

## **Invloed kwaliteit zetwerk op stabiliteit steenzetting**

Trekproeven op slecht zetwerk





# **Invloed kwaliteit zetwerk op stabiliteit steenzetting**

Trekproeven op slecht zetwerk

M. Klein Breteler  
G.C. Mourik

1206424-016



**Titel**

Invloed kwaliteit zetwerk op stabiliteit steenzetting

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
RWS Waterdienst (en RWS Projectbureau Zeeweringen)	1206424-016	1206424-016-HYE-0014	16

**Trefwoorden**

Steenbekleding, klemming, trekproeven, taludbekleding

**Samenvatting**

Het onderhavige onderzoek richt zich op de invloed van de kwaliteit van het zetwerk op de stabiliteit van steenzettingen onder golfaanval. In dit onderzoek wordt de aandacht gericht op de relatie tussen de mate waarin de steenzetting te ruim is gezet (met relatief grote openingen tussen de stenen) en de klemming van de steenzetting (interactie tussen de stenen).

De mate van klemming is bepaald door op drie Zeeuwse dijkvakken elk circa 200 trekproeven uit te voeren. Als met een trekkracht kleiner dan tweemaal het eigengewicht een steen niet uit de steenzetting kan worden getrokken, kan gesteld worden dat de betreffende steen goed geklemd ligt. Tijdens de trekproeven is getrokken tot driemaal het eigengewicht.

Uit de resultaten van de trekproeven kan geconcludeerd worden dat de klemming waarschijnlijk goed is, ook al is de kwaliteit van het zetwerk relatief slecht (relatief grote openingen tussen de stenen). Daarbij zijn echter wel enkele kanttekeningen van toepassing:

- De interactie tussen de stenen is uitsluitend onderzocht met een statische trekkracht. Het is denkbaar dat verplaatsing van de zetstenen als gevolg van dynamische belasting door golfaanval iets eerder of later zal optreden.
- Het is mogelijk dat de mate van klemming enigszins is beïnvloed door het boren van de gaten voor de trekankers in de zuilen. Het boren gaat gepaard met trillingen, wat kan leiden tot verdichting van het inwasmateriaal, waardoor het vastwigen van de zetstenen tijdens de trekproeven vermoedelijk eerder zal optreden.
- Het is denkbaar dat het inwasmateriaal relatief makkelijk uitspoelt tijdens een storm als de spleten breed zijn. Daardoor zou de klemming in de steenzetting op den duur geringer kunnen zijn en de langeduurstabiliteit van een steenzetting met brede spleten lager kunnen zijn dan de stabiliteit van een goed gezette steenzetting. Alleen de huidige trekproeven kunnen op dit punt geen uitsluitsel geven. De conclusie dat waarschijnlijk toch alle stenen goed geklemd liggen, wordt toegeschreven aan de relatief hoge zuilen die in dit onderzoek beoordeeld zijn (toplaagdikte van 45 en 50 cm), omdat bij dergelijke steenzettingen de kans het grootst is dat er bij brede spleten toch nog steenslag onderin de spleten blijft zitten. Deze steenslag is van groot belang voor de mate van klemming. De conclusie dat bij slecht zetwerk de klemming toch goed is, is derhalve nog niet aangetoond voor relatief dunne steenzettingen (toplaagdikte van 20 tot 30 cm).

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 de Waterdienst van Rijkswaterstaat 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.

**Titel**

Invloed kwaliteit netwerk op stabiliteit steenzetting

**Opdrachtgever**RWS Waterdienst (en RWS  
Projectbureau Zeeweringen)**Project**

1206424-016

**Kenmerk**

1206424-016-HYE-0014

**Pagina's**




16

**Referenties**

Waterdienst zaaknummer 31068749 / 4500196054 van contract van 7 mei 2012

Contactpersoon Waterdienst: dhr. K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	nov. 2012	M. Klein Breteler		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
2	feb. 2013	M. Klein Breteler		R. 't Hart		K.J. Bos	
3	juli 2014	G.C. Mourik		R. 't Hart		W.M.K. Tilmans	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Trekproeven</b>	<b>3</b>
2.1 Omvang van de steekproef	3
2.2 Wijze van uitvoeren van de trekproeven	5
2.3 Locatie	6
2.4 Resultaten van de trekproeven	7
2.5 Mate waarin het inwasmateriaal is uitgespoeld	9
<b>3 Conclusies</b>	<b>13</b>
<b>4 Referenties</b>	<b>15</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Voorbeelden van meetformulieren</b>	<b>A-1</b>
<b>B Poortvliet</b>	<b>B-1</b>
<b>C Scherpenisse</b>	<b>C-1</b>
<b>D Vlietepolder</b>	<b>D-1</b>





## 1 Inleiding

Bij de in uitvoering zijnde werken van Projectbureau Zeeweringen in Zeeland is geconstateerd dat steenzettingen niet altijd even strak worden aangelegd door de aannemer. Dat uit zich in relatief grote openingen tussen de stenen en/of een oneffen oppervlak. Dit wordt hier slecht zetwerk genoemd. Het huidige onderzoek richt zich op de invloed van het relatief ruim zetten van de steenzetting (met grote openingen tussen de stenen) en de stabiliteit onder golfaanval.

De stabiliteit kan op de volgende manieren beïnvloed worden door het relatief ruim zetten van de steenzetting:

- Doordat de stenen onderling onvoldoende contact maken, kunnen er relatief veel losse stenen aanwezig zijn (slechte klemming).
- Doordat de openingen tussen de stenen relatief groot zijn, kan het inwasmateriaal gemakkelijker uitspoelen, waarna wellicht zelfs het filtermateriaal kan uitspoelen.
- Doordat de openingen tussen de stenen relatief groot zijn is het relatieve open oppervlak groot, waardoor de toplaagdoorlatendheid groot is. Dit heeft een positief effect op de stabiliteit, want dit leidt tot een relatief kleine lek lengte.

De eerste twee aspecten hebben een negatief effect op de stabiliteit en de laatste is positief.



*Figuur 1.1 Steenzetting met plaatselijk relatief veel ruimte tussen de stenen.*

In het onderhavige onderzoek is de klemming (interactie tussen de stenen) gemeten door middel van trekproeven (zie Figuur 1.2). Dit sluit aan op het eerstgenoemde aspect.

Een steenzetting is goed geklemd als een verwaarloosbaar aantal stenen met een trekkracht kleiner dan tweemaal het eigengewicht tussen de andere stenen uitgetrokken kan worden. Om dit te controleren zijn op drie dijkvakken met slecht zetwerk circa 200 trekproeven per dijkvak uitgevoerd. De trekproeven zijn uitgevoerd met een maximale trekkracht van driemaal het eigengewicht plus het gewicht van de verplaatsingsmeters (ca 10 kg), zodat de trekkracht op de steen zeker meer dan tweemaal het eigengewicht was, maar niet zoveel dat de steenzetting ontwricht is door de trekproef.

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 de Waterdienst van Rijkswaterstaat 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.



Figuur 1.2 Trekproef op Hydroblocks.

## 2 Trekproeven

### 2.1 Omvang van de steekproef

Het doel van het onderzoek is het vaststellen van de mate van klemming van de stenen in de steenzetting. Het gaat daarbij om het stijghoogteverschil als gevolg van de golfbelasting dat nodig is om stenen uit de steenzetting te lichten. Naarmate de klemming beter is, zal dit benodigde stijghoogteverschil groter zijn.

De mate van klemming wordt hier gekwantificeerd met een klemfactor  $\Gamma_k$ , die de verhouding weergeeft tussen het stijghoogteverschil dat nodig is om een geklemde steen uit de steenzetting te drukken en het stijghoogteverschil dat overeenkomt met het eigengewicht van de steen:

$$\Gamma_k = \frac{\phi_{\text{beweging}}}{\Delta D} \quad (2.1)$$

Met:

$\Gamma_k$  = klemfactor (-)

$\phi_{\text{beweging}}$  = stijghoogteverschil waarmee een steen uit de bekleding kan worden gelicht (m)

$\Delta$  =  $(\rho_s - \rho)/\rho$  = relatieve soortelijke massa van de steen (-)

$\rho_s$  = soortelijke massa van de steen ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$  = soortelijke massa van water ( $\text{kg/m}^3$ )

D = toplaagdikte (m)



Figuur 2.1 Trekproef op slecht gezette Hydroblocks.

Dit is niet de klemfactor zoals die in Steentoets wordt gebruikt, aangezien daar de klemming anders wordt berekend, waarbij ook de hydraulische belasting wordt meegeteld. Desondanks is bovenstaande klemfactor een goede indicatie van de mate van klemming. Als  $\Gamma_k = 1$ , dan is er geen klemming en kan de steen met een kracht gelijk aan het eigengewicht uit de

steenzetting gelicht worden. Als  $\Gamma_k = 2$ , dan lukt het bij een kracht gelijk aan tweemaal het eigengewicht.

Omdat niet alle stenen in dezelfde mate geklemd liggen, gaat het hierbij om een waarde met een bepaalde (kleine) onderschrijdingsfrequentie.

Het is ondoenlijk om alle stenen te beoordelen en daarom wordt er gebruikgemaakt van een steekproef. Dat heeft echter als consequentie dat het niet mogelijk is de exacte de klemfactor met een bepaalde (kleine) onderschrijdingsfrequentie te bepalen, maar slechts een waarde die waarschijnlijk tenminste aanwezig is.

Door Coevelt en Klein Breteler (2003) is een formule afgeleid waarmee de klemfactor kan worden bepaald die tenminste aanwezig is, aannemende dat alle stenen in de steekproef goed geklemd blijken te zitten:

$$\Gamma_{k,\min} = 1 + \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho) \cos \alpha} \sqrt{\frac{4N \ln(1 - X / 100)}{\ln(1 - P_B)}} \quad (2.2)$$

Met:

$\Gamma_{k,\min}$  = minimale klemfactor die waarschijnlijk tenminste aanwezig is (-)

N = aantal trekproeven (steekproefgrootte) (-)

X = onderschrijdingsfrequentie van de minimale klemfactor die waarschijnlijk tenminste aanwezig is (%)

$P_B$  = betrouwbaarheid van het resultaat (-)

Het blijkt dat de klemfactor afhankelijk is van de steekproefgrootte N en een gekozen betrouwbaarheid ( $P_B$ ) van het resultaat. Naarmate de steekproef groter is, is de betrouwbaarheid van het resultaat groter. Anderzijds kan bij een gekozen betrouwbaarheid met een grotere steekproef een grotere klemfactor aangetoond worden.

Er wordt gekozen voor een onderschrijdingsfrequentie van 0,1% ( $X = 0,1$ ) en een betrouwbaarheid van 90% ( $P_B = 0,9$ ). Deze waarden zijn in bovenstaande formule ingevuld met  $\tan \alpha = 1/3,5$  en vervolgens is de formule omgewerkt naar een formule voor de grootte van de steekproef:

$$N = 530 \left( \left( \Gamma_{k,\min} - 1 \right) \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho_s} \right)^2 \quad (2.3)$$

Aangenomen is dat een steenzetting als goed geklemd kan worden beschouwd als aangetoond kan worden dat de klemfactor tenminste 2 is ( $\Gamma_{k,\min} = 2$ ). Daardoor blijkt de minimale steekproefgrootte bij  $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$  met bovenstaande formule ongeveer  $N = 156$  te zijn. Met  $\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$  is de minimale steekproefgrootte  $N = 188$ .

In het huidige onderzoek is gewerkt met een steekproefgrootte van 200 trekproeven.

In tegenstelling tot hetgeen bovenstaand is aangenomen, is de steekproef echter niet aselekt genomen. Er is bewust gekozen voor de stenen die op het oog minder goed contact maken met de naastgelegen stenen. Daardoor is naar verwachting de betrouwbaarheid van het onderzoek hoger.

## 2.2 Wijze van uitvoeren van de trekproeven

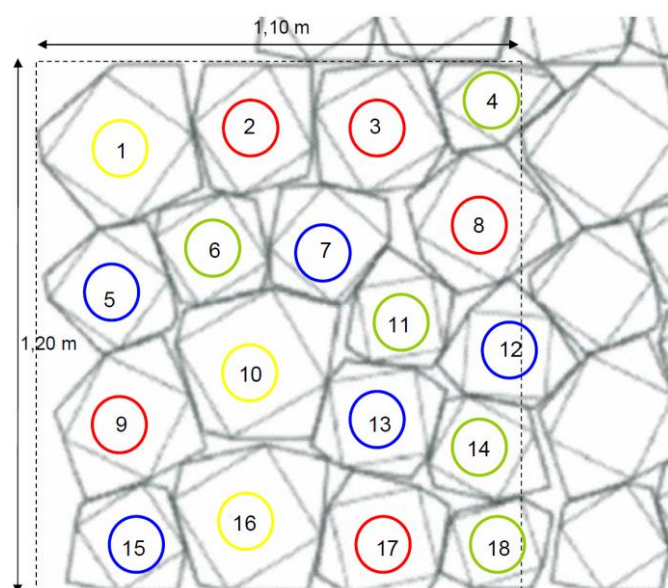
Alle trekproeven zijn uitgevoerd door Breijn B.V. (Rosmalen) in opdracht van Deltares.

