

Stabiliteit van basalt

Aanvullende notitie bij Rudolph e.a. (2005)

I Inleiding

Door Rudolph (2005) is een diepgaande analyse van de stabiliteit van basalt in vergelijking tot Basalton gerapporteerd. In de discussies naar aanleiding van dit verslag is duidelijk geworden dat sommige conclusies enige aanvulling behoeven. In deze notitie zijn deze aanvullingen gebundeld.

In het verslag is de stabiliteit van de steenzettingen afgeleid uit de golfcondities die in de Deltagoot tot schade hebben geleid. In dit verband is er sprake van schade als er één of meer zuilen uit de steenzetting zijn geslagen als gevolg van de golfbelasting. In alle gerapporteerde gevallen ging het om slechts 1 à 2 zuilen.

In figuur 1 is de dimensieloze belasting $H_s/(\Delta D)$ als functie van de brekerparameter ξ_{op} , gegeven van alle relevante proeven waarbij al dan niet schade is opgetreden.

Als dergelijke schade ontstaat, hoeft het nog niet zo te zijn dat korte tijd later de dijk bezwijkt. In enkele gevallen is na het ontstaan van schade nog enige tijd doorgelopen om inzicht te krijgen in de verdere ontwikkeling van de groeiende schade (reststerkte). Daaruit bleek dat zelfs na een aantal uren golven de schade niet of nauwelijks was gegroeid (Klein Breteler, oktober 2004).

De bekledingen van basalt en Basalton waren beide met de hand gezet, en niet machinaal met pakketten van ruim 1 m², zoals dat met Basalton in de praktijk gebruikelijk is. Of dit invloed heeft op de stabiliteit of de reststerkte is niet onderzocht.

Eén van de opmerkelijke verschillen tussen basalt en Basalton was het feit dat de basalt onder invloed van de golfbelasting de neiging had om in het vlak van het talud naar beneden te schuiven en als het ware te verdichten (de teenconstructie was zeer star en stabiel). Dit kan hoger op het talud leiden tot een spleet waar de klemming tussen de basaltzuilen geringer is dan elders. Bij een stijgende waterstand onder extreme omstandigheden zou dit op die plaats zwaar belast kunnen worden en kunnen leiden tot schade.

Dit is ook een argument om basalt in de tijzone toe te passen, en niet daar ver boven, zodat tijdens de jaarlijks voorkomende stormen de basalt al zwaar belast wordt en verschuift. De eventueel ontstane spleten hogerop het talud hebben dan de tijd om weer dicht te raken of in lopend onderhoud hersteld te worden. Na een of twee stormseizoenen is het de verwachting dat er geen beweging meer in de bekleding zit.

Met het bovenstaande in gedachten is de trend van de meetpunten nader geanalyseerd in vergelijking tot de huidige toetsmethodiek. Dat leidt tot onderstaande aanbevelingen. Bij het trekken van de conclusies is de aandacht vooral gericht geweest op een korte belastingduur. Gezien het feit dat vele meetresultaten zijn verkregen bij een lange belastingduur, zijn ook

deze resultaten gebruikt voor het opstellen van de aanbevelingen, maar is globaal rekening gehouden met de lengte van de belastingduur.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de tijzone en de zone erboven, en tussen dijktaaluds en buitentaluds op havendammen, zie figuur 1 tot en met 3 (en de nadere toelichting aan het eind van deze notitie):

