Deltares

Enabling Delta Life

Klemming in steenzettingen bepalen met VGD-metingen

Deltares

Klemming in steenzettingen bepalen met VGD-metingen

Robert 't Hart

1204727-011

© Deltares, 2012

Deltares

Titel
Klemming in steenzettingen bepalen met VGD-metingen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS Waterdienst	1204727-011	1204727-011-HYE-0013	79

Trefwoorden
Steenzettingen, klemming, valgewichtdeflectiemeting

Samenvatting
In het kader van het project "Advisering steenbekledingen Zeeland 2011" is onderzoek uitgevoerd naar een meetmethode om snel inzicht te krijgen in de mate van klemming in steenzettingen. De mate waarin de stenen in een steenzetting geklemd liggen, is belangrijk voor de stabiliteit van een steenzetting onder golfaanval.

Het onderzoek richt zich op het ontwikkelen van een objectieve meetmethode voor het vaststellen van de mate van klemming. In het verleden is de mate van klemming vastgesteld door middel van trekproeven, waarbij de kracht gemeten wordt die nodig is om een steen een paar centimeter omhoog te trekken uit de steenzetting. Deze methode is echter erg bewerkelijk.

Als alternatief op trekproeven is onderzocht of de klemming bepaald kan worden aan de hand van een valgewichtdeflectiemeting (VGD-meting). Dit is een standaard meettechniek die toegepast wordt in de wegenbouw voor het beoordelen van verhardingen.

In 2010 is hiertoe een onderzoek uitgevoerd op vooral blokkenzettingen en een enkele zuilenzetting. Omdat deze meetdata in dit voorafgaande onderzoek nog geen compleet beeld opleverde wat tot een algemeen toepasbare aanbeveling leidde, is in 2011 aanvullend onderzoek uitgevoerd waarbij de nadruk lag op zuilenzettingen.

Dit onderzoek heeft geleid tot een helderder beeld ten aanzien van de waarde van VGD-metingen voor het vaststellen van de mate van klemming. Aan de hand van VGD-metingen kan nu worden nagegaan of klemming aanwezig is, onvoldoende aanwezig is, of dat toch nader onderzoek in de vorm van trekproeven moet worden overwogen.

Referenties
Zaaknummer 31054958
Projectleider Waterdienst: R. Termaat (tot 1-10-2011), K. Saathof (vanaf 1-10-2011).

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	nov. 2011	R. 't Hart		M. Klein Breteler		A.T. Aantjes	
2	febr. 2012	R. 't Hart		M. Klein Breteler		L. Voogt	
3	maart 2012	R. 't Hart		M. Klein Breteler		L. Voogt	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding **1**

2 Uitgevoerde metingen **3**
2.1 Aandachtspunten algemeen 3
2.2 Locatiekeuze 3
2.3 Trekproeven 6
2.4 Resultaten trekproeven 7
2.5 Valgewichtdeflectiemetingen 13

3 Analyse van de VGD-metingen **17**
3.1 Analyse dynamica VGD-meting op losse zetting 17
3.2 Analyse VGD-meting op een min of meer geklemde zetting 19

4 Resultaten VGD-metingen **23**
4.1 Plaatsing opnemers bij VGD-metingen 23
4.2 Berekende waarden voor de klemming 25
4.3 Terugrekenen stijfheden 28
4.4 Dimensieloze klemmingsindicator 29
4.5 Herevaluatie meerdere meetsessies op hetzelfde vak in 2010 31
4.6 Conclusies betreffende de interpretatie van de VGD-metingen 32

5 VGD-metingen en trekproeven voor het vaststellen van klemming **35**

6 Conclusies en aanbevelingen **39**

Literatuur **43**

Lijst van symbolen **44**

Bijlagen

A Trekproeven **A-1**
A.1 Meetresultaten 2011 trekproeven: gesorteerde blokgemiddelde verplaatsingen A-1
A.2 Meetresultaten 2010 trekproeven: gesorteerde blokgemiddelde verplaatsingen A-3

B Valgewichtdeflectiemetingen (VGD) **B-1**
B.1 Valgewichtdeflectiemetingen op dijken, Eindrapportage door M.M. Willemsen, Breijn B.V., Wegbouwkunde d.d. 20-01-2012. B-1
B.2 Tabellen met gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locaties onderzocht met het valgewicht. B-17

C Invloed van de taludhelling en wrijving op de impuls van het valgewicht C-1

D Klemming bij losliggende blokken op hun kant D-1

E Aandachtpunten bij uitvoeren van metingen voor vaststellen van klemming E-1
E.1 Algemeen E-1
E.2 Trekproeven E-1
E.3 VGD-metingen E-3

1 Inleiding

In 2010 is onderzoek uitgevoerd naar een meetmethode om snel inzicht te krijgen in de mate van klemming in steenzettingen. Aangezien dit onderzoek op basis van de beperkte metingen nog niet tot eenduidige resultaten leidde is besloten om in 2011 een aanvullend onderzoek te starten.

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.

Met klemming wordt de interactie tussen de stenen in de zetting bedoeld. Dit wordt deels gegenereerd door het feit dat de stenen op een talud liggen, en daardoor enigszins op elkaar rusten. Dat levert een normaalkracht op in het vlak van de steenzetting die de stenen als het ware tegen elkaar klemt. Anderzijds wordt klemming veroorzaakt door steenslag (inwassing die bewust is aangebracht) zand (inzanding als gevolg van natuurlijke processen) en biologische activiteiten in de spleten tussen de stenen.

De mate waarin de stenen in een steenzetting geklemd liggen, is belangrijk voor de stabiliteit van de toplaag onder golfaanval.

Om daadwerkelijk op klemming te kunnen rekenen, is het noodzakelijk dat met enige zekerheid komt vast te staan dat het aantal losse elementen in de zetting marginaal is. Dat betekent dat het niet nodig is alle elementen te beproeven, maar een flink aantal elementen moet wel worden beproefd voordat de vereiste zekerheid bestaat [Coeveld, Klein Breteler 2003].
Overigens voordat in Steentoets met klemming wordt gerekend, wordt eerst gecheckt of problemen met een enkel los element niet tot rampzalige gevolgen leidt: de zetting moet voldoende reststerkte hebben. Is die onvoldoende, dan wordt in Steentoets slechts gerekend met ongeklemde blokken.

Het onderzoek richt zich op het ontwikkelen van een objectieve meetmethode voor het vaststellen van de mate van klemming. In het verleden is de mate van klemming vastgesteld door middel van trekproeven, waarbij wordt nagegaan of het mogelijk is met een trekkracht gelijk aan een aantal malen het blokgewicht een element een paar centimeter omhoog, uit de steenzetting te trekken. Deze methode is echter erg bewerkelijk. Door de grote spreiding in de mate van klemming, is het noodzakelijk de meting op veel stenen uit te voeren, voordat een betrouwbare uitspraak over de klemming kan worden gegeven. Daarom is een snellere methode van beproeven gewenst.

Als alternatief voor trekproeven is onderzocht of de klemming bepaald kan worden aan de hand van valgewichtdeflectiemetingen (VGD-metingen).

Tijdens een VGD-meting laat men een zwaar gewicht op een steen van de steenzetting vallen, en meet de uitgeoefende kracht en hoeveel deze steen als gevolg daarvan beweegt. Tevens worden de bewegingen van twee naastgelegen stenen gemeten, en enkele stenen op wat grotere afstand. Als er sprake is van een zeer goede klemming, zullen de naastgelegen stenen een relatief grote beweging laten zien.
De VGD-meting is een veelgebruikte meetmethode voor het beoordelen van de kwaliteit van verkeerswegen. De apparatuur is daardoor zodanig uitontwikkeld dat deze handig in het gebruik is en er vele metingen per uur uitgevoerd kunnen worden.

Aanpak onderzoek
Het onderzoek dient criteria te ontwikkelen waarmee op grond van de resultaten van VGD-metingen op een steenzetting kan worden bepaald of deze zetting voldoende is geklemd om rekening te houden met de klemming bij de beoordeling van de stabiliteit van de toplaag.
Om te komen tot die criteria zijn VGD-metingen uitgevoerd op een aantal verschillende typen bekledingen (toplagen Hydro-blocks, Basalton, Haringmanblokken plat en op hun kant) op verschillende typen ondergrond. Daarbij is een selectie zettingen van zowel goed geklemde als slecht geklemde zettingen onderzocht. Ook de bekledingsdikte en de taludhelling waren voor vrijwel iedere bekleding weer anders.
Omdat op voorhand niet met zekerheid is aan te geven of een bekleding goed danwel slecht is geklemd zijn als referentiemeting eerst op alle bekledingen elk een 30-tal trekproeven uitgevoerd. Op grond van die metingen is vastgesteld of de bekledingen goed of slecht geklemd zijn.
Aan de hand van grove schematisaties en elementaire mechanica is een klemmingsindicator geformuleerd. Deze wordt, voor zover de meetresultaten dit toelaten, geëvalueerd en op grond daarvan wordt een aanbevolen criterium en werkwijze geformuleerd voor toekomstige verkenningen van de klemming van zettingen.
Zowel de trekproeven als de VGD-metingen zijn uitgevoerd door Breijn B.V. Wegbouwkunde. De analyse van de metingen is, afgezien van de selectie van de extreme verplaatsingen per opnemer en het terugrekenen van de stijfheden van de verschillende lagen, uitgevoerd door Deltares.

Leeswijzer
De rapportage van Breijn met betrekking tot de VGD-metingen is in dit rapport toegevoegd als bijlage B1. De uitvoering en resultaten van de metingen zijn beschreven in hoofdstuk 2. De analyse van de VGD-metingen is behandeld in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies gegeven en de aanbeveling geformuleerd hoe de VGD-metingen in te zetten voor het bepalen van klemming.

2 Uitgevoerde metingen

2.1 Aandachtspunten algemeen

Bij het onderzoek naar de klemming van zettingen is het van belang dat de wijze waarop de meetcampagne is opgezet de metingen zelf niet beïnvloedt. Daartoe dienen op klemming onderzochte blokken op voldoende afstand van elkaar te liggen. Als aan één element al is getrokken, dan kan daarmee de klemming met de buurelementen al zijn verstoord. Daarom mogen aangrenzende elementen nooit worden beproefd. Er is voor gekozen om te eisen dat er tenminste 3 stenen tussen opeenvolgende meetpunten aanwezig zijn. Overigens geldt dit zowel voor de trekproeven als voor de VGD-proeven, als voor beide proefverzamelingen tezamen.
Deze en andere randvoorwaarden voor het uitvoeren van de metingen zijn opgenomen in de aandachtspunten voor het uitvoeren van trekproeven en VGD-metingen in bijlage E.

2.2 Locatiekeuze