De te trekken stenen zijn op het oog uitgekozen door Deltares, waarbij gezocht is naar stenen die vermoedelijk wat slechter geklemd zijn doordat de afstand ten opzichte van de omliggende stenen relatief groot is. Steeds is ervoor gezorgd dat er minstens twee stenen tussen de te trekken stenen zit om onderlinge beïnvloeding te minimaliseren. Doordat er per dijkvak maar liefst 200 trekproeven moeten worden uitgevoerd en de slecht gezette stukken steenzetting een beperkte omvang hadden, was het doorgaans niet mogelijk om een veel grotere onderlinge afstand aan te houden.

De stenen zijn gemarkeerd met verf waarna enkele dagen later de trekproeven zijn uitgevoerd.



Figuur 2.2 Uitvoering trekproeven met driepoot, takel en unster (links) en klokjes op de te trekken steen om de beweging te registreren (rechts).



Figuur 2.3 Nummering van de zuilen in een standaard set Basalton.

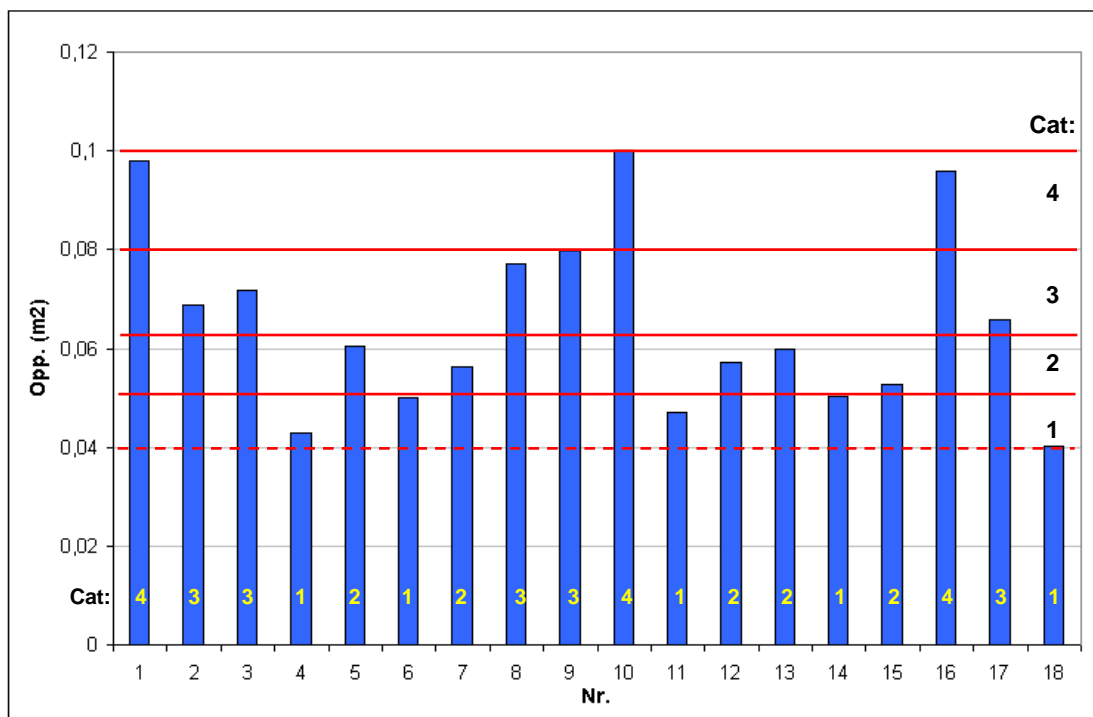
Een trekproef is uitgevoerd met behulp van een driepoot waaraan een takel en digitale unster was bevestigd (zie Figuur 2.2 links). De ketting van de takel is via de unster bevestigd aan

een oog dat met een slaganker is bevestigd aan de te trekken steen. Vervolgens is stap voor stap de trekkracht verhoogd totdat ongeveer een trekkracht gelijk aan driemaal het eigengewicht van de steen bereikt is (plus het gewicht van de verplaatsingsmeters (ca 10 kg)), of totdat de steen tenminste 20 mm is verplaatst ten opzichte van de omliggende stenen. De poten van de driepoot stonden tijdens een trekproef altijd op ruime afstand van de te trekken steen.

Er is steeds loodrecht op het taludoppervlak getrokken.

De beweging van de steen ten opzichte van de omliggende stenen is gemeten met behulp van een aantal meetklokjes (zie Figuur 2.2 rechts). Hierop was de beweging te zien met een resolutie van 0,01 mm.

De meetresultaten zijn ter plekke op meetformulieren ingevuld, waarvan in bijlage A twee voorbeelden zijn gegeven. Omdat er getrokken moet worden met ongeveer driemaal het eigengewicht van de steen, zijn bij Basalton de stenen in verschillende categorieën ingedeeld. In Figuur 2.3 zijn de zuilen te zien in een standaardpakket, waarvan elk een nummer heeft gekregen. Van elke zuil is de oppervlakte (die evenredig is met het gewicht) gegeven in Figuur 2.4. In die figuur geven de horizontale rode lijnen de grenzen van de verschillende categorieën aan. Zo is te zien welke zuil in welke categorie valt. Op het meetformulier was aangegeven welke zuil met welke trekkracht moet worden getrokken.



Figuur 2.4 Indeling van de Basalton-zuilen in vier gewichtscategorieën.

## 2.3 Locatie

De drie dijkvakken waar de trekproeven zijn uitgevoerd liggen allemaal rond de Oosterschelde, zoals te zien is in Figuur 2.5. Deze dijkvakken zijn geselecteerd door Projectbureau Zeeweringen op grond van de ruimte tussen de stenen. Doordat die ruimte hier plaatselijk bijzonder groot is, is het denkbaar dat de klemming minder is dan elders.

	locatie	Dijkpaal nr.	Datum trekproeven	toplaag	Blokgewicht (kg)	Zuilhoogte (cm)
1	Poortvliet	1051 – 1053,5	21 aug. 2012 tot 4 sept. 2012	Hydroblock (2400 kg/m <sup>3</sup> )	66	50
2	Scherpenisse	990,5 – 992	28 aug. 2012 tot 4 sept. 2012	Hydroblock (2300 kg/m <sup>3</sup> )	57	45
3	Vlietepolder	1872 – 1876	5 tot 12 sept. 2012	Basalton (2400 kg/m <sup>3</sup> )	48-120	50

Tabel 2.1 Locatie en datum van de trekproeven en gegevens over de steenzettingen.



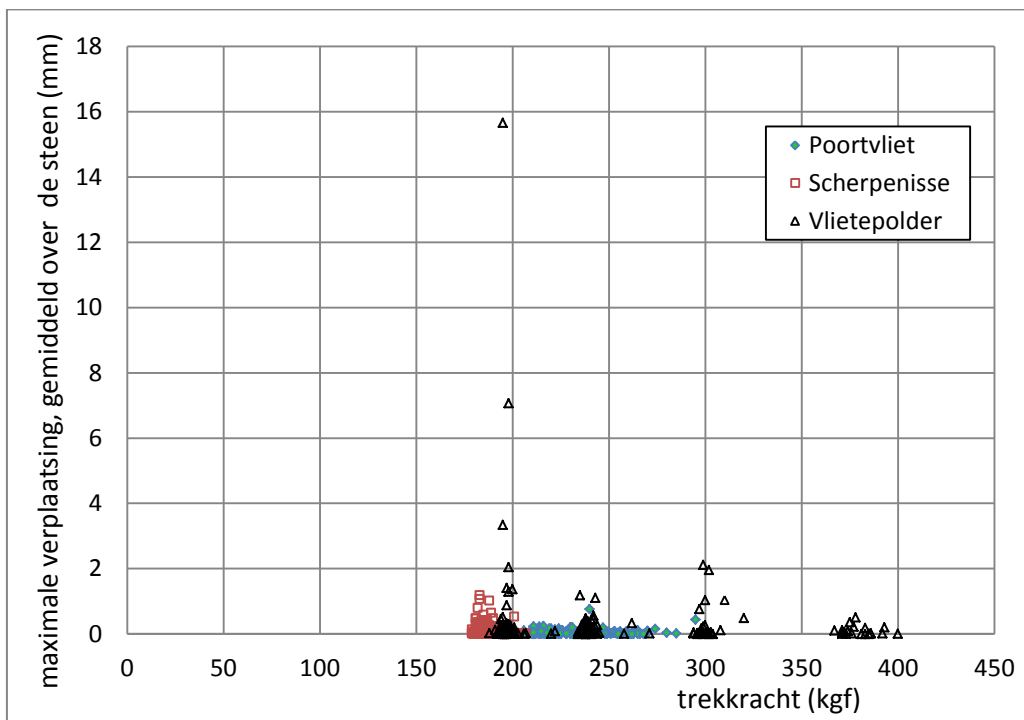
Figuur 2.5 Locatie van de drie dijkvakken rond de Oosterschelde.

Tabel 2.1 geeft informatie over de locatie, de datum van de trekproeven en de eigenschappen van de steenzetting. Poortvliet en Vlietepolder zijn aangelegd in 2007 en Scherpenisse in 2006.

Nadere informatie over de locatie, het dwarsprofiel van de dijk en enkele foto's zijn te vinden in de bijlagen B t/m D.

## 2.4 Resultaten van de trekproeven

De resultaten van de trekproeven zijn samengevat in Figuur 2.6. Op de horizontale as van deze figuur staat de grootte van de trekkracht en op de verticale as de maximale verplaatsing van de betreffende steen (het gemiddelde van alle meetklokjes). Duidelijk is te zien dat de meetpunten van de trekproeven op Basalton (Vlietepolder) in vier groepjes in de figuur te vinden zijn (bij ongeveer 200, 240, 300 en 380 kgf). Dit is het gevolg van de vier toegepaste trekkrachtcategorieën bij deze trekproeven, die gebaseerd zijn op de gewichtscategorieën van de Basalton-zuilen, zoals weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.6 Resultaten van de trekproeven.

Het valt op dat de overgrote meerderheid van de stenen minder dan een millimeter is verplaatst tijdens de trekproeven.

De grootste verplaatsing is vastgesteld bij trekproef 157 op een kleine Basalton zuil. Deze zuil is als een zuiger 16 mm omhoog gekomen bij een trekkraft van ongeveer drie maal het eigen gewicht (195 kgf), maar zat na die beweging toch weer vast.

Bij deze zuil was het inwasmateriaal tot een diepte van 22 cm uitgespoeld. Deze zuil lag op 9.5 m vanaf de bovenzijde van de steenzetting (langs het talud gemeten afstand tot aansluiting op onderhoudspad).

Omdat de zuil nog niet ging bewegen bij een trekkraft gelijk aan twee maal het eigen gewicht, de beweging vrij klein was ten opzichte van de lengte van de zuil (50 cm) bij een kracht van drie maal het eigen gewicht en het feit dat de steen toch weer vast ging zitten, wordt dit niet gezien als een losse zuil.

De Basaltonzuil die het een na het verst omhoog getrokken is (namelijk 7 mm), bevond zich op 8,5 m van de bovenste overgangsconstructie en daar was 11 cm uitgespoeld. De Basaltonzuil die het twee na het verst omhoog getrokken is (namelijk 3 mm), bevond zich op 10,8 m van de bovenste overgangsconstructie en daar was 18 cm uitgespoeld.

Aan de hand van de resultaten wordt geconcludeerd dat geen van de getrokken zuilen los zat, ondanks het feit dat de kwaliteit van het zetwerk vrij slecht was. Wel wordt opgemerkt dat de interactie tussen de stenen uitsluitend is onderzocht met een statische trekkraft. Het is denkbaar dat verplaatsing van de zetstenen als gevolg van dynamische belasting door golfaanval bij een iets kleinere of grotere belasting zal optreden. Daarnaast is het mogelijk dat de mate van klemming enigszins is beïnvloed door het boren van de gaten voor de trekankers in de zuilen. Het boren gaat gepaard met trillingen, wat kan leiden tot verdichting van het inwasmateriaal, waardoor het vastwigen van de zetstenen tijdens de trekproeven vermoedelijk eerder zal optreden.



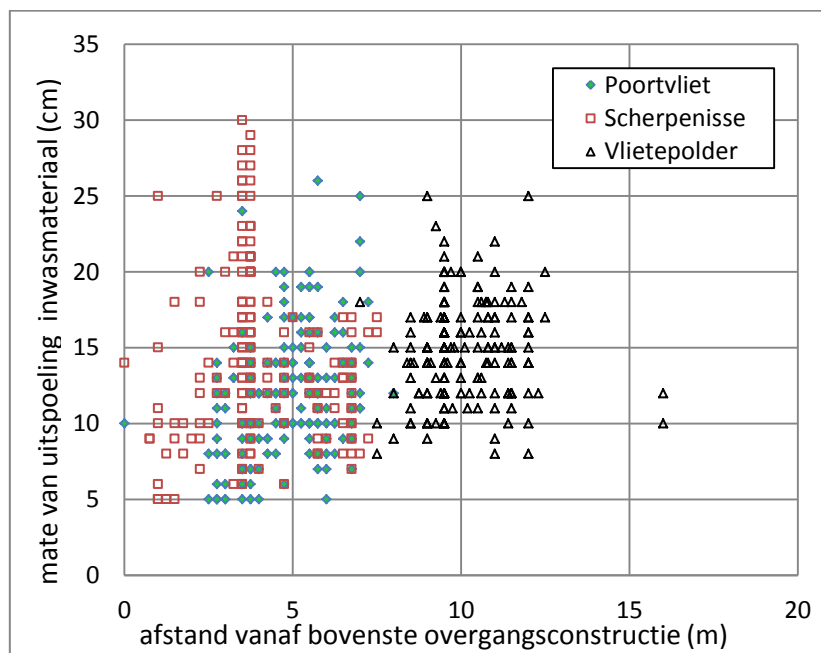
## 2.5 Mate waarin het inwasmateriaal is uitgespoeld

Bij elke trekproef is tevens gekeken in welke mate er nog inwasmateriaal aanwezig was in de spleten rond de getrokken steen. Omdat er mogelijk een relatie is tussen de locatie op het talud en de mate waarin het inwasmateriaal is uitgespoeld, zijn de meetresultaten in Figuur 2.7 uitgezet tegen de afstand tot de bovenste overgangsconstructie, die doorgaans langs de onderhoudsweg op de berm ligt. Op de verticale as staat het aantal centimeters dat de betreffende spleet leeg is.

Er blijkt uit deze figuur geen duidelijke relatie.

Ook is gezocht naar een relatie tussen de maximale verplaatsing tijdens de trekproeven op Basalton en de mate waarin het inwasmateriaal is uitgespoeld. Het resultaat van de metingen is in Figuur 2.8 tegen elkaar uitgezet.

In de figuur is te zien dat de grootste verplaatsing overeenkomt met relatief veel uitgespoeld inwasmateriaal. De een na de grootste verplaatsing is echter vastgesteld bij een steen waar relatief weinig inwasmateriaal is uitgespoeld. Er lijkt echter een licht verband te zijn tussen een grote verplaatsing en een grote mate van uitspoelen, maar erg markant is dit verband niet.

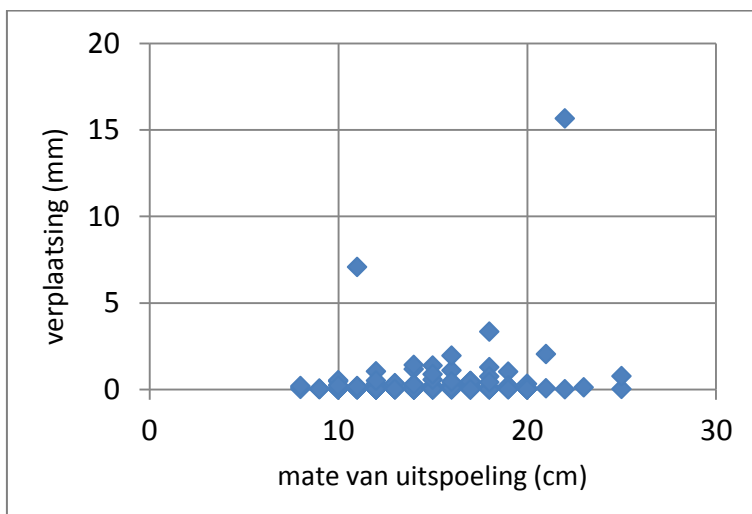


Figuur 2.7 Mate waarin het inwasmateriaal is uitgespoeld als functie van de locatie op het talud (aantal centimeters spleetdiepte waarin geen inwasmateriaal meer zit).

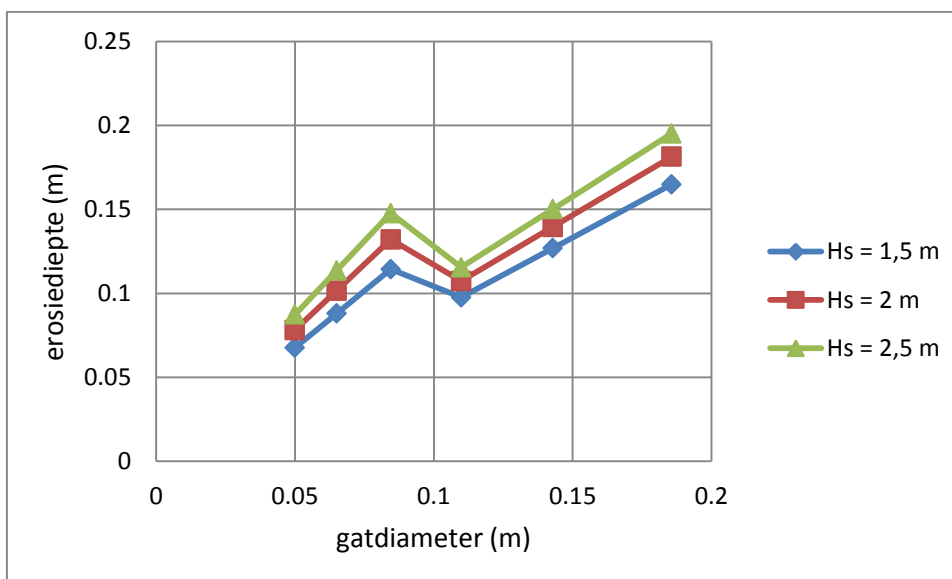
Het is denkbaar dat het inwasmateriaal gemakkelijker uitspoelt tijdens een storm als de spleten breed zijn. Daardoor zou de langeduurstabiliteit van een steenzetting met brede spleten als gevolg van slecht zetwerk lager kunnen zijn dan de stabiliteit van een goed gezette steenzetting. Om dit nader af te schatten is met Steentoets de relatie tussen de breedte van de openingen in de steenzetting en de diepte tot waar het inwasmateriaal uitspoelt bepaald. Dit is weergegeven in Figuur 2.9. Deze figuur is gemaakt voor een gemiddeld open oppervlak van 14 % en een korrelgrootte van het filter van  $D_{f50} = 25$  mm. Opgemerkt dient te worden dat de beschikbare formules eigenlijk bedoeld zijn voor ongeveer ronde of vierkante gaten, en bij gebrek aan beter gebruikt worden voor spleten. Naar verwachting is dit ook redelijk nauwkeurig voor spleten evenwijdig aan de waterlijn, maar

geeft het een onderschatting van het uitspoelen voor brede spleten in de richting van teen naar kruin.

Uit deze figuur blijkt dat bij een tweemaal zo grote opening het inwasmateriaal tot tweemaal zo diep uitspoelt. De overgang van de ene trend naar de andere trend bij een opening van 10 cm is een gevolg van het feit dat er verschillende formules zijn voor kleine gaten en grote gaten. Het is dus denkbaar dat het inwasmateriaal gemakkelijker uitspoelt tijdens een storm als de spleten breed zijn. Daardoor zou de langduurstabiele van een steenzetting met brede spleten als gevolg van slecht zetwerk lager kunnen zijn dan de stabiliteit van een goed gezette steenzetting. Alleen de huidige trekproeven kunnen op dit punt geen uitsluitsel geven.



Figuur 2.8 Relatie tussen gemeten verplaatsing tijdens de trekproeven op Basalton en de mate waarin rond de steen het inwasmateriaal is uitgespoeld.



Figuur 2.9 Relatie tussen diameter van een opening in de steenzetting en de diepte tot waar het inwasmateriaal uitspoelt (afstand van het oppervlak van de steenzetting tot het inwasmateriaal) ( $\Omega = 0,14$  en  $D_{f50} = 25$  mm).

Een aspect dat bij ruim gezette, goed geklemde steenzettingen samenhangt met de uitspoeldiepte van het inwasmateriaal is de mate waarin de steenzetting klemming genereert als deze gaat vervormen (opbollen). Hoe breder de spleten, hoe makkelijker het inwasmateriaal uitspoelt en des te hoger is het bovenste deel van de spleet zonder inwasmateriaal. Bij een vervorming is de 'liggerhoogte' dan geringer, waardoor minder spatkrachten worden ontwikkeld en dus de klemming minder is. Dit aspect kan niet onderzocht worden met de huidige trekproeven, enerzijds vanwege de aanwezigheid van meer inwasmateriaal dan na een lange storm, en anderzijds doordat zich binnen de drie poten van de trekproefopstelling slechts enkele stenen bevonden. Dit laatste is juist bewust gedaan om te voorkomen dat de steenzetting opbolt en de getrokken steen zich vastwigt in de steenzetting.



### 3 Conclusies

In het onderzoek zijn op drie Zeeuwse dijkvakken met relatief slecht zetwerk elk 200 trekproeven uitgevoerd om te beoordelen of de steenzetting geklemd ligt of niet. Steeds zijn de stenen uitgezocht die zo min mogelijk contact maken met de omliggende stenen, omdat juist van die stenen verwacht zou kunnen worden dat de klemming gering is. Als met een trekkracht kleiner dan tweemaal het eigengewicht een steen niet uit de steenzetting kan worden getrokken, kan gesteld worden dat de betreffende steen goed geklemd ligt. Tijdens de trekproeven is getrokken tot driemaal het eigengewicht.

Deze trekproeven hebben geleid tot de conclusie dat, ondanks het slechte zetwerk, waarschijnlijk toch alle stenen goed geklemd liggen. Daarbij zijn echter wel enkele kanttekeningen van toepassing:

- De interactie tussen de stenen is uitsluitend onderzocht met een statische trekkracht. Het is denkbaar dat verplaatsing van de zetstenen als gevolg van dynamische belasting door golfaanval iets eerder of later zal optreden.
- Het is mogelijk dat de mate van klemming enigszins is beïnvloed door het boren van de gaten voor de trekankers in de zuilen. Het boren gaat gepaard met trillingen, wat kan leiden tot verdichting van het inwasmateriaal, waardoor het vastwigen van de zetstenen tijdens de trekproeven vermoedelijk eerder zal optreden.
- Het is denkbaar dat het inwasmateriaal relatief makkelijk uitspoelt tijdens een storm als de spleten breed zijn. Daardoor zou de klemming in de steenzetting op den duur geringer kunnen zijn en de langeduurstabiliteit van een steenzetting met brede spleten lager kunnen zijn dan de stabiliteit van een goed gezette steenzetting. Alleen de huidige trekproeven kunnen op dit punt geen uitsluitsel geven.

De conclusie dat waarschijnlijk toch alle stenen goed geklemd liggen, wordt toegeschreven aan de relatief hoge zuilen die in dit onderzoek beoordeeld zijn (toplaagdikte van 45 en 50 cm), omdat bij dergelijke steenzettingen de kans het grootst is dat er bij brede spleten toch nog steenslag onderin de spleten blijft zitten. Deze steenslag is van groot belang voor de mate van klemming. De conclusie dat bij slecht zetwerk de klemming toch goed is, is derhalve nog niet aangetoond voor relatief dunne steenzettingen (toplaagdikte van 20 tot 30 cm).



## 4 Referenties

Coeveld, E.M. en M. Klein Breteler  
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen  
Invloed klemming: statistische analyse trekproeven  
WL | Delft Hydraulics, rapport H4134, november 2003



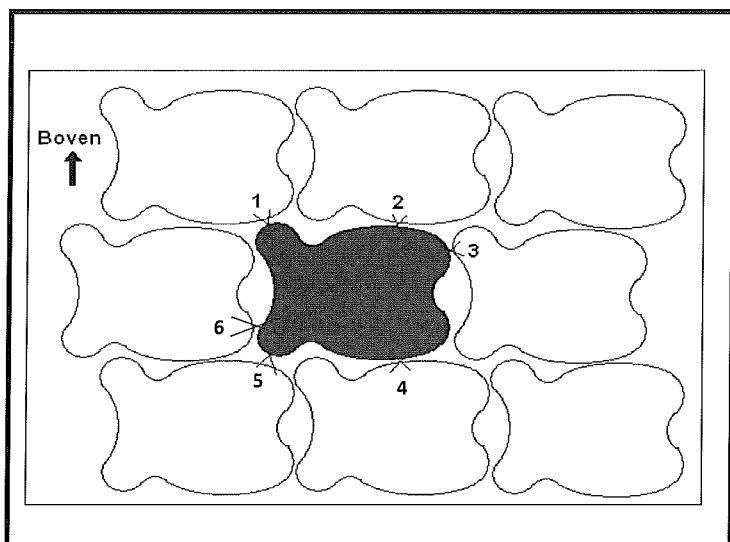


## **A Voorbeelden van meetformulieren**



Meetformulier Trekproef bij Tholen, tussen dp 1051 en dp 1053,5

Steenpositie	rij van boven	18	Meetpunt	3
	rij van onder	17		
Datum/tijd			Fotonummers	5260 + 5261
Weertype				



<b>Hydroblock (50 cm hoog)</b>
<u>Maximaal trekgewicht</u>
210 kg
<u>Diepte inwassing (cm)*</u>
12

\* Indien minder dan 5 cm, noteren als < 5

Punt	Bij maximum trekgewicht mm
1	0,27
2	0,04
3	-0,12
4	0,24
5	-0,08
6	0,19

Trekproef stoppen als één of meer verplaatsingsopnemers meer dan 20 mm aangeeft!

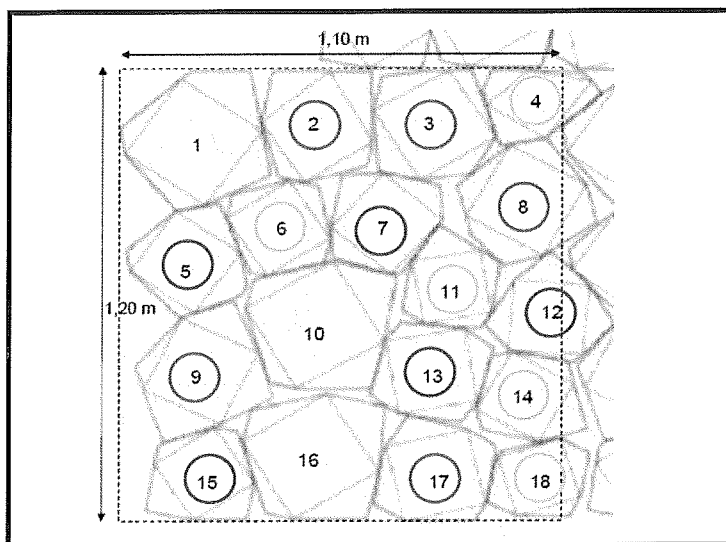
<b>Trekgewicht bij verplaatsing van meer dan 20 mm</b>
253 kg

Vervormingspatroon			
Zuiger		Kattenrug	evenwijdig
			haaks
Bult		Halve kattenrug	evenwijdig
			haaks
Incomplete bult		Niet waarneembaar	X

<b>Opmerkingen</b>
dp 1053,27

Meetformulier Trekproef Vlietepolder

Steenpositie	rij van boven	10.80	Meetpunt	/
	rij van onder			
Datum/tijd	5-9-2012		Fotonummers	6063 - 6064
Weertype	4/8		Locatie (dijkpaalnummer)	1857



<b>Basalton</b>
<u>Maximaal trekgewicht</u>
<b>194 kg</b>
<b>237 kg</b>
<b>298 kg</b>
<b>370 kg</b>
<u>Diepte inwassing (cm)*</u>
17

\* Indien minder dan 5 cm, noteren als < 5

Punt	Bij maximum trekgewicht mm
1	-51
2	-56
3	-52
4	-52
5	-50
6	-34

Trekproef stoppen als één of meer verplaatsingsopnemers meer dan 20 mm aangeeft!

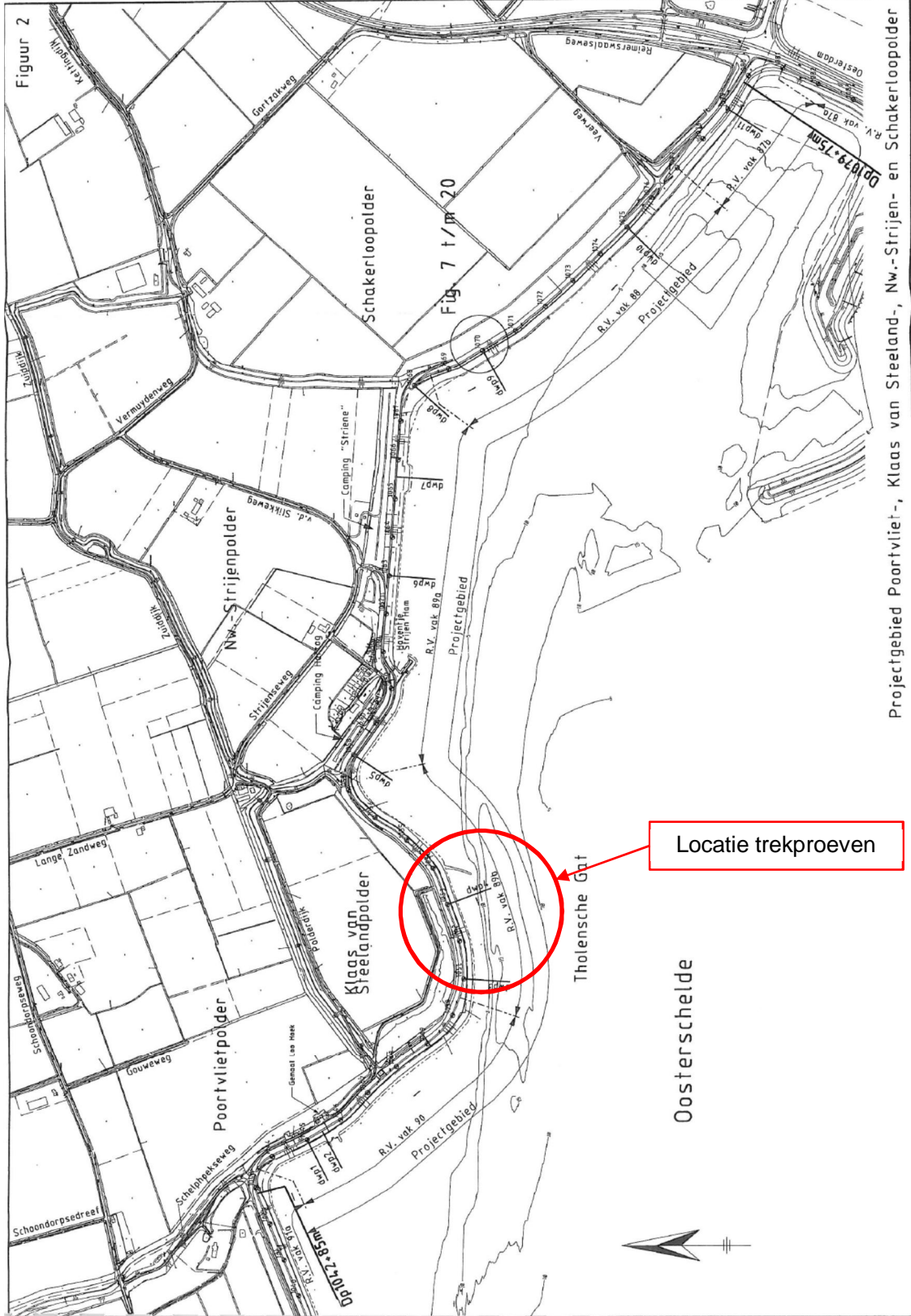
<b>Trekgewicht bij verplaatsing van meer dan 20 mm</b>
320 kg

Vervormingspatroon			
Zuiger	X	Kattenrug	evenwijdig
			haaks
Bult		Halve kattenrug	evenwijdig
			haaks
Inclomplete bult		Niet waarneembaar	

<b>Opmerkingen</b>

## **B Poortvliet**





Figuur 2

Fig. 7 t/m 20

Locatie trekproeven

Projectgebied Poortvliet-, Klaas van Steeland-, Nw.-Strijen- en Schakerlooperpolder

Datum: 24-01-2008

Topografische ondergrond: (c) Topografische Dienst Kadaster

G:\TEKNIK\Zeeveringen\Portvliet\Portvliet.dgn



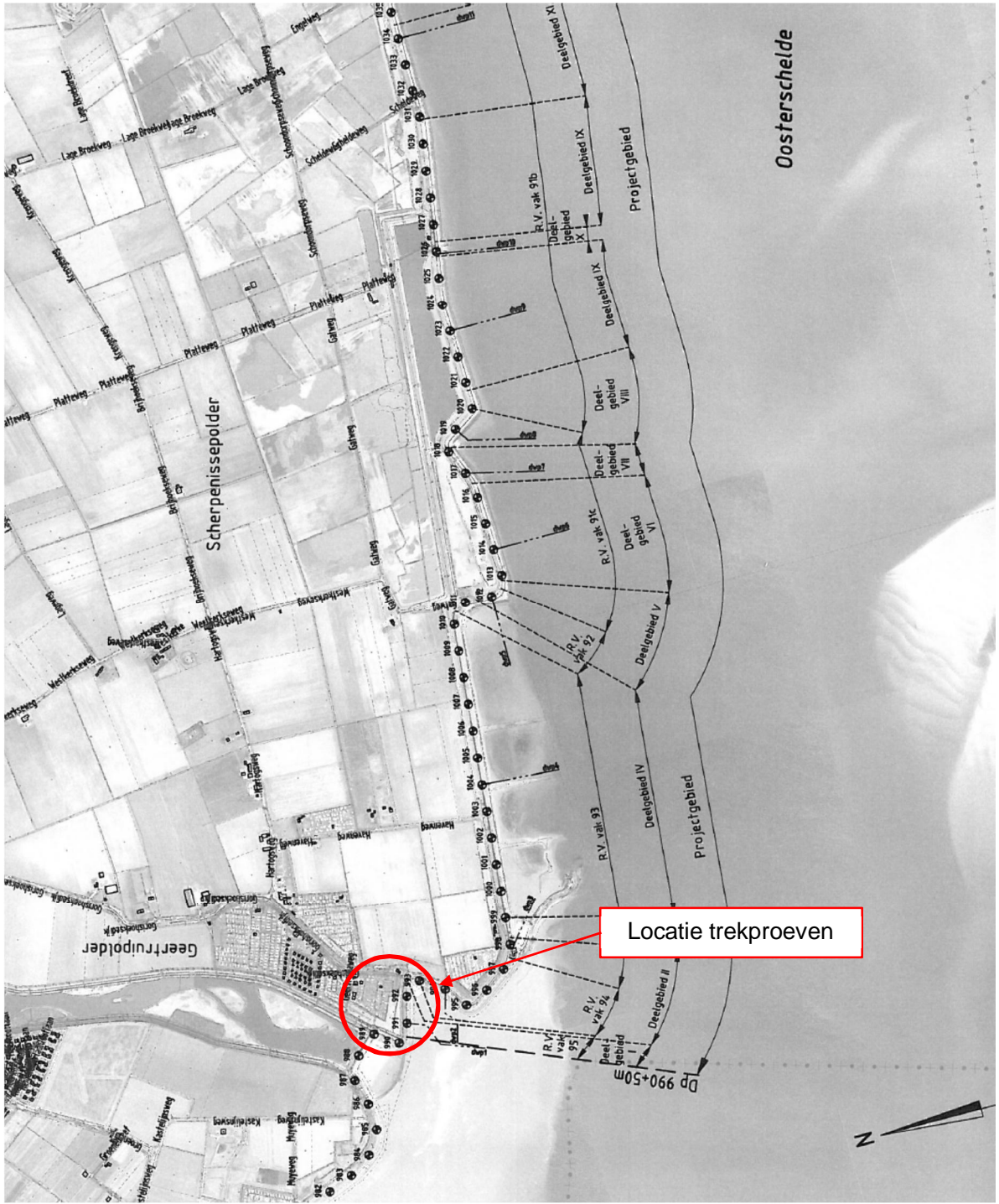






## **C Scherpenisse**





Locatie trekproeven









## D Vlietepolder