- In de tijzone op dijken:
 - Basalton:
 - De meetpunten blijken boven de lijn $H_s/\Delta D = 6\xi_{op}^{-2/3}$ te liggen, waardoor de meetpunten goed overeenkomen met de normale toetsregels: ANAMOS, inclusief 6-ksi-regel
 - Basalt:
 - De ligging van de meetpunten sluiten goed aan op de normale toetsregels: ANAMOS, inclusief 6-ksi-regel
 - Gezien het feit dat de eerste schade vooral optreedt bij de tapse of bolle zuilen, wordt aanbevolen tijdens de aanleg ervoor te zorgen dat zo min mogelijk van dit soort basalt verwerkt wordt (zie onderstaande omschrijving van ongewenste zuilen).
 - In het eerste stormseizoen na de aanleg van basalt zal men desondanks extra alert moeten zijn op het uitgelicht raken van enkele afzonderlijke zuilen (vaak met wat minder gunstige vorm, zoals tapse zuilen)
- Boven de tijzone op dijken:
 - Basalton:
 - De meetpunten blijken boven de lijn $H_s/\Delta D = 6\xi_{op}^{-2/3}$ te liggen, waardoor de meetpunten goed overeenkomen met de normale toetsregels: ANAMOS, inclusief 6-ksi-regel
 - Basalt:
 - Gezien het feit dat de eerste schade vooral optreedt bij de tapse of bolle zuilen, wordt aanbevolen tijdens de aanleg ervoor te zorgen dat zo min mogelijk van dit soort basalt verwerkt wordt (zie onderstaande omschrijving van ongewenste zuilen).
 - De basalt zal pas op eindsterkte zijn gekomen nadat er enkele stormen overheen zijn gegaan en de slecht zittende zuilen, die uitgelicht geraakt zijn, zijn gerepareerd. Of deze kleine schades acceptabel zijn, is afhankelijk van of er voldoende vertrouwen is in de reststerkte nadat enkele afzonderlijke zuilen tijdens de toetsomstandigheden uitgelicht zijn geraakt (vaak met wat minder gunstige vorm, zoals tapse zuilen). De indruk bestaat dat onder bepaalde omstandigheden zo'n kleine schade niet verdere uitgroeit. Als dat vertrouwen er is, wordt aanbevolen de normale toetsregels toe te passen (ANAMOS inclusief 6-ksi-regel).
 - Als er *onvoldoende* vertrouwen is in de reststerkte bij het ontbreken van enkele afzonderlijke zuilen, dan moeten ook de meetpunten meegeteld worden m.b.t. basalt dat nog niet op eindsterkte is gekomen. Gezien het feit dat deze meetpunten wat lager liggen, moet aanbevolen worden de normale toetsregels (ANAMOS) aan te vullen met de eis dat F maximaal 5 mag zijn:

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \xi_{op}^{2/3} \leq 5$$

Met:

H_s = significante golfhoogte (op basis van energie) (m)

ξ_{op}	=	$\tan\alpha/\sqrt{(H_s/(1,56T_p^2))}$ = brekerparameter (-)
T_p	=	golfperiode bij de piek van het spectrum (s)
Δ	=	$(\rho_s - \rho)/\rho$ = relatief de soortelijke massa van de stenen (-)
D	=	dikte van de toplaag (m)
F	=	stabiliteitsparameter = $\xi_{op}^{2/3} \cdot H_s/(\Delta D)$ (-)
α	=	taludhelling ($^\circ$)
ρ_s	=	soortelijke massa van de stenen (kg/m^3)
ρ	=	soortelijke massa van water (kg/m^3)

- Basalt en Basalton op buitentalud van havendammen:

- Basalton:

- als de kruin van de havendammen ver boven water zit, is het niet te verwachten dat de stabiliteit van de Basalton anders is dan op dijken. Daarom wordt aanbevolen het deel van het talud dat belast wordt bij waterstanden die ruim onder de kruin liggen, $h \leq h_c - H_s$ (met h = waterstand ten opzichte van NAP; h_c = kruinhoogte ten opzichte van NAP), dezelfde toetsmethode te gebruiken als bij dijken, zie boven
 - voor het deel van het talud dat belast wordt bij waterstanden in de buurt van de kruinhoogte, $h_c - H_s < h < h_c + H_s$, blijken de meetpunten wat lager te liggen dan bij vergelijkbare omstandigheden op dijken. Daarom wordt aanbevolen de normale toetsregels (ANAMOS) aan te vullen met de eis dat F maximaal 5 mag

$$\text{zijn: } F = \frac{H_s}{\Delta D} \xi_{op}^{2/3} \leq 5$$

- Basalt:

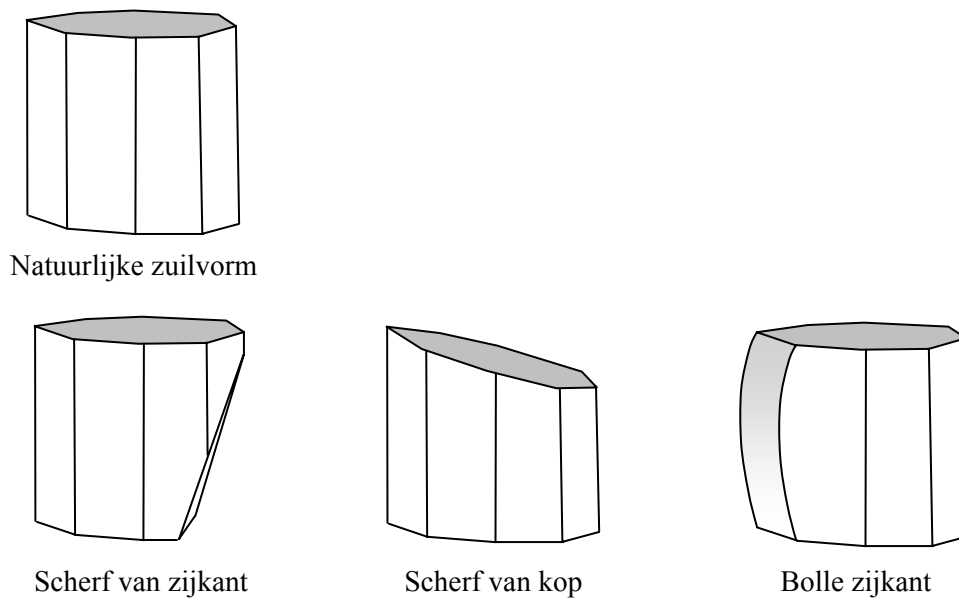
- als de kruin van de havendammen ver boven water zit, is het niet te verwachten dat de stabiliteit van de basalt anders is dan op dijken. Daarom wordt aanbevolen het deel van het talud dat belast wordt bij waterstanden die ruim onder de kruin liggen, $h \leq h_c - H_s$, dezelfde toetsmethode te gebruiken als bij dijken, zie boven
 - voor het deel van het talud dat belast wordt bij waterstanden in de buurt van de kruinhoogte, $h_c - H_s < h < h_c + H_s$, blijken de meetpunten beduidend lager te liggen dan volgens ANAMOS, en lager dan bij vergelijkbare omstandigheden op dijken. Daarom wordt aanbevolen de normale toetsregels (ANAMOS) aan te vullen met de eis dat F maximaal 4 mag zijn:

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \xi_{op}^{2/3} \leq 4$$

Basalt dat afwijkt van de natuurlijke zuilvorm, zoals tapse of bolle zuilen, moeten bij voorkeur niet verwerkt worden. Een zuil is ongewenst taps of bol als hij voldoet aan een of meer van de volgende voorwaarden (zie onderstaande figuur a):

1. Het bovenoppervlak en onderoppervlak verschillen meer dan 25% van elkaar.
2. Er is een scherf van de zijkant van de basalt af, waardoor de diameter aan de onderkant meer dan 25% verschilt van die aan de bovenkant
3. Er is een scherf van de kop van de basalt af, waardoor aan één kant de zuil >25% minder hoog is dan de gemiddelde zuilhoogte van de bekleding.
4. Eén of meer zijkanten zijn bol, waarbij de diameter in het midden meer dan $D/8$ groter is dan de diameter aan de bovenkant of onderkant.

Aangenomen wordt dat een steenzetter dit na enige oefening globaal op het oog kan controleren.



Figuur a, Natuurlijke zuilvorm en zuilen waar scherf aan ontbreekt of met bolle zijkant.

Bovenstaande aanbevelingen zijn opgesteld aan de hand van een analyse van de resultaten van Deltagootproeven die samengevat zijn in figuur 1 en tabel 1. Dit is onderstaand nader toegelicht.

In figuur 2 zijn de resultaten van basalt en Basalton op dijken weergegeven. In deze figuur is te zien dat de Basalton op dijken steeds pas schade geeft als $F > 6$. Ditzelfde geldt voor de basalt als deze op eindsterkte is gekomen (open en dichte vierkantjes). Alleen het dichte vierkantje (ξ_{op} ; $H_s/(\Delta D) = (1,89 ; 3,24)$), dat correspondeert met serie 1 van de langeduurproeven uit 2005, ligt veel lager (namelijk op de lijn van $F = 5$). Dit kan verklaard worden uit het feit dat dit een langeduurproef was die 23 uur aanhield. Door de lange duur is de sterkte lager, zoals geconcludeerd door Klein Breteler (2005).

De ruitjes hebben betrekking op basalt dat nog niet op eindsterkte gekomen is. De dichte ruitjes liggen op of boven de lijn van $F = 5$. De open ruitjes liggen wat lager, omdat deze verkregen zijn tijdens de langeduurproeven. De korteduursterkte is dus wat hoger dan deze punten aangeven.

In figuur 3 zijn de resultaten verzameld die betrekking hebben op lage havendammen. Het sterretje in deze figuur heeft betrekking op Basalton en ligt op de lijn van $F = 5$.

De stabiliteit van basalt valt af te meten aan de ligging van het dichte driehoekje. Dit punt ligt vlakbij de lijn van $F = 4$. Hier is als stabiliteitslijn toch gekozen voor $F = 4$, omdat dit punt verkregen is met basalt dat nog niet op eindsterkte was gekomen. Het hoger gelegen open driehoekje betreft een proef waarbij geen schade is opgetreden.

Referenties

Burger A. (1985)

Sterkte Oosterschelde dijken onder geconcentreerde golfaanval;
Onderzoek naar de stabiliteit van enkele veel voorkomende taludverdedigingen onder langdurige golfaanval bij een vaste waterstand
WL | Delft Hydraulics, verslag Deltagootonderzoek M2036, maart 1985

Eysink, W. en M. Klein Breteler (2003)

Onderzoeksprogramma kennisleemtes steenbekledingen; Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt
WL | Delft Hydraulics, meetverslag H4327, december 2003

Klein Breteler M. (2002)

Stabiliteit van westelijke havendam van Urk en Ketelhaven
Deltagootproeven op kruin en binnentalud
WL | Delft Hydraulics, verslag H4083, juli 2002

Klein Breteler, M. (2004)

Onderzoeksprogramma kennisleemtes steenbekledingen;
Reststerkte van steenzetting met zuilen naar initiële schade
WL | Delft Hydraulics, verslag H4327, oktober 2004

Klein Breteler, M., en W. Eysink (2005)

Onderzoeksprogramma kennisleemtes steenbekledingen;
Langeduursterkte van steenzettingen
WL | Delft Hydraulics, verslag H4475, mei 2005

Kuiper, C., M. Klein Breteler, L. Booster en W. Eysink (2004)

Stabiliteit van gezette steenbekledingen op havendammen,
afleiding van een verfijnde toetsmethode
WL | Delft Hydraulics, conceptverslag H4432, november 2004

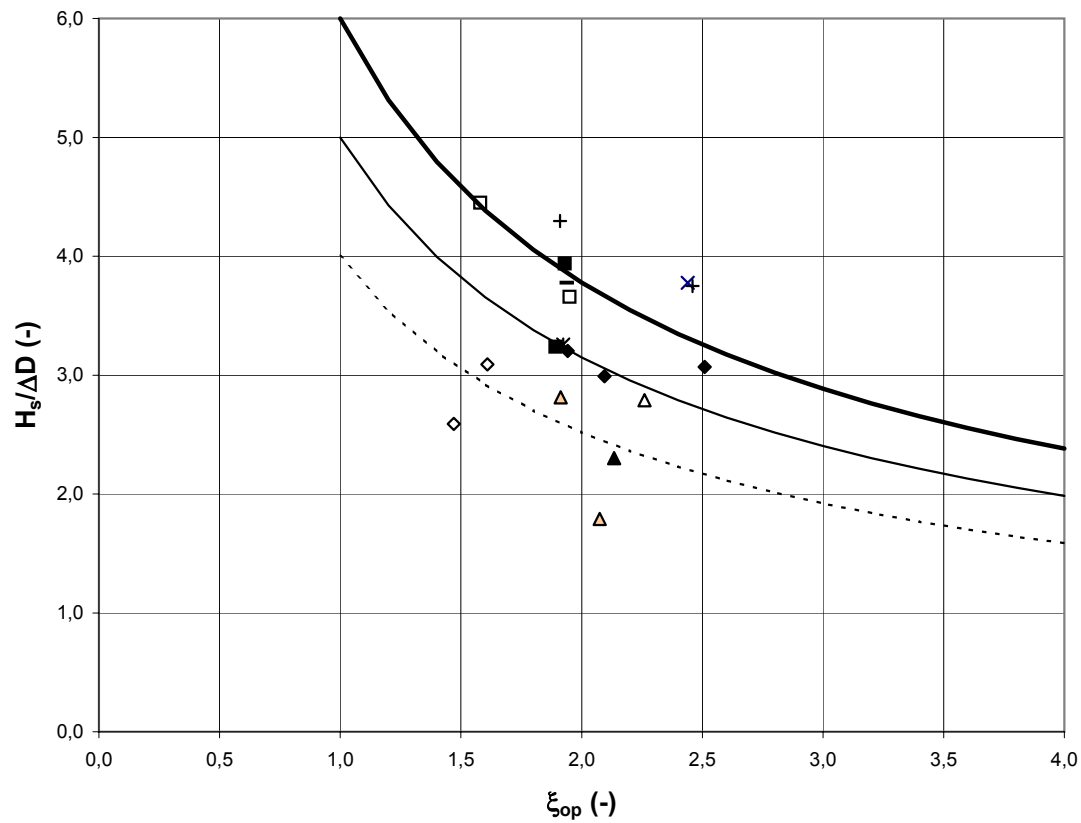
Rudolph, D. en M. Klein Breteler (2005)

Onderzoeksprogramma kennisleemtes steenbekledingen;
Analyse van de stabiliteit van basalt
WL | Delft Hydraulics, verslag H4422, februari 2004

toplaag	referentie		proef	H _s (m)	T _p (s)	duur (uur)	H _s /ΔD (-)	ξ _{sop} (-)	F (-)	D (m)	Δ (-)	
Basalton	Eysink en Klein Breteler, 2003	dijk	24	1,37	8,08	2,1	3,75	2,46	6,84	0,20	1,827	geen schade na 2,1 uur
Basalton	Eysink en Klein Breteler, 2003	dijk	26	1,57	6,70	1,7	4,30	1,91	6,61	0,20	1,827	geen schade na 1,7 uur
Basalton	Klein Breteler, 2005	dijk	alle	1,38	8,01	51,1	3,78	2,44	6,82	0,20	1,827	geen schade na 51 uur
basalt	Burger, 1985	dijk	21	1,55	5,12	29,3	2,59	1,47	3,34	0,30	1,996	1 zuil eruit na 29 uur (nog niet op eindsterkte)
basalt	Burger, 1985	dijk	23	1,85	6,14	8,5	3,09	1,61	4,25	0,30	1,996	1 zuilen eruit na 8,5 uur (nog niet op eindsterkte)
basalt	Eysink en Klein Breteler, 2003	dijk	8A	1,20	7,70	2,0	3,07	2,51	5,67	0,20	1,955	1 zuilen eruit na 2 uur (nog niet op eindsterkte)
basalt	Eysink en Klein Breteler, 2003	dijk	18	1,74	5,85	1,5	4,45	1,58	6,04	0,20	1,955	geen schade na 1,5 uur
basalt	Klein Breteler, 2005	dijk	ingolven	1,25	6,09	4,6	3,20	1,94	4,99	0,20	1,955	2 zuilen eruit na 4,6 uur (nog niet op eindsterkte)
basalt	Klein Breteler, 2005	dijk	4810	1,17	6,35	0,4	2,99	2,09	4,90	0,20	1,955	1 tapse zuil eruit (nog niet op eindsterkte)
basalt	Klein Breteler, 2005	dijk	serie 1	1,27	5,97	23,5	3,24	1,89	4,95	0,20	1,955	1 zuil eruit na 23,5 uur
basalt	Klein Breteler, 2005	dijk	serie 2	1,43	6,56	14,0	3,66	1,95	5,73	0,20	1,955	geen schade na 14 uur
basalt	Klein Breteler, 2005	dijk	serie 3	1,54	6,72	7,3	3,94	1,93	6,11	0,20	1,955	1 zuil eruit na 7,3 uur
Basalton	Kuiper e.a., 2004	havendam	2	1,19	5,04	0,5	3,26	1,92	5,04	0,20	1,827	1 zuil eruit na 0,5 uur
Basalton	Kuiper e.a., 2004	havendam	3	1,38	5,47	1,38	3,78	1,94	5,87	0,20	1,827	geen schade
basalt	Klein Breteler, 2002	havendam	2	0,90	4,54	<= 1uur	2,30	2,13	3,82	0,20	1,955	1 zuil eruit (nog niet op eindsterkte)
basalt	Klein Breteler, 2002	havendam	5	1,09	5,29	1,34	2,79	2,26	4,80	0,20	1,955	geen schade
basalt	Klein Breteler, 2002	havendam	14	0,70	4,17	1,05	1,79	2,08	2,91	0,20	1,955	bijna schade
basalt	Klein Breteler, 2002	havendam	15	0,80	4,60	1,16	2,05	2,14	3,40	0,20	1,955	geen schade
basalt	Klein Breteler, 2002	havendam	16	1,10	4,82	1,22	2,81	1,91	4,34	0,20	1,955	bijna schade

Tabel 1, proefresultaten

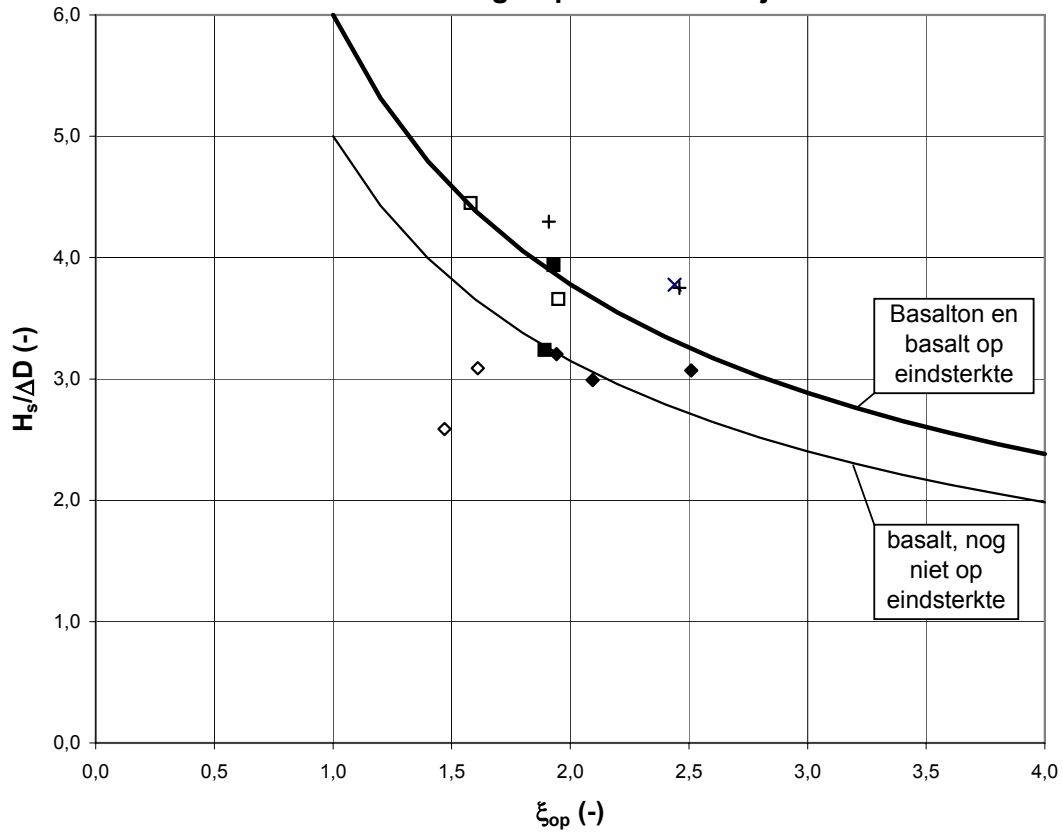
resultaten Deltagootproeven



- × Basalton op dijk; geen schade na 51 uur (2005)
- + Basalton op dijk; geen schade na ca 2 uur (2003)
- ✕ Basalton op havendam; schade na 0,5 uur (2004)
- Basalton op havendam; geen schade (2004)
- basalt op dijk; geen schade na 1,5 a 14 uur
- basalt op dijk; schade na > 7 uur
- ◇ basalt op dijk; schade na > 8 uur (nog niet op eindsterkte)(1985)
- ◆ basalt op dijk; schade na < 5 uur (nog niet op eindsterkte)
- △ basalt op havendam; geen schade (2002)
- ▲ basalt op havendam; schade na 0 a 2 uur (nog niet op eindsterkte) (2002)
- ⚠ basalt op havendam; bijna schade na 0 a 2 uur (nog niet op eindsterkte) (2002)
- F = 6
- F = 5
- - - F = 4

Proefresultaten Deltagoot

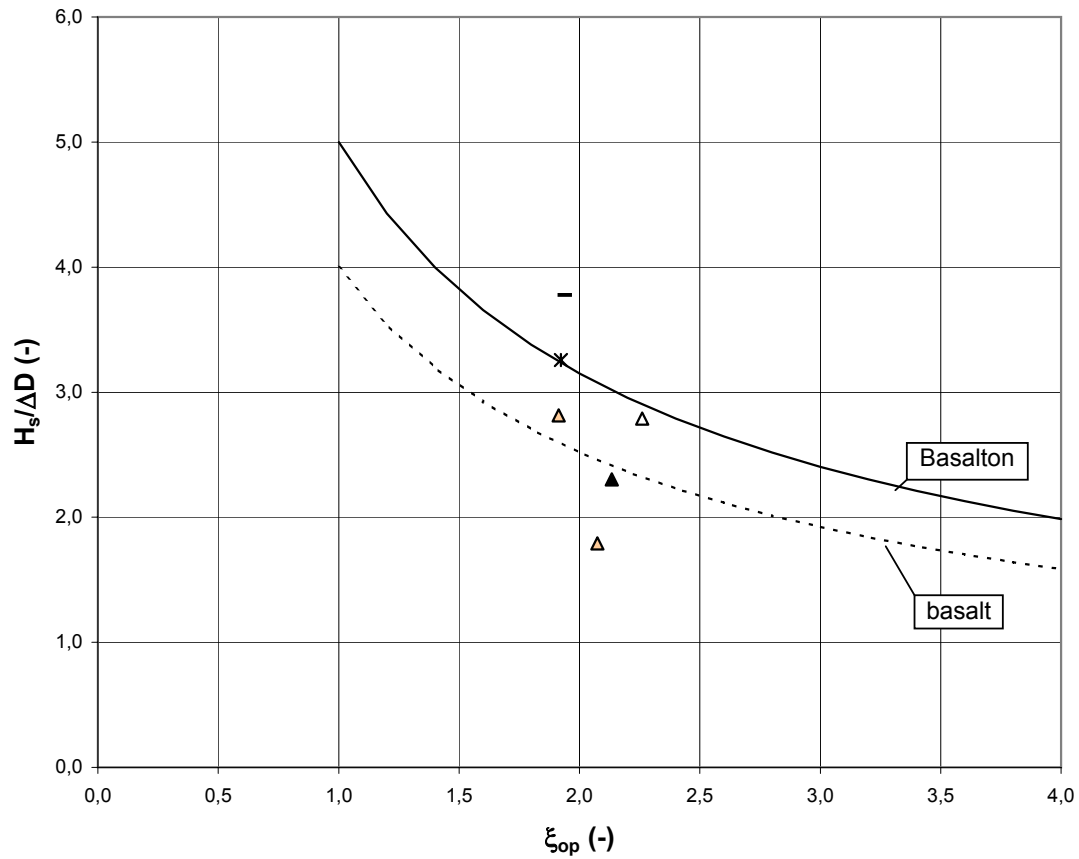
resultaten Deltagootproeven met dijken



- × Basalton op dijk; geen schade na 51 uur (2005)
- + Basalton op dijk; geen schade na ca 2 uur (2003)
- basalt op dijk; geen schade na 1,5 a 14 uur
- basalt op dijk; schade na > 7 uur
- ◇ basalt op dijk; schade na > 8 uur (nog niet op eindsterkte)(1985)
- ◆ basalt op dijk; schade na < 5 uur (nog niet op eindsterkte)
- F = 6
- F = 5

Proefresultaten Deltagoot met dijken

resultaten Deltagootproeven met havendammen



- ✱ Basalton op havendam; schade na 0,5 uur (2004)
- Basalton op havendam; geen schade (2004)
- △ basalt op havendam; geen schade (2002)
- ▲ basalt op havendam; schade na 0 a 2 uur (nog niet op eindsterkte) (2002)
- △ basalt op havendam; bijna schade na 0 a 2 uur (nog niet op eindsterkte) (2002)
- F = 5
- - - - F = 4

Proefresultaten Deltagoot met havendammen