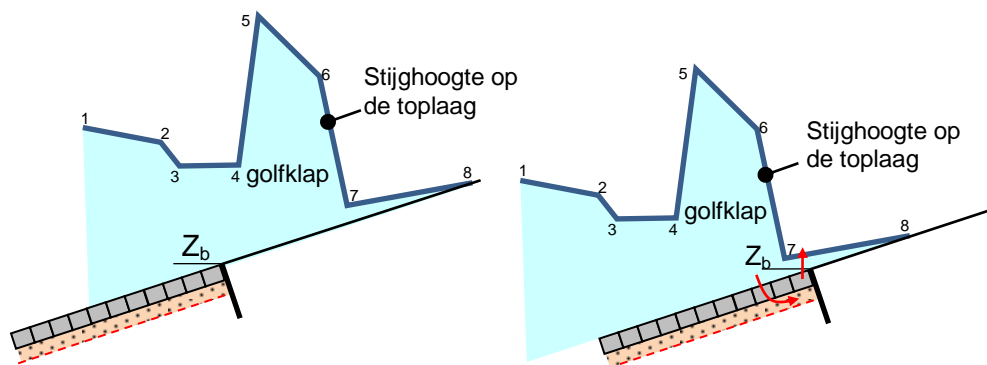
Voor steenzettingen zonder klemming is de invloed van de toplaagdikte duidelijk kleiner dan voor steenzettingen met klemming (vergelijk de bovenste figuur van Figuur B.30 met Figuur B.31).

Deze trends komen overeen met de verwachtingen.

3.5 Invloed van het niveau van de bovenste overgangsconstructie

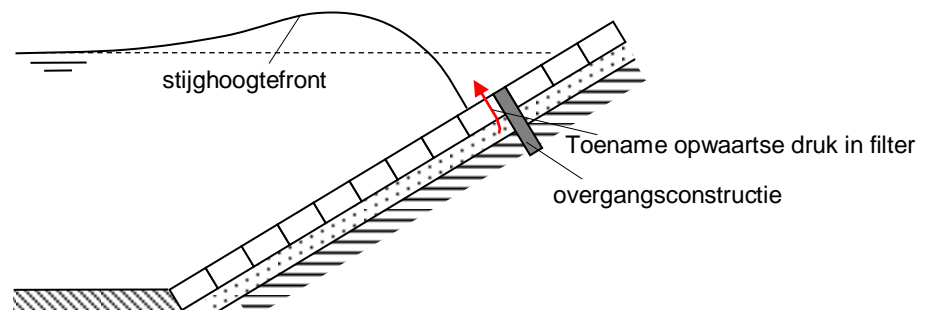
Het niveau van de bovenste overgangsconstructie in de steenzetting kan zeer bepalend zijn voor de stabiliteit. Als de bovenste overgangsconstructie boven het zwaarst aangevallen niveau ligt, zal het toenemen van het niveau van de overgangsconstructie zorgen voor een steeds grotere normaalkracht in de steenzetting, waardoor de klemming toeneemt. Het toenemen van klemming heeft als gevolg dat de stabiliteit ook toeneemt.

Als de bovenste overgangsconstructie onder het zwaarst aangevallen niveau ligt, wordt de steenzetting nauwelijks belast (zie Figuur 3.2), omdat de steenzetting niet meer in de golfaanvalzone ligt. Als het niveau zeer laag ligt zal de stabiliteit dus hoog zijn.



Figuur 3.2 Lage bovenste overgangsconstructie (links) maakt dat er geen belasting op de steenzetting valt, terwijl een hoge bovenste overgangsconstructie (rechts) juist heel ongunstig is.

Daarnaast is het stijghoogteverschil over de toplaag bij de overgangsconstructie groter dan zonder overgangsconstructie, als daar vlak onder een golfkwal neerkomt, of een stijghoogtefront aanwezig is. De ontstane druk wil zich via het filter verspreiden, maar wordt opgestuwd tegen de overgangsconstructie. De opwaartse druk in het filter neemt toe, met een groter stijghoogteverschil als resultaat (zie Figuur 3.3). De stabiliteit neemt daardoor iets af. Zodra de overgangsconstructie zich echter net onder het zwaarst aangevallen niveau bevindt, neemt de stabiliteit abrupt toe.



Figuur 3.3 Extra opwaartse druk tussen stijghoogtefront en overgangsconstructie.

De invloed van het niveau van de bovenste overgangsconstructie (Z_b) is gegeven in de bovenste grafiek van Figuur B.32. De berekeningen zijn gemaakt voor een steenzetting met klemming en een golfsteilheid van $s_{op} = 0,04$ ($\xi_{op} = 1,43$; $\xi_{om} = 1,32$). We zien dat de stabiliteit het laagste is als $Z_b \approx -1$ à 0 m (ten opzichte van de stilwaterlijn). De zwaarst aangevallen zone ligt dan zeer ongunstig ten opzichte van de overgangsconstructie, waar het stijghoogte-

verschil lokaal wat groter is door de onderbreking van het filter. Naarmate Z_b groter wordt, neemt de stabiliteit toe vanwege het toenemen van de normaalkracht in de steenzetting.

Bij kleinere waarden neemt de stabiliteit snel toe vanwege het feit dat de belasting niet meer op de steenzetting aangrijpt.

Er kunnen meerdere minima in het verloop zitten, omdat in Steentoets rekening gehouden wordt met vijf verschillende belastingsituaties (zeewaarts en landwaarts van golfklap type 1, landwaarts van golfklap type 2, het steile golffront en het hoge front). Elk van deze belastingsituaties geeft een maximaal stijghoogteverschil op een andere locatie op de steenzetting.

Het verloop van de stabiliteit bij een overgangsconstructie onder de waterlijn kent een aantal abrupte overgangen, omdat slechts met de vijf specifieke belastinggevallen wordt gerekend. In werkelijkheid zijn er duizenden golven en zal daardoor de belastingintensiteit op de steenzetting nauwelijks abrupte overgangen kennen (als functie van het niveau van de overgang t.o.v. SWL). Daarom kan het rekenen met slechts vijf belastinggevallen bij een lage overgangsconstructie als een tekortkoming van Steentoets2014 gezien worden.

Bij het normale gebruik van Steentoets wordt de berekening iets anders uitgevoerd dan voor dit rapport is gedaan. In dit rapport is een vaste waterstand gekozen en is berekend welke maximale golfhoogte toelaatbaar is. Als er met Steentoets een steenzetting wordt getoetst, wordt door Steentoets de waterstand vanaf het toetspeil stap voor stap verlaagd om te zoeken naar de meest ongunstige waterstand. De waterstand waarbij de steenzetting de laagste stabiliteit heeft is de maatgevende waterstand.

Door deze werkwijze zal bij een laag op het talud gelegen steenzetting de maatgevende waterstand vaak ongunstig zitten ten opzichte van de overgangsconstructie. Dat maakt dat de boven omschreven tekortkoming doorgaans leidt tot een iets te ongunstig toetsresultaat. De methode is derhalve conservatief (veilig). Daarom wordt dit geaccepteerd.

3.6 Invloed van de taludhelling

De invloed van de taludhelling op de stabiliteit van steenzettingen is weergegeven in de onderste grafiek van Figuur B.32.

De invloed van de taludhelling is duidelijk het grootste als de golfsteilheid groot is. Bij een kleine golfsteilheid en een kleine lek lengte is de invloed bijna verdwenen.

De resulterende trends komen overeen met de verwachtingen.

3.7 Invloed van de belastingduur

De invloed van de belastingduur (Figuur B.33) wordt uitgedrukt in het aantal golven. De relatie tussen de belastingduur en het aantal golven is in Steentoets2014 als volgt:

$$N = \frac{t_{belast}}{T_{m-1,0}} = \frac{t_{belast}}{T_p / 1,1} \quad (3.3)$$

Met:

N = aantal golven tijdens de belastingperiode (-)

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode (s)

T_p = golfperiode bij de piek van het spectrum (s)

t_{belast} = belastingduur (s)

Als de $T_{m-1,0}$ beschikbaar is, dan wordt die bij voorkeur gebruikt als schatting voor de gemiddelde golfperiode. Zo niet, dan wordt een schatting van de gemiddelde golfperiode gemaakt door T_p te delen door 1,1.

Naarmate de belastingduur groter is, neemt de stabiliteit af, totdat de belastingduur extreem groot is. Dit blijkt ook uit de rekenresultaten die weergegeven zijn in Figuur B.33.

De resulterende trends komen overeen met de verwachtingen.

3.8 Invloed van de leklengte gerelateerde parameters

De leklengte is een belangrijke parameter voor de stabiliteit van een steenzetting. Naarmate de leklengte groter is, zal bij dezelfde golfbelasting het stijghoogteverschil over de toplaag ook groter zijn. Dat maakt dat de stabiliteit bij een grote leklengte kleiner is dan bij een kleine leklengte. De leklengte is als volgt gedefinieerd:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{Dbk}{k'}} \quad (3.4)$$

Met:

Λ	= Leklengte (m)
D	= toplaagdikte (m)
b	= dikte van de filterlaag (m)
k	= gelineariseerde doorlatendheid van het filter (m/s)
k'	= gelineariseerde doorlatendheid van de toplaag (m/s)

Er is een groot aantal eigenschappen van de steenzetting waarvan de invloed op de stabiliteit via de leklengte wordt meegeteld:

- Dikte van de toplaag: D (m)
- Spleetbreedte of open oppervlak in de toplaag: s (mm) of Ω (%)
- Korrelgrootte van het inwasmateriaal: D_{115} (m)
- Dikte van de filterlaag: b (m)
- Korrelgrootte van het filtermateriaal: D_{f15} (m)
- Porositeit van het filter: n (-)

De invloed van deze parameters op de stabiliteit van de steenzetting is getoond in de Figuren B.34 tot met B.36. Naarmate de leklengte gerelateerde parameters toenemen, verandert ook de leklengte.

In de grafieken van Figuur B.34 is extra onderscheid gemaakt tussen een lange, medium of korte leklengte door te variëren in het open oppervlak (resp. $\Omega = 1, 2$ of 13 %, zie paragraaf 3.1).

In de bovenste grafiek van Figuur B.34 valt op dat de invloed van de dikte van de filterlaag vooral groot is als de leklengte klein is en er geen klemming is. De invloed is het grootst als de filterlaagdikte klein is. De invloed is het kleinst als de leklengte klein is en er wel klemming is, zoals in de thans meest gebruikte steenzettingen in de renovatiewerken.

De invloed van de korrelgrootte van het filter is bij een kleine leklengte verrassend klein, zoals te zien is in de onderste grafiek van Figuur B.34.

In Figuur B.35 blijkt dat de invloed van het relatieve open oppervlak zeer groot is bij $\Omega < 2$ à 3%. En dergelijke open oppervlak komt vooral voor bij rechthoekige blokken met spleten. Dit sluit aan op de ervaring dat een kleine spleetbreedte ongunstig is voor de stabiliteit van de steenzetting. Naarmate Ω toeneemt, neemt de leklengte af van lang naar kort.

In Figuur B.36 is duidelijk te zien dat een toename van de leklengte een afname van de stabiliteit geeft.

3.9 Invloed van de soortelijke massa van de toplaag

In Figuur B.37 is de invloed van de soortelijke massa op de stabiliteit van geklemde steenzettingen gegeven in de bovenste grafiek, terwijl voor niet geklemde steenzettingen deze invloed te vinden is de onderste grafiek.

In deze grafieken is op de verticale as de maximaal toelaatbare golfhoogte gezet, die dimensieloos is gemaakt door het te delen door ΔD . In de relatieve soortelijke massa (Δ) zit ook al de soortelijke massa:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \quad (3.5)$$

Dit maakt dat een horizontale lijn in de figuur betekent dat de toelaatbare golfhoogte recht evenredig toeneemt met Δ . Zodra de lijn iets afloopt neemt de toelaatbare golfhoogte iets minder dan evenredig toe. Dit is belangrijk bij het interpreteren van de figuren.

In de bovenste grafiek van Figuur B.37 is te zien dat de lijnen ongeveer horizontaal lopen. De medium leklengte met grote golfsteilheid geeft nog de grootste variatie, maar ook die is niet bijzonder groot gezien het grote bereik aan soortelijke massa's dat is doorgerekend.

Het algehele beeld in de trends voor steenzettingen zonder klemming (onderste grafiek van Figuur B.37) is vergelijkbaar met dat voor steenzettingen met klemming. Wel is het opmerkelijk dat de blauwe lijnen voor een kleine leklengte elkaar kruisen. Kennelijk neemt bij een grote golfsteilheid de bezwijkgolfhoogte iets minder dan lineair toe met toenemende Δ , terwijl bij een kleine golfsteilheid het juist iets meer dan lineair toeneemt.

3.10 Invloed van het niveau van het voorland

Het niveau van het voorland zit alleen in de formules voor de invloed van de belastingduur. Daarin is het niveau van het voorland ten opzichte van de stilwaterlijn relevant. Het is daarom niet te verwachten dat het een grote invloed heeft. Uit Figuur B.38 blijkt echter dat er helemaal geen invloed is voor de doorgerekende combinaties van constructies en belastingsituaties.

De golfhoogte was in veel gevallen vrij groot ten opzichte van de waterdiepte, en in het rechter deel van de figuren zelfs onrealistisch groot. In werkelijkheid zal de golfhoogte door het breken van de golven verkleinen. Als dat meegenomen zou worden, zouden de lijnen naar rechts snel oplopen, omdat op ondiep water de golfhoogte beperkt is. Alleen het toenemen van de golfperiode bij het toenemen van de golfhoogte op diep water zou dan nog kunnen leiden tot een zwaardere belasting, maar dan alleen voor constructies met een medium of korte leklengte. Immers: het toenemen van de golfperiode bij constante golfhoogte

geeft een steeds grotere waarde van ξ_{om} . Zie Figuur B.28 en de bovenste grafiek van Figuur B.29.

4 Conclusies

In het kader van de toetsing van de waterkeringen zoals voorgeschreven in de Waterwet dienen ook steenzettingen periodiek getoetst te worden. Dit wordt uitgevoerd met het Excel-programma Steentoets (Klein Breteler, 2013). Daarnaast kan Steentoets gebruikt worden als hulpmiddel voor het ontwerpen van steenzettingen.

Dit programma is ten behoeve van de toepassing in de derde toetsronde uitgebreid gevalideerd aan de hand van Deltagootproeven en er is een analyse uitgevoerd van de trends in de resultaten als parameters worden gewijzigd (Klein Breteler, 2009). De toenmalige versie van Steentoets betrof Steentoets2008, versie 0.80. Sindsdien is de kennisontwikkeling op het gebied van de stabiliteit van steenzettingen verdergegaan en nieuwe ontwikkelingen hebben geleid tot verbeteringen in het rekenmodel.

Om te kunnen beoordelen of deze ontwikkelingen nog steeds in lijn zijn met de beschikbare resultaten van grootschalig modelonderzoek is in deze rapportage opnieuw een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van Steentoets en de beschikbare grootschalige modelproeven. Daar is nu Steentoets2014, versie 1.00, voor gebruikt. Tevens zijn de trends weer geanalyseerd en is beoordeeld of deze realistisch zijn.

Naast vele resultaten van Deltagootproeven zijn in internationale literatuur ook resultaten gevonden van grootschalig modelonderzoek, dat is uitgevoerd in Hannover (RWTH, 2011). De speurtocht door alle verslagen van het steenzettingonderzoek heeft in totaal 217 bruikbare proeven opgeleverd van grootschalig modelonderzoek met onregelmatige golven. In 88 van deze proeven was er sprake van schade (categorie c en d). De vergelijking tussen de meetpunten en de rekenresultaten leidt tot de conclusie dat het rekenmodel meestal enigszins conservatief is en soms heel conservatief. In uitzonderlijke gevallen overschat het rekenmodel de sterkte iets, maar veelal is daarvoor een voor de hand liggende oorzaak aanwijsbaar.

De grootste discrepanties tussen het rekenmodel en de metingen zijn:

- Voor steenzettingen boven de waterlijn wordt de stabiliteit soms flink onderschat door het rekenmodel (erg conservatief: bezwijkgolffoogte ligt tot een factor 2 hoger), maar anderzijds zijn er proeven die heel goed worden voorspeld door Steentoets.
- Steenzettingen met brede stootvoegen hebben een extra vrijheidsgraad, waardoor de stabiliteit veel lager is dan volgens de berekeningen. Het wordt afgeraden om dergelijke steenzettingen in de praktijk te bouwen.
- Voor steenzettingen met plat gezette blokken op een filter is het rekenmodel in een aantal gevallen behoorlijk conservatief, maar soms maar een beetje. Wellicht is er in de Deltagoot soms sprake van enige klemming, waardoor de stabiliteit hoger uitvalt. De bezwijkgolffoogte kan dan een factor 1,5 hoger zijn dan volgens de berekeningen. In de praktijk kan men echter niet altijd rekenen op klemming bij dit soort steenzettingen.
- Het rekenmodel lijkt de stabiliteit van Pflastersteinen (rechthoekige blokken, beproefd in Hannover) in eerste instantie aanzienlijk te overschatten. De overschatting is waarschijnlijk toe te schrijven aan onzekerheid betreffende de constructieparameters. De gerapporteerde porositeit van het filter is namelijk onrealistisch klein.
- Tijdens proef 4250+4251 (Hydroblocks) is al schade opgetreden bij een 5% lagere golffoogte dan volgens het rekenmodel. Hier is echter in de Deltagoot gewerkt met hergebruikte Hydroblocks, die waarschijnlijk een lagere stabiliteit hebben dan normale Hydroblocks. Daarom is een apart type steenzetting in Steentoets toegevoegd:

hergebruikte zuilen (type 27.09). In dat geval is het toetsresultaat nooit beter dan "geavnaceerd".

- De stabiliteit van C-Star was in de Deltagoot aanzienlijk hoger dan volgens het rekenmodel (factor 1,5 in de bezwijkgolffhoogte). Mogelijk is dit een gevolg van de wat grotere wrijving tussen de blokken van dit systeem. Voorlopig worden alle steenzettingen behalve basalt doorgerekend met een wrijvingscoëfficiënt van 0,55, maar C-Star plakt enigszins aan elkaar, en had daardoor mogelijk een hogere wrijvingscoëfficiënt.
- De stabiliteit van Basalton op een berm was in de Deltagoot bijna anderhalf maal stabielier dan volgens het rekenmodel. Er is hier dus sprake van een behoorlijk grote veiligheid in het Steentoets resultaat.
- Steentoets2014 overschat de stabiliteit van dubbele steenzettingen enigszins als gerekend wordt met klemming. Uit nadere beschouwing van de proeven blijkt echter dat er vermoedelijk weinig tot geen klemming was, als gevolg van uitspoeling van het inwasmateriaal. Als gerekend wordt zonder klemming is Steentoets2014 vrij conservatief.
- De stabiliteit van het buitentalud van havendammen is volgens de Deltagootproeven lager dan steenzettingen op een dijktaalud. Dit wordt geweten aan de geringere klemming. Ook in Steentoets2014 is daarom de stabiliteit op het buitentalud van havendammen verlaagd. Door deze verlaging van de stabiliteit liggen nu in bijna alle gevallen de schadepunten boven de berekende lijnen, zoals de bedoeling is. Slechts één punt ligt op de berekende lijn, maar omdat er ook een hoger gelegen punt is zonder schade, wordt dit toegeschreven aan de spreiding in de metingen en wordt dit geaccepteerd.
- De stabiliteit van het binnentalud van een havendam wordt flink onderschat. De bezwijkgolffhoogte zou hier wellicht een factor 1,5 hoger kunnen zijn dan volgens het rekenmodel.

In sommige gevallen is Steentoets vrij conservatief. Doorgaans is dat een gevolg van de beperkte kennis over specifieke aspecten (zoals op een berm of het binnentalud van havendammen) of omdat we de stabiliteit van vrijwel alle typen steenzettingen met zuilen gelijk gesteld hebben. Dit laatste aspect is in 2014/2015 onderwerp van onderzoek en zal naar verwachting in de toekomst verbeteren.

Naarmate er minder onderzoek is gedaan naar een bepaald aspect, is er de neiging om de rekenregels wat aan de conservatieve kant te houden.

De analyse van de trends in de berekende bezwijkgolffhoogte, als functie van de variatie van invoerparameters, heeft geleid tot de conclusie dat de trends logisch en verklaarbaar zijn.

Al met al kan geconcludeerd worden dat Steentoets2014 (versie 1.00) goed overeenkomt met de beschikbare kennis en meetgegevens, zodat het geschikt is om te gebruiken voor het toetsen en ontwerpen van steenzettingen.

5 Referenties

- Boer, K. den (1982), Taludbekleding van gezette steen, fase 0, Hydraulische aspecten, Verslag literatuurstudie, M1795, deel II, juli 1982, Waterloopkundig Laboratorium, Grondmechanica Delft
- Boer, K. den (1982), Grootschalig onderzoek tbv de Oesterdam, Verslag modelonderzoek, M1795/M1881, deel VI, Waterloopkundig Laboratorium, Grondmechanica Delft, juli 1982
- Bosters (2009), Ontwerp met over-all veiligheidsfactor, Rijkswaterstaat Zeeland, werkgroep kennis, PZDT-M-09016, januari 2009
- Burger, A.M. (1983), Taludbekleding van gezette steen, fase 2, Grootschalig gidsonderzoek, Verslag M1795/M1881, deel IX, dec. 1983, Waterloopkundig Laboratorium, Grondmechanica Delft
- Burger, A.M. (1985), Sterkte Oosterscheldedijken onder Geconcentreerde Golfaanval (Provo), Waterloopkundig Laboratorium, project M2036, maart 1985
- Burger, A.M. (1988), Taludbekleding van gezette steen, Eindverificatie-onderzoek Deltagoot, Waterloopkundig Laboratorium, H195.25; april 1988, Is opgenomen in deel XXIII over taludbekleding van gezette steen
- Derks, H. en M. Klein Breteler (1992), Gedrag van asfaltbekledingen onder golfaanval, Verslag modelonderzoek in de Deltagoot, WL | Delft Hydraulics, verslag H1480, mei 1992
- Eysink, W. en M. Klein Breteler, (2003), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt, WL | Delft Hydraulics, verslag H 4327, dec 2003
- Fuhrboter, A. and U. Sparboom (1988), Full-scale investigations on the stability of concrete block revetments, Proceedings of the International Symposium on Modelling Soil-Water-Structure interactions, SOWAS, Delft, Balkema, Rotterdam, 1988
- Hart, R. 't en Wolters, G. (2012), Oude steenzetting overlagen met zuilen op uitvullaag, Deltares, concept rapport 1205571-000-HYE-0005, versie 1.0, februari 2012
- Hofland, B. en M. Klein Breteler (2006), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Stabiliteit ingegoten basalt en afschuiving ondergrond, Meetverslag Deltagootonderzoek, WL | Delft Hydraulics, concept verslag H 4635, januari 2006
- HR 2006, Hydraulische Randvoorwaarden 2006, voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007
- Klein Breteler, M. (1986), Taludbekleding van gezette steen, Te stellen eisen aan een schaalmodel van een steenzetting, sectie 8 van deel XX A, Waterloopkundig Laboratorium, notitie N 168, M1881/H195.04, sept. '86
- Klein Breteler, M. e.a. (deel XX, 1992), Taludbekledingen van gezette steen, Stabiliteit van de toplaag, Waterloopkundig Laboratorium en Grondmechanica Delft, Deel XX A, april 1992
- Klein Breteler, M (2000), Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen, Analyse van resultaten van Deltagootproeven; Band A, WL | Delft Hydraulics, verslag H3272, mei 2000
- Klein Breteler, M (2002), Stabiliteit van westelijke havendammen van Urk en Ketelhaven, Deltagootproeven op kruin en binnentalud, WL | Delft Hydraulics, verslag H 4083, juli 2002

- Klein Breteler, M., en W. Eysink (2003), Stabiliteit van kruinmuur en steenzetting op Zuiderpier van Harlingen, Verslag Deltagootonderzoek, WL | Delft Hydraulics, verslag H4171, april 2003
- Klein Breteler, M., en W. Eysink (2005), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Langeduursterkte van steenzettingen, WL | Delft Hydraulics, verslag H4475, november 2005
- Klein Breteler, M. en I. van der Werf (2006a), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Kennisontwikkeling ten behoeve van Steentoets2006, WL | Delft Hydraulics, verslag H4846, november 2006
- Klein Breteler, M., I. van der Werf en I. Weneker (2006b), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Kwantificering golfbelasting en invloed lange golven, WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4421, juni 2006
- Klein Breteler, M. (2006c), Het optellen van belastingperioden met verschillende golfhoogte, Deltares, memo, februari 2006
- Klein Breteler, M., en G. Wolters (2007), Stabiliteit van steenzetting met blokken op hun kant, WL | Delft Hydraulics, concept verslag H 4941, oktober 2007
- Klein Breteler, M., (2007a), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Reststerkte van steenzetting met zuilen na initiële schade, WL | Delft Hydraulics, verslag H4327, juni 2007
- Klein Breteler, M. (2007b), Geavanceerde toetsing van steenbekleding op Afsluitdijk, Waddenzeezijde en dammen Den Oever en Kornwerderzand, WL | Delft Hydraulics, verslag H4879, december 2007
- Klein Breteler, M. (2009), Validatie Steentoets2008, Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Deltares, rapport H4846, februari 2009
- Klein Breteler, M. (2012), Vereenvoudiging van Steentoets tot enkele eenvoudige formules, Deltares, rapport 1204727-009-HYE-0003, februari 2012
- Klein Breteler, M. (2013), Documentatie Steentoets2014, Deltares, rapport 1208045.009, februari 2014
- Kuiper, C., M. Klein Breteler, L.N. Booster en W. Eysink (2006), Stabiliteit van gezette steenbekledingen op havendammen, Afleiding van een verbeterde toetsmethode voor de toplaag, WL | Delft Hydraulics, verslag H4432, februari 2006
- Lindenberg, J. (1983), Stabiliteit van Armorflex-steenzettingen onder golfaanval, Waterloopkundig Laboratorium en Laboratorium voor Grondmechanica, Verslag modelonderzoek M1910, jan. 1983
- Lindenberg, J. (1988), Verweking van zand onder een steenzetting talud 1:3 onder invloed van golfbelasting, Verslag modelonderzoek, Onderdeel van deel XXII: Grondmechanische stabiliteit in de golfzone, M1795/M1881 deel XXII C, 1988, Waterloopkundig Laboratorium, Grondmechanica Delft
- Meer, J.W. van der, en A. Bezuijen (1983), Taludbekleding van gezette steen, fase 4, Grootschalig modelonderzoek naar een steenzetting op zand, Verslag modelonderzoek, M1795/M1881, deel XII, dec. 1983, Waterloopkundig Laboratorium, Grondmechanica Delft
- Mourik, G.C. (2011); Schematisatie van de belastingduur in Steentoets; Deltares rapport 1202551-007, februari 2011

- Mourik, G.C. (2012); Locatie maximale belasting op steenzettingen bij ondiepe voorlanden; Deltares rapport 1202551-008, februari 2012
- Mourik, G.C., en M. Klein Breteler (2013); Stabiliteit steenzettingen berekenen met spectrale golfperiode i.p.v. piekperiode; Deltares rapport 1206424-012, 19 februari 2013
- Rudolph, D., en M. Klein Breteler (2005), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Analyse van de stabiliteit van basalt, WL | Delft Hydraulics, verslag H4422, februari 2005
- RWTH (2011), Wissenschaftliche Untersuchung der Stabilität von Verkalit®-Deckwerksteinen, Enderbericht, Projektphase III, RWTH Aachen University, Aachen, October 2011
- Smith, G.M., Wouters, J. en Klein Breteler, M (2000), Grootchalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekledingen, Meetverslag van Deltagootonderzoek, WL | Delft Hydraulics, verslag H3272, februari 2000
- Steeq, P. van en Klein Breteler, M. (2009), Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Stabiliteit van steenzettingen onder golfaanval, Deel 1: Stabiliteit van steenzettingen boven de waterlijn, Deel 2: Stabiliteit van steenzettingen onder een horizontale overgangsconstructie, Deltares, rapport 1200193-002, versie 2.0, november 2009
- Steeq, P. van (2012), Stabiliteit van taludbekledingen met Hillblocks bij golfaanval, Grootchalig modelonderzoek in de Deltagoot, Deltares, rapport 1202901-000-HYE-0014, versie 3, januari 2012
- Technisch Rapport Steenzettingen, deel Toetsing, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, DWW-2003-097, ISBN 90-369-5551-3, december 2003
- VTV 2006, Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007
- Weide, J. v.d. en Visser, P. (1983), Basalton, stabiliteit onder golfaanval, Waterloopkundig Laboratorium en Laboratorium voor Grondmechanica, Verslag modelonderzoek M1900, febr. 1983
- Werf, I. v.d., en M. Klein Breteler (2007), Stabiliteit van C-star taludbekleding onder golfaanval, WL | Delft Hydraulics, concept verslag H 4885, juni 2007
- Wolters, G. (2010), Rona®Ton+ proeven in de Deltagoot, Deltares, rapport 1201537, versie 1.3, juni 2010
- Wolters, G. en Klein Breteler, M. (2011), Onderzoeksprogramma 'Sterkte & Belasting Waterkeringen', Reststerkte van een dijk met steenzetting op een kleilaag, Meetverslag Deltagootproeven SBW-Reststerkte, Deltares, rapport 1202122.002, versie 3.0, november 2011
- Wouters, J. (1991), Taludbekledingen van gezette steen, Eindverificatie onderzoek Deltagoot, WL | Delft Hydraulics, verslag M 1795 / H 195, deel XXIII, februari 1991
- Wouters, J. (1993), Reststerkte van Dijkbekledingen, Stabiliteit van steenzetting en klei-onderlaag, Deel III, Meetverslag Deltagootonderzoek, Waterloopkundig Laboratorium, Juni 1993
- Wouters, J., (1998), Pit-Polygoonzuilen en Hydroblocks, Grootchalig modelonderzoek in Deltagoot, WL / Delft Hydraulics, verslag H3224, okt. '98

A Tabellen

Black-box, proeven met onregelmatige golven			voorland		niveau	niveau	talud	type		TOPLAAG										FILTERLAAG	
project	proefnr	omschrijving	niveau bij teen [m NAP]	helling $\tan\alpha_{\text{podium}}$	ondergrens [m NAP]	bovengrens [m NAP]	helling $\tan\alpha$	toplaag	onderlagen	D [m]	B [m]	L [m]	spleetbreedte [mm]	open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	inwas materiaal D_{15} [mm]	Ingegoten toplaag		b [m]	D_{15} [mm]	
																	diepte [m]	VGD [GPa]			
Smith e.a. (2000)	2o01	basalton op zandasfalt, berm op +5m			3.00	5.00	0.286	27.1	as	0.150	0.30	0.30		15	2376	7					
Smith e.a. (2000)	3o10	overgoten en ingezand basalt, berm op +5			2.00	5.00	0.286	27.11	st vl kl	0.196	0.30	0.30		13	2955		0.050	0	0.075	4.0	
Smith e.a. (2000)	3o11	overgoten en ingezand basalt, berm op +5			2.50	5.00	0.286	27.11	st vl kl	0.196	0.30	0.30		13	2955		0.050	0	0.075	4.0	
Hofland e.a. (2006)	P01-02	Ingegoten basalt (half)			1.60	6.00	0.286	26.01	st ge kl	0.129				13	3033		0.085	0.5	0.079	5.6	
Hofland e.a. (2006)	P03-05	Ingegoten basalt (half)			1.60	6.00	0.286	26.01	st ge kl	0.129				13	3033		0.085	0.5	0.079	5.6	
Hofland e.a. (2006)	LW 17-19	Ingegoten basalt (volledig)			1.60	6.00	0.286	26.01	st ge kl	0.129				13	3033		0.129	10.5	0.079	5.6	
Hofland e.a. (2006)	LW 17-21	Ingegoten basalt (volledig)			1.60	6.00	0.286	26.01	st ge kl	0.129				13	3033		0.129	10.5	0.079	5.6	
Hofland e.a. (2006)	HW 12+13+14	Ingegoten basalt (volledig)			1.60	6.00	0.286	26.01	st ge kl	0.129				13	3033		0.129	10.5	0.079	5.6	
Hofland e.a. (2006)	HW 22-23A	Ingegoten basalt (volledig)			1.60	6.00	0.286	26.01	st ge kl	0.129				13	3033		0.129	10.5	0.079	5.6	
Klein Breteler (2007b)	5	Graniet met DV voegvulling			4.80	5.45	0.333	28.52	za kl	0.117	0.17	0.26	10		2635		0.061				
Wouters (1993)	A02	blokken met ruwheid op klei			2.00	6.50	0.250	11	kl	0.150	0.50	0.50	2		2380						
Wouters (1993)	A03	blokken met ruwheid op klei			2.00	6.50	0.250	11	kl	0.150	0.50	0.50	2		2380						
Lindenberg (1988)	DGB10	Basalton op zand			0.50	7.00	0.333	27.1	ge	0.200				14	2300						
Lindenberg (1988)	DGB12	Basalton op zand			0.50	7.00	0.333	27.1	ge	0.200				14	2300						
Den Boer (1982)	c.1.3-23	blokken op klei	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	kl	0.150	0.25	0.25	1.5		2360						
Den Boer (1982)	c.2.5-49	blokken op klei	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	kl	0.100	0.25	0.25	1.5		2370						
RWTH (2011)	16	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1)	2	0.05	2.00	7.00	0.333	29	ge	0.250	0.29	0.29		5.8	2360						
RWTH (2011)	17+19+22	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1)	2	0.05	2.00	7.00	0.333	29	ge	0.250	0.29	0.29		5.8	2360						
RWTH (2011)	14+18+20+21+25	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1)	2	0.05	2.00	7.00	0.333	29	ge	0.250	0.29	0.29		5.8	2360						

Tabel A.1, Grootchalige modelproeven met steenzettingen zonder filter en ingegoten bekledingen (constructie-eigenschappen)

Black-box, proeven met onregelmatige golven			talud helling	type		TOPLAAG				HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN							Schade	
project	proefnr	omschrijving		tan α	toplaag	onder- lagen	D [m]	spleet- breedte [mm]	open oppervlak [%]	water- stand [m]	Z ₀ [m]	H _s [m]	T _{m-1,0} [s]	T _p [s]	ξ_{om} [-]	H _g /AD [-]		Duur [h]
Smith e.a. (2000)	2o01	basalton op zandasfalt, berm op +5m	0.286	27.1	as	0.150		15	5.00	0.00	0.85		3.50	1.33	4.12	0.9	1045	d
Smith e.a. (2000)	3o10	overgoten en ingezand basalt, berm op +5	0.286	27.11	st vi kl	0.196		13	4.00	1.00	1.26		4.70	1.40	3.29	1.1	1045	a
Smith e.a. (2000)	3o11	overgoten en ingezand basalt, berm op +5	0.286	27.11	st vi kl	0.196		13	4.39	0.61	1.56		5.30	1.42	4.07	1.3	1045	d
Hofland e.a. (2006)	P01-02	Ingegoten basalt (half)	0.286	26.01	st ge kl	0.129		13	3.90	2.10	0.68	3.68	4.23	1.59	2.59	5.0	5565	a
Hofland e.a. (2006)	P03-05	Ingegoten basalt (half)	0.286	26.01	st ge kl	0.129		13	3.90	2.10	0.96	4.51	4.98	1.64	3.66	5.2	4842	d
Hofland e.a. (2006)	LW 17-19	Ingegoten basalt (volledig)	0.286	26.01	st ge kl	0.129		13	3.08	2.92	1.07	5.32	5.84	1.83	4.08	3.4	4021	b
Hofland e.a. (2006)	LW 17-21	Ingegoten basalt (volledig)	0.286	26.01	st ge kl	0.129		13	3.16	2.84	1.12	5.49	6.08	1.85	4.27	5.6	6906	d
Hofland e.a. (2006)	HW 12+13+14	Ingegoten basalt (volledig)	0.286	26.01	st ge kl	0.129		13	4.16	1.84	1.04	4.37	4.82	1.53	3.97	3.5	3291	b
Hofland e.a. (2006)	HW 22-23A	Ingegoten basalt (volledig)	0.286	26.01	st ge kl	0.129		13	4.70	1.30	1.52	6.03	6.75	1.74	5.80	3.6	2567	d
Klein Breteler (2007b)	5	Graniet met DV voegvulling	0.333	28.52	za kl	0.117	10		4.75	0.70	1.38		5.05	1.67	7.19	1.1	992	a
Wouters (1993)	A02	blokken met ruwheid op klei	0.250	11	kl	0.150	2		5.00	1.50	0.62		4.60	1.65	3.00	1.4	1408	a
Wouters (1993)	A03	blokken met ruwheid op klei	0.250	11	kl	0.150	2		5.00	1.50	0.81		3.90	1.26	3.91	0.8	920	d
Lindenberg (1988)	DGB10	Basalton op zand	0.333	27.1	ge	0.200		14	4.50	2.50	1.04		3.79	1.52	4.00	1.0	1111	a
Lindenberg (1988)	DGB12	Basalton op zand	0.333	27.1	ge	0.200		14	4.50	2.50	1.24		3.79	1.42	4.77	0.3	364	d
Den Boer (1982)	c.1.3.23	blokken op klei	0.250	10	kl	0.150	1.5		4.01	0.50	0.88		3.23	1.07	4.31	8.0	10269	a
Den Boer (1982)	c.2.5-49	blokken op klei	0.250	10	kl	0.100	1.5		4.00	0.50	0.79		2.93	1.04	5.73	2.0	2807	d
RWTH (2011)	16	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1)	0.333	29	ge	0.250		5.8	4.50	2.50	1.04	6.72	7.39	2.74	3.06	2.2	1028	a
RWTH (2011)	17+19+22	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1)	0.333	29	ge	0.250		5.8	4.50	2.50	1.51	5.78	6.36	1.96	4.44	1.2	677	a
RWTH (2011)	14+18+20+21+	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1)	0.333	29	ge	0.250		5.8	4.50	2.50	1.19	4.36	4.79	1.66	3.51	6.1	4814	a

Tabel A.2, Grootchalige modelproeven met steenzettingen zonder filter en ingegoten bekledingen (hydraulische randvoorwaarden en schade)

Plat gezette blokken, proeven met onregelmatige golven			niveau	niveau	talud	type		TOPLAAG										FILTERLAAG		2e FILTERLAAG	
project	proefnr.	omschrijving	onder-	boven-	helling	toplaag	onder-	D	B	L	spleet-		open	Gattype 1		ρ	inwas	b	D ₁₅	b	D ₁₅
			grens	grens	tanα	lagen	[m]	[m]	[m]	breedte	langs	oppervlak	grootte	aantal	[kg/m ³]	D ₁₅	[m]	[mm]	[m]	[mm]	
			[m NAP]	[m NAP]				[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[%]	[cm ²]	[-]		[mm]				
Smith e.a. (2000)	4bo06	niet dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	2.00	5.00	0.286	11	ge st my	0.200	0.50	0.50	1.75	1.75				2337		0.05	2.8	0.8	2.3
Smith e.a. (2000)	4co01	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	2.00	5.00	0.286	11	ge st my	0.200	0.50	0.50	1.75	1.75				2337		0.05	2.8	0.8	2.3
Smith e.a. (2000)	4co07	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	2.00	5.00	0.286	11	ge st my	0.200	0.50	0.50	1.75	1.75				2337		0.05	2.8	0.8	2.3
Smith e.a. (2000)	4co08	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	2.00	5.00	0.286	11	ge st my	0.200	0.50	0.50	1.75	1.75				2337		0.05	2.8	0.8	2.3
Smith e.a. (2000)	4co13	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	2.00	5.00	0.286	11	ge st my	0.200	0.50	0.50	1.75	1.75				2337		0.05	2.8	0.8	2.3
Smith e.a. (2000)	5o05	blokken op mijnsteen met uitvullaag, berm op +5	0.50	5.00	0.286	11	st my ge	0.250	0.50	0.50	2	1.6				2383		0.05	7.1	0.8	2.8
Smith e.a. (2000)	5o06	blokken op mijnsteen met uitvullaag, berm op +5	0.50	5.00	0.286	11	st my ge	0.250	0.50	0.50	2	1.6				2383		0.05	7.1	0.8	2.8
Smith e.a. (2000)	6o21	blokken op filter met ondiepwater golfbelast., berm op +5	0.50	5.00	0.286	11	st my ge	0.250	0.50	0.50	2	1.6				2383		0.05	7.1	0.8	2.8
Smith e.a. (2000)	20ao3	grote blokken van 50x50x20 cm3, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.200	0.50	0.50	26	1	5.2			2337		0.10	18.6		
Smith e.a. (2000)	20ao4	grote blokken van 50x50x20 cm3	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.200	0.50	0.50	26	1	5.2			2337		0.10	18.6		
Smith e.a. (2000)	20ao5	grote blokken van 50x50x20 cm3	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.200	0.50	0.50	26	1	5.2			2337	15.7	0.10	18.6		
Smith e.a. (2000)	20ao6	grote blokken van 50x50x20 cm3	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.200	0.50	0.50	26	1	5.2			2337	15.7	0.10	18.6		
Smith e.a. (2000)	20ao7	grote blokken van 50x50x20 cm3	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.200	0.50	0.50	26	1	5.2			2337	15.7	0.10	18.6		
Smith e.a. (2000)	20ao8	grote blokken van 50x50x20 cm3	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.200	0.50	0.50	26	1	5.2			2337	15.7	0.10	18.6		
Smith e.a. (2000)	20b03	kleine blokken van 25x25x10, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.100	0.25	0.25	13.1	0.8	5.3			2344	8.3	0.05	10.8		
Smith e.a. (2000)	20b04	kleine blokken van 25x25x10	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.100	0.25	0.25	13.1	0.8	5.3			2344	8.3	0.05	10.8		
Smith e.a. (2000)	20b05	kleine blokken van 25x25x10	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.100	0.25	0.25	13.1	0.8	5.3			2344	8.3	0.05	10.8		
Smith e.a. (2000)	20b07	kleine blokken van 25x25x10	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.100	0.25	0.25	0.8	13.1	5.3			2344	8.3	0.05	10.8		
Smith e.a. (2000)	20b09	kleine blokken van 25x25x10	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.100	0.25	0.25	0.8	13.1	5.3			2344	8.3	0.05	10.8		
Smith e.a. (2000)	20b10	kleine blokken van 25x25x10	3.00	5.00	0.286	11	st ge kl	0.100	0.25	0.25	0.8	13.1	5.3			2344	8.3	0.05	10.8		
Wouters (1991)	128	Blokken op filter - 1oost	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.151	0.25	0.30	2	2		12.566	2	2375		0.50	3.6		
Wouters (1991)	154	Blokken op filter - 1oost	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.151	0.25	0.30	2	2		12.566	2	2375		0.50	3.6		
Wouters (1991)	155	Blokken op filter - 1oost	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.151	0.25	0.30	2	2		12.566	2	2375		0.50	3.6		
Wouters (1991)	128	Blokken op filter - 1west	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.147	0.25	0.30	2	2				2354		0.25	3.6		
Wouters (1991)	154	Blokken op filter - 1west	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.147	0.25	0.30	2	2				2354		0.25	3.6		
Wouters (1991)	155	Blokken op filter - 1west	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.147	0.25	0.30	2	2				2354		0.25	3.6		
Wouters (1991)	248	Blokken op filter - 2oost	0.00	8.50	0.333	11	ge st ge	0.150	0.50	0.50	2	2				2383		0.50	3.6		
Wouters (1991)	248	Blokken op filter - 2west	0.00	8.50	0.333	11	ge st ge	0.147	0.25	0.30	2.5	2.5				2354		0.50	9.2		
Wouters (1991)	627	Blokken op filter - 6west	0.00	8.50	0.333	11	st ge	0.299	0.50	0.50	3.8	3.8				2376		0.35	17.3		
Burger (1985)	6	Haringmanblokken	3.50	8.50	0.286	11.1	st my	0.200	0.50	0.50	2	2				2290	1	0.04	9	1	3
Burger (1985)	10	Haringmanblokken	3.50	8.50	0.286	11.1	st my	0.200	0.50	0.50	2	2				2290	1	0.04	9	1	3
Burger (1985)	15	Haringmanblokken	3.50	8.50	0.286	11.1	st my	0.200	0.50	0.50	2	2				2290		0.04	9	1	3
Lindenberg (1983)	45	Armorflex zonder kabels	2.60	8.75	0.333	10	st	0.108	0.30	0.30			22			2411		0.25	25		
Lindenberg (1983)	46	Armorflex zonder kabels	2.60	8.75	0.333	10	st	0.108	0.30	0.30			22			2411		0.25	25		
Lindenberg (1983)	58	Armorflex zonder kabels	2.60	8.75	0.333	10	st	0.108	0.30	0.30			22			2411	7	0.25	25		
Burger (1983)	30	blokken op filter	3.00	4.40	0.333	10	st	0.150	0.25	0.25	1	1				2350		0.35	25		
Burger (1983)	31	blokken op filter	3.00	4.40	0.333	10	st	0.150	0.25	0.25	1	1				2350		0.35	25		
Burger (1983)	34	blokken op filter	3.00	4.40	0.333	10	st	0.150	0.25	0.25	1	1				2350		0.35	25		
Burger (1983)	35	blokken op filter	3.00	4.40	0.333	10	st	0.150	0.25	0.25	1	1				2350		0.35	25		
Burger (1983)	38	blokken op filter	3.00	4.40	0.333	10	st	0.150	0.25	0.25	1	1				2350		0.35	25		
Burger (1983)	37	blokken op filter	3.00	4.40	0.333	10	st	0.150	0.25	0.25	1	1				2350		0.35	25		

Tabel A.3, Grootchalige modelproeven met plat gezette blokken (constructie-eigenschappen)

Plat gezette blokken, proeven met onregelmatige golven			talud helling tan α	type		TOPLAAG					HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN								Schade	
project	proefnr.	omschrijving		toplaag	onderlagen	D [m]	spleet-		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	waterstand [m]	Z _b [m]	H _s [m]	T _{m-1.0} [s]	T _p [s]	ξ_{om} [-]	H _e /AD [-]	Duur [h]		N [-]
							breedte [mm]	langs [mm]												
Smith e.a. (2000)	4bo06	niet dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	11	ge st my	0.200	1.75	1.75		2337	3.77	1.23	0.86		5.40	1.89	3.22	1.2	1000	a
Smith e.a. (2000)	4co01	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	11	ge st my	0.200	1.75	1.75		2337	3.77	1.23	0.71		3.30	1.32	2.66	0.8	1000	a
Smith e.a. (2000)	4co07	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	11	ge st my	0.200	1.75	1.75		2337	3.78	1.22	1.05		5.80	1.84	3.93	1.3	1000	a
Smith e.a. (2000)	4co08	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	11	ge st my	0.200	1.75	1.75		2337	3.77	1.23	1.17		4.50	1.39	4.38	1.1	1000	c
Smith e.a. (2000)	4co13	dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	11	ge st my	0.200	1.75	1.75		2337	4.04	0.96	1.50		4.90	1.35	5.61	1.2	1000	d
Smith e.a. (2000)	5o05	blokken op mijnsteen met uitvullaag, berm op +5	0.286	11	st my ge	0.250	2	1.6		2383	4.02	0.98	1.64		5.60	1.50	4.74	1.4	1000	a
Smith e.a. (2000)	5o06	blokken op mijnsteen met uitvullaag, berm op +5	0.286	11	st my ge	0.250	2	1.6		2383	4.00	1.00	1.64		6.90	1.81	4.74	1.6	1000	b
Smith e.a. (2000)	6o21	blokken op filter met ondiepwater golfbelast., berm op +5	0.286	11	st my ge	0.250	2	1.6		2383	2.23	2.77	0.91	5.60	9.40	2.10	2.63	1.4	1000	a
Smith e.a. (2000)	20ao3	grote blokken van 50x50x20 cm3, berm op +5	0.286	11	st ge kl	0.200	26	1	5.2	2337	4.15	0.85	0.41		3.17	1.63	1.53	0.7	1000	a
Smith e.a. (2000)	20ao4	grote blokken van 50x50x20 cm3	0.286	11	st ge kl	0.200	26	1	5.2	2337	4.20	0.80	0.63		4.01	1.66	2.36	0.9	1000	c
Smith e.a. (2000)	20ao5	grote blokken van 50x50x20 cm3	0.286	11	st ge kl	0.200	26	1	5.2	2337	4.00	1.00	0.58		2.94	1.31	2.17	0.7	1000	a
Smith e.a. (2000)	20ao6	grote blokken van 50x50x20 cm3	0.286	11	st ge kl	0.200	26	1	5.2	2337	4.23	0.77	0.63		5.07	2.06	2.36	1.2	1000	b
Smith e.a. (2000)	20ao7	grote blokken van 50x50x20 cm3	0.286	11	st ge kl	0.200	26	1	5.2	2337	4.17	0.83	0.63		4.03	1.61	2.36	0.9	1000	b
Smith e.a. (2000)	20ao8	grote blokken van 50x50x20 cm3	0.286	11	st ge kl	0.200	26	1	5.2	2337	4.28	0.72	0.84		4.57	1.64	3.14	1.1	1000	c
Smith e.a. (2000)	20b03	kleine blokken van 25x25x10, berm op +5	0.286	11	st ge kl	0.100	13.1	0.8	5.3	2344	4.58	0.42	0.32		3.32	1.90	2.38	0.8	1000	a
Smith e.a. (2000)	20b04	kleine blokken van 25x25x10	0.286	11	st ge kl	0.100	13.1	0.8	5.3	2344	4.58	0.42	0.42		3.18	1.61	3.13	0.7	1000	b
Smith e.a. (2000)	20b05	kleine blokken van 25x25x10	0.286	11	st ge kl	0.100	13.1	0.8	5.3	2344	4.61	0.39	0.52		3.98	1.80	3.87	0.9	1000	c
Smith e.a. (2000)	20b07	kleine blokken van 25x25x10	0.286	11	st ge kl	0.100	0.8	13.1	5.3	2344	3.62	1.38	0.32		2.71	1.58	2.37	0.6	1000	a
Smith e.a. (2000)	20b09	kleine blokken van 25x25x10	0.286	11	st ge kl	0.100	0.8	13.1	5.3	2344	3.77	1.23	0.43		3.13	1.57	3.20	0.7	1000	b
Smith e.a. (2000)	20b10	kleine blokken van 25x25x10	0.286	11	st ge kl	0.100	0.8	13.1	5.3	2344	3.76	1.24	0.51		4.00	1.82	3.79	0.9	1000	d
Wouters (1991)	128	Blokken op filter - 1oost	0.333	11	st ge	0.151	2	2		2375	4.99	3.51	0.73		3.90	1.81	3.51	1.1	1237	a
Wouters (1991)	154	Blokken op filter - 1oost	0.333	11	st ge	0.151	2	2		2375	4.73	3.78	0.94		3.40	1.45	4.55	0.9	1000	a
Wouters (1991)	155	Blokken op filter - 1oost	0.333	11	st ge	0.151	2	2		2375	4.74	3.76	0.78		6.40	2.79	3.73	1.5	1000	a
Wouters (1991)	128	Blokken op filter - 1west	0.333	11	st ge	0.147	2	2		2354	4.99	3.51	0.73		3.90	1.81	3.66	1.1	1237	a
Wouters (1991)	154	Blokken op filter - 1west	0.333	11	st ge	0.147	2	2		2354	4.73	3.78	0.94		3.40	1.45	4.74	0.9	1000	a
Wouters (1991)	155	Blokken op filter - 1west	0.333	11	st ge	0.147	2	2		2354	4.74	3.76	0.78		6.40	2.79	3.89	1.5	1000	a
Wouters (1991)	248	Blokken op filter - 2oost	0.333	11	ge st ge	0.150	2	2		2383	4.77	3.74	0.40		3.10	1.88	1.93	0.8	1176	a
Wouters (1991)	248	Blokken op filter - 2west	0.333	11	ge st ge	0.147	2.5	2.5		2354	4.77	3.74	0.40		3.10	1.98	2.01	0.8	1176	a
Wouters (1991)	627	Blokken op filter - 6west	0.333	11	st ge	0.299	3.8	3.8		2376	4.94	3.56	1.06		3.90	1.55	2.57	1.1	1147	a
Burger (1985)	6	Haringmanblokken	0.286	11.1	st my	0.200	2	2		2290	5.00	3.50	1.43		5.12	1.43	5.54	17.0	14709	d
Burger (1985)	10	Haringmanblokken	0.286	11.1	st my	0.200	2	2		2290	5.00	3.50	1.33		4.39	1.29	5.14	29.0	28767	a
Burger (1985)	15	Haringmanblokken	0.286	11.1	st my	0.200	2	2		2290	5.00	3.50	1.50		4.40	1.23	5.81	1.0	979	c
Lindenberg (1983)	45	Armorflex zonder kabels	0.333	10	st	0.108			22	2411	5.00	3.75	0.84		3.75	1.65	5.51	0.5	570	a
Lindenberg (1983)	46	Armorflex zonder kabels	0.333	10	st	0.108			22	2411	5.00	3.75	0.93		3.75	1.58	6.10	0.5	566	d
Lindenberg (1983)	58	Armorflex zonder kabels	0.333	10	st	0.108			22	2411	5.00	3.75	1.22		3.68	1.39	7.99	0.7	746	a
Burger (1983)	30	blokken op filter	0.333	10	st	0.150	1	1		2350	4.50	-0.10	0.52		3.75	2.04	2.57	1.0	1111	a
Burger (1983)	31	blokken op filter	0.333	10	st	0.150	1	1		2350	4.50	-0.10	0.54		3.31	1.79	2.67	0.9	1111	d
Burger (1983)	34	blokken op filter	0.333	10	st	0.150	1	1		2350	4.50	-0.10	0.49		3.31	1.87	2.42	0.9	1111	a
Burger (1983)	35	blokken op filter	0.333	10	st	0.150	1	1		2350	4.50	-0.10	0.56		3.13	1.68	2.77	0.8	1111	d
Burger (1983)	38	blokken op filter	0.333	10	st	0.150	1	1		2350	4.50	-0.10	0.53		3.31	1.81	2.62	0.9	1111	a
Burger (1983)	37	blokken op filter	0.333	10	st	0.150	1	1		2350	4.50	-0.10	0.57		3.52	1.85	2.81	0.9	1111	d

Tabel A.4, Grootschalige modelproeven met plat gezette blokken (hydraulische randvoorwaarden en schade)

Plat gezette blokken, proeven met onregelmatige golven			voorland		niveau	niveau	talud	type		TOPLAAG							FILTERLAAG		2e FILTERLAAG				
project	proefnr.	omschrijving	niveau	helling	onder-	boven-	helling	toplaag	onder-	D	B	L	spleet-		open	Gattype 1		ρ	b	D ₁₅	b	D ₁₅	
			[m NAP]	tanα _{geddm}	[m NAP]	[m NAP]	tanα			[m]	[m]	[m]	breedte	langs	oppervlak	grootte	aantal	[kg/m ³]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	
Den Boer (1982)	c.1.1-6	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.150	0.25	0.25	1.5	1.5					2360	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.1.1-7	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.150	0.25	0.25	1.5	1.5					2360	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.1.2-17	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.150	0.25	0.25	1.5	1.5					2360	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.1.2-18	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.150	0.25	0.25	1.5	1.5					2360	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.2.4-46	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5					2370	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.2.4-47	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5					2370	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.2.3-51	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5					2370	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.3.1-57	blokken met vellingkanten op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5		50	1		2410	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.3.1-58	blokken met vellingkanten op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5		50	1		2410	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.3.2-60	blokken met gaten op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5		28.274	1		2330	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.3.2-61	blokken met gaten op filter (pennen => geen normaalkracht)	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5		28.274	1		2330	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.4-64	blokken op filter, halfsteens zonder pennen	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5					2370	0.15	14	0.35	5
Den Boer (1982)	c.4-65	blokken op filter, halfsteens zonder pennen	2.750	0.033	3.40	4.50	0.250	10	gr my	0.100	0.25	0.25	1.5	1.5					2370	0.15	14	0.35	5
RWTH (2011)	11	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	12	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	14	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	25	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	26+31	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	23+27+28+29+30	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	14	haufwerksponige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2815	0.10	3		
RWTH (2011)	25	haufwerksponige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2815	0.10	3		
RWTH (2011)	26+31	haufwerksponige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2815	0.10	3		
RWTH (2011)	23+27+28+29+30	haufwerksponige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2815	0.10	3		
RWTH (2011)	13	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	8+20+21+22	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	9+16+17+18+19	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2404	0.10	3		
RWTH (2011)	8+20+21+22	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2340	0.10	17		
RWTH (2011)	17+19+22	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	29	st ge	0.180	0.30	0.30							2340	0.12	17		
RWTH (2011)	5	Pflasterstein (serie 1, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	11	st ge	0.180	0.30	0.30							2320	0.10	3		
RWTH (2011)	7	Pflasterstein (serie 1, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	11	st ge	0.180	0.30	0.30							2320	0.10	3		
RWTH (2011)	12	Pflasterstein (serie 1, testsectie 2)	2.000	0.050	2.00	7.00	0.333	11	st ge	0.180	0.30	0.30							2320	0.10	3		

Tabel A.5, Grootchalige modelproeven met plat gezette blokken (constructie-eigenschappen)

Plat gezette blokken, proeven met onregelmatige golven			talud helling tan α	type		TOPLAAG					HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN								Schade	
project	proefnr.	omschrijving		toplaag	onderlagen	D [m]	spleet-		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	waterstand [m]	Z _b [m]	H _s [m]	T _{m-1.0} [s]	T _p [s]	ξ_{som} [-]	H _e /AD [-]	Duur [h]		N [-]
							breedte [mm]	langs [mm]												
Den Boer (1982)	c.1.1-6	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.150	1.5	1.5		2360	3.99	0.52	0.69		2.93	1.10	3.36	0.7	1000	b
Den Boer (1982)	c.1.1-7	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.150	1.5	1.5		2360	4.01	0.49	0.76		2.93	1.05	3.73	0.7	1000	d
Den Boer (1982)	c.1.2-17	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.150	1.5	1.5		2360	4.23	0.27	0.73		2.93	1.07	3.59	0.7	1000	b
Den Boer (1982)	c.1.2-18	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.150	1.5	1.5		2360	4.26	0.25	0.74		2.93	1.06	3.62	2.2	2000	d
Den Boer (1982)	c.2.4-46	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2370	3.99	0.52	0.39		2.36	1.16	2.81	0.6	1000	b
Den Boer (1982)	c.2.4-47	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2370	3.98	0.52	0.41		2.46	1.17	2.99	0.6	1000	d
Den Boer (1982)	c.2.3-51	blokken op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2370	4.26	0.25	0.46		2.67	1.20	3.36	0.7	1000	d
Den Boer (1982)	c.3.1-57	blokken met vellingkanten op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2410	4.01	0.50	0.44		2.46	1.14	3.12	0.6	1000	a
Den Boer (1982)	c.3.1-58	blokken met vellingkanten op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2410	4.00	0.50	0.46		2.46	1.12	3.23	0.6	1000	d
Den Boer (1982)	c.3.2-60	blokken met gaten op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2330	4.00	0.50	0.47		2.46	1.11	3.50	0.6	1000	b
Den Boer (1982)	c.3.2-61	blokken met gaten op filter (pennen => geen normaalkracht)	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2330	4.00	0.51	0.49		2.46	1.10	3.65	0.6	1000	d
Den Boer (1982)	c.4-64	blokken op filter, halfsteens zonder pennen	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2370	4.02	0.49	0.48		2.51	1.12	3.47	0.6	1000	b
Den Boer (1982)	c.4-65	blokken op filter, halfsteens zonder pennen	0.250	10	gr my	0.100	1.5	1.5		2370	4.01	0.49	0.49		2.56	1.13	3.58	0.6	1000	d
RWTH (2011)	11	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.13	4.04	4.44	1.58	4.47	1.2	1016	a
RWTH (2011)	12	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.08	4.68	5.15	1.87	4.27	1.1	843	a
RWTH (2011)	14	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.12	4.04	4.44	1.59	4.43	1.2	1051	a
RWTH (2011)	25	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.04	6.74	7.41	2.75	4.12	2.2	1020	a
RWTH (2011)	26+31	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.54	5.81	6.39	1.95	6.09	0.7	383	a
RWTH (2011)	23+27+28+29+30	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.19	4.35	4.79	1.66	4.69	6.6	5210	a
RWTH (2011)	14	haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	0.333	29	st ge	0.180			3	2815	4.50	2.50	1.12	4.04	4.44	1.59	3.43	1.2	1051	a
RWTH (2011)	25	haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	0.333	29	st ge	0.180			3	2815	4.50	2.50	1.04	6.74	7.41	2.75	3.18	2.2	1020	a
RWTH (2011)	26+31	haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	0.333	29	st ge	0.180			3	2815	4.50	2.50	1.54	5.81	6.39	1.95	4.71	0.7	383	a
RWTH (2011)	23+27+28+29+30	haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2)	0.333	29	st ge	0.180			3	2815	4.50	2.50	1.19	4.35	4.79	1.66	3.63	6.6	5210	a
RWTH (2011)	13	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.04	6.74	7.41	2.75	4.12	2.2	1026	a
RWTH (2011)	8+20+21+22	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.52	5.79	6.37	1.95	6.02	1.2	720	a
RWTH (2011)	9+16+17+18+19	Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1)	0.333	29	st ge	0.180			3	2404	4.50	2.50	1.17	4.29	4.72	1.65	4.62	6.7	5258	a
RWTH (2011)	8+20+21+22	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 2)	0.333	29	st ge	0.180			5.8	2340	4.50	2.50	1.52	5.79	6.37	1.95	6.30	1.2	720	b
RWTH (2011)	17+19+22	modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 2)	0.333	29	st ge	0.180			5.8	2340	4.50	2.50	1.51	5.78	6.36	1.96	6.26	1.2	677	b
RWTH (2011)	5	Pflasterstein (serie 1, testsectie 2)	0.333	11	st ge	0.180			3.33	2320	4.50	2.50	0.58	2.80	3.08	1.53	2.44	0.8	998	a
RWTH (2011)	7	Pflasterstein (serie 1, testsectie 2)	0.333	11	st ge	0.180			3.33	2320	4.50	2.50	0.80	3.21	3.53	1.49	3.37	1.0	1013	b
RWTH (2011)	12	Pflasterstein (serie 1, testsectie 2)	0.333	11	st ge	0.180			3.33	2320	4.50	2.50	1.08	4.68	5.15	1.87	4.55	1.1	843	d

Tabel A.6, Grootchalige modelproeven met plat gezette blokken (hydraulische randvoorwaarden en schade)

Blokken op hun kant, proeven met onregelmatige golven			niveau ondergrens	niveau bovengrens	talud helling	type		TOPLAAG							FILTERLAAG		
project	proefnr.	omschrijving	[m NAP]	[m NAP]	tan α	toplaag	onderlagen	D	B	L	spleet-		open oppervlakt	ρ	inwas	b	D ₁₅
											breedte	langs					
Smith e.a. (2000)	12ao4	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8		2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12ao5	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8	1.2	2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12ao8	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8	1.2	2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12ao9	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8	1.2	2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12ao10	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8	1.2	2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12ao11	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8	1.2	2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12ao13	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	0.8	1.2	2317		0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12co3	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12co4	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12co5	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12co7	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12cco5	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	9.1	7.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12cco6	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	9.1	7.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12cco7	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandshouders	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	9.1	7.3	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12do6	blokken op kant, brede stootvoegen, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	10.6	0.8	5.8	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12do7	blokken op kant, brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	10.6	0.8	5.8	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12do10	blokken op kant, brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	10.6	0.8	5.8	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12cdo5	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandshouders met voetje	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	8.6	6.9	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	12cdo8	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandshouders met voetje	3.00	5.00	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.8	8.6	6.9	2317	5.7	0.05	7.2
Smith e.a. (2000)	21o14	haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen, berm op +5	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2250	2.6	0.06	8.0
Smith e.a. (2000)	21o15	haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2250	2.6	0.06	8.0
Smith e.a. (2000)	21o16	haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2250	2.6	0.06	8.0
Smith e.a. (2000)	23o1	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2279		0.06	8.0
Smith e.a. (2000)	23o2	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2279		0.06	8.0
Smith e.a. (2000)	23o10	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2279	2.6	0.06	8.0
Smith e.a. (2000)	23o11	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	3.00	5.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	6.5	0.8	3.9	2279	2.6	0.06	8.0
Klein Breteler e.a. (2007)	T13-17	Blokken op hun kant prototypeschaal	2.24	5.45	0.333	11.4	st ge kl	0.500	0.25	0.50	2.4	2.4		2281		0.12	4.5
Klein Breteler e.a. (2007)	T22-26	Blokken op hun kant prototypeschaal	2.24	5.45	0.333	11.4	st ge kl	0.500	0.25	0.50	2.4	2.4		2281		0.12	4.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4120	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4120-4122	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4931	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4931-4932	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4931-4934	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4040	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4140+4141	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5
Klein Breteler e.a. (2005)	4140-4541	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.10	0.20	0.5	0.5		2317		0.05	6.5

Tabel A.7, Grootschalige modelproeven met blokken op hun kant (constructie-eigenschappen)

Blokken op hun kant, proeven met onregelmatige golven			talud helling tan α	type		TOPLAAG							HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN							Schade	
project	proefnr.	omschrijving		toplaag	onder- lagen	D [m]	spleet-		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	inwas D15 [mm]	water- stand [m]	Z _b [m]	H _s [m]	T _{m-1,0} [s]	T _p [s]	ζ_{om} [-]	H _z /AD [-]	Duur [h]		N [-]
							breedte [mm]	langs [mm]													
Smith e.a. (2000)	12a04	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		4.65	0.35	1.23		4.30	1.35	4.67	1.1	1000	a
Smith e.a. (2000)	12a05	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		4.80	0.20	1.40		4.70	1.38	5.32	1.2	1000	d
Smith e.a. (2000)	12a08	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		4.71	0.29	1.00		4.90	1.66	3.80	1.2	1000	a
Smith e.a. (2000)	12a09	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		4.91	0.09	1.27		5.50	1.65	4.82	1.3	1000	d
Smith e.a. (2000)	12a010	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		4.70	0.30	0.73		5.20	2.02	2.77	1.2	1000	b
Smith e.a. (2000)	12a011	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		4.81	0.19	0.84		5.50	2.00	3.19	1.3	1000	c
Smith e.a. (2000)	12a013	blokken op kant koud tegen elkaar, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.8	0.8	1.2	2317		5.00	0.00	1.24		6.60	1.97	4.71	1.6	1000	d
Smith e.a. (2000)	12c03	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	4.79	0.21	1.22		4.30	1.41	4.63	1.1	1000	a
Smith e.a. (2000)	12c04	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	4.90	0.10	1.40		4.70	1.43	5.32	1.2	1000	b
Smith e.a. (2000)	12c05	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	5.03	-0.03	1.57		4.80	1.34	5.96	1.2	1000	c
Smith e.a. (2000)	12c07	blokken op kant, brede langsvog met ronde stalen afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	10.6	9.3	2317	5.7	5.00	0.00	1.63		6.30	1.67	6.19	1.5	1000	d
Smith e.a. (2000)	12cco5	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	9.1	7.3	2317	5.7	4.93	0.07	1.25		5.50	1.66	4.75	1.3	1000	a
Smith e.a. (2000)	12cco6	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	9.1	7.3	2317	5.7	4.94	0.06	1.44		6.10	1.71	5.47	1.5	1000	c
Smith e.a. (2000)	12cco7	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandhouders	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	9.1	7.3	2317	5.7	4.95	0.05	1.65		6.40	1.68	6.26	1.5	1000	d
Smith e.a. (2000)	12do6	blokken op kant, brede stootvoegen, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	10.6	0.8	5.8	2317	5.7	4.90	0.10	1.40		4.70	1.38	5.32	1.2	1000	a
Smith e.a. (2000)	12do7	blokken op kant, brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	10.6	0.8	5.8	2317	5.7	5.00	0.00	1.59		5.00	1.38	6.04	1.2	1000	c
Smith e.a. (2000)	12do10	blokken op kant, brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	10.6	0.8	5.8	2317	5.7	5.00	0.00	1.54		7.60	2.03	5.85	1.8	1000	c
Smith e.a. (2000)	12do5	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandhouders met voetje	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	8.6	6.9	2317	5.7	4.92	0.08	1.25		5.50	1.66	4.75	1.3	1000	b
Smith e.a. (2000)	12do8	blokken op kant, brede langsvog met plastic afstandhouders met voetje	0.286	11.5	st ge kl	0.200	0.8	8.6	6.9	2317	5.7	4.96	0.04	1.52		7.60	2.05	5.77	1.8	1000	d
Smith e.a. (2000)	21o14	haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen, berm op +5	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2250	2.6	4.98	0.02	1.56		6.36	1.72	6.24	1.5	1000	a
Smith e.a. (2000)	21o15	haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2250	2.6	5.01	-0.01	1.70		6.43	1.67	6.80	1.5	1000	b
Smith e.a. (2000)	21o16	haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2250	2.6	5.00	0.00	1.55		7.64	2.04	6.20	1.8	1000	c
Smith e.a. (2000)	23o1	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2279		4.55	0.45	0.43		3.16	1.63	1.68	0.8	1000	a
Smith e.a. (2000)	23o2	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2279		4.55	0.45	0.52		3.55	1.66	2.03	0.8	1000	b
Smith e.a. (2000)	23o10	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2279	2.6	4.97	0.04	1.33		5.53	1.62	5.20	1.3	1000	a
Smith e.a. (2000)	23o11	vlakke blokken op hun kant met brede stootvoegen	0.286	11.4	st ge kl	0.200	6.5	0.8	3.9	2279	2.6	4.94	0.06	1.54		6.35	1.72	6.02	1.5	1000	d
Klein Breteler e.a. (2007)	T13-17	Blokken op hun kant prototypeschaal	0.333	11.4	st ge kl	0.500	2.4	2.4		2281		4.69	0.76	1.55	5.19	5.36	1.74	2.42	26.8	21393	a
Klein Breteler e.a. (2007)	T22-26	Blokken op hun kant prototypeschaal	0.333	11.4	st ge kl	0.500	2.4	2.4		2281		4.91	0.54	1.57	6.36	7.04	2.11	2.45	26.2	17017	a
Klein Breteler e.a. (2005)	4120	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.10	1.90	0.83	4.17	4.32	1.58	3.15	1.0	993	c
Klein Breteler e.a. (2005)	4120-4122	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.10	1.90	0.83	4.18	4.37	1.69	3.15	3.6	3587	d
Klein Breteler e.a. (2005)	4931	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.90	1.10	0.64	3.77	3.88	1.68	2.43	1.0	1098	a
Klein Breteler e.a. (2005)	4931-4932	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.90	1.10	0.66	3.76	3.89	1.60	2.51	3.5	3858	c
Klein Breteler e.a. (2005)	4931-4934	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.90	1.10	0.67	3.76	3.88	1.64	2.59	6.4	7014	d
Klein Breteler e.a. (2005)	4040	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.00	2.00	0.45	3.15	3.15	1.68	1.71	1.0	1314	a
Klein Breteler e.a. (2005)	4140+4141	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.11	1.89	0.53	3.38	3.47	1.66	2.01	3.5	4287	c
Klein Breteler e.a. (2005)	4140-4541	Blokjes op hun kant, langeduurproeven	0.286	11.4	st ge kl	0.200	0.5	0.5		2317		4.38	1.62	0.53	3.38	3.45	1.61	2.01	40.0	48956	c

Tabel A.8, Grootchalige modelproeven met blokken op hun kant (hydraulische randvoorwaarden en schade)

Zuilen en natuursteen, proeven met onregelmatige golven			niveau ondergrens [m NAP]	niveau bovengrens [m NAP]	helling tanα	type		TOPLAAG								FILTERLAAG		2e FILTERLAAG	
project	proefnr.	beschrijving				toplaag	onderlagen	D [m]	B [m]	L [m]	spleetbreedte		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	inwas D ₁₅ [mm]	b [m]	D ₁₅ [mm]	b [m]	D ₁₅ [mm]
											stootvoeg [mm]	langsvoeg [mm]							
Smith e.a. (2000)	1002	Basalton	3	4	0.286	27.1	st ge	0.150	0.30	0.30			15	2376	7	0.1	19		
		Basalton op lage berm	4	4.33	0.067	27.1	st ge	0.150	0.30	0.30			15	2376	7	0.1	19		
		Basalton asfaltbeton	4.33 5	5 10	0.286 0.286	27.1 1	st ge	0.150	0.30	0.30			15	2376	7	0.1	19		
Smith e.a. (2000)	1003	Basalton	3	4	0.286	27.1	st ge	0.150	0.30	0.30			15	2376	7	0.1	19		
		Basalton op lage berm	4	4.33	0.067	27.1	st ge	0.150	0.30	0.30			15	2376	7	0.1	19		
		Basalton asfaltbeton	4.33 5	5 10	0.286 0.286	27.1 1	st ge	0.150	0.30	0.30			15	2376	7	0.1	19		
Smith e.a. (2000)	4ao06	Dichtgeslibte granietblokken, dicht filter, berm op +5	2.50	5.00	0.286	28.5	st vl kl	0.208	0.25	0.37	10	10		2582	9.5	0.042	4		
Smith e.a. (2000)	4ao07	Dichtgeslibte granietblokken, dicht filter, berm op +5	2.50	5.00	0.286	28.5	st vl kl	0.208	0.25	0.25	10	10		2582	9.5	0.042	4		
Smith e.a. (2000)	4do10	Dichtgeslibte granietblokken, dicht filter, berm op +5	2.00	5.00	0.286	28.5	st my ge	0.208	0.25	0.37	20	20		2582	9.3	0.05	4	0.8	2.3
vd Werf e.a. (2007)	T15	C-Star	1.90	5.50	0.333	27.5	st ge kl	0.180	0.12	0.18			14	2338	4	0.07	10		
vd Werf e.a. (2007)	T24-32	C-Star	1.90	5.50	0.333	27.5	st ge kl	0.180	0.12	0.18			14	2338	4	0.07	10		
vd Werf e.a. (2007)	T24-34	C-Star	1.90	5.50	0.333	27.5	st ge kl	0.180	0.12	0.18			14	2338	4	0.07	10		
Klein Breteler e.a. (2005)	nov03-4805	Basalton, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	27.1	st ge kl	0.200					13	2827	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4411+4610	basalt, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4411-4812	basalt, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4215-4616	basalt, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4418	basalt, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4418+4618	basalt, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	5250	Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150	0.25	0.25			13	2426	8	0.069	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	5251	Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150	0.25	0.25			13	2426	8	0.069	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4250+4251	Hergebruikte Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150	0.25	0.25			13	2426	8	0.069	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4260-4660	Hydroblocks 20 cm, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.200	0.25	0.25			13	2359	8	0.097	22		
Klein Breteler e.a. (2005)	4260-4860	Hydroblocks 20 cm, langeduurproeven	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.200	0.25	0.25			13	2359	8	0.097	22		
Wouters (1998)	4	Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998	3.00	5.00	0.286	27.2	st ge kl	0.200	0.20	0.20			14	2337	8.8	0.1	19		
Wouters (1998)	5	Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998	3.00	5.00	0.286	27.2	st ge kl	0.200	0.20	0.20			14	2337	8.8	0.1	19		
Wouters (1998)	6	Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998	3.00	5.00	0.286	27.2	st ge kl	0.200	0.20	0.20			14	2337	8.8	0.1	19		
Wouters (1998)	5	Hydroblocks, 20 cm, 1998	3.00	5.00	0.286	27.3	st ge kl	0.200	0.25	0.25			13	2291	8.8	0.1	19		
Wouters (1998)	6	Hydroblocks, 20 cm, 1998	3.00	5.00	0.286	27.3	st ge kl	0.200	0.25	0.25			13	2291	8.8	0.1	19		
Eysink e.a. (2003)	5	Basalt 2003, D = 20 cm	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	7.5	0.12	22		
Eysink e.a. (2003)	6	Basalt 2003, D = 20 cm	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	7.5	0.12	22		
Eysink e.a. (2003)	8	Basalt 2003, D = 20 cm	2.00	6.00	0.286	26.1	st ge kl	0.200					13	2955	7.5	0.12	22		
Eysink e.a. (2003)	26	Basalton	2.00	6.00	0.286	27.1	st ge kl	0.200					13	2827	8	0.12	22		
Klein Breteler e.a. (2006b)	15	Hydroblocks	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150					13	1952	7.5	0.055	22		
Klein Breteler e.a. (2006b)	16	Hydroblocks	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150					13	1952	7.5	0.055	22		
Klein Breteler e.a. (2006b)	25	Hydroblocks	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150					13	1952	7.5	0.055	22		
Klein Breteler e.a. (2006b)	26	Hydroblocks	2.00	6.00	0.286	27.3	st ge kl	0.150					13	1952	7.5	0.055	22		
Burger (1985)	26	Vilvoordse steen (plat) met Dn50	1.00	3.50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160					20	2527	10	0.05	15		
Burger (1985)	1	Vilvoordse steen (rond) met Dn50	1.00	3.50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160					20	2527	10	0.05	15		
Burger (1985)	3	Vilvoordse steen (rond) met Dn50	1.00	3.50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160					20	2527	10	0.05	15		
Burger (1985)	1	Vilvoordse steen (plat) met Dn50	1.00	3.25	0.286	28.1	pu vl kl	0.160					20	2527	10	0.05	15		
Burger (1985)	21	basalt, Provo '85	3.25	6.50	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5		2996	8	0.12	30			
Burger (1985)	22	basalt, Provo '85	3.25	6.50	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5		2996	8	0.12	30			
Burger (1985)	23	basalt, Provo '85	3.25	6.50	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5		2996	8	0.12	30			
Burger (1985)	24	basalt, Provo '85	3.25	6.50	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5		2996	8	0.12	30			
vd Weide e.a. (1983)	4	Basalton M1900 (niet ingewassen)	0.00	8.75	0.333	27.1	st st	0.180					13	2400	geen	0.15	25	0.2	4

Tabel A.9, Grootschalige modelproeven met zuilen en natuursteen (constructie-eigenschappen)

Zuilen en natuursteen, proeven met onregelmatige golven			helling tan α	type		TOPLAAG						HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN										
project	proefnr.	beschrijving		toplaag	onderlagen	D [m]	spleetbreedte		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	inwas D ₁₅ [mm]	waterstand [m]	Z _b [m]	H _s [m]	T _{m-1,0} [s]	T _p [s]	ξ_{om} [-]	H _s /ΔD [-]	Duur [h]	N [-]	Schade	
							stootvoeg [mm]	langsvoeg [mm]														
Smith e.a. (2000)	1o02	Basalton	0.286	27.1	st ge	0.150			15	2376	7	-0.95						5.04			a	
		Basalton op lage berm	0.067	27.1	st ge	0.150			15	2376	7	-0.62							5.04			a
		Basalton	0.286	27.1	st ge	0.150			15	2376	7	4.95	0.05	1.04		3.9	1.34	5.04	1.0	1045	a	
		asfaltbeton	0.286	1									5.05									-
Smith e.a. (2000)	1o03	Basalton	0.286	27.1	st ge	0.150			15	2376	7	-0.94						5.91			a	
		Basalton op lage berm	0.067	27.1	st ge	0.150			15	2376	7	-0.61						5.91			d	
		Basalton	0.286	27.1	st ge	0.150			15	2376	7	4.94	0.06	1.22		4.3	1.36	5.91	0.8	823	a	
		asfaltbeton	0.286	1									5.06					5.91			-	
Smith e.a. (2000)	4ao06	Dichtgeslibte granietblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	28.5	st vl kl	0.208	10	10		2582	9.5	4.04	0.96	1.52		5.40	1.46	4.62	1.3	1045	a	
Smith e.a. (2000)	4ao07	Dichtgeslibte granietblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	28.5	st vl kl	0.208	10	10		2582	9.5	4.03	0.97	1.60		5.40	1.43	4.86	1.3	1045	b	
Smith e.a. (2000)	4do10	Dichtgeslibte granietblokken, dicht filter, berm op +5	0.286	28.5	st my ge	0.208	20	20		2582	9.3	4.26	0.74	1.68		6.00	1.57	5.11	1.4	1045	a	
vd Werf e.a. (2007)	T15	C-Star	0.333	27.5	st ge kl	0.180			14	2338	4	4.50	1.00	1.53	6.28	7.14	2.11	6.35	1.6	1022	a	
vd Werf e.a. (2007)	T24-32	C-Star	0.333	27.5	st ge kl	0.180			14	2338	4	4.50	1.00	1.55	4.96	5.33	1.61	6.44	4.0	3339	b	
vd Werf e.a. (2007)	T24-34	C-Star	0.333	27.5	st ge kl	0.180			14	2338	4	4.50	1.00	1.56	4.96	5.35	1.70	6.48	26.0	21702	c	
Klein Breteler e.a. (2005)	nov03-4805	Basalton, langeduurproeven	0.286	27.1	st ge kl	0.200			13	2827	8	4.70	1.30	1.38	7.35	8.01	2.23	3.78	51.1	28755	a	
Klein Breteler e.a. (2005)	4411+4610	basalt, langeduurproeven	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	8	4.50	1.50	1.29	5.51	5.98	1.73	3.30	9.5	7143	c	
Klein Breteler e.a. (2005)	4411-4812	basalt, langeduurproeven	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	8	4.70	1.30	1.27	5.47	5.97	1.73	3.25	23.5	17777	d	
Klein Breteler e.a. (2005)	4215-4616	basalt, langeduurproeven	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	8	4.50	1.50	1.43	5.86	6.56	1.75	3.66	14.0	9892	b	
Klein Breteler e.a. (2005)	4418	basalt, langeduurproeven	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	8	4.42	1.58	1.59	7.27	6.85	2.06	4.07	3.5	1993	c	
Klein Breteler e.a. (2005)	4418+4618	basalt, langeduurproeven	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	8	4.50	1.50	1.54	6.68	6.72	1.92	3.94	7.3	4543	d	
Klein Breteler e.a. (2005)	5250	Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	2426	8	5.20	0.80	0.95	5.02	5.16	1.84	4.44	1.3	1047	a	
Klein Breteler e.a. (2005)	5251	Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	2426	8	5.20	0.80	1.08	5.29	5.76	1.82	5.05	1.4	1072	d	
Klein Breteler e.a. (2005)	4250+4251	Hergebruikte Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	2426	8	4.20	1.80	1.01	5.31	5.82	1.88	4.72	2.4	1834	d	
Klein Breteler e.a. (2005)	4260-4660	Hydroblocks 20 cm, langeduurproeven	0.286	27.3	st ge kl	0.200			13	2359	8	4.47	1.53	1.11	5.37	6.01	1.87	4.08	14.0	10812	a	
Klein Breteler e.a. (2005)	4260-4860	Hydroblocks 20 cm, langeduurproeven	0.286	27.3	st ge kl	0.200			13	2359	8	4.56	1.44	1.11	5.36	6.02	1.77	4.08	19.8	15243	d	
Wouters (1998)	4	Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998	0.286	27.2	st ge kl	0.200			14	2337	8.8	5.00	0.00	1.64		4.90	1.34	6.13	1.2	1045	b	
Wouters (1998)	5	Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998	0.286	27.2	st ge kl	0.200			14	2337	8.8	5.00	0.00	1.63		6.40	1.69	6.10	0.8	548	c	
Wouters (1998)	6	Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998	0.286	27.2	st ge kl	0.200			14	2337	8.8	5.00	0.00	1.63		7.80	2.03	6.10	1.8	1045	d	
Wouters (1998)	5	Hydroblocks, 20 cm, 1998	0.286	27.3	st ge kl	0.200			13	2291	8.8	5.00	0.00	1.63		6.40	1.69	6.31	0.8	548	b	
Wouters (1998)	6	Hydroblocks, 20 cm, 1998	0.286	27.3	st ge kl	0.200			13	2291	8.8	5.00	0.00	1.63		7.80	2.03	6.31	1.8	1045	c	
Eysink e.a. (2003)	5	Basalt 2003, D = 20 cm	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	7.5	4.58	1.42	1.40	5.55	6.01	1.67	3.58	1.4	1038	a	
Eysink e.a. (2003)	6	Basalt 2003, D = 20 cm	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	7.5	4.78	1.22	1.54	6.02	6.51	1.73	3.94	1.5	1030	c	
Eysink e.a. (2003)	8	Basalt 2003, D = 20 cm	0.286	26.1	st ge kl	0.200			13	2955	7.5	4.85	1.15	1.22	6.94	7.63	2.24	3.12	1.8	1118	d	
Eysink e.a. (2003)	26	Basalton	0.286	27.1	st ge kl	0.200			13	2827	8	4.74	1.26	1.57	6.04	6.70	1.72	4.30	1.5	1042	a	
Klein Breteler e.a. (2006b)	15	Hydroblocks	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	1952	7.5	5.17	0.83	0.84	10.44	12.82	4.06	5.88	2.5	1000	a	
Klein Breteler e.a. (2006b)	16	Hydroblocks	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	1952	7.5	5.18	0.82	0.96	9.50	11.74	3.46	6.72	2.3	1000	a	
Klein Breteler e.a. (2006b)	25	Hydroblocks	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	1952	7.5	4.80	1.20	0.89	7.90	9.21	2.99	6.23	1.9	1000	a	
Klein Breteler e.a. (2006b)	26	Hydroblocks	0.286	27.3	st ge kl	0.150			13	1952	7.5	4.90	1.10	1.05	8.19	9.46	2.85	7.35	0.9	455	d	
Burger (1985)	26	Vilvoordse steen (plat) met Dn50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160			20	2527	10	2.87	0.63	0.67		3.07	1.28	2.72	15.0	21230	a	
Burger (1985)	1	Vilvoordse steen (rond) met Dn50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160			20	2527	10	2.87	0.63	0.74		3.41	1.33	3.04	0.8	1070	d	
Burger (1985)	3	Vilvoordse steen (rond) met Dn50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160			20	2527	10	2.87	0.63	0.75		5.12	1.92	3.05	1.0	892	d	
Burger (1985)		Vilvoordse steen (plat) met Dn50	0.286	28.1	pu vl kl	0.160			20	2527	10	5.00	-1.75	1.75		5.78	1.45	7.16	15.0	11527	d	
Burger (1985)	21	basalt, Provo '85	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5	2996	8	5.00	1.50	1.55		5.12	1.38	2.59	0.5	430	a	
Burger (1985)	22	basalt, Provo '85	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5	2996	8	5.00	1.50	1.75		5.78	1.45	2.92	8.5	6532	d	
Burger (1985)	23	basalt, Provo '85	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5	2996	8	5.00	1.50	1.85		6.14	1.50	3.09	0.5	363	a	
Burger (1985)	24	basalt, Provo '85	0.286	26	pu vl kl	0.300			13.5	2996	8	5.00	1.50	1.55		5.12	1.38	2.59	29.3	25170	d	
vd Weide e.a. (1983)	4	Basalton M1900 (niet ingewassen)	0.333	27.1	st st	0.180			13	2400	geen	5.00	3.75	1.19		3.84	1.46	4.72	1.0	1085	d	

Tabel A.10, Grootschalige modelproeven met zuilen en natuursteen (hydraulische randvoorwaarden en schade)

Zuilen en natuursteen, proeven met onregelmatige golven			niveau ondergrens	niveau bovengrens	helling	type		TOPLAAG							FILTERLAAG		
project	proefnr.	beschrijving	[m NAP]	[m NAP]	tan α	toplaag	onderlagen	D	B	L	spleetbreedte		open oppervlak	ρ	inwas	b	D ₁₅
								[m]	[m]	[m]	stootvoeg [mm]	langsvoeg [mm]	[%]	[kg/m ³]	D ₁₅ [mm]	[m]	[mm]
Van Steeg e.a. (2009)	L6	Boven SWL; zuilen	4.80	5.49	0.333	27.1	st ge kl	0.080					11.6	2339	5	0.05	13
Van Steeg e.a. (2009)	N4+N4a	Boven SWL; zuilen	4.80	5.49	0.333	27.1	st ge kl	0.080					11.6	2339	5	0.05	13
Van Steeg e.a. (2009)	N5	Boven SWL; zuilen	4.80	5.49	0.333	27.1	st ge kl	0.080					11.6	2339	5	0.05	13
Van Steeg e.a. (2009)	H1	Boven SWL; zuilen	4.80	5.49	0.333	27.1	st ge kl	0.080					11.6	2339	5	0.05	13
Van Steeg e.a. (2009)	H2	Boven SWL; zuilen	4.80	5.49	0.333	27.1	st ge kl	0.080					11.6	2339	5	0.05	13
Van Steeg e.a. (2009)	H3	Boven SWL; zuilen	4.80	5.49	0.333	27.1	st ge kl	0.080					11.6	2339	5	0.05	13
Van Steeg e.a. (2009)	L4	Boven SWL; plat gezette blokken	4.80	5.49	0.333	11	st ge kl	0.100	0.20	0.20	1.3	1.4		2355		0.05	5
Van Steeg e.a. (2009)	N3	Boven SWL; plat gezette blokken	4.80	5.49	0.333	11	st ge kl	0.100	0.20	0.20	1.3	1.4		2355		0.05	5
Van Steeg e.a. (2009)	N4	Boven SWL; plat gezette blokken	4.80	5.49	0.333	11	st ge kl	0.100	0.20	0.20	1.3	1.4		2355		0.05	5
Van Steeg e.a. (2009)	C2	Basalton; onder overgangsconstructie	3.46	4.10	0.333	27.1	st ge kl	0.198					12.5	2316	6	0.11	22
Van Steeg e.a. (2009)	E1	Basalton; onder overgangsconstructie	3.46	4.10	0.333	27.1	st ge kl	0.198					12.5	2316	6	0.11	22
Van Steeg e.a. (2009)	A3	Basalton; onder overgangsconstructie	3.46	4.10	0.333	27.1	st ge kl	0.198					12.5	2316	6	0.11	22
Van Steeg e.a. (2009)	E1	Basalton; boven overgangsconstructie	4.10	5.46	0.333	27.1	st ge kl	0.198					12.5	2865	6	0.11	22
Van Steeg e.a. (2009)	E1	Basalton; zonder overgangsconstructie	3.46	5.46	0.333	27.1	st ge kl	0.198					12.5	2865	6	0.11	22
Van Steeg (2012)	T005	Hillblocks	2.00	5.50	0.333	27.6	st ge kl	0.200	0.13	0.13			8.5	2372	5	0.07	12
Van Steeg (2012)	T014	Hillblocks	2.00	5.50	0.333	27.6	st ge kl	0.200	0.13	0.13			8.5	2372	5	0.07	12
Van Steeg (2012)	T008-T015	Hillblocks	2.00	5.50	0.333	27.6	st ge kl	0.200	0.13	0.13			8.5	2372	5	0.07	12
Wolters e.a. (2011)	P03	Basalton	2.35	4.70	0.286	27.1	st ge kl	0.150					13	2388	8	0.07	15
Wolters e.a. (2011)	P04	Basalton	2.35	4.70	0.286	27.1	st ge kl	0.150					13	2388	8	0.07	15
Wolters (2010)	T1	RonaTon+	1.92	5.40	0.333	27.4	st ge kl	0.160					12	2460	8	0.07	12
Wolters (2010)	T5	RonaTon+	1.92	5.40	0.333	27.4	st ge kl	0.160					12	2460	8	0.07	12
Wolters (2010)	T6	RonaTon+	1.92	5.40	0.333	27.4	st ge kl	0.160					12	2460	8	0.07	12
Wolters (2010)	T9	RonaTon+	1.92	5.40	0.333	27.4	st ge kl	0.160					12	2460	8	0.07	12
Wolters (2010)	T9-T10	RonaTon+	1.92	5.40	0.333	27.4	st ge kl	0.160					12	2460	8	0.07	12
Wolters (2010)	T9-T11B	RonaTon+	1.92	5.40	0.333	27.4	st ge kl	0.160					12	2460	8	0.07	12
't Hart e.a. (2012)	T5	Dubbele steenzetting; basalton	2.14	5.64	0.333	27.1	st ge kl	0.150					11	2345	7.5	0.179	15
't Hart e.a. (2012)	T6	Dubbele steenzetting; basalton	2.14	5.64	0.333	27.1	st ge kl	0.150					11	2345	7.5	0.179	15
't Hart e.a. (2012)	T4	Dubbele steenzetting; basalton	2.14	5.64	0.333	27.1	st ge kl	0.150					11	2345	7.5	0.179	15
't Hart e.a. (2012)	T8	Dubbele steenzetting; basalton	2.14	5.64	0.333	27.1	st ge kl	0.150					11	2345	7.5	0.179	15
't Hart e.a. (2012)	T9	Dubbele steenzetting; basalton	2.14	5.64	0.333	27.1	st ge kl	0.150					11	2345	7.5	0.179	15
't Hart e.a. (2012)	T1	Dubbele steenzetting; basalton	2.14	5.64	0.333	27.1	st ge kl	0.150					11	2345	7.5	0.179	15

Tabel A.11, Grootschalige modelproeven met zuilen en natuursteen (constructie-eigenschappen)

Zuilen en natuursteen, proeven met onregelmatige golven			helling tan α	type		TOPLAAG						HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN									
project	proefnr.	beschrijving		toplaag	onderlagen	D [m]	spleetbreedte		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	inwas D ₁₅ [mm]	waterstand [m]	Z _b [m]	H _s [m]	T _{m-1,0} [s]	T _p [s]	ξ_{om} [-]	H _s /ΔD [-]	Duur [h]	N [-]	Schade
							stootvoeg [mm]	langsvoeg [mm]													
Van Steeg e.a. (2009)	L6	Boven SWL; zuilen	0.333	27.1	st ge kl	0.080			11.6	2339	5	4.54	0.95	1.46	5.42	5.69	1.87	13.63		1002	a
Van Steeg e.a. (2009)	N4+N4a	Boven SWL; zuilen	0.333	27.1	st ge kl	0.080			11.6	2339	5	4.84	0.65	1.10	4.39	4.61	1.74	10.27		1020	a
Van Steeg e.a. (2009)	N5	Boven SWL; zuilen	0.333	27.1	st ge kl	0.080			11.6	2339	5	4.84	0.65	1.32	4.91	5.12	1.78	12.32		433	d
Van Steeg e.a. (2009)	H1	Boven SWL; zuilen	0.333	27.1	st ge kl	0.080			11.6	2339	5	5.34	0.15	0.40	2.62	2.90	1.72	3.73		966	a
Van Steeg e.a. (2009)	H2	Boven SWL; zuilen	0.333	27.1	st ge kl	0.080			11.6	2339	5	5.34	0.15	0.51	2.90	3.28	1.69	4.76		1006	c
Van Steeg e.a. (2009)	H3	Boven SWL; zuilen	0.333	27.1	st ge kl	0.080			11.6	2339	5	5.34	0.15	0.61	3.18	3.37	1.70	5.69		330	d
Van Steeg e.a. (2009)	L4	Boven SWL; plat gezette blokken	0.333	11	st ge kl	0.100	1.3	1.4		2355		4.54	0.95	1.10	4.44	4.77	1.76	8.12		1030	a
Van Steeg e.a. (2009)	N3	Boven SWL; plat gezette blokken	0.333	11	st ge kl	0.100	1.3	1.4		2355		4.84	0.65	0.94	4.00	4.42	1.72	6.94		997	a
Van Steeg e.a. (2009)	N4	Boven SWL; plat gezette blokken	0.333	11	st ge kl	0.100	1.3	1.4		2355		4.84	0.65	1.10	4.37	4.41	1.73	8.12		306	d
Van Steeg e.a. (2009)	C2	Basalton; onder overgangsconstructie	0.333	27.1	st ge kl	0.198			12.5	2316	6	4.67	-0.57	1.15	4.67	4.87	1.81	4.41		993	a
Van Steeg e.a. (2009)	E1	Basalton; onder overgangsconstructie	0.333	27.1	st ge kl	0.198			12.5	2316	6	5.15	-1.05	1.50	5.43	5.69	1.85	5.76		1006	a
Van Steeg e.a. (2009)	A3	Basalton; onder overgangsconstructie	0.333	27.1	st ge kl	0.198			12.5	2316	6	4.80	-0.70	0.79	3.68	4.11	1.72	3.03		1020	a
Van Steeg e.a. (2009)	E1	Basalton; boven overgangsconstructie	0.333	27.1	st ge kl	0.198			12.5	2865	6	5.15	0.31	1.50	5.43	5.69	1.85	4.06		1006	a
Van Steeg e.a. (2009)	E1	Basalton; zonder overgangsconstructie	0.333	27.1	st ge kl	0.198			12.5	2865	6	5.15	0.31	1.50	5.43	5.69	1.85	4.06		1006	a
Van Steeg (2012)	T005	Hillblocks	0.333	27.6	st ge kl	0.200			8.5	2372	5	4.50	1.00	1.49	6.20	6.90	2.11	5.43	1.5	1077	a
Van Steeg (2012)	T014	Hillblocks	0.333	27.6	st ge kl	0.200			8.5	2372	5	4.50	1.00	1.50	5.20	5.30	1.77	5.47	1.2	986	a
Van Steeg (2012)	T008-T015	Hillblocks	0.333	27.6	st ge kl	0.200			8.5	2372	5	4.50	1.00	1.43	4.83	5.04	1.68	5.20	29.0	25062	a
Wolters e.a. (2011)	P03	Basalton	0.286	27.1	st ge kl	0.150			13	2388	8	4.60	0.10	1.39	4.74	5.07	1.43	6.68		1051	a
Wolters e.a. (2011)	P04	Basalton	0.286	27.1	st ge kl	0.150			13	2388	8	4.70	0.00	1.60	5.20	5.24	1.47	7.68		297	d
Wolters (2010)	T1	RonaTon+	0.333	27.4	st ge kl	0.160			12	2460	8	4.50	0.90	0.83	4.49	4.82	2.06	3.54	1.2	1092	b
Wolters (2010)	T5	RonaTon+	0.333	27.4	st ge kl	0.160			12	2460	8	4.50	0.90	1.51	6.33	6.93	2.15	6.45	1.7	1036	b
Wolters (2010)	T6	RonaTon+	0.333	27.4	st ge kl	0.160			12	2460	8	4.50	0.90	0.95	3.72	4.07	1.59	4.06	1.0	1016	b
Wolters (2010)	T9	RonaTon+	0.333	27.4	st ge kl	0.160			12	2460	8	4.50	0.90	1.52	5.03	5.29	1.70	6.49	1.3	1039	b
Wolters (2010)	T9-T10	RonaTon+	0.333	27.4	st ge kl	0.160			12	2460	8	4.50	0.90	1.51	5.05	5.29	1.71	6.47	2.3	1880	c
Wolters (2010)	T9-T11B	RonaTon+	0.333	27.4	st ge kl	0.160			12	2460	8	4.50	0.90	1.52	5.09	5.38	1.72	6.51	12.9	10322	d
't Hart e.a. (2012)	T5	Dubbele steenzetting; basalton	0.333	27.1	st ge kl	0.150			11	2345	7.5	4.30	1.34	0.63	3.90	4.24	2.04	3.12	1.0	1057	a
't Hart e.a. (2012)	T6	Dubbele steenzetting; basalton	0.333	27.1	st ge kl	0.150			11	2345	7.5	4.40	1.24	0.78	4.43	4.84	2.09	3.87	1.1	984	c
't Hart e.a. (2012)	T4	Dubbele steenzetting; basalton	0.333	27.1	st ge kl	0.150			11	2345	7.5	4.00	1.64	0.62	2.99	3.03	1.58	3.07	0.7	980	a
't Hart e.a. (2012)	T8	Dubbele steenzetting; basalton	0.333	27.1	st ge kl	0.150			11	2345	7.5	4.25	1.39	0.88	3.60	3.88	1.60	4.36	0.9	969	c
't Hart e.a. (2012)	T9	Dubbele steenzetting; basalton	0.333	27.1	st ge kl	0.150			11	2345	7.5	4.23	1.41	1.07	3.98	4.16	1.60	5.30	0.6	557	d
't Hart e.a. (2012)	T1	Dubbele steenzetting; basalton	0.333	27.1	st ge kl	0.150			11	2345	7.5	4.20	1.44	0.80	3.43	3.51	1.59	3.97	0.7	752	d

Tabel A.12, Grootschalige modelproeven met zuilen en natuursteen (hydraulische randvoorwaarden en schade)

Havendammen, proeven met onregelmatige golven			niveau ondergrens	niveau bovengrens	helling	kruinbreedte	type		TOPLAAG							FILTERLAAG			
project	proefnr.	omschrijving	[m NAP]	[m NAP]	tan α	[m]	toplaag	onderlagen	D	B	L	spleetbreedte		open oppervlak	ρ	inwas	b	D ₁₅	
												stootvoeg	langsvoeg						[mm]
Klein Breteler e.a. (2003)	102	Havendam Harlingen basalt	0.00	3.23	0.333		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
			3.23	3.51	0.227		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
			3.51	3.59	0.091		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
			3.59	4.20	0.500		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
Klein Breteler e.a. (2003)	103	Havendam Harlingen basalt	0.00	3.23	0.333		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
			3.23	3.51	0.227		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
			3.51	3.59	0.091		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
			3.59	4.20	0.500		27.1	st ge kl	0.150						14	2360	10	0.36	7
Klein Breteler (2002)	1	Havendam Urk	0.00	3.42	0.357		26	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	25
			3.42	3.95	0.284		27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
			3.95	3.95	0.000	0.53	27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
			3.35	3.95	-0.459		27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
Klein Breteler (2002)	2	Havendam Urk	0.00	3.42	0.357		26	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	25
			3.42	3.95	0.284		27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
			3.95	3.95	0.000	0.53	27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
			3.35	3.95	-0.459		27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
Klein Breteler (2002)	5	Havendam Urk	0.00	3.42	0.357		26	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	25
			3.42	3.95	0.284		27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
			3.95	3.95	0.000	0.53	27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
			3.35	3.95	-0.459		27.1	st ge kl	0.150						14	2657	10	0.05	12
Klein Breteler (2002)	14	Havendam Ketelhaven	0.00	3.99	0.333		26.1	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	22
			3.99	3.99	0.000	0.88	28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
			2.00	3.99	-0.500		28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
			0.00	3.99	0.333		26.1	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	22
Klein Breteler (2002)	15	Havendam Ketelhaven	3.99	3.99	0.000	0.88	28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
			2.00	3.99	-0.500		28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
			0.00	3.99	0.333		26.1	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	22
			3.99	3.99	0.000	0.88	28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
Klein Breteler (2002)	16	Havendam Ketelhaven	0.00	3.99	0.333		26.1	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	22
			3.99	3.99	0.000	0.88	28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
			2.00	3.99	-0.500		28.5	st ge kl	0.100	0.20	0.30	10	10		2582	5	0.10	22	
			0.00	3.99	0.333		26.1	st ge kl	0.200						14	3000	10	0.20	22
Kuijper e.a (2006)	1	Havendam 2006	2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
			4.54	4.54	0.000	1.00	27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			4.20	4.54	-0.333		27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			3.10	4.20	-0.333		27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
Kuijper e.a (2006)	2	Havendam 2006	2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
			4.54	4.54	0.000	1.00	27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			4.20	4.54	-0.333		27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			3.10	4.20	-0.333		27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
Kuijper e.a (2006)	3	Havendam 2006	2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
			4.54	4.54	0.000	1.00	27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			4.20	4.54	-0.333		27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			3.10	4.20	-0.333		27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
Kuijper e.a (2006)	4	Havendam 2006	2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
			4.54	4.54	0.000	1.00	27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			4.20	4.54	-0.333		27.1	st ge kl	0.150						14	2300	7.5	0.10	22
			3.10	4.20	-0.333		27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
Kuijper e.a (2006)	13	Havendam 2006	2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
			4.54	4.54	0.000	1.00	27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
			3.10	4.54	-0.333		27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
			2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
Kuijper e.a (2006)	21	Havendam 2006	4.54	4.54	0.000	1.00	27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
			3.10	4.54	-0.333		27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22
			2.20	4.54	0.333		27.1	st ge kl	0.200						14	2827	7.5	0.10	22
			4.54	4.54	0.000	1.00	27.3	st ge kl	0.150						14	1952	7.5	0.10	22

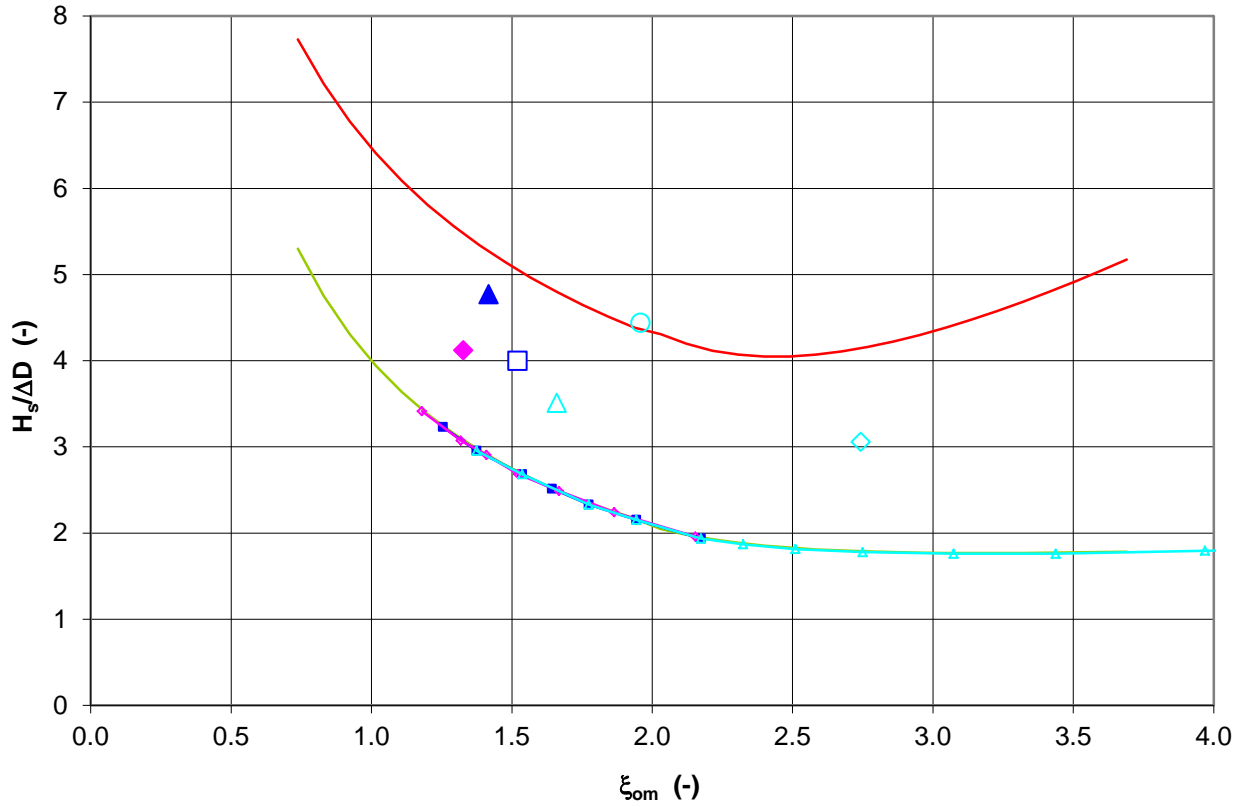
Tabel A.13, Grootschalige modelproeven met havendammen (constructie-eigenschappen)

Havendammen, proeven met onregelmatige golven			helling tan α	type		TOPLAAG					FILTERLAAG		HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN										
project	proefnr.	omschrijving		toplaag	onderlagen	D [m]	spleetbreedte		open oppervlak [%]	ρ [kg/m ³]	inwas D ₁₅ [mm]	b [m]	D ₁₅ [mm]	waterstand [m]	Z _b [m]	H _s [m]	T _{m-1,0} [s]	T _p [s]	ξ_{om} [-]	H _s /AD [-]	Duur [h]	N [-]	Schade
							stootvoeg [mm]	langsvoeg [mm]															
Klein Breteler e.a. (2003)	102	Havendam Harlingen basalt	0.333	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7	3.73	-0.22	1.05		3.79	1.41	5.12	1.2	1277	a
			0.227	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7										-
			0.091	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7										-
			0.500	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7										-
Klein Breteler e.a. (2003)	103	Havendam Harlingen basalt	0.333	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7	3.73	-0.22	1.26		4.25	1.43	6.17	1.3	1315	a
			0.227	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7										-
			0.091	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7										-
			0.500	27.1	st ge kl	0.150			14	2360	10	0.36	7										-
Klein Breteler (2002)	1	Havendam Urk	0.357	26	st ge kl	0.200			14	3000	10	0.20	25	3.60	-0.18	0.76		4.27	2.01	1.90	0.9	1000	b
			0.284	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										-
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										-
			-0.459	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										-
Klein Breteler (2002)	2	Havendam Urk	0.357	26	st ge kl	0.200			14	3000	10	0.20	25	3.60	-0.18	0.90		4.54	1.97	2.26	1.0	1000	d
			0.284	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										-
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										-
			-0.459	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										-
Klein Breteler (2002)	5	Havendam Urk	0.357	26.1	st ge kl	0.200			14	3000	10	0.20	25	3.60	-0.18	1.09		5.29	2.08	2.71	1.2	1000	a
			0.284	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										0.35
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										0.35
			-0.459	27.1	st ge kl	0.150			14	2657	10	0.05	12										0.35
Klein Breteler (2002)	14	Havendam Ketelhaven	0.333	26.1	st ge kl	0.200			14	3000	10	0.20	22	4.23	-0.24	0.70		4.17	1.91	4.39	0.9	1000	a
			0.000	28.5	st ge kl	0.100	10	10	2582	5	0.10	22	-										
			-0.500	28.5	st ge kl	0.100	10	10	2582	5	0.10	22	-										
Klein Breteler (2002)	15	Havendam Ketelhaven	0.333	26.1	st ge kl	0.200			14	3000	10	0.20	22	4.23	-0.24	0.80		4.60	1.96	5.06	1.0	1000	a
			0.000	28.5	st ge kl	0.100	10	10	2582	5	0.10	22	-										
			-0.500	28.5	st ge kl	0.100	10	10	2582	5	0.10	22	-										
Klein Breteler (2002)	16	Havendam Ketelhaven	0.333	26.1	st ge kl	0.200			14	3000	10	0.20	22	4.23	-0.24	1.01		4.82	1.85	2.51	0.3	290	a
			0.000	28.5	st ge kl	0.100	10	10	2582	5	0.10	22	-0.24										
			-0.500	28.5	st ge kl	0.100	10	10	2582	5	0.10	22	-0.24										
Kuijper e.a. (2006)	1	Havendam 2006	0.333	27.1	st ge kl	0.200			14	2827	7.5	0.10	22	4.55	-0.01	0.99	4.34	4.67	1.82	2.71	1.1	1012	a
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										-0.01
			-0.333	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										-0.01
			-0.333	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										-0.35
Kuijper e.a. (2006)	2	Havendam 2006	0.333	27.1	st ge kl	0.200			14	2827	7.5	0.10	22	4.53	0.01	1.18	4.74	5.05	1.81	3.24	0.5	420	d
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										0.01
			-0.333	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										0.01
			-0.333	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										-0.33
Kuijper e.a. (2006)	3	Havendam 2006	0.333	27.1	st ge kl	0.200			14	2827	7.5	0.10	22	4.55	-0.01	1.38	5.13	5.47	1.82	3.78	1.3	1036	c
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										-0.01
			-0.333	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										-0.01
			-0.333	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										-0.35
Kuijper e.a. (2006)	4	Havendam 2006	0.333	27.1	st ge kl	0.200			14	2827	7.5	0.10	22	4.56	-0.02	1.67	5.66	5.97	1.82	4.57	0.2	113	c
			0.000	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										-0.02
			-0.333	27.1	st ge kl	0.150			14	2300	7.5	0.10	22										-0.02
			-0.333	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										-0.36
Kuijper e.a. (2006)	13	Havendam 2006	0.333	27.1	st ge kl	0.200			14	2827	7.5	0.10	22	4.00	0.54	1.36	5.26	5.55	1.88	3.72	1.3	1026	b
			0.000	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										0.54
			-0.333	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										0.54
Kuijper e.a. (2006)	21	Havendam 2006	0.333	27.1	st ge kl	0.200			14	2827	7.5	0.10	22	4.99	-0.45	1.15	4.64	4.99	1.80	3.15	0.0	35	a
			0.000	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										-0.45
			-0.333	27.3	st ge kl	0.150			14	1952	7.5	0.10	22										-0.45

Tabel A.14, Grootschalige modelproeven met havendammen (hydraulische randvoorwaarden en schade)

B Figuren

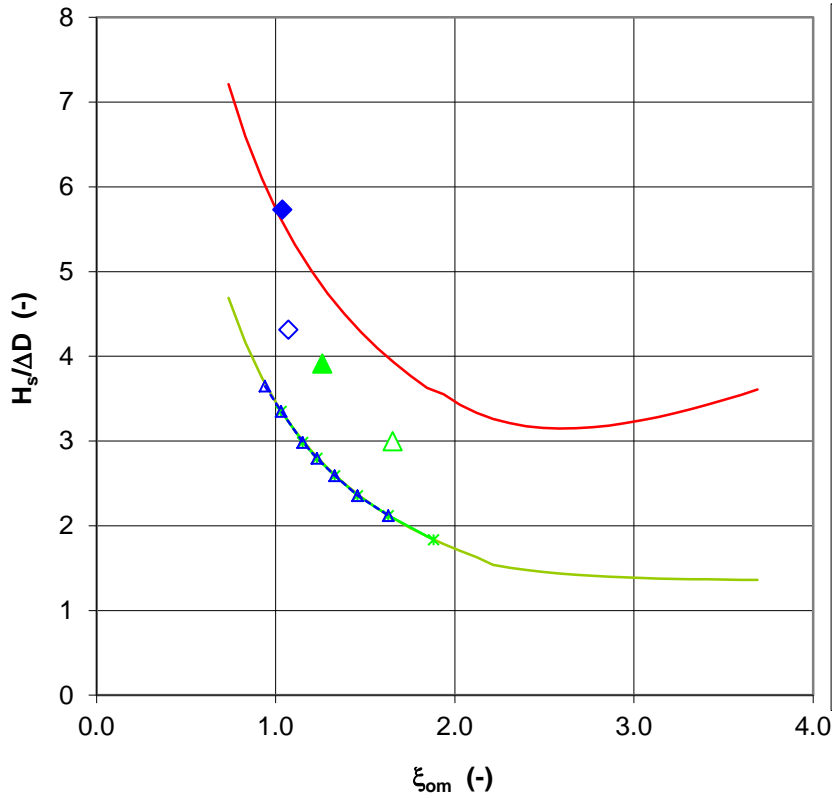
Black box type 1



- VTV ondergrens
- VTV bovengrens
- Steentoets: Basalton op zand
- Basalton op zand, DGB10, schade=a
- ▲ Basalton op zand, DGB12, schade=d
- ◆ Steentoets: basalton op zandasfalt, berm op +5m
- ◆ basalton op zandasfalt, 2o01, schade=d
- △ modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4, testsectie 1)
- ◇ modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1); 16; schade = a
- modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1); 17+19+22; schade = a
- △ modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4 testsectie 1); 14+18+20+21+25; schade = a

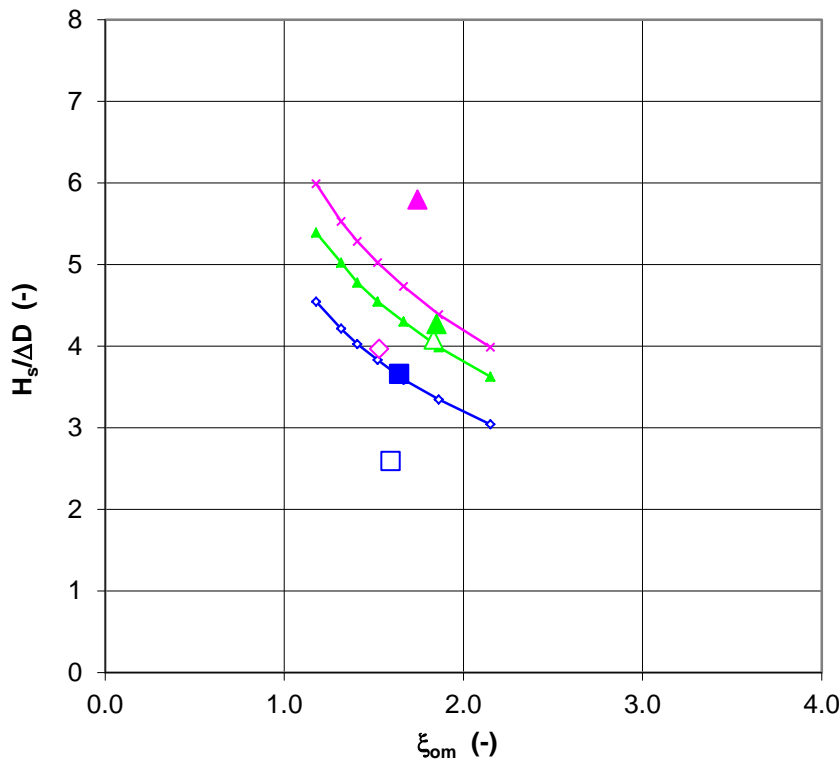
Black box type 1 (steenzettingen op zand en zandasfalt)

Black box type 2



- VTV ondergrens
- VTV bovengrens
- *— Steentoets: blokken met ruwheid op klei
- △ blokken met ruwheid op klei, A02, schade=a
- ▲ blokken met ruwheid op klei, A03, schade=d
- - - △ Steentoets: blokken op klei
- ◇ blokken op klei, c.1.3.23, schade=a
- ◆ blokken op klei, c.2.5-49, schade=d

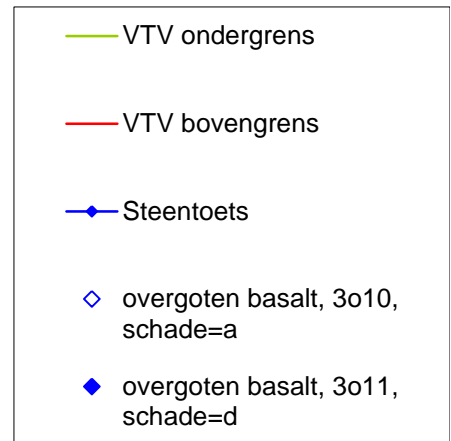
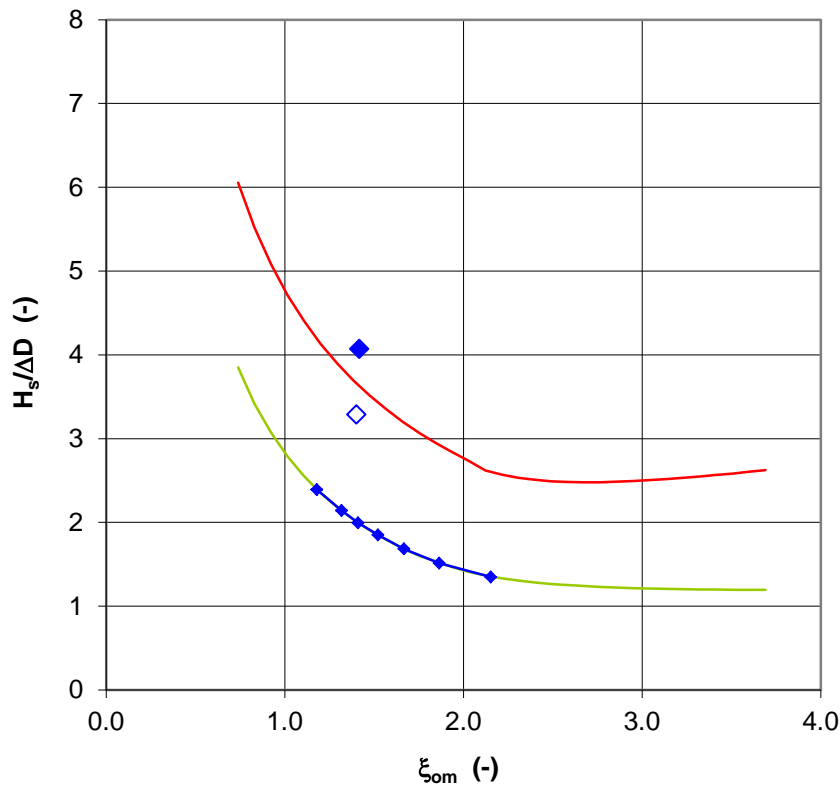
goed ingegoten basalt



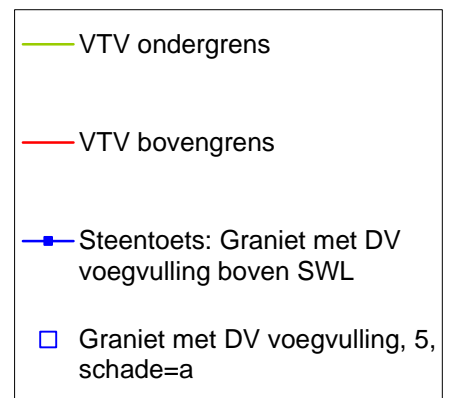
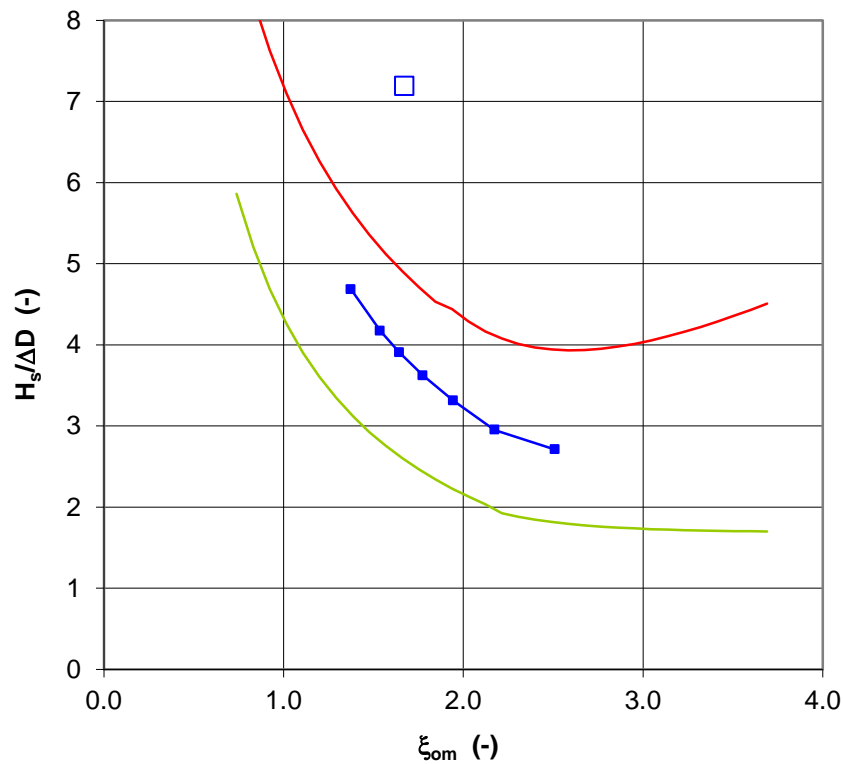
- ◇ Steentoets: half ingegoten, N=4850, h=3,9m
- Ingegoten basalt (half), P01-02, schade=a
- Ingegoten basalt (half), P03-05, schade=d
- *— Steentoets: volledig ingegoten, N=6900, h=3,1m
- △ Ingegoten basalt (volledig), LW 17-19, schade=b
- ▲ Ingegoten basalt (volledig), LW 17-21, schade=d
- *— Steentoets: volledig ingegoten, N=2600, h=4,4m
- ◇ Ingegoten basalt (volledig), HW 12+13+14, schade=b
- ▲ Ingegoten basalt (volledig), HW 22-23A, schade=d

Boven: Black box type 2 (steenzettingen op klei)
 Onder: Black box (ingegoten en overgoten steenzettingen)

Overgoten basalt (Black box type 3c)

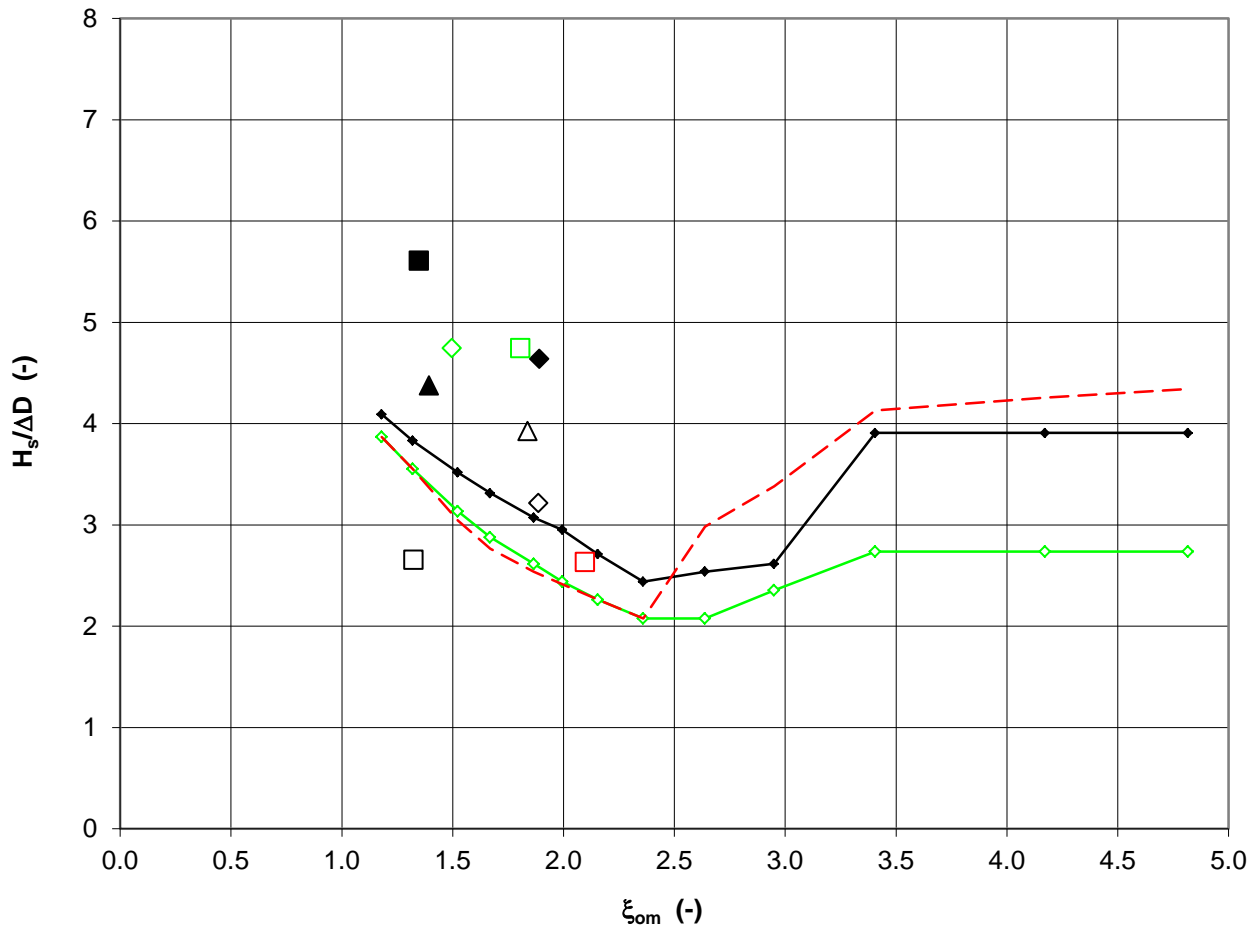


Graniet met DV-voegvulling boven SWL (Black box type 2)



Boven: Black box type 3c (overgoten asfalt)
Onder: Black box type 2 (steenzetting boven SWL)

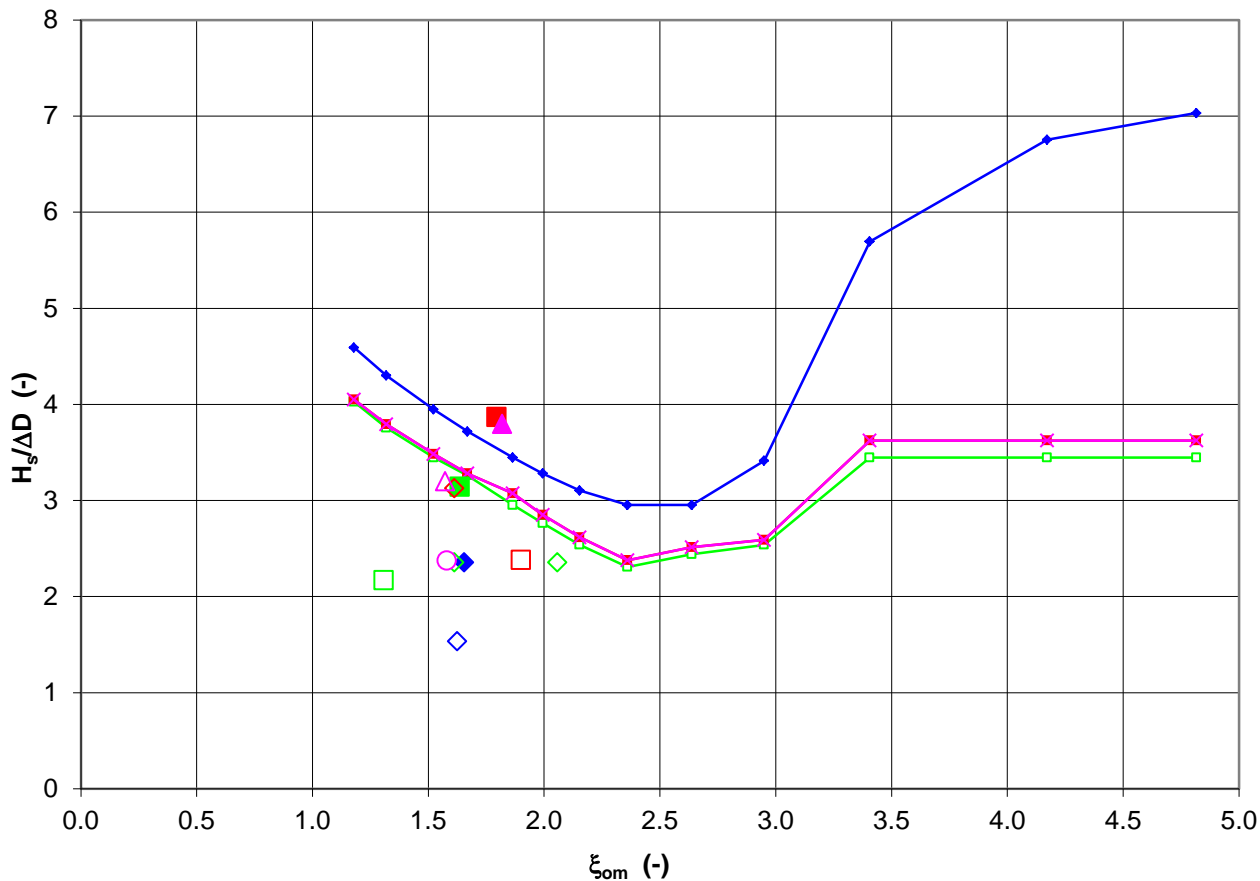
plat gezette blokken 1997



- ◆— Deltagoot 1997, wel/niet dichtgeslibte betonblokken, dicht filter, berm op +5, D = 20 cm
- ◇ Deltagoot 1997, 4bo06, schade=a
- Deltagoot 1997, 4co01, schade=a
- △ Deltagoot 1997, 4co07, schade=a
- ▲ Deltagoot 1997, 4co08, schade=c
- ◆ Deltagoot 1997, 4co09, schade=c
- Deltagoot 1997, 4co13, schade=d
- ◇— Deltagoot 1997, serie 5, blokken op mijnsteen, berm op +5, D = 25 cm
- ◇ Deltagoot 1997, 5o05, schade=a
- Deltagoot 1997, 5o06, schade=b
- - - Deltagoot 1997, serie 6, blokken op mijnsteen, berm op +5, lage waterstand, D = 25 cm
- Deltagoot 1997, 6o21, schade=a

Plat gezette blokken op filter (1997)
 blokken van 50x50 cm²

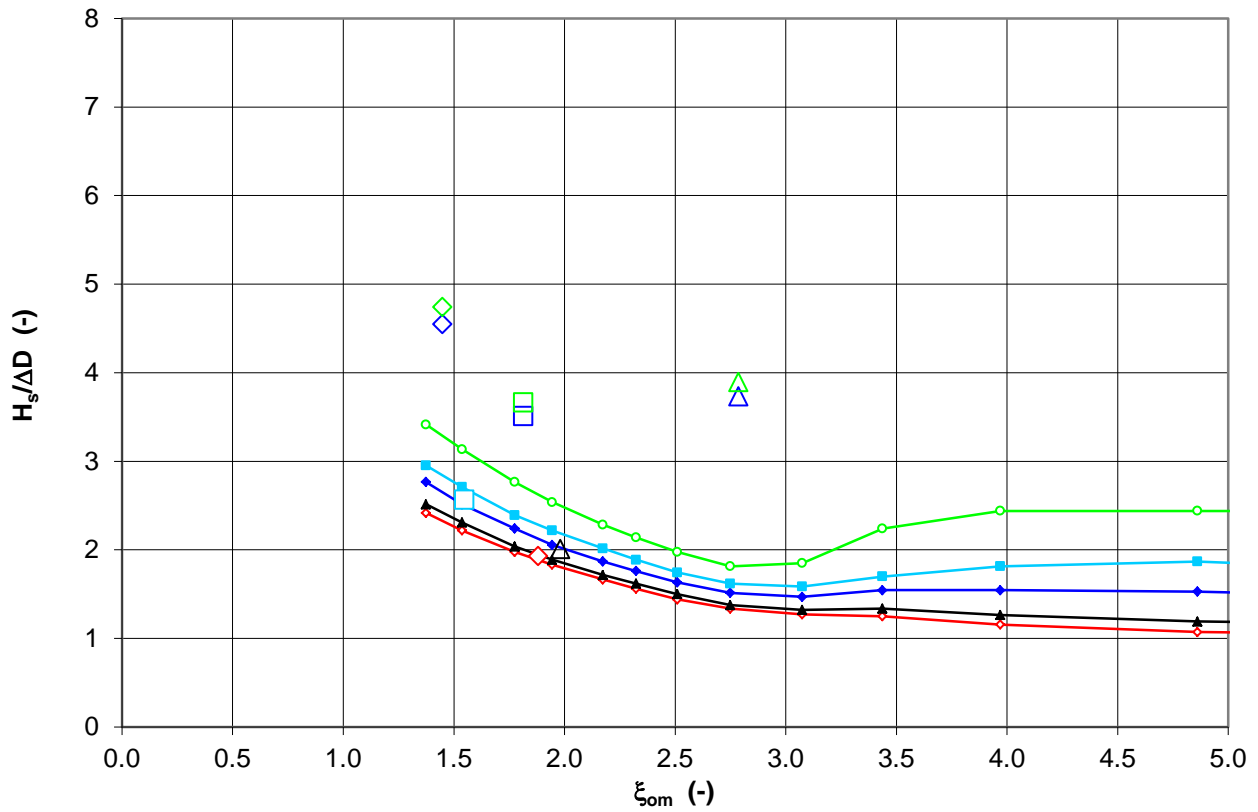
plat gezette blokken 1998, serie 20



- ◆— Deltagoot 1998, serie20, grote blokken met brede stootvoegen zonder inwas
- ◇ Deltagoot 1998, 20a03, schade=a
- ◆ Deltagoot 1998, 20a04, schade=c
- Deltagoot 1998, serie20, grote blokken met brede stootvoegen met inwas
- Deltagoot 1998, 20a05, schade=a
- ◇ Deltagoot 1998, 20a06, schade=b
- ◇ Deltagoot 1998, 20a07, schade=b
- Deltagoot 1998, 20a08, schade=c
- Deltagoot 1998, serie20, kleine blokken met brede stootvoegen met inwas
- Deltagoot 1998, 20b03, schade=a
- ◇ Deltagoot 1998, 20b04, schade=b
- Deltagoot 1998, 20b05, schade=c
- ×— Deltagoot 1998, serie20, kleine blokken met brede langsvoegen met inwas
- Deltagoot 1998, 20b07, schade=a
- △ Deltagoot 1998, 20b09, schade=b
- ▲ Deltagoot 1998, 20b10, schade=d

Plat gezette blokken op filter (1998)
 blokken van 50x50 en 25x25 cm²

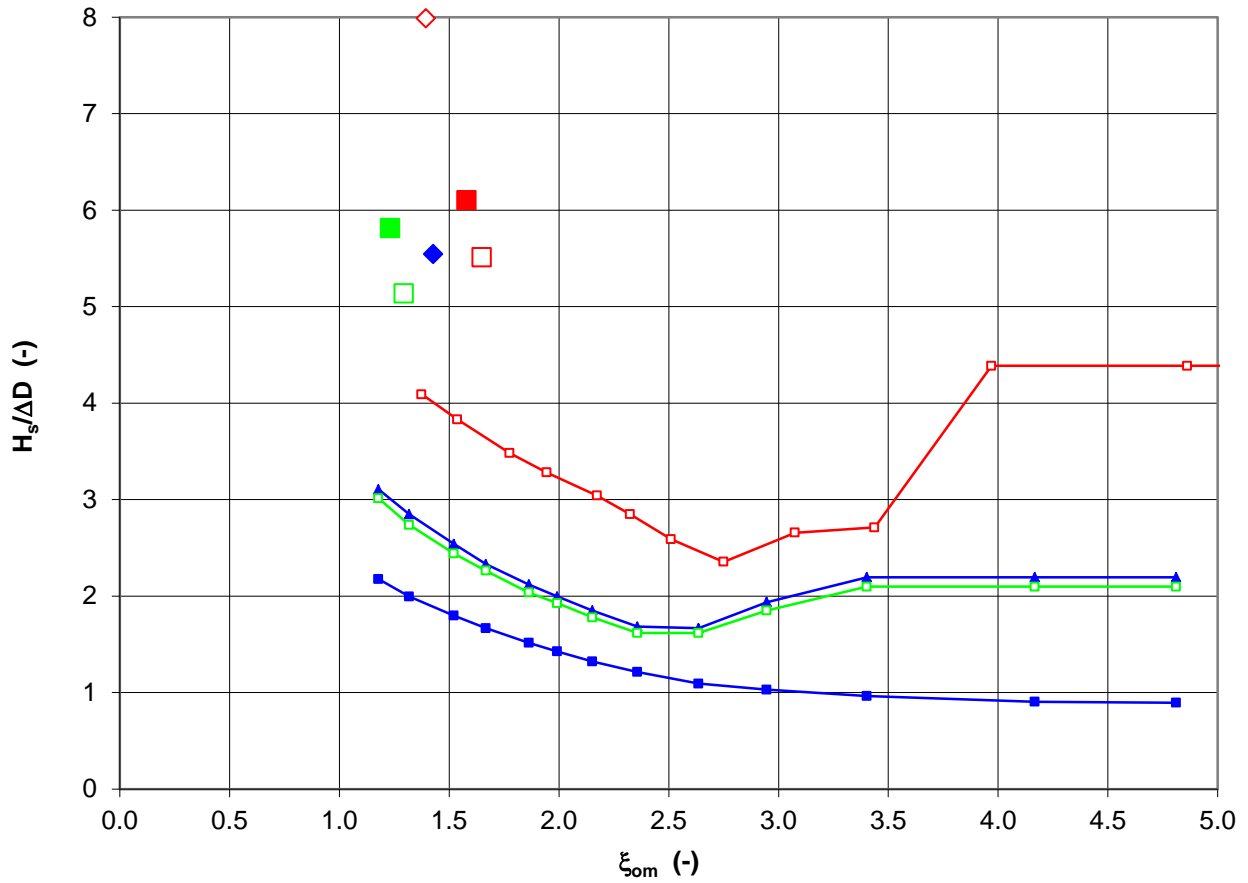
plat gezette blokken



- ◆— Eindverificatie 1991, Blokken met gaten op filter - 1oost
- Blokken op filter - 1oost, 128, schade=a
- ◇ Blokken op filter - 1oost, 154, schade=a
- △ Blokken op filter - 1oost, 155, schade=a
- Eindverificatie 1991, Dichte blokken op filter - 1west
- Blokken op filter - 1west, 128, schade=a
- ◇ Blokken op filter - 1west, 154, schade=a
- △ Blokken op filter - 1west, 155, schade=a
- ◇— Eindverificatie 1991, Dichte blokken op filter - 2oost
- ◇ Blokken op filter - 2oost, 248, schade=a
- ▲— Eindverificatie 1991, Dichte blokken op filter - 2west
- △ Blokken op filter - 2west, 248, schade=a
- Eindverificatie 1991, Dichte blokken op filter - 6west
- Blokken op filter - 6west, 627, schade=a

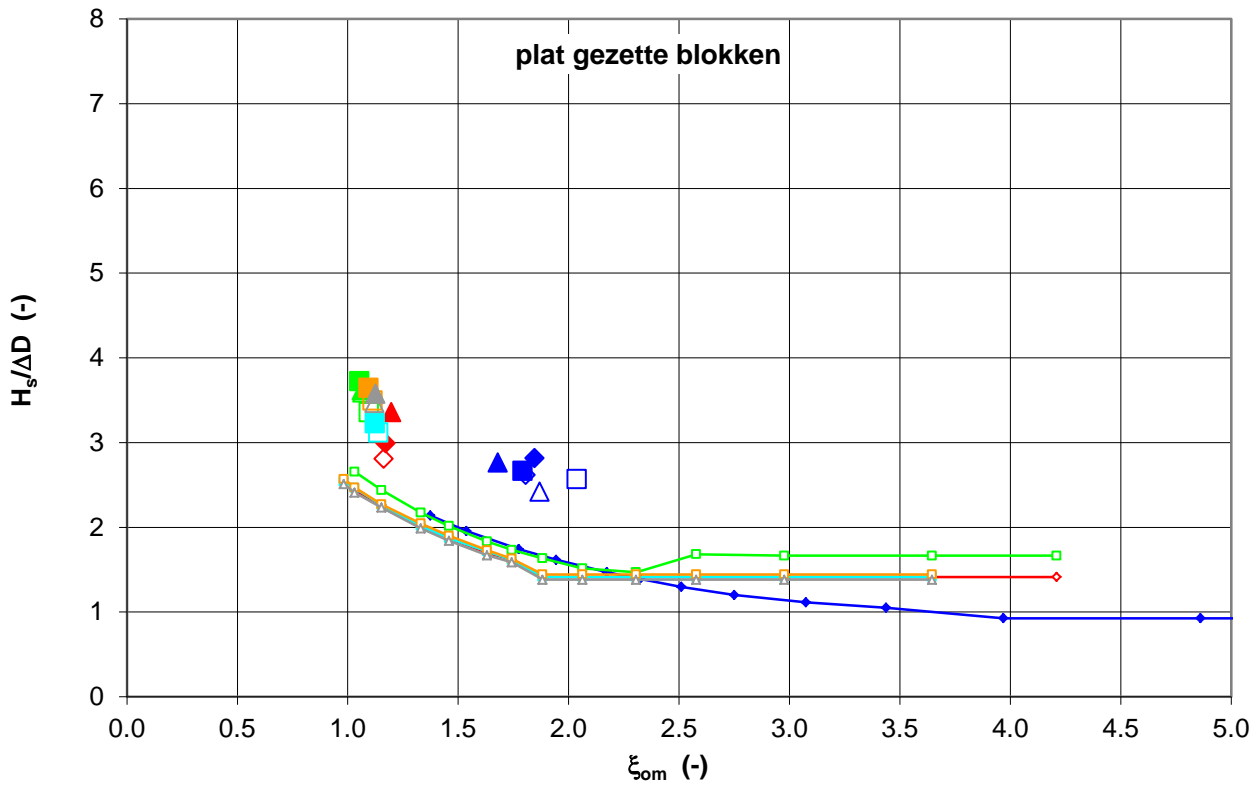
Plat gezette blokken op filter
 blokken van 25x30 en 50x50 cm²

plat gezette blokken



- Provo1985, ingewassen Haringmanblokken, N=13000
- ◆ Haringmanblokken, 6, schade=d
- ▲— Provo1985, Haringmanblokken zonder inwas, N=13000
- Provo1985, Haringmanblokken zonder inwas, N=27000
- Haringmanblokken, 10, schade=a
- Haringmanblokken, 15, schade=c
- Deltagoot 1983, Armorflex zonder kabels
- Armorflex zonder kabels, 45, schade=a
- Armorflex zonder kabels, 46, schade=d
- ◇ Armorflex zonder kabels, 58, schade=a

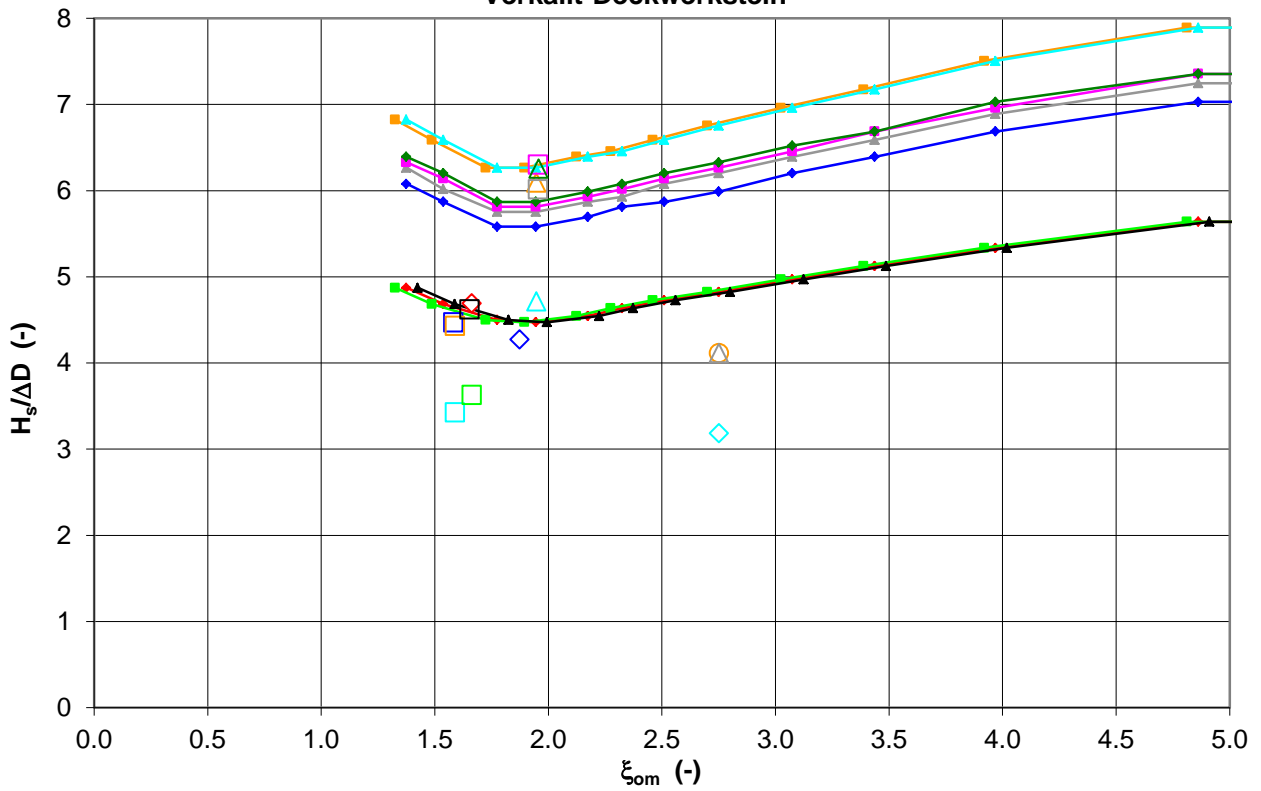
Plat gezette blokken op filter
 Haringmanblokken van 50x50 cm² en Armorflex



- ◆ Deltagoot 1983 (M1795 deel 9), blokken op filter
- blokken op filter, 30, schade=a
- blokken op filter, 31, schade=d
- △ blokken op filter, 34, schade=a
- ▲ blokken op filter, 35, schade=d
- ◇ blokken op filter, 38, schade=a
- ◆ blokken op filter, 37, schade=d
- Oesterdam 1982, blokken op filter, D = 15 cm
- blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.1.1-6, schade=b
- blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.1.1-7, schade=d
- △ blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.1.2-17, schade=b
- ▲ blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.1.2-18, schade=d
- ◇— Oesterdam 1982, blokken op filter, D = 10 cm
- ◇ blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.2.4-46, schade=b
- ◆ blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.2.4-47, schade=d
- ▲ blokken op filter (pennen => geen normaalkracht), c.2.3-51, schade=d
- Oesterdam 1982, blokken met vellingkanten op filter, D = 10 cm
- blokken met vellingkanten op filter (pennen => geen normaalkracht), c.3.1-57, schade=a
- blokken met vellingkanten op filter (pennen => geen normaalkracht), c.3.1-58, schade=d
- Oesterdam 1982, blokken met gaten op filter, D = 10 cm
- blokken met gaten op filter (pennen => geen normaalkracht), c.3.2-60, schade=b
- blokken met gaten op filter (pennen => geen normaalkracht), c.3.2-61, schade=d
- △— Oesterdam 1982, halfsteensverband op filter, D = 10 cm
- △ blokken op filter, halfsteens zonder pennen, c.4-64, schade=b
- ▲ blokken op filter, halfsteens zonder pennen, c.4-65, schade=d

Plat gezette blokken op filter
Oesterdam en Gidsonderzoek

Verkalit-Deckwerkstein



- ◆— Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1); N = 1000
- Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1); 11; schade = a
- ◇ Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 1, testsectie 1); 12; schade = a
- Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1); N = 400
- Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1); 14; schade = a
- Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1); 25; schade = a
- △ Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1); 26+31; schade = a
- ◆— Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1); N = 5210
- ◇ Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 1); 23+27+28+29+30; schade = a
- ◆— haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2); N = 400
- haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2); 14; schade = a
- ◇ haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2); 25; schade = a
- △ haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2); 26+31; schade = a
- haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2); N = 5210
- haufwerksporige Verkalit-Deckwerkstein (serie 2, testsectie 2); 23+27+28+29+30; schade = a
- ◆— Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1); N = 800
- △ Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1); 13; schade = a
- Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1); 8+20+21+22; schade = a
- ◆— Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1); N = 5258
- Standard-Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 1); 9+16+17+18+19; schade = a
- ◆— modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 2); N = 720
- modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 3, testsectie 2); 8+20+21+22; schade = b
- ◆— modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4, testsectie 2); N = 677
- △ modifizierte Verkalit-Deckwerkstein (serie 4, testsectie 2); 17+19+22; schade = b

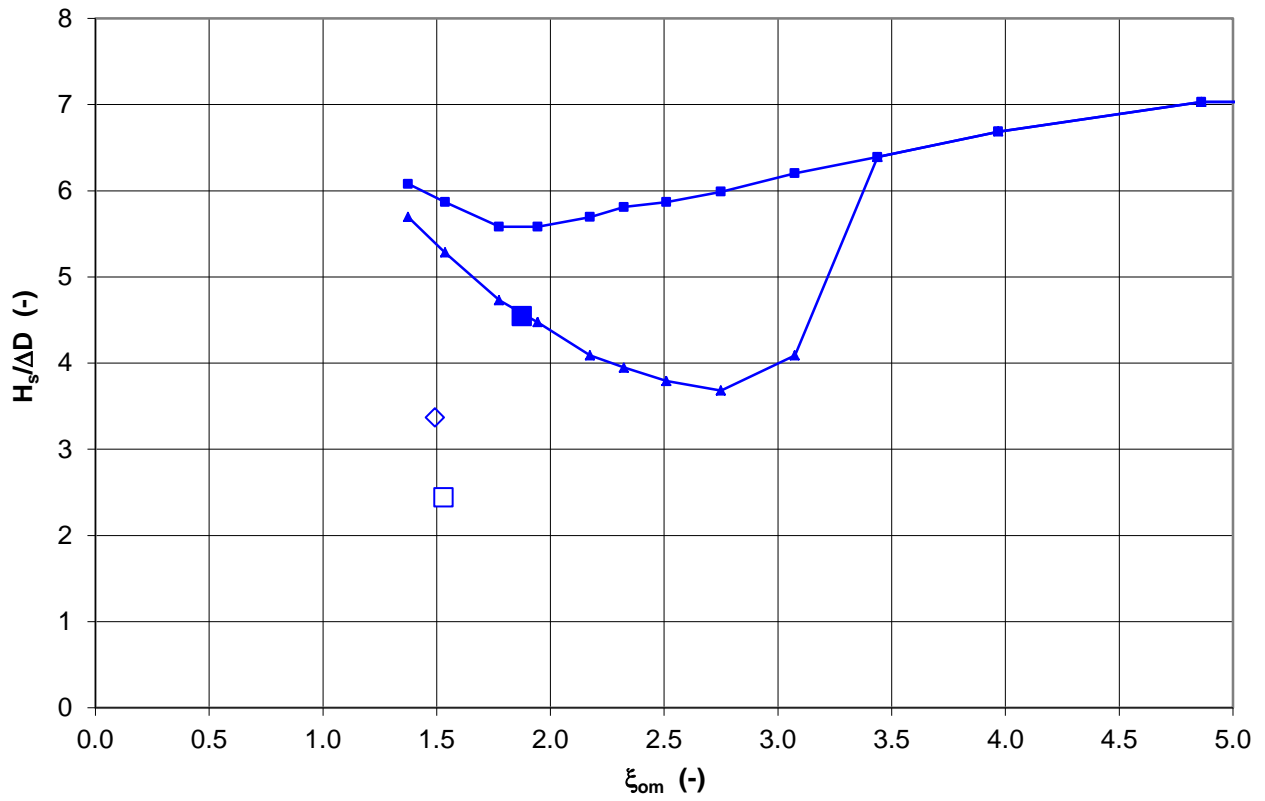
Verkalit-Deckwerkstein

Deltares

1208045-009

FIG. B.9

Pflasterstein



- Pflasterstein (serie 1, testsectie 2); N = 1000
- Pflasterstein (serie 1, testsectie 2); 5; schade = a
- ◇ Pflasterstein (serie 1, testsectie 2); 7; schade = b
- Pflasterstein (serie 1, testsectie 2); 12; schade = d
- ▲ Pflasterstein (serie 1, testsectie 2); n = 0,3; D15 = 5; N = 1000

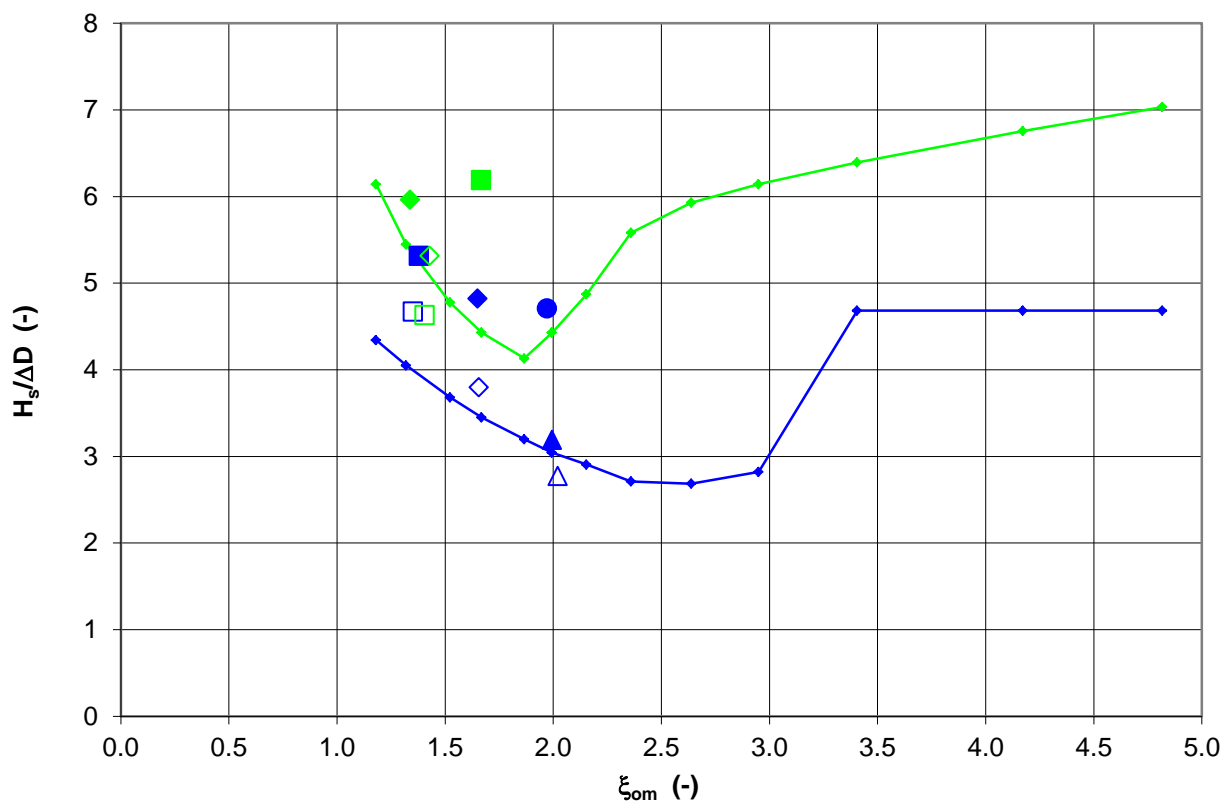
Pflasterstein

Deltares

1208045-009

FIG. B.10

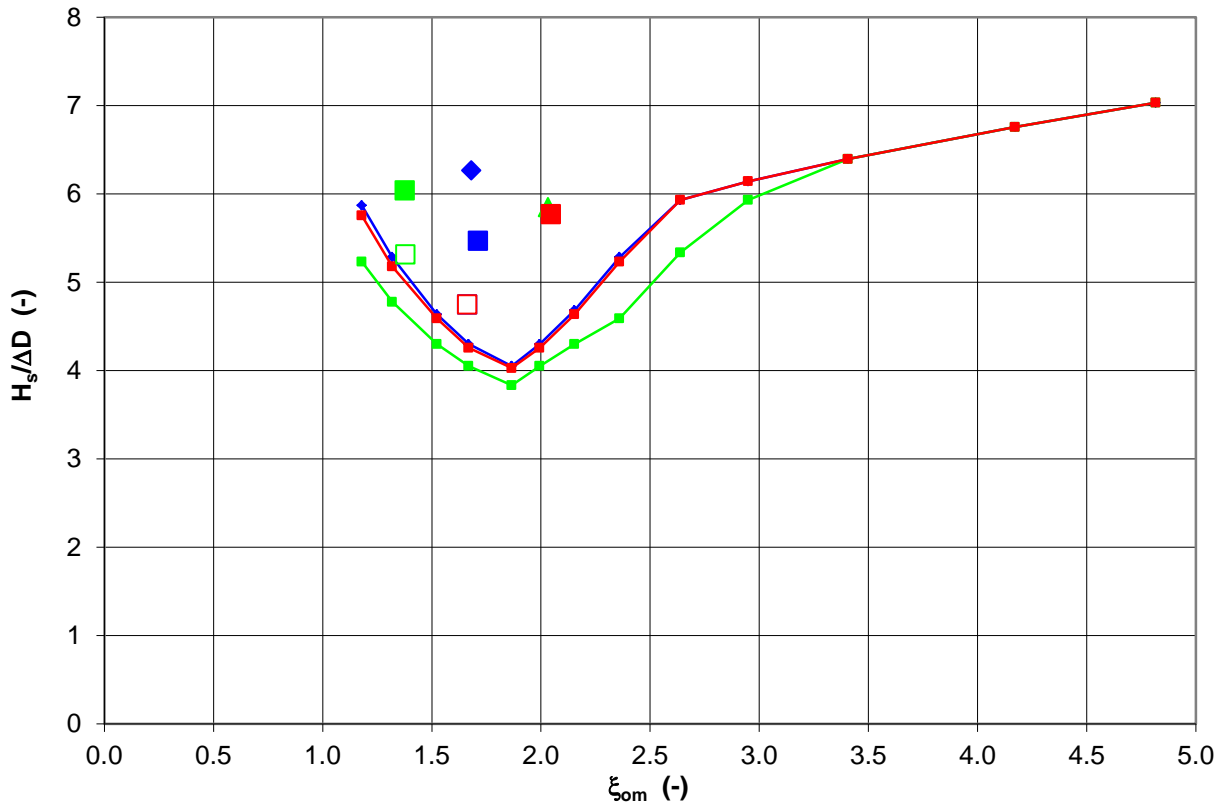
blokken op hun kant 1998, 12a en 12c



- ◆— Deltagoot 1998, serie 12a, blokken op zn kant koud tegen elkaar
- Deltagoot 1998, 12ao4, schade=a
- Deltagoot 1998, 12ao5, schade=d
- ◇ Deltagoot 1998, 12ao8, schade=a
- ◆ Deltagoot 1998, 12ao9, schade=d
- △ Deltagoot 1998, 12ao10, schade=b
- ▲ Deltagoot 1998, 12ao11, schade=c
- Deltagoot 1998, 12ao13, schade=d
- ◆— Deltagoot 1998, serie 12c, blokken op zn kant, brede langsvoeg met ronde stalen afstandhouders
- Deltagoot 1998, 12co3, schade=a
- ◇ Deltagoot 1998, 12co4, schade=b
- ◆ Deltagoot 1998, 12co5, schade=c
- Deltagoot 1998, 12co7, schade=d

Blokken op hun kant
Deltagoot 1998, serie 12a en 12c

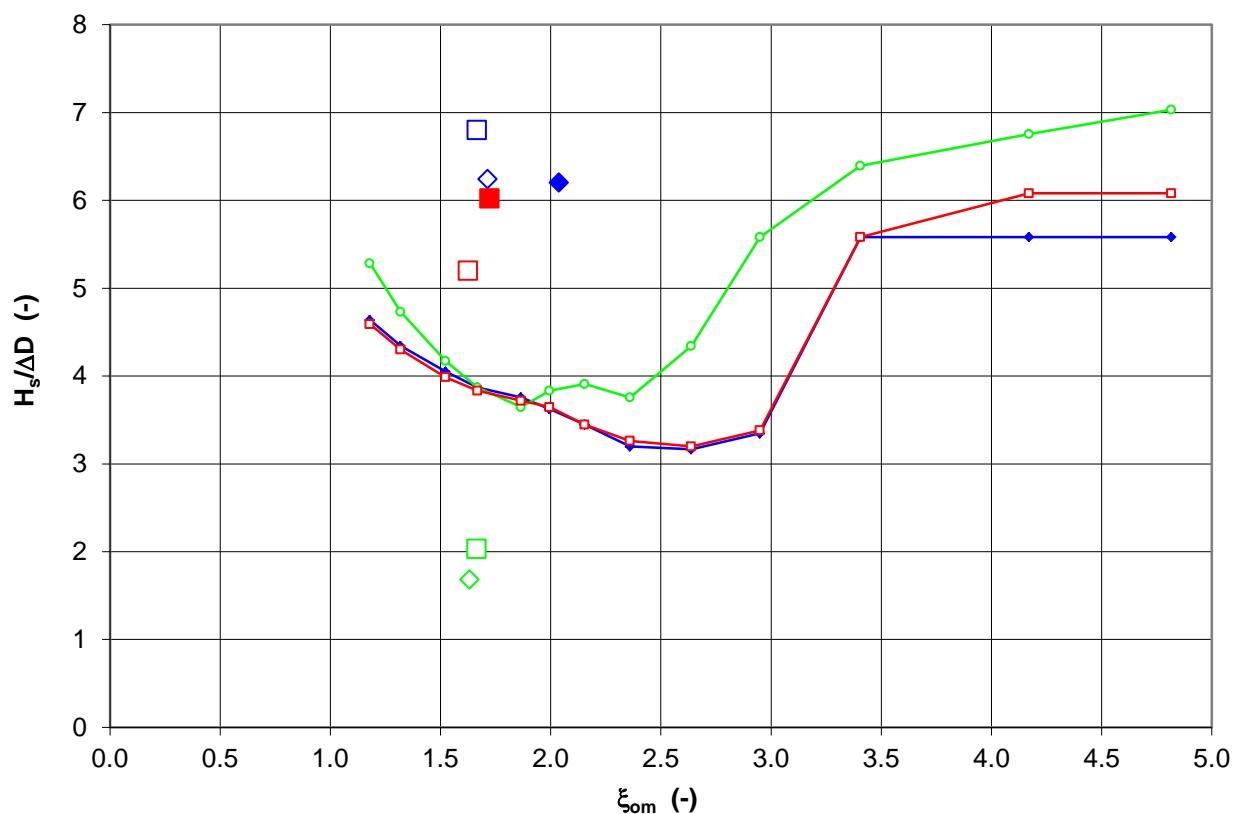
blokken op hun kant 1998, 12cc, 12d en 12cd



- ◆— Deltagoot 1998, serie 12cc, brede langsvoeg met plastic afstandshouders
- Deltagoot 1998, 12cco5, schade=a
- Deltagoot 1998, 12cco6, schade=c
- ◆ Deltagoot 1998, 12cco7, schade=d
- Deltagoot 1998, serie 12d, brede stootvoeg
- Deltagoot 1998, 12do6, schade=a
- Deltagoot 1998, 12do7, schade=c
- ▲ Deltagoot 1998, 12do10, schade=c
- Deltagoot 1998, serie 12cd, brede langsvoegen, plastic afstandh. met voetje
- Deltagoot 1998, 12cdo5, schade=b
- Deltagoot 1998, 12cdo8, schade=d

Blokken op hun kant
Deltagoot 1998, serie 12cc, 12d en 12cd

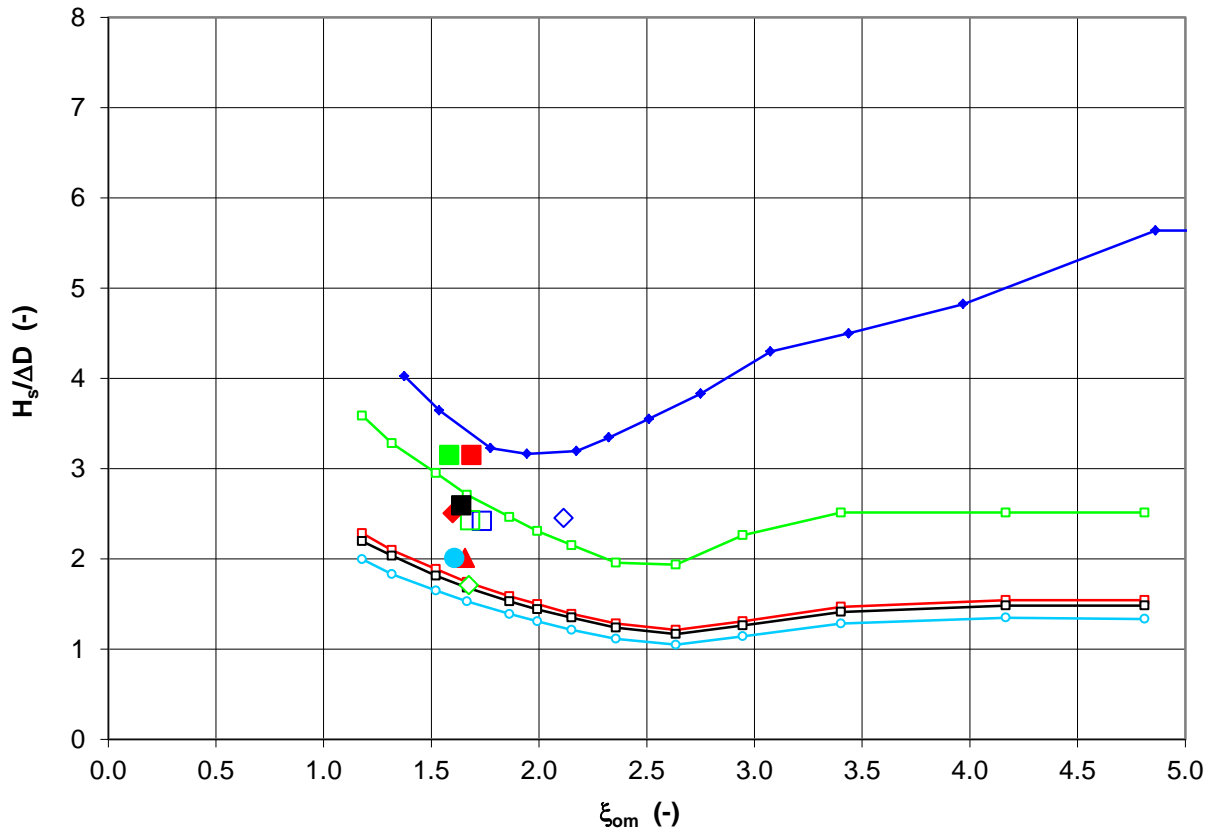
blokken op hun kant 1998, serie 21 en 23



- ◆— Deltagoot 1998, serie21, haringmanblokken op hun kant met brede stootvoegen
- ◆ Deltagoot 1998, 21o14, schade=a
- Deltagoot 1998, 21o15, schade=b
- ◆ Deltagoot 1998, 21o16, schade=c
- Deltagoot 1998, serie23, blokken op hun kant, brede stootv., geen inwas
- ◇ Deltagoot 1998, 23o1, schade=a
- Deltagoot 1998, 23o2, schade=b
- Deltagoot 1998, serie23, blokken op hun kant, brede stootv., met inwas
- Deltagoot 1998, 23o10, schade=a
- Deltagoot 1998, 23o11, schade=d

Blokken op hun kant
Deltagoot 1998, serie 21 en 23

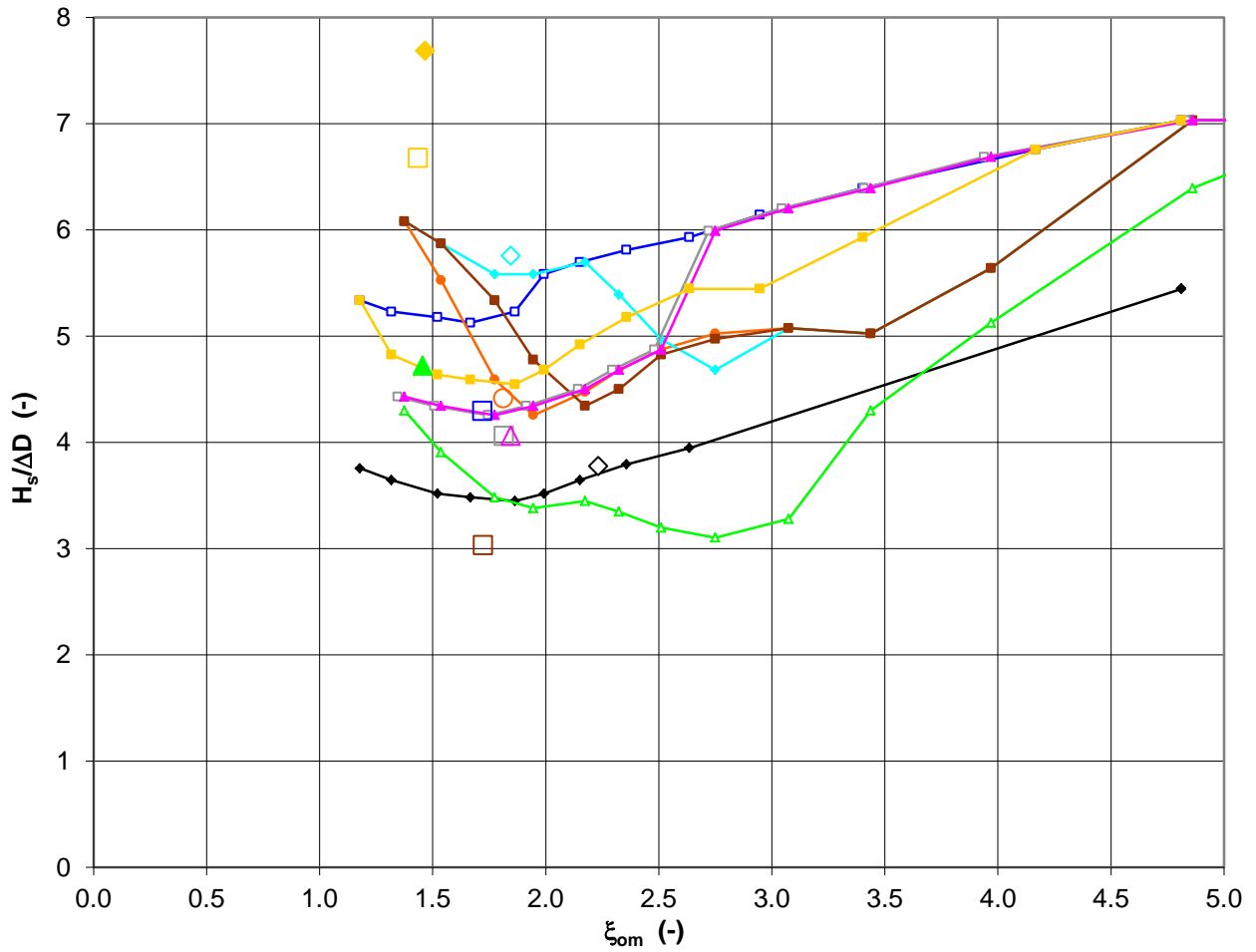
blokken op hun kant, lange duur



- ◆— Deltagoot 2007, grote blokken op hun kant, N = 20000
- Deltagoot 2007, T13-17, schade=a
- ◆ Deltagoot 2007, T22-26, schade=a
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, N=1000
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4120, schade=c
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4931, schade=a
- ◇ Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4040, schade=a
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, N=3700
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4120-4122, schade=d
- ◆ Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4931-4932, schade=c
- ▲ Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4140+4141, schade=c
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, N=6800
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4931-4934, schade=d
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, N=48000
- Blokjes op hun kant, langeduurproeven, 4140-4541, schade=c

Blokken op hun kant
Langeduurproeven

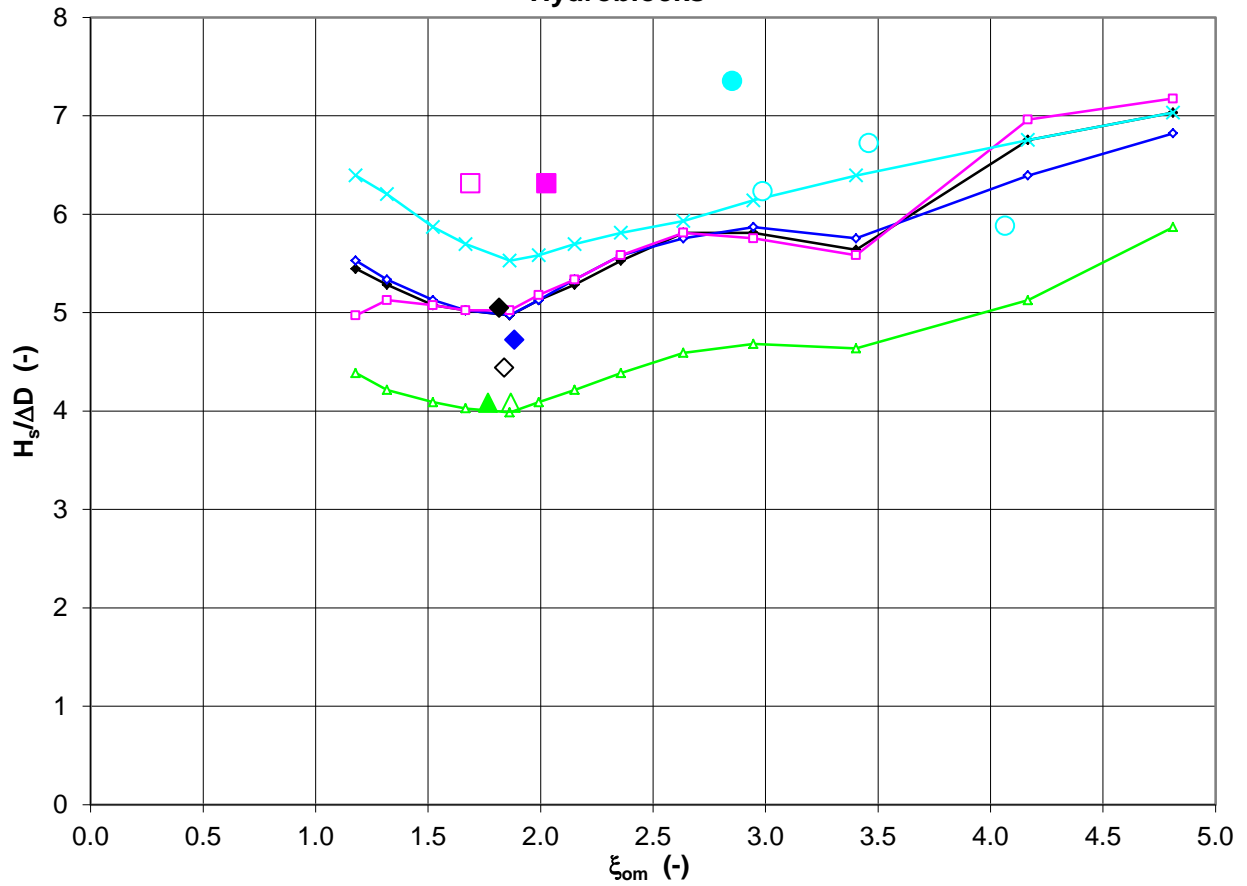
Basalton



- ◆ Basalton, D = 20 cm, langeduurproeven, N = 26385
- ◇ Basalton, langeduurproeven, nov03-4805, schade=a
- Basalton 1997, D = 20 cm, N = 1000
- Basalton, 26, schade=a
- ▲ Basalton (niet ingewassen), D = 20 cm
- ▲ Basalton M1900 (niet ingewassen), 4, schade=d
- Basalton; testsectie onder overgangsconstructie; d/Hs = ca. 0,5; N = 993
- Basalton; onder overgangsconstructie; C2; schade = a
- ◆ Basalton; testsectie onder overgangsconstructie; d/Hs = ca. 0,7; N = 1006
- ◇ Basalton; onder overgangsconstructie; E1; schade = a
- Basalton; testsectie onder overgangsconstructie; d/Hs = ca. 0,9; N = 1020
- Basalton; onder overgangsconstructie; A3; schade = a
- Basalton; testsectie boven overgangsconstructie; d/Hs = ca. 0,7; N = 1006
- Basalton; boven overgangsconstructie; E1; schade = a
- ◆ Basalton; testsectie zonder overgangsconstructie; d/Hs = ca. 0,7; N = 1006
- △ Basalton; zonder overgangsconstructie; E1; schade = a
- Basalton; N = 1051
- Basalton; P03; schade = a
- ◆ Basalton; P04; schade = d

Basalton		
Deltares	1208045-009	FIG. B.15

Hydroblocks



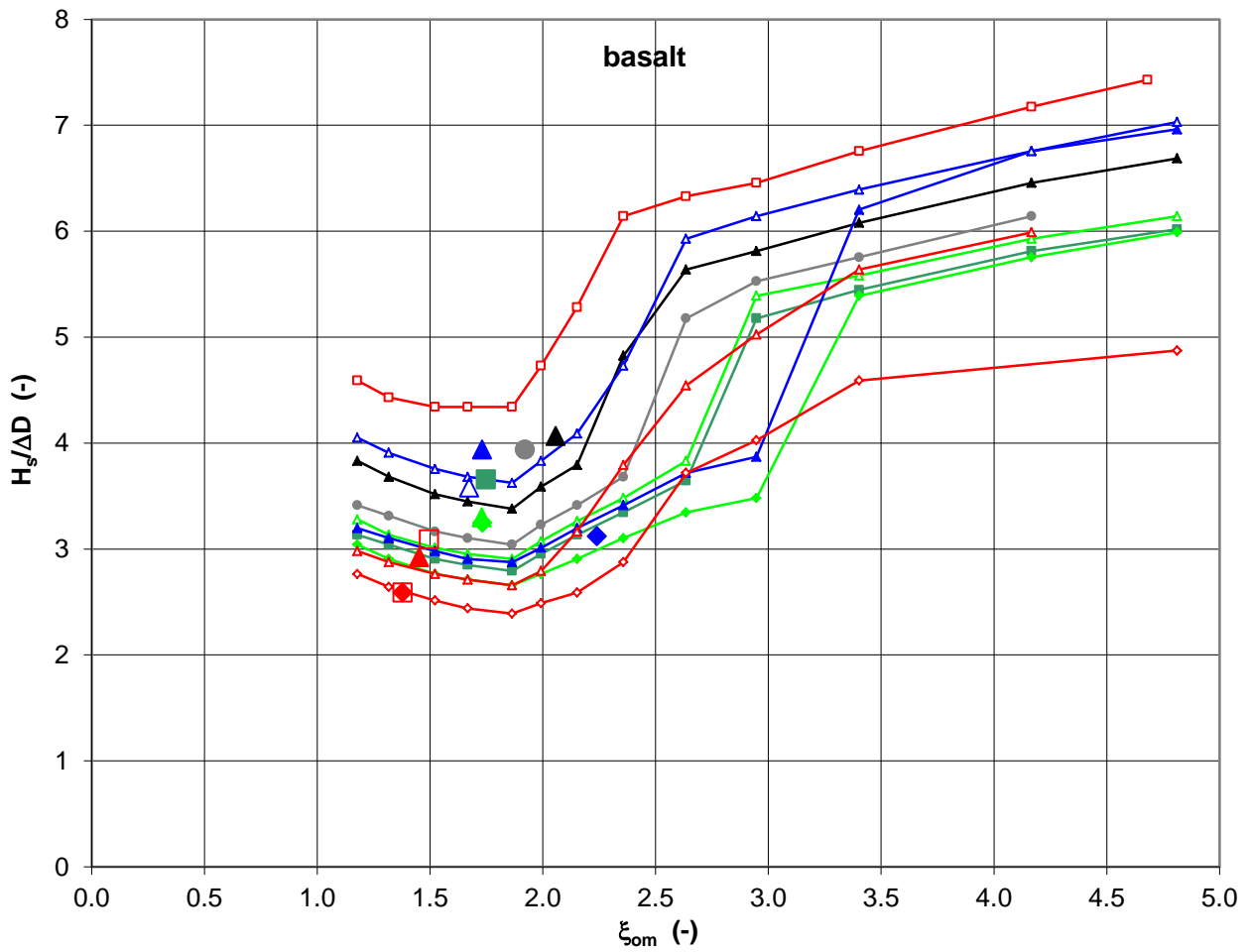
- Lange duur onderzoek; D = 15 cm; N=1000
- ◇ Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven, 5250, schade=a
- ◆ Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven, 5251, schade=d
- Lange duur onderzoek; D = 15 cm; N=1642
- ◆ Hergebruikte Hydroblocks 15 cm, langeduurproeven, 4250+4251, schade=d
- ▲— Lange duur onderzoek; D = 20 cm; N=11000
- △ Hydroblocks 20 cm, langeduurproeven, 4260-4660, schade=a
- ▲ Hydroblocks 20 cm, langeduurproeven, 4260-4860, schade=d
- Hydroblocks, D = 20 cm, 1998
- Hydroblocks, 20 cm, 1998, 5, schade=b
- Hydroblocks, 20 cm, 1998, 6, schade=c
- ×— Hydroblocks, D = 15 cm, lange golven
- Hydroblocks, 15, schade=a
- Hydroblocks, 16, schade=a
- Hydroblocks, 25, schade=a
- Hydroblocks, 26, schade=d

Hydroblock

Deltares

1208045-009

FIG. B.16



- ▲— basalt, langeduurproeven, N = 2115
- ▲ basalt, langeduurproeven, 4418, schade=c
- basalt, langeduurproeven, N = 4516
- basalt, langeduurproeven, 4418+4618, schade=d
- △— basalt, langeduurproeven, N = 6500
- ▲ basalt, langeduurproeven, 4411+4610, schade=c
- basalt, langeduurproeven, N = 8835
- basalt, langeduurproeven, 4215-4616, schade=b
- ◇— basalt, langeduurproeven, N = 16300
- ◇ basalt, langeduurproeven, 4411-4812, schade=d
- ▲— Basalt 2003, N = 1118, D = 20 cm, 26.0
- △— Basalt 2003, N = 1000, D = 20 cm, 26.1
- △ Basalt 2003, D = 20 cm, 5, schade=a
- ▲ Basalt 2003, D = 20 cm, 6, schade=c
- ◆ Basalt 2003, D = 20 cm, 8, schade=d
- basalt, Provo '85, D= 30 cm, N = 400, 26.0
- basalt, Provo '85, 21, schade=a
- basalt, Provo '85, 23, schade=a
- △— basalt, Provo '85, D= 30 cm, N = 6000, 26.0
- ▲ basalt, Provo '85, 22, schade=d
- ◇— basalt, Provo '85, D= 30 cm, N = 23000, 26.0
- ◇ basalt, Provo '85, 24, schade=d

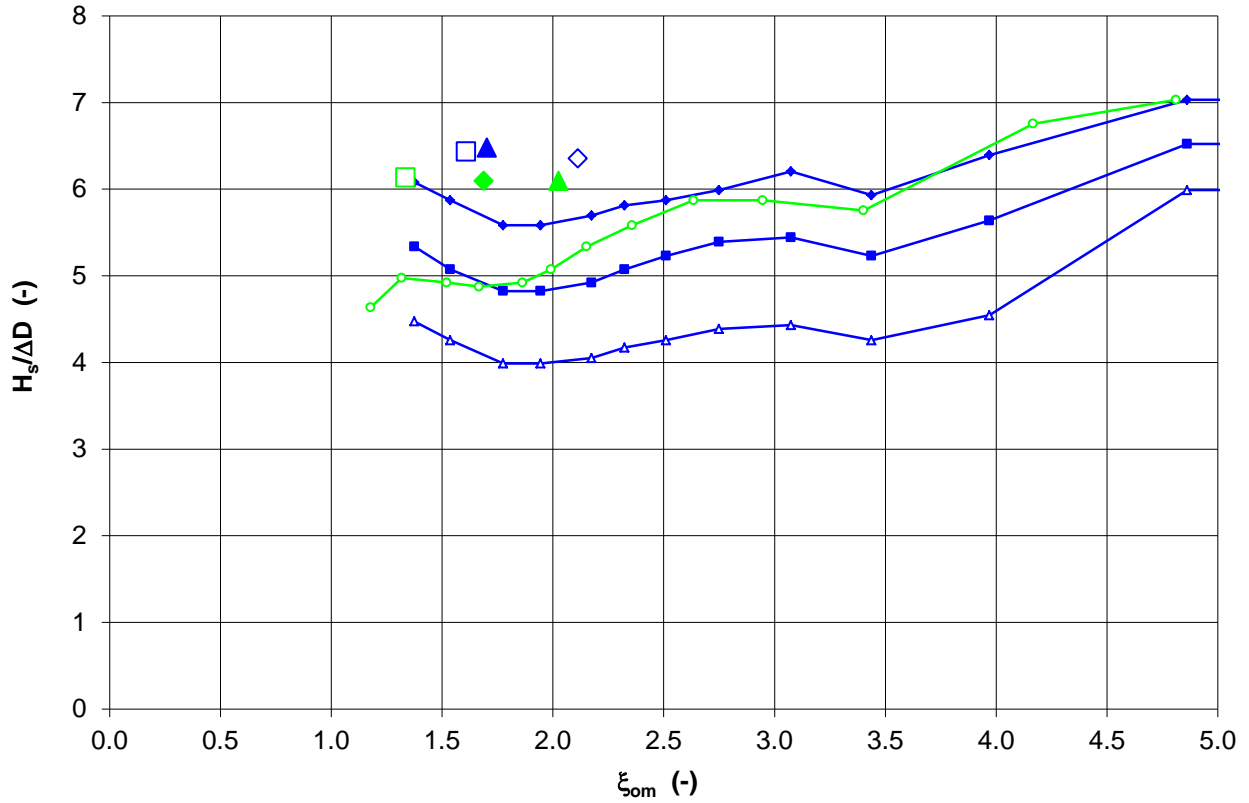
basalt

Deltares

1208045-009

FIG. B.17

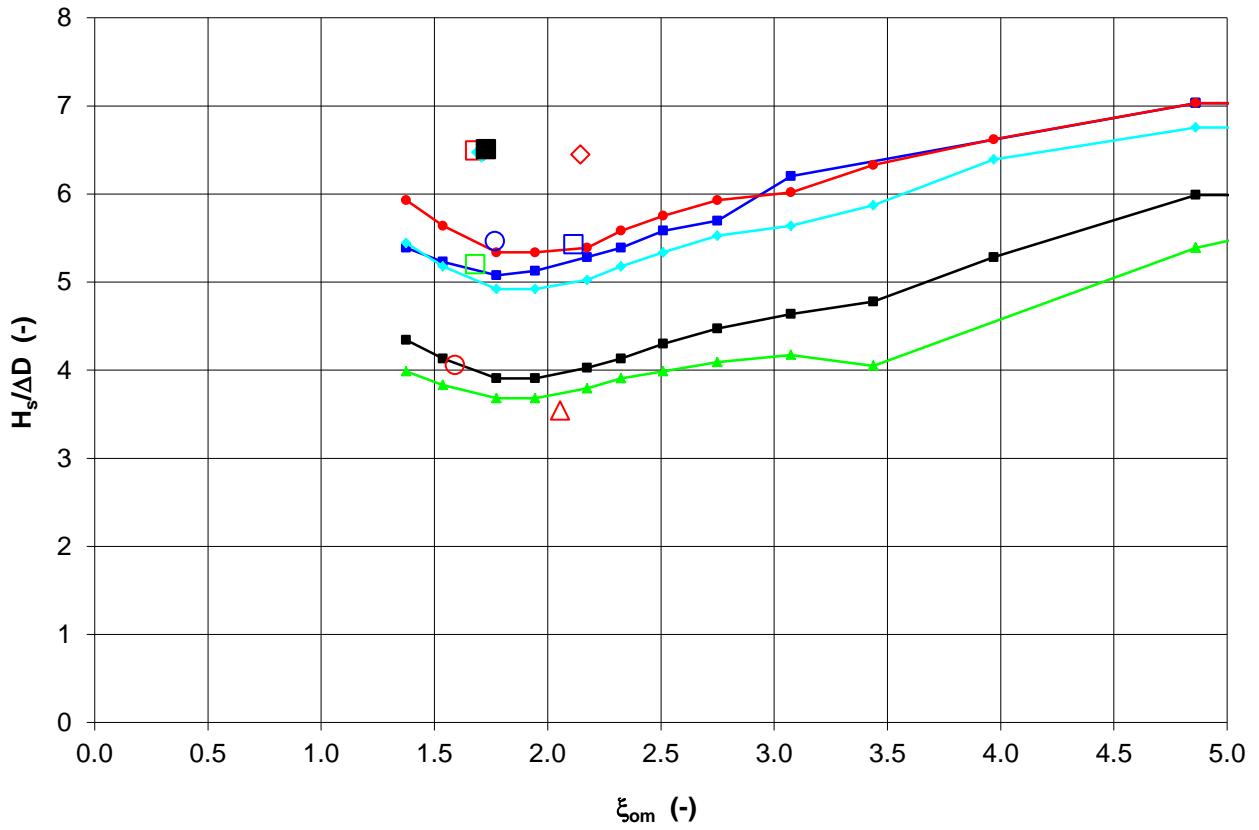
C-Star en Pit-Polygoonzuilen



- ◆— C-Star, D = 18 cm, N = 1000
- ◇— Deltagoot 2007, T15, schade=a
- C-Star, D = 18 cm, N = 3000
- Deltagoot 2007, T24-32, schade=b
- △— C-Star, D = 18 cm, N = 20000
- ▲— Deltagoot 2007, T24-34, schade=c
- Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998
- Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998, 4, schade=b
- ◆— Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998, 5, schade=c
- ▲— Pit-polygoonzuilen, 20 cm, 1998, 6, schade=d

C-Star en Pit-polygoonzuilen

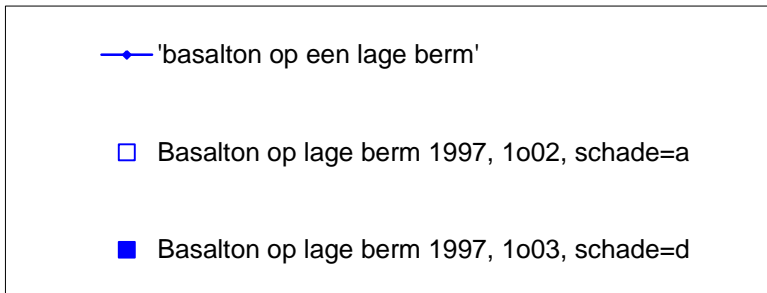
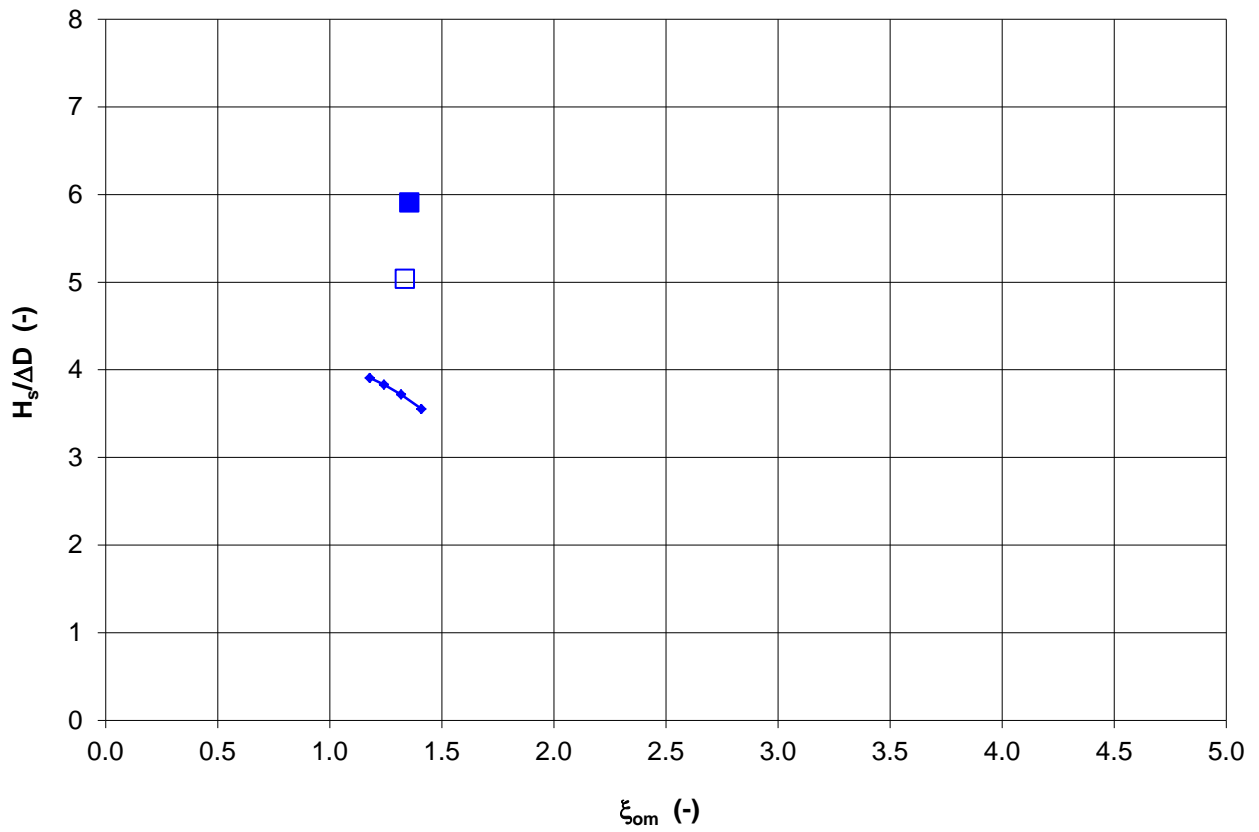
Hillblocks en RonaTon+



- Hillblocks; N = 1032
- Hillblocks; T005; schade = a
- Hillblocks; T014; schade = a
- ▲ Hillblocks; langeduurproeven; N = 25062
- Hillblocks; T008-T015; schade = a
- RonaTon+; N = 1050
- △ RonaTon+; T1; schade = b
- ◇ RonaTon+; T5; schade = b
- RonaTon+; T6; schade = b
- RonaTon+; T9; schade = b
- ◆ RonaTon+; langeduurproeven; N = 1880
- ◆ RonaTon+; T9-T10; schade = c
- RonaTon+; langeduurproeven; N = 10322
- RonaTon+; T9-T11B; schade = d

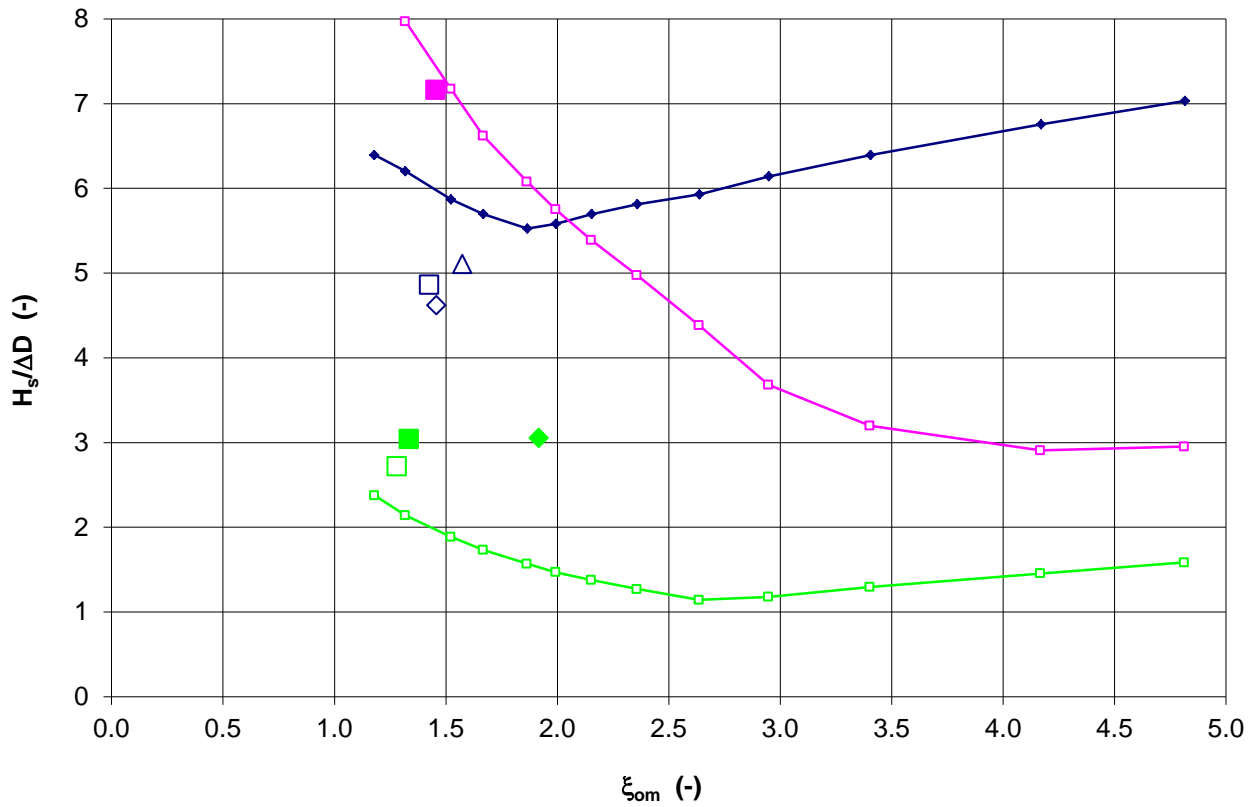
Hillblocks en RonaTon+

Basalton op berm



Basalton op een berm

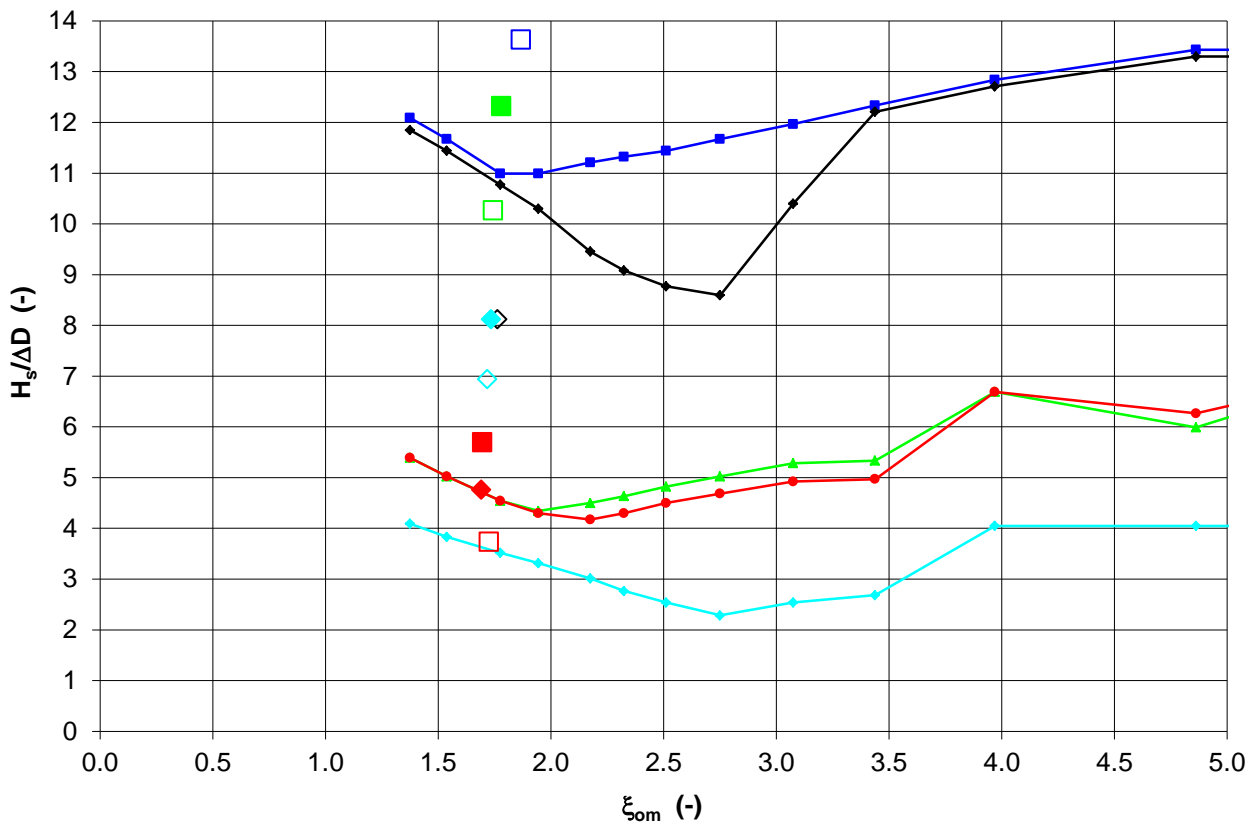
granietblokken en Vilvoordse steen



- ◆ Dichtgeslibte granietblokken 1997, dicht filter, berm op +5
- ◇ Deltagoot 1997, 4ao06, schade=a
- Deltagoot 1997, 4ao07, schade=b
- △ Deltagoot 1997, 4do10, schade=a
- Vilvoordse steen, Provo '85, Dn50 = 16 cm
- Vilvoordse steen (plat) met Dn50, 26, schade=a
- Vilvoordse steen (rond) met Dn50, 1, schade=d
- ◆ Vilvoordse steen (rond) met Dn50, 3, schade=d
- Vilvoordse steen, Provo '85, Dn50 = 16 cm; diep onder water
- Vilvoordse steen (plat) met Dn50, schade=d

Granietblokken en Vilvoordse steen

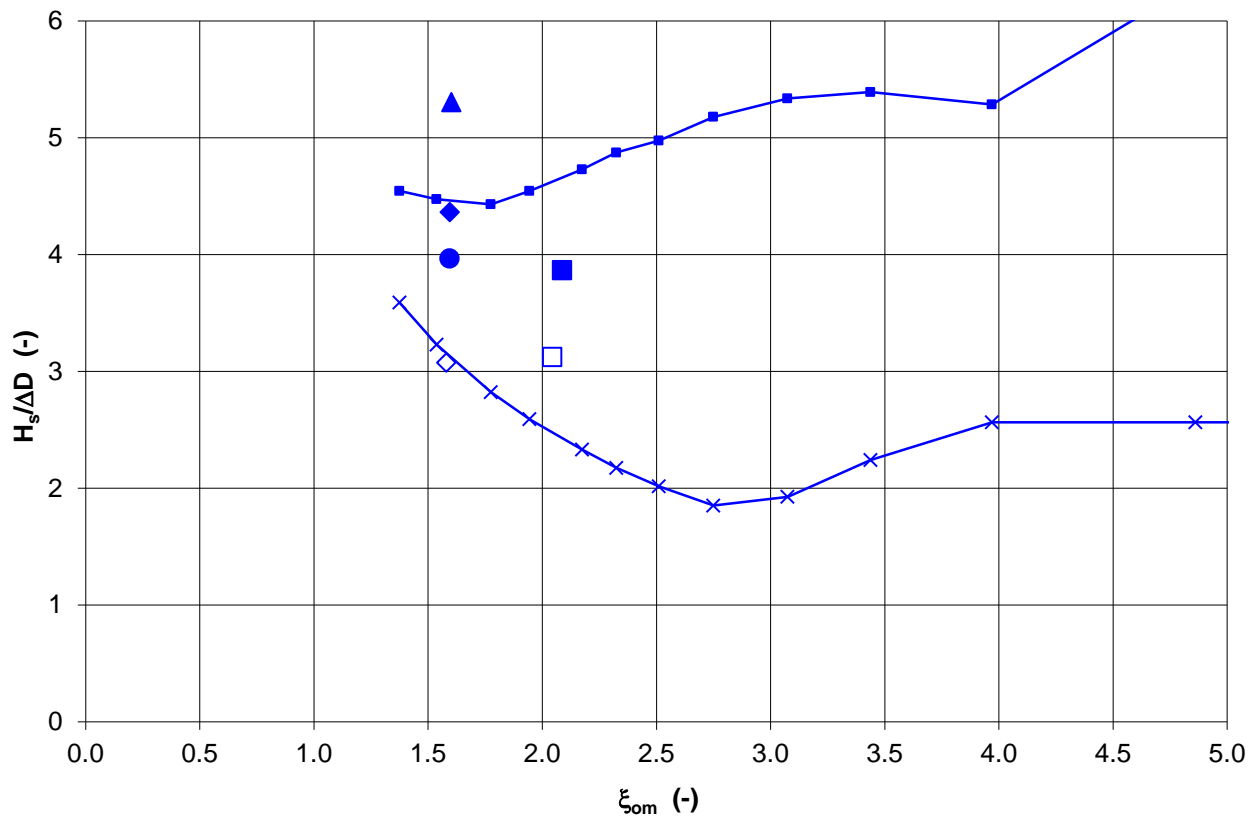
Steenzetting boven SWL



- Boven SWL; testsectie zuilen; serie L; N = 1002
- Boven SWL; zuilen; L6; schade = a
- ▲— Boven SWL; testsectie zuilen; serie N; N = 1020
- Boven SWL; zuilen; N4+N4a; schade = a
- Boven SWL; zuilen; N5; schade = d
- Boven SWL; testsectie zuilen; serie H; N = 1000
- Boven SWL; zuilen; H1; schade = a
- ◆ Boven SWL; zuilen; H2; schade = c
- Boven SWL; zuilen; H3; schade = d
- ◆— Boven SWL; testsectie plat gezette blokken; serie L; N = 1030
- ◇ Boven SWL; plat gezette blokken; L4; schade = a
- ▲— Boven SWL; testsectie plat gezette blokken; serie N; N = 1000
- ◇ Boven SWL; plat gezette blokken; N3; schade = a
- ◆ Boven SWL; plat gezette blokken; N4; schade = d

Steenzetting boven SWL

Dubbele steenzetting



- Equivalent voor dubbele steenzetting; basalt (met klemming); N = 950
- Dubbele steenzetting; basalt; T5; schade = a
- Dubbele steenzetting; basalt; T6; schade = c
- ◇ Dubbele steenzetting; basalt; T4; schade = a
- ◆ Dubbele steenzetting; basalt; T8; schade = c
- ▲ Dubbele steenzetting; basalt; T9; schade = d
- Dubbele steenzetting; basalt; T1; schade = d
- ×— Equivalent voor dubbele steenzetting; basalt (zonder klemming); N = 950

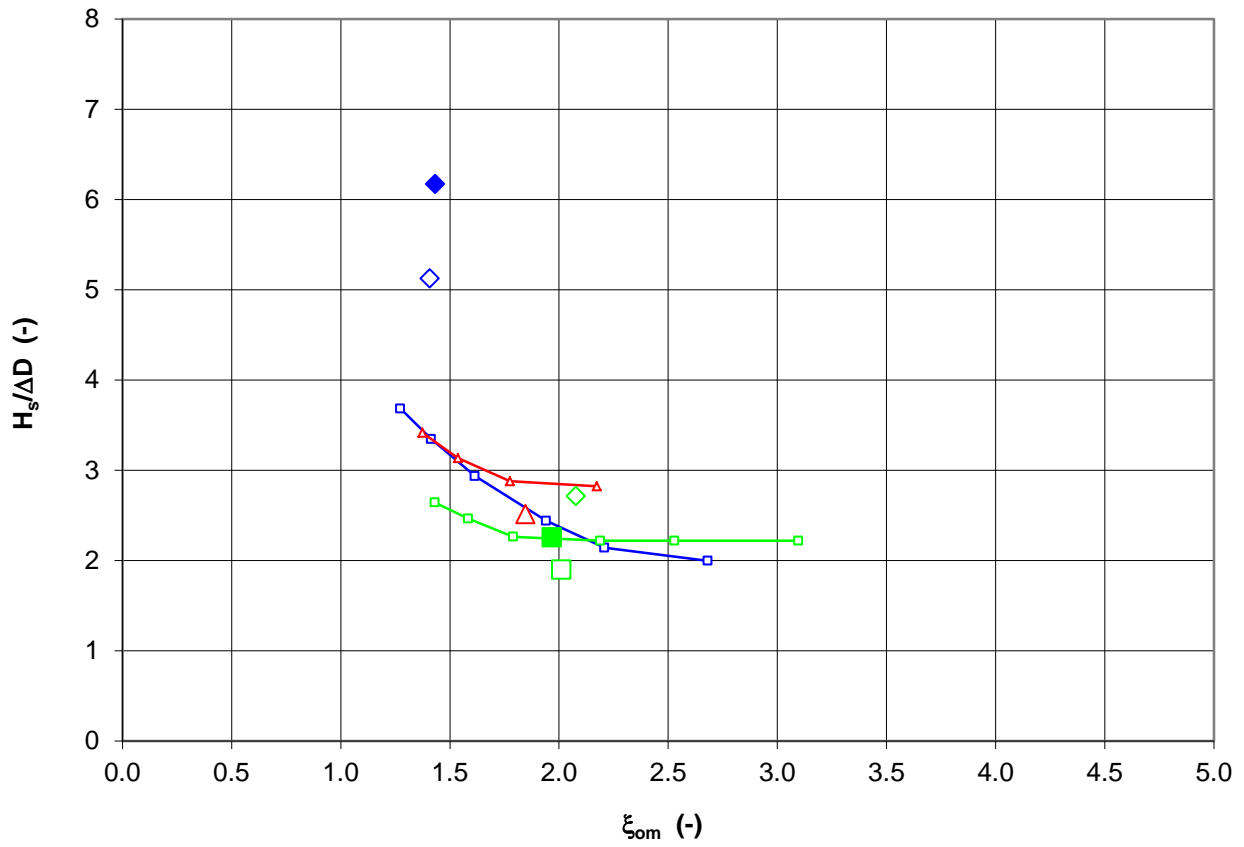
Dubbele steenzetting

Deltares

1208045-009

FIG. B.23

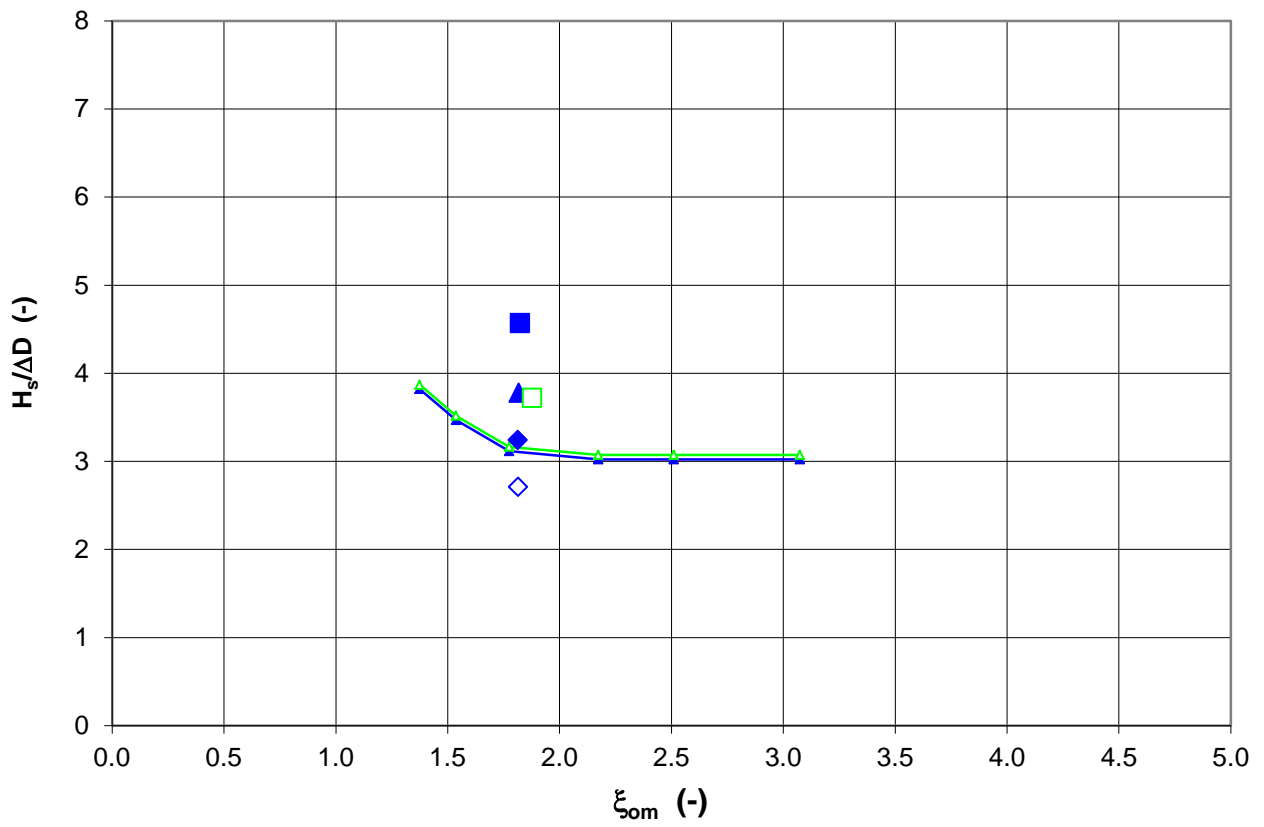
Havendam, buitentalud met zuilen



- Havendam Harlingen, Basalton, D = 15 cm, zonder klemming
- ◇ Havendam Harlingen basalt, 102, schade=a
- ◆ Havendam Harlingen basalt, 103, schade=d
- Havendam Urk, Basalt, D = 20 cm
- Havendam Urk, 1, schade=b
- Havendam Urk, 2, schade=d
- ◇ Havendam Urk, 5, schade=a
- △— Havendam Ketelhaven, Basalt, D = 20 cm
- △ Havendam Ketelhaven, 16, schade=a

Buitentalud van havendam
Basalton en basalt

Havendam, Deltagoot 2006, buitentalud met Basalton



- ▲— Havendam 2006, Basalton, D = 20cm, h = 4,54m, zonder klemming
- ◇ Havendam 2006, 1, schade=a
- ◆ Havendam 2006, 2, schade=d
- ▲ Havendam 2006, 3, schade=c
- Havendam 2006, 4, schade=c
- ▲— Havendam 2006, Basalton, D = 20cm, h = 4,00m, zonder klemming
- Havendam 2006, 13, schade=b

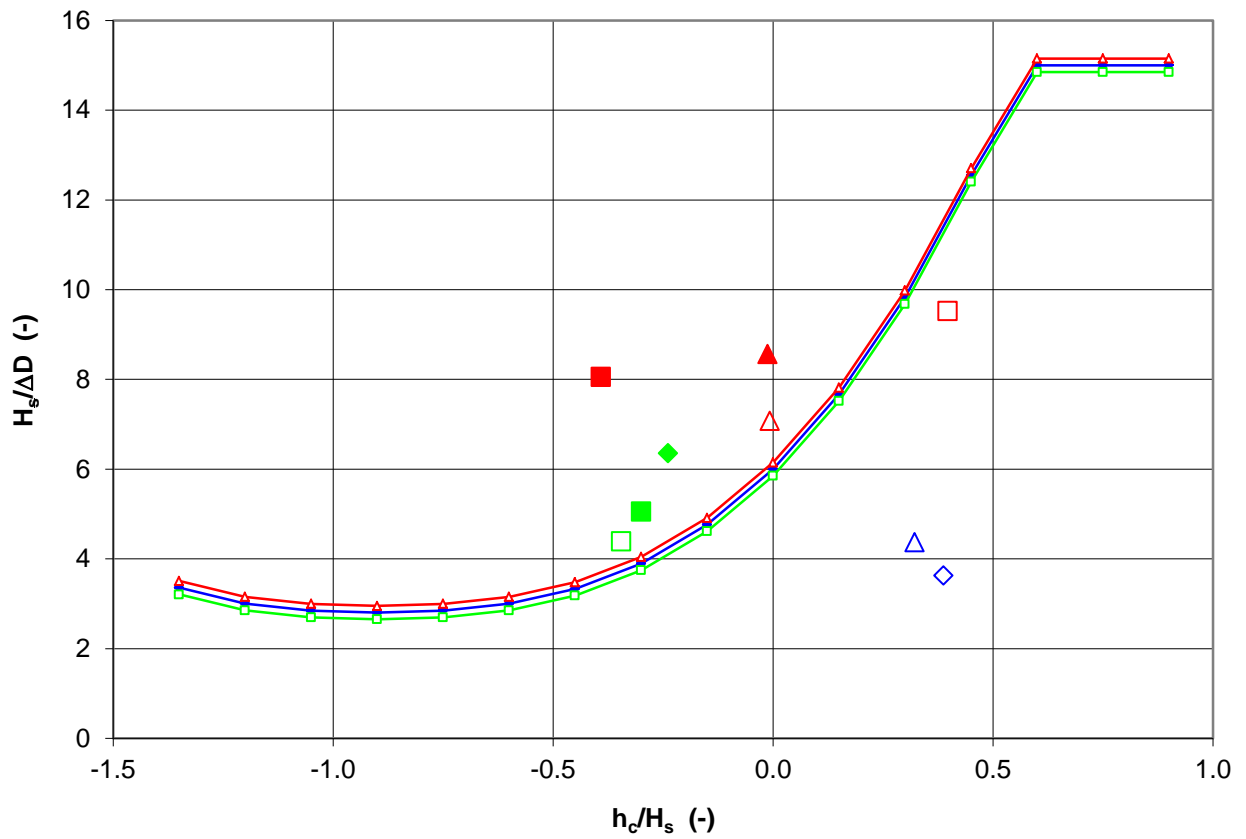
Buitentalud van havendam
Basalton

Deltares

1208045-009

FIG. B.25

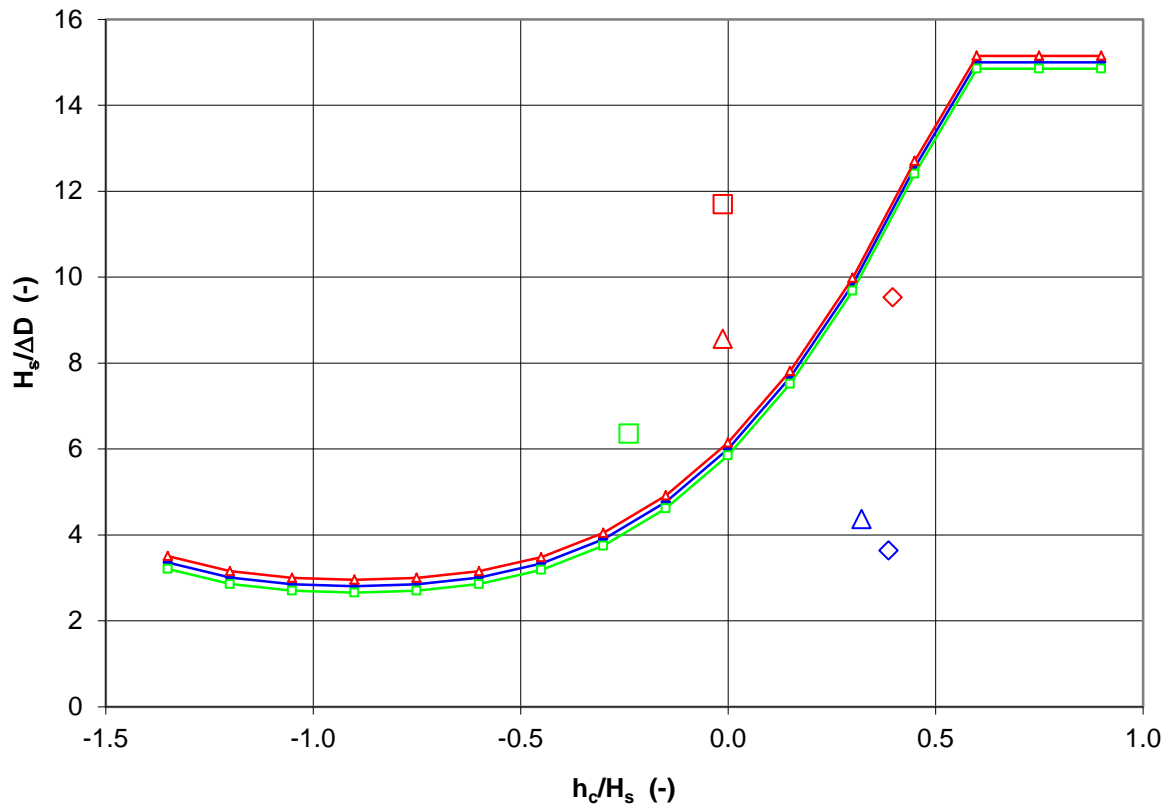
Kruin van havendam



- ◆— Havendam Urk, Basalton D = 15 cm
- ◆ Havendam Urk, 2, schade=a
- △ Havendam Urk, 5, schade=a
- Havendam Ketelhaven, granietblokken D = 10 cm
- Havendam Ketelhaven, 14, schade=a
- Havendam Ketelhaven, 15, schade=c
- ◆ Havendam Ketelhaven, 16, schade=d
- △— Havendam 2006, Basalton/Hydoblocks, D = 15 cm D = 10 cm
- △ Havendam 2006, 3, schade=a
- ▲ Havendam 2006, 4, schade=d
- Havendam 2006, 13, schade=a
- Havendam 2006, 21, schade=d

Kruin van havendam

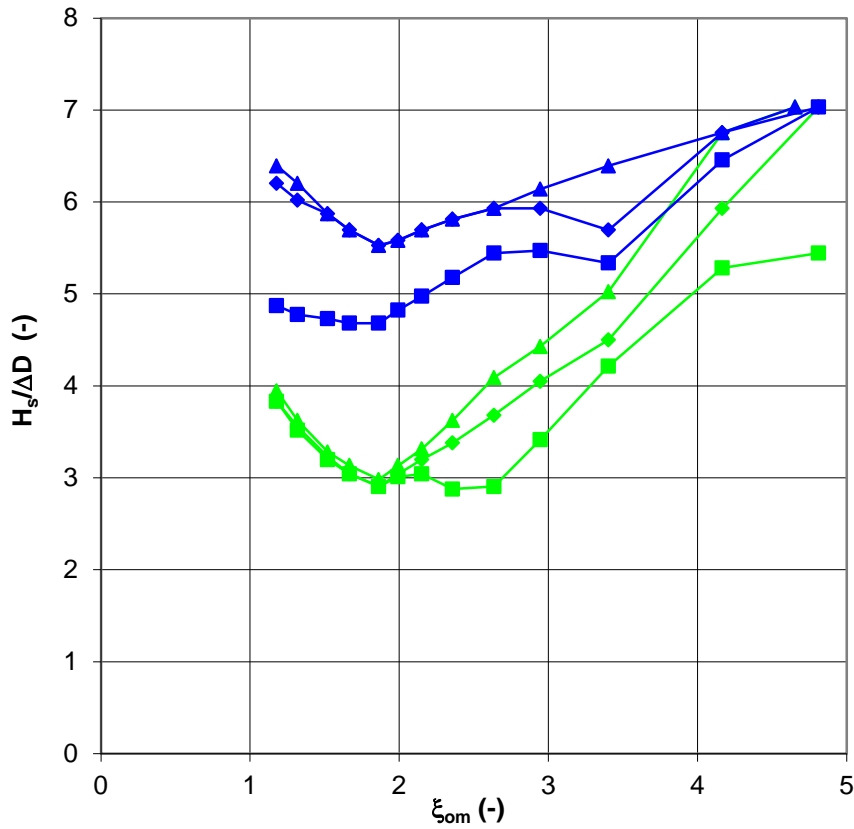
Binnentalud van havendam



- Havendam Urk, Basalton D = 15 cm
- ◇ Havendam Urk, 2, schade=a
- △ Havendam Urk, 5, schade=a
- Havendam Ketelhaven, granietblokken D = 10 cm
- Havendam Ketelhaven, 16, schade=a
- ▲— Havendam 2006, Basalton/Hydoblocks, D = 15 cm D = 10 cm
- △ Havendam 2006, 4, schade=a
- Havendam 2006, 4, schade=a
- ◇ Havendam 2006, 13, schade=a

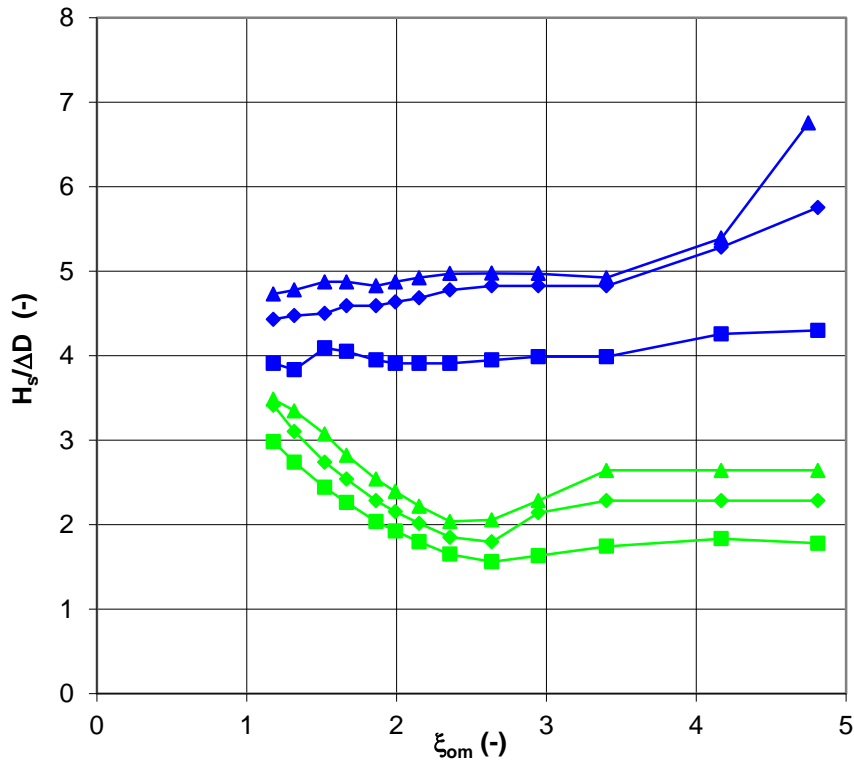
Binnentalud van havendam

Steentoets; korte leklengte



- zonder klemming; D=20cm
- ◆ zonder klemming; D=30cm
- ▲ zonder klemming; D=40cm
- met klemming; D=20cm
- ◆ met klemming; D=30cm
- ▲ met klemming; D=40cm

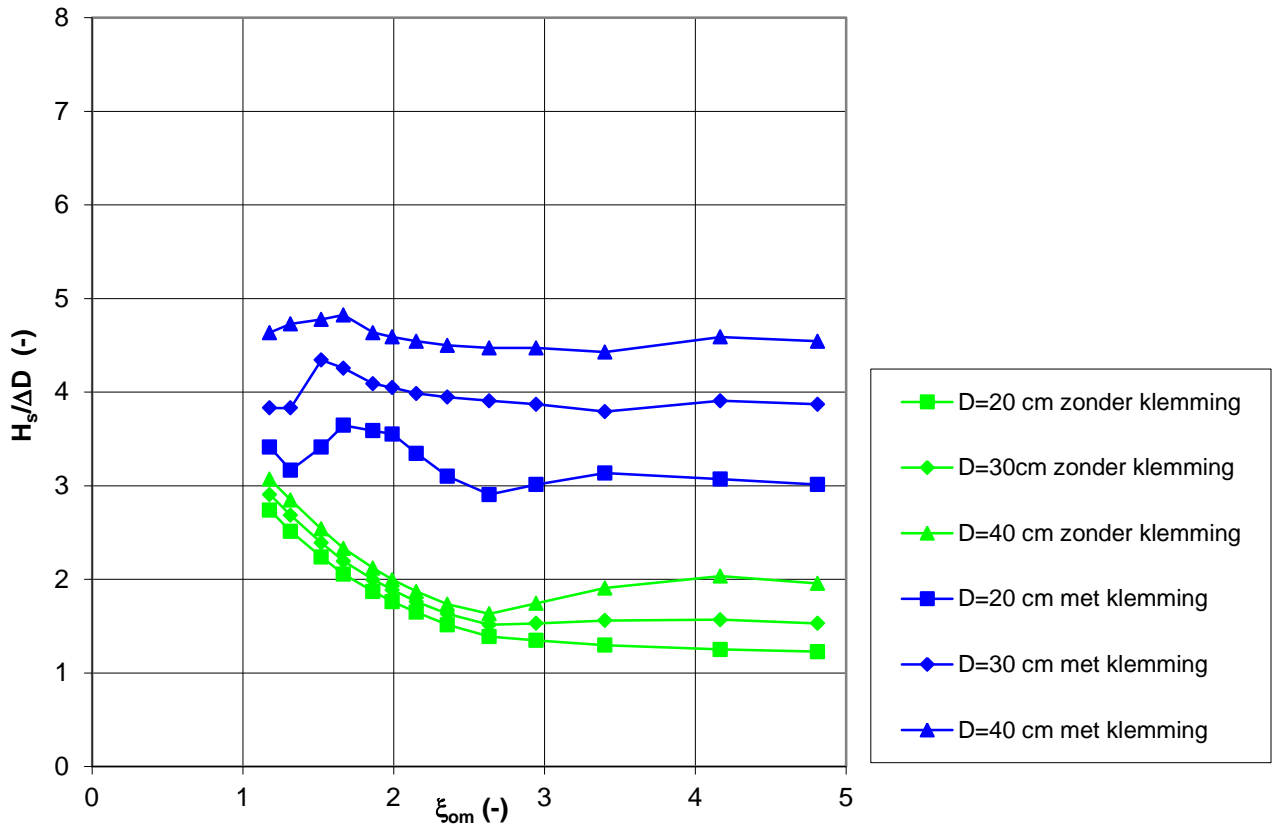
Steentoets; medium leklengte



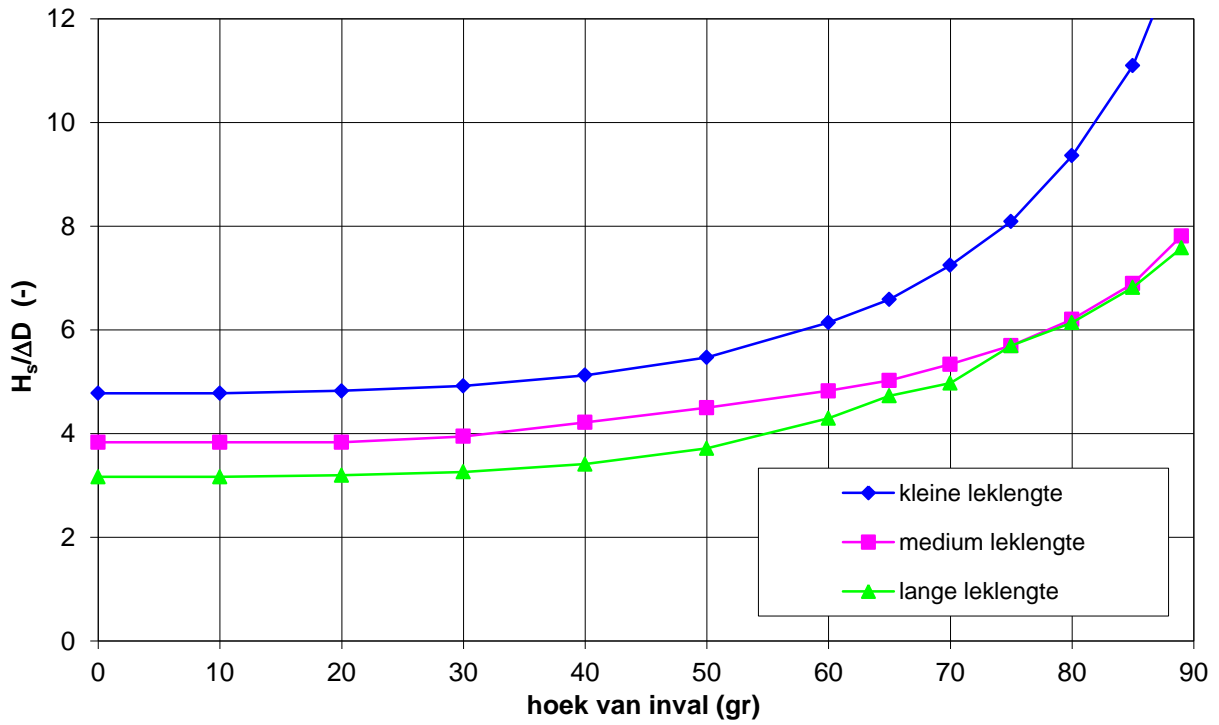
- D=20cm zonder klemming
- ◆ D=30cm zonder klemming
- ▲ D=40cm zonder klemming
- D=20cm met klemming
- ◆ D=30cm met klemming
- ▲ D=40cm met klemming

Boven: invloed brekerparameter (met korte leklengte)
 Onder: invloed brekerparameter (met medium leklengte)

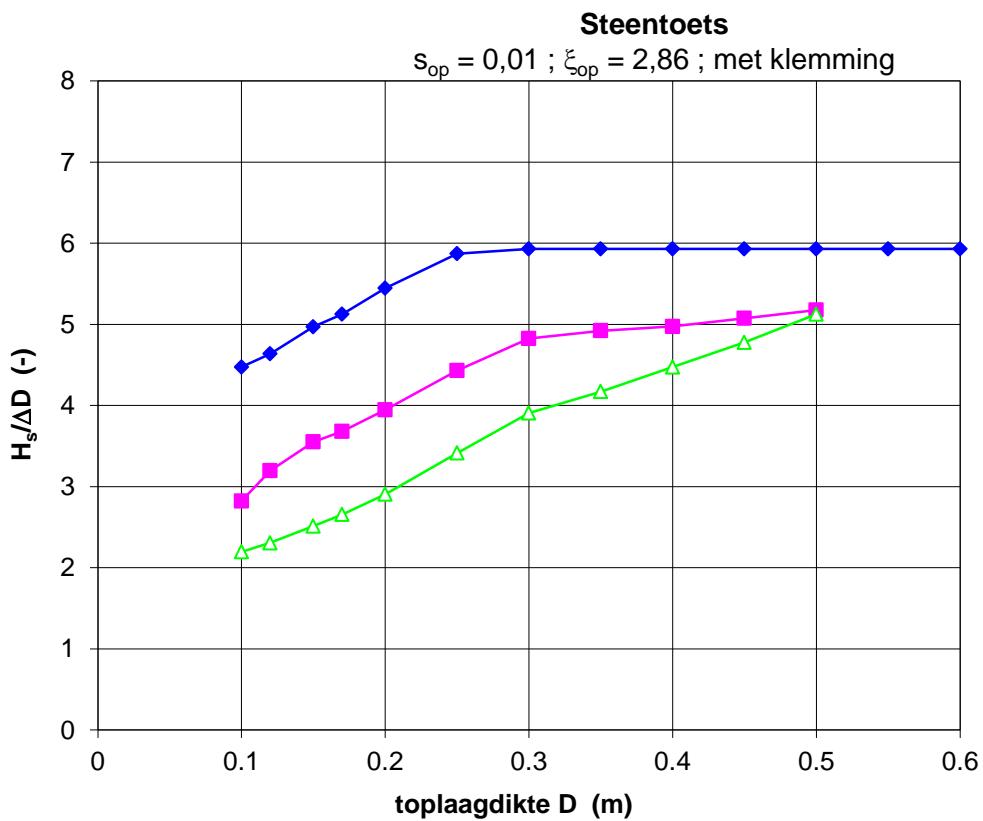
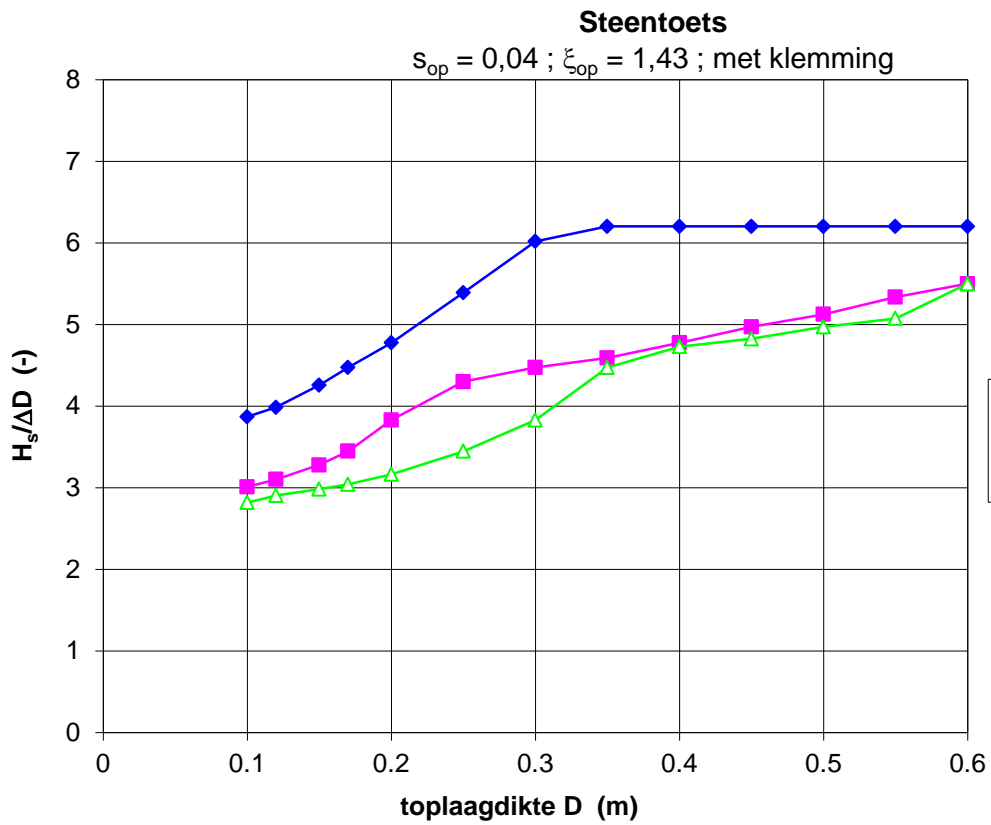
Steentoets; lange lek lengte



Steentoets D = 20 cm; $s_{op} = 0,04$; met klemming



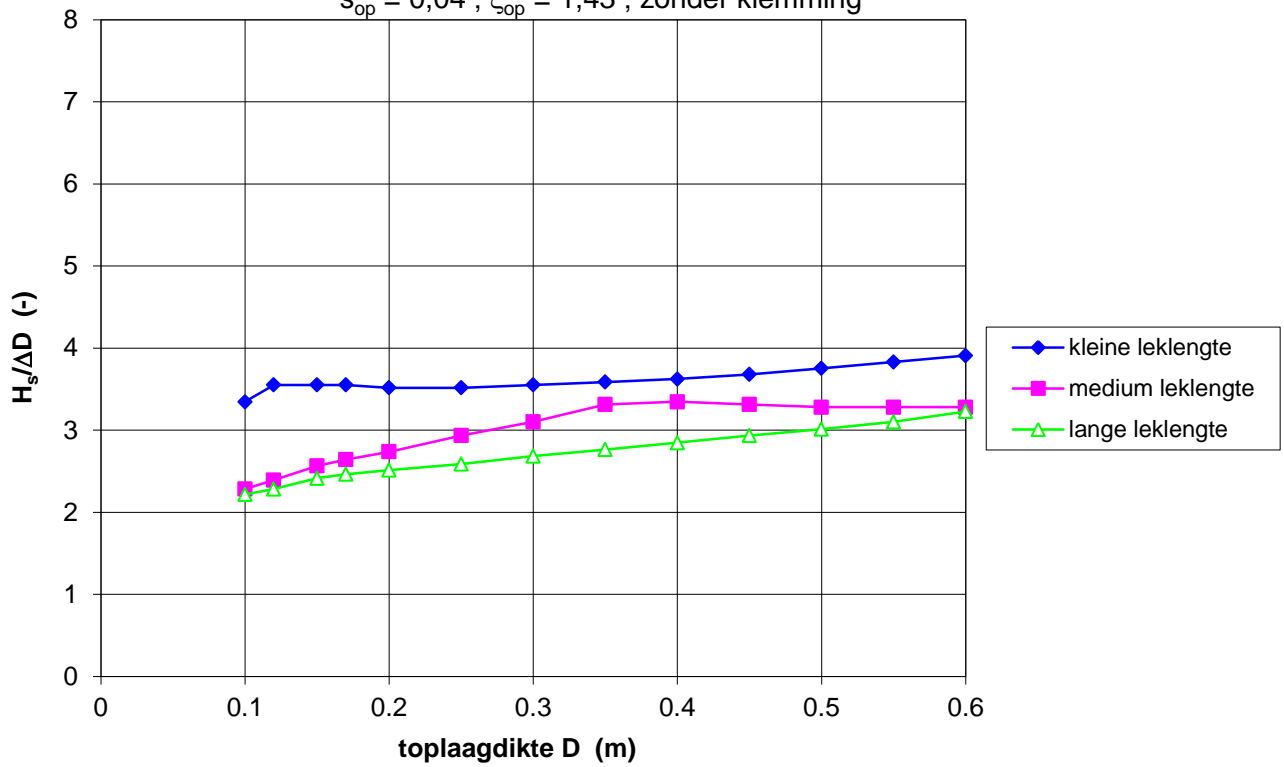
Boven: invloed brekerparameter (met lange lek lengte)
Onder: invloed hoek van golfaanval



Invloed topplagdikte (met klemming)
 Boven: golfsteilheid = 0,04 ; Onder: golfsteilheid = 0,01

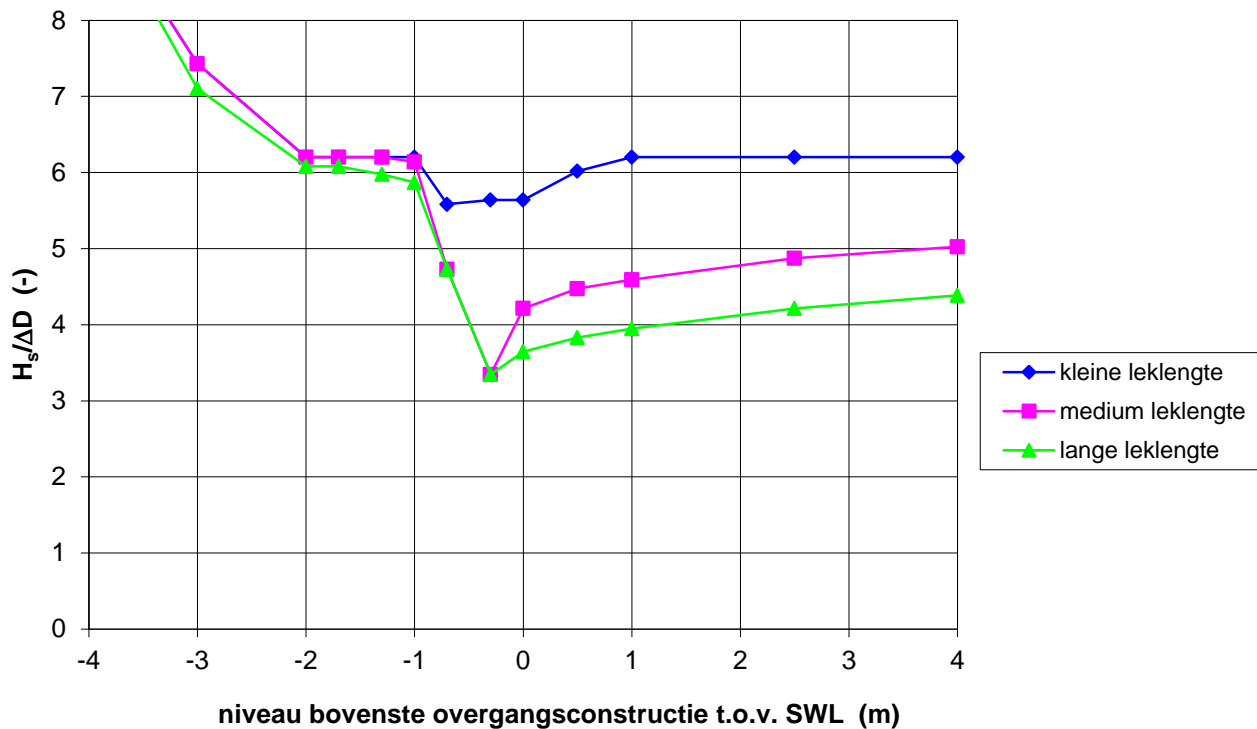
Steentoets

$s_{op} = 0,04$; $\xi_{op} = 1,43$; zonder klemming

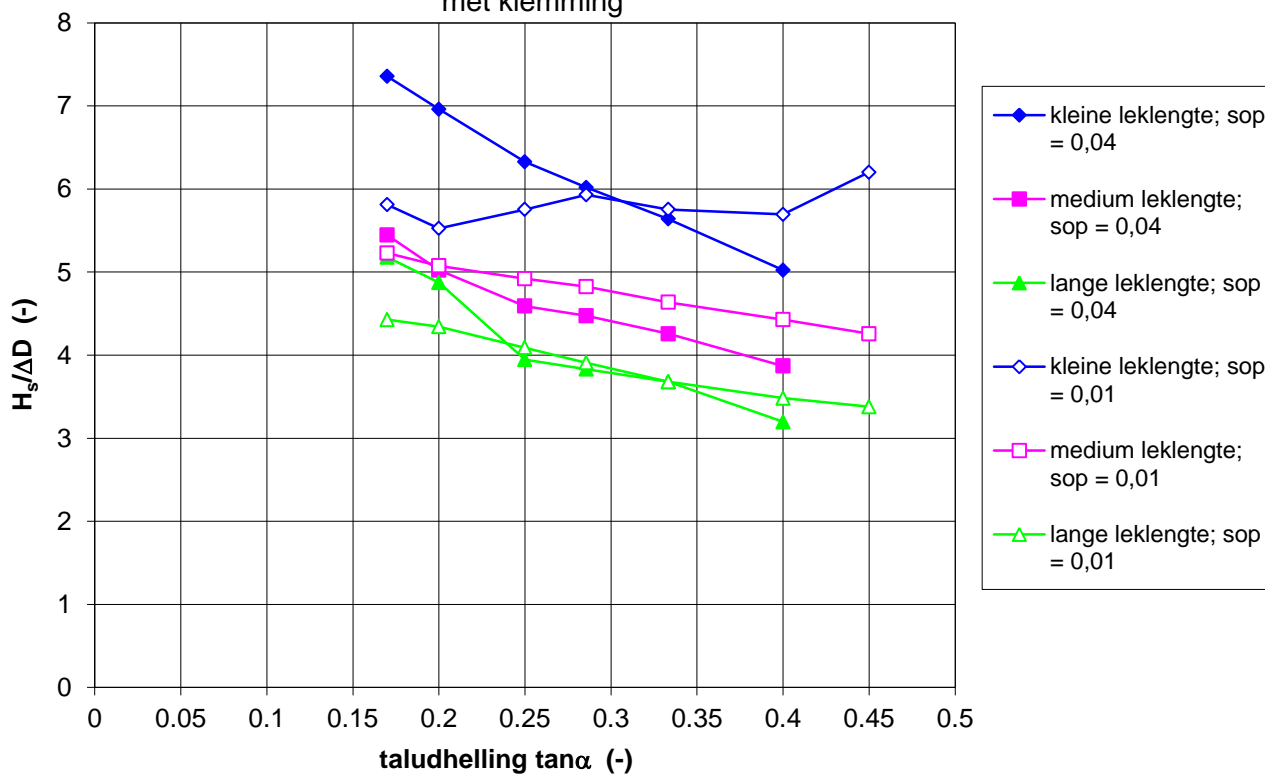


Involed topplagdikte (zonder klemming)
golfsteilheid = 0,04, zonder klemming

Steentoets
 $s_{op} = 0,04$; met klemming

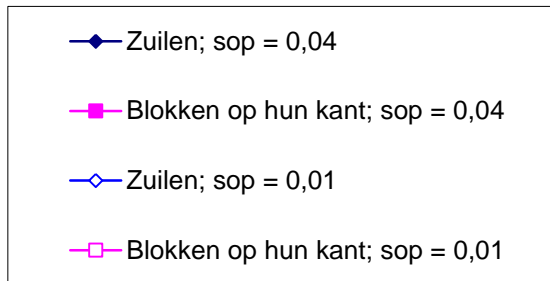
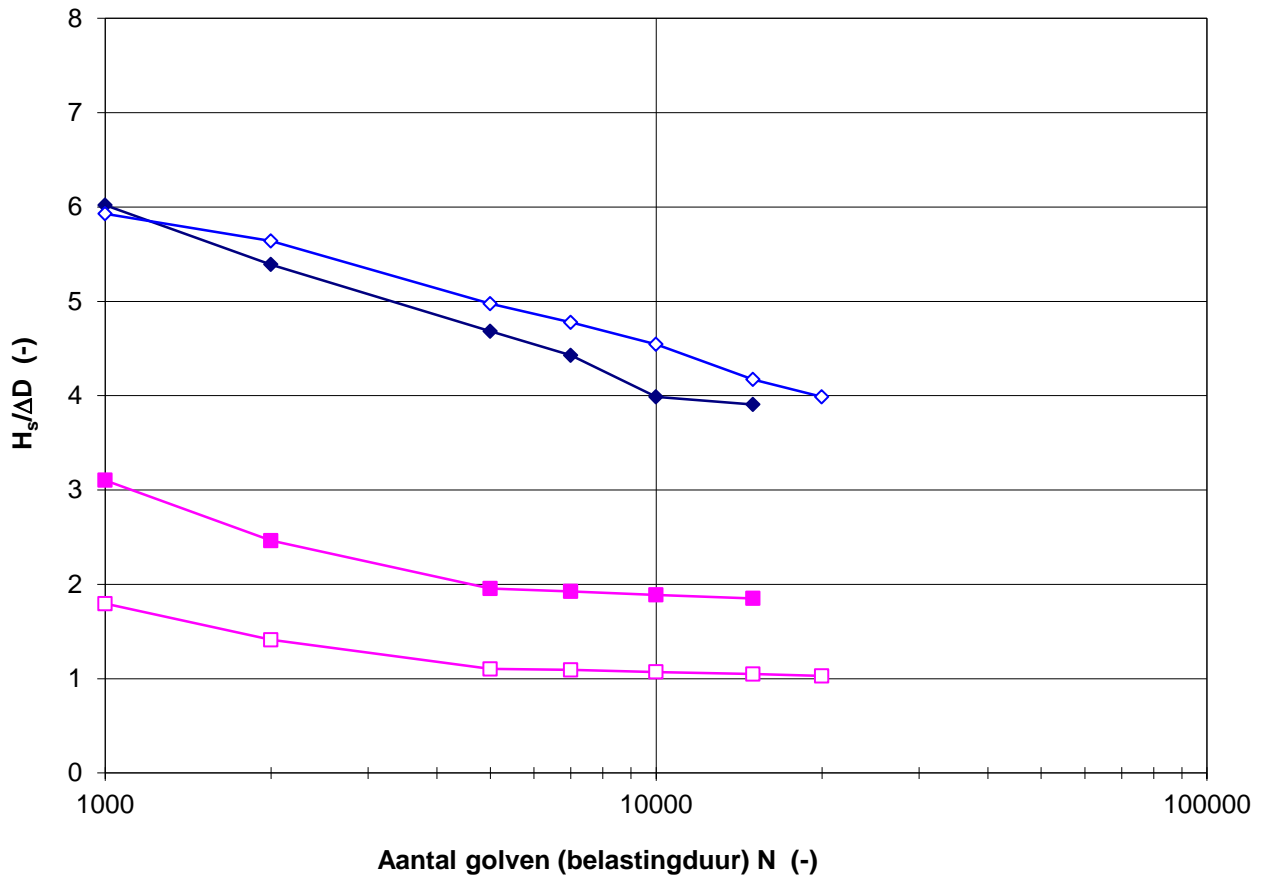


Steentoets
 met klemming



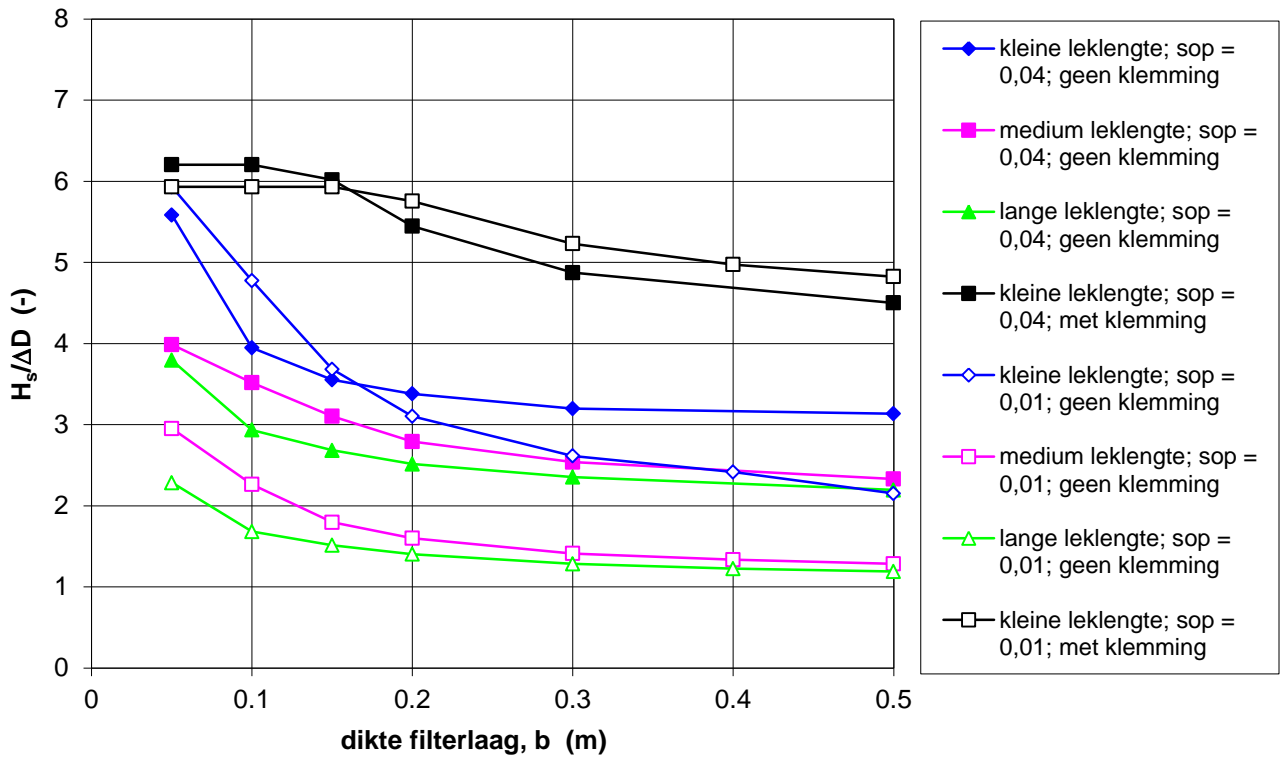
Boven: invloed niveau bovenste overgangsconstructie
 Onder: invloed taludhelling

Steentoets

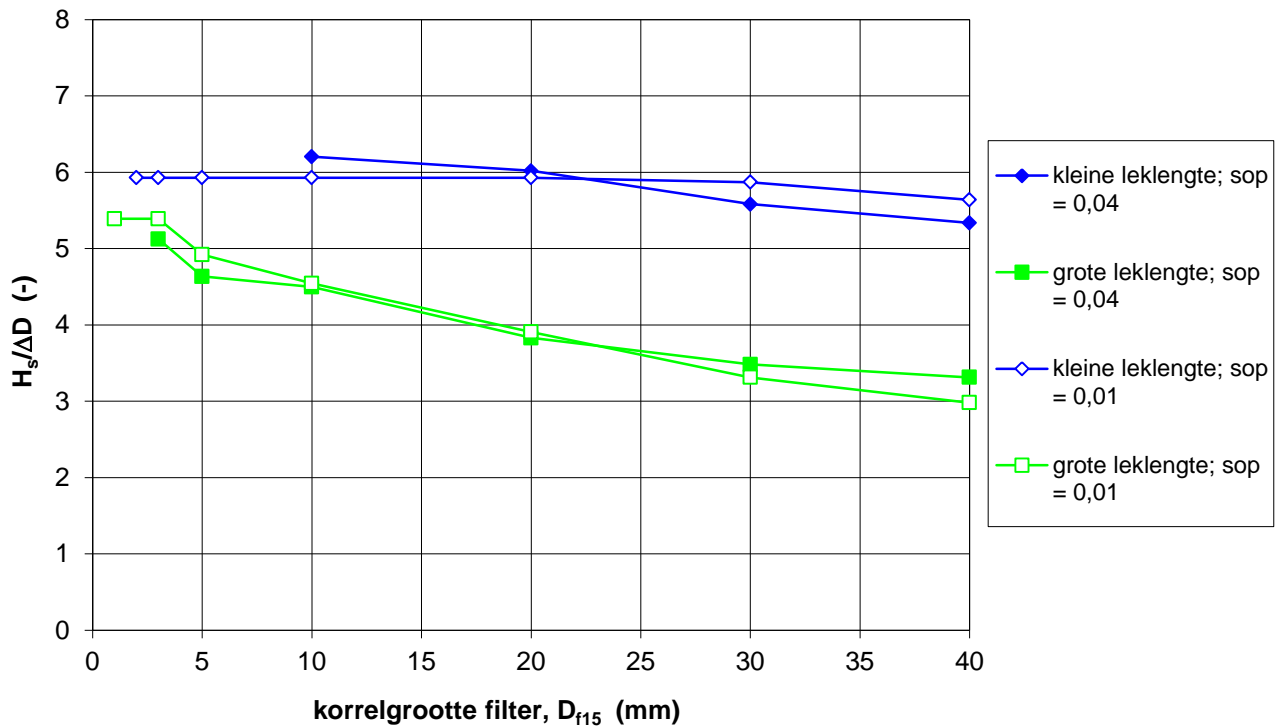


Invloed belastingduur (aantal golven)

Steentoets

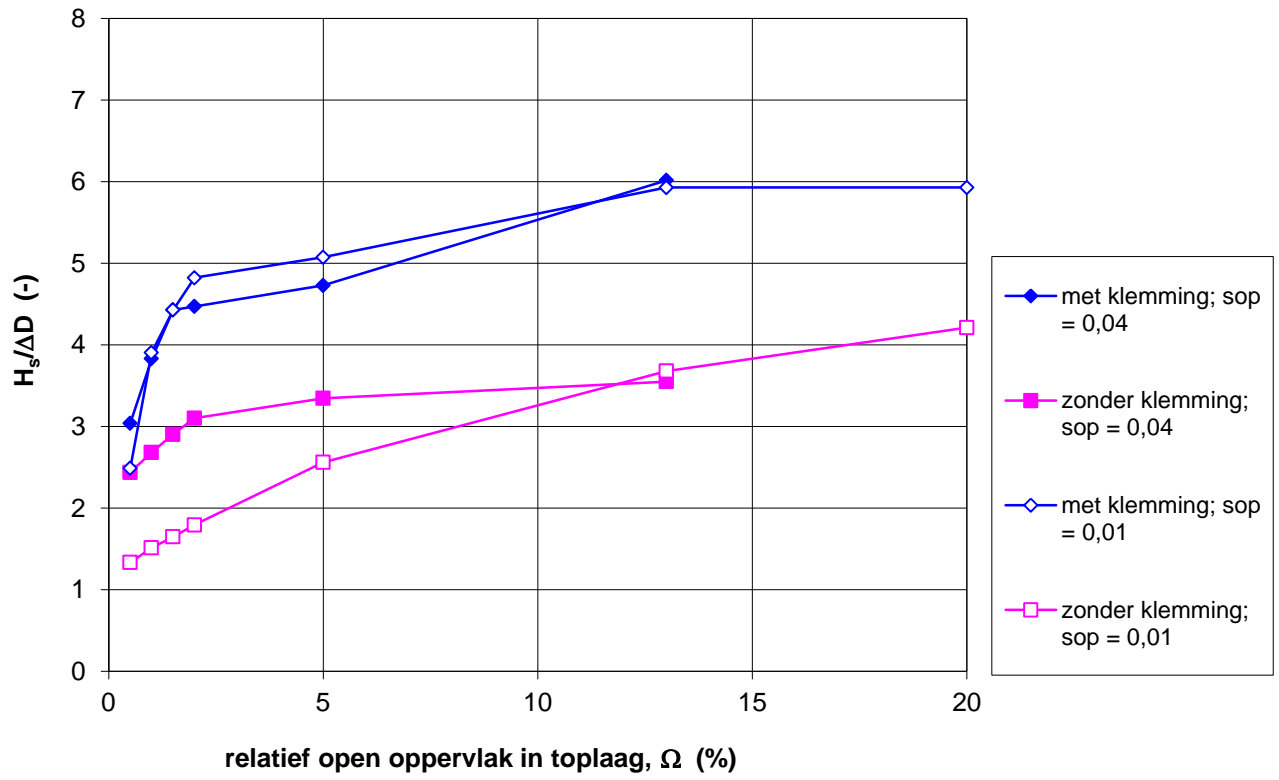


Steentoets met klemming



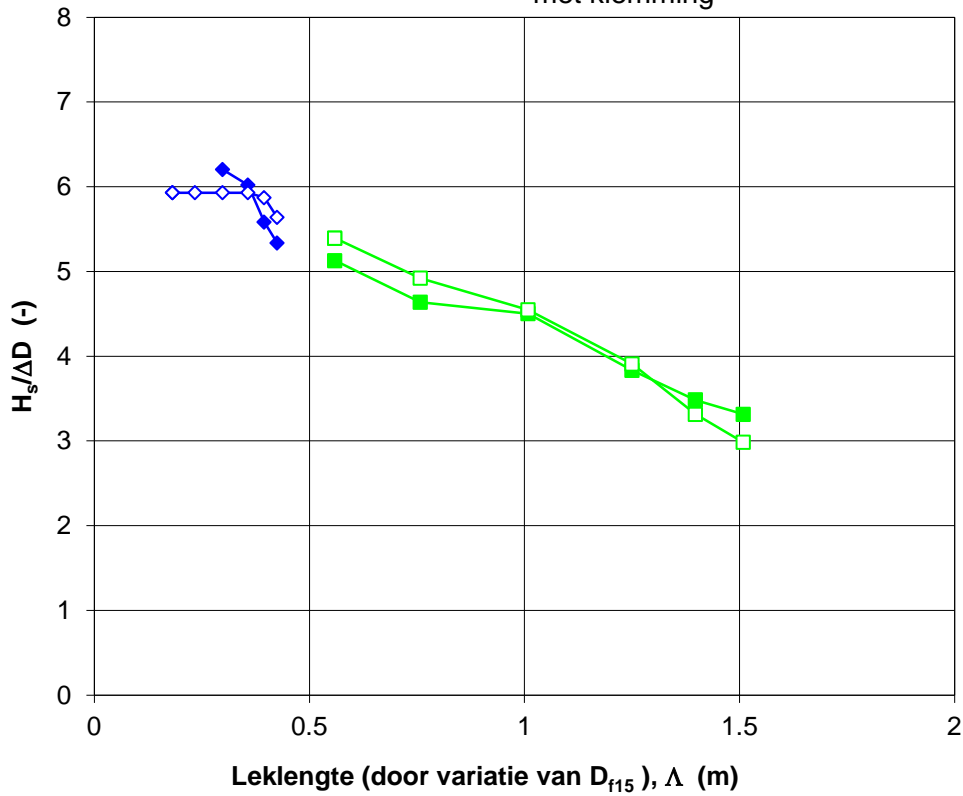
Boven: invloed dikte filterlaag
Onder: invloed korrelgrootte filter (D_{f15})

Steentoets



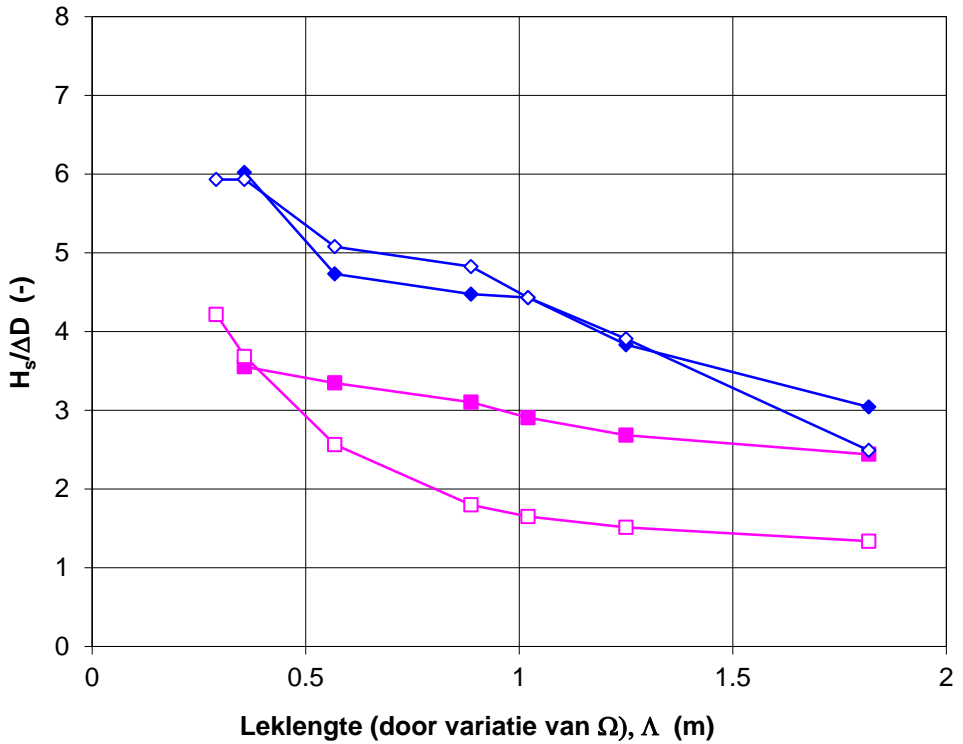
Invloed relatief open oppervlak in de toplaag (Ω)

Steentoets met klemming



- ◆ groot open opp. (13%); sop = 0,04
- klein open opp. (1%); sop = 0,04
- ◇ groot open opp. (13%); sop = 0,01
- klein open opp. (1%); sop = 0,01

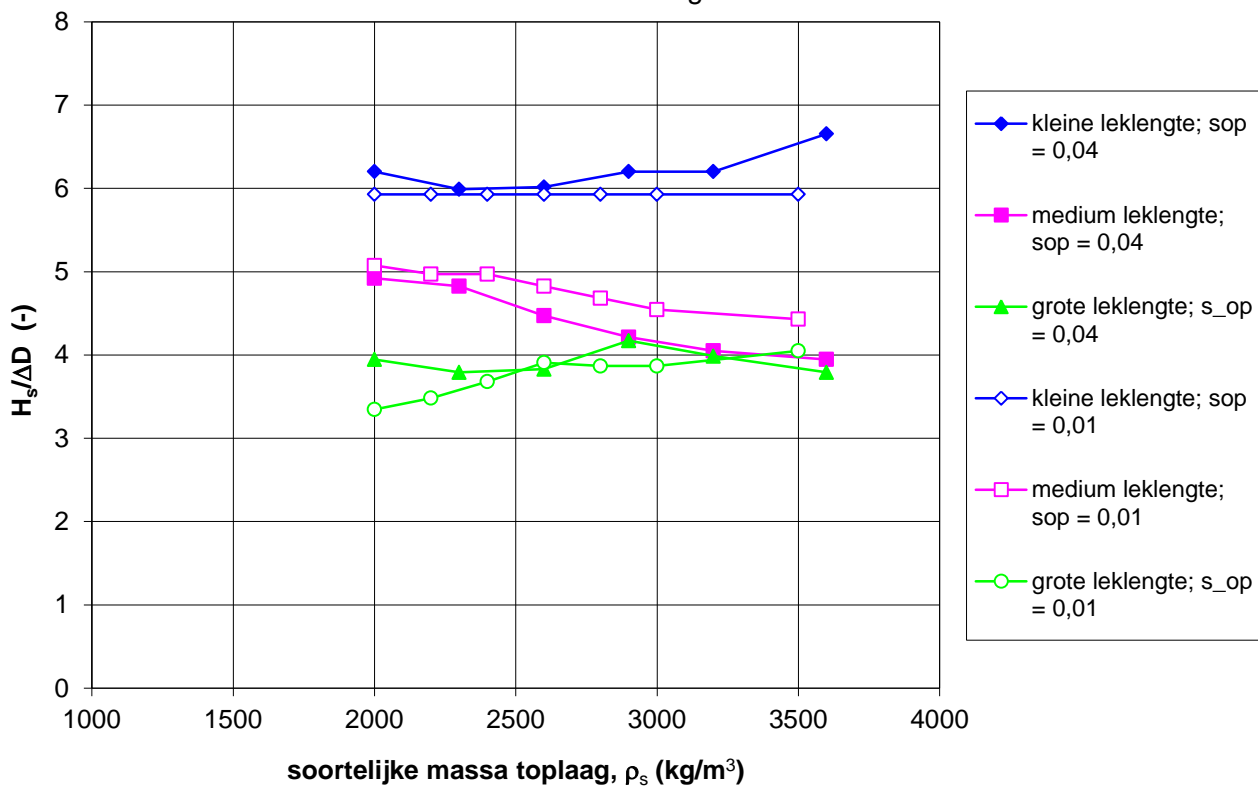
Steentoets



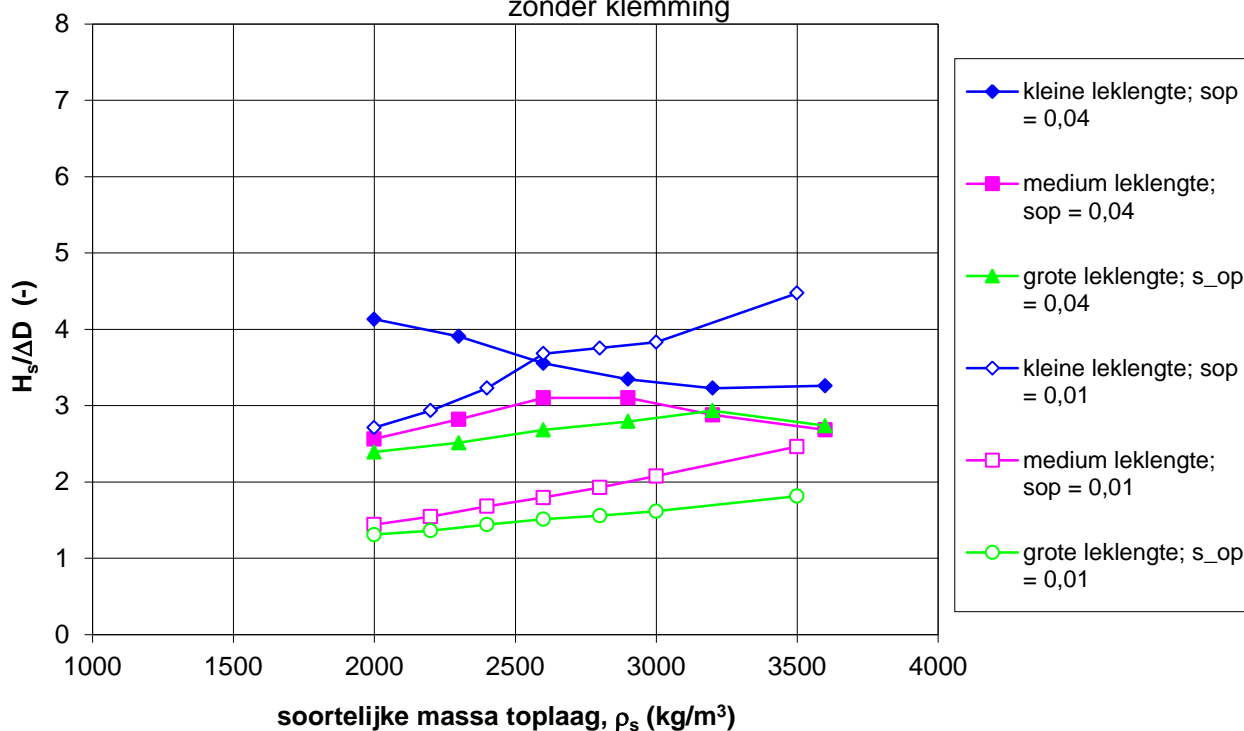
- ◆ met klemming; sop = 0,04
- zonder klemming; sop = 0,04
- ◇ met klemming; sop = 0,01
- zonder klemming; sop = 0,01

Invloed leklengte (Λ), door variatie van:
korrelgrootte filter D_{f15} (boven) en open opp. toplaag Ω (onder)

Steentoets met klemming

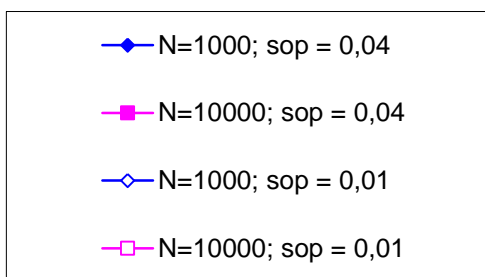
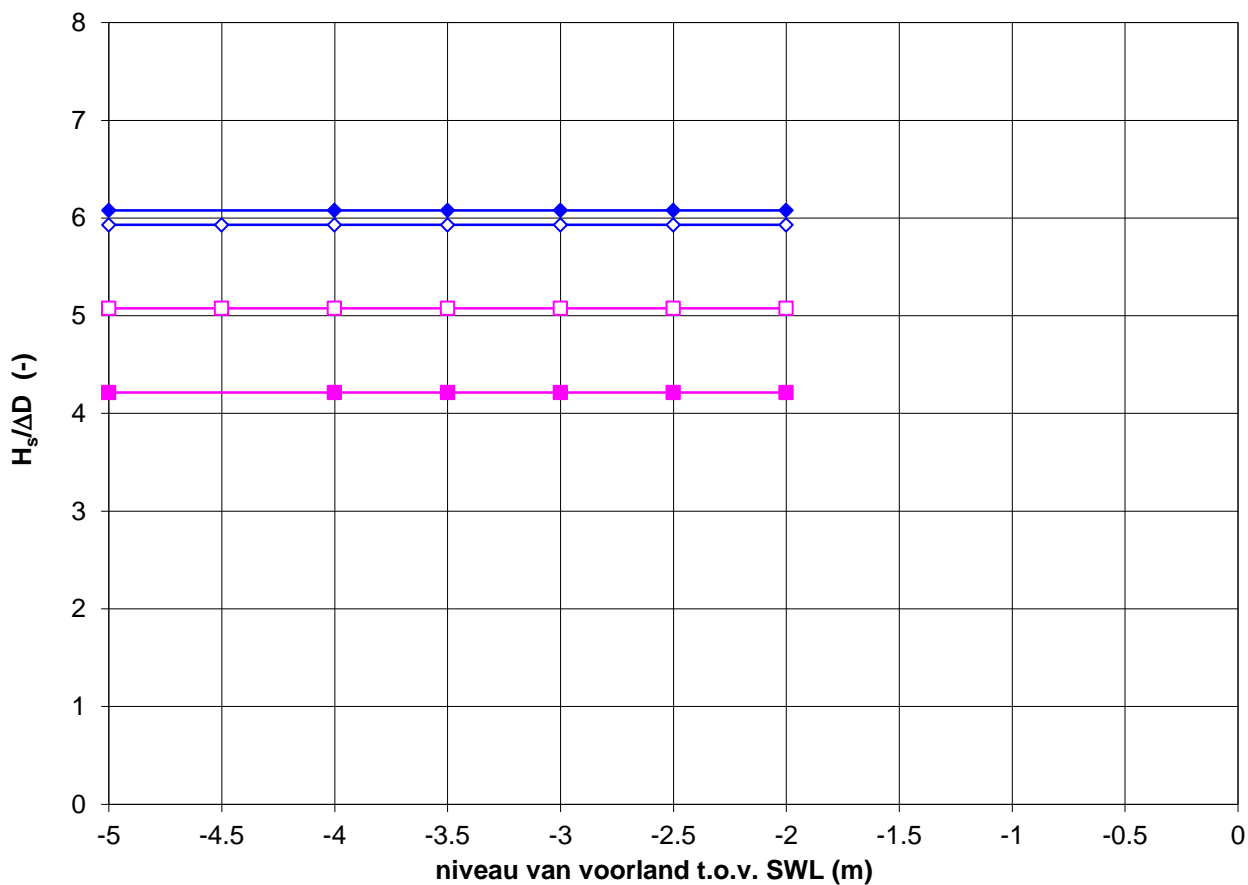


Steentoets zonder klemming



Invloed soortelijke massa van de toplaag (ρ_s) met klemming (boven) en zonder klemming (onder)

**Steentoets
met klemming**



H_s is respectievelijk 2,86, 2,00, 2,86 en 2,16 m

Invloed niveau van het voorland t.o.v. SWL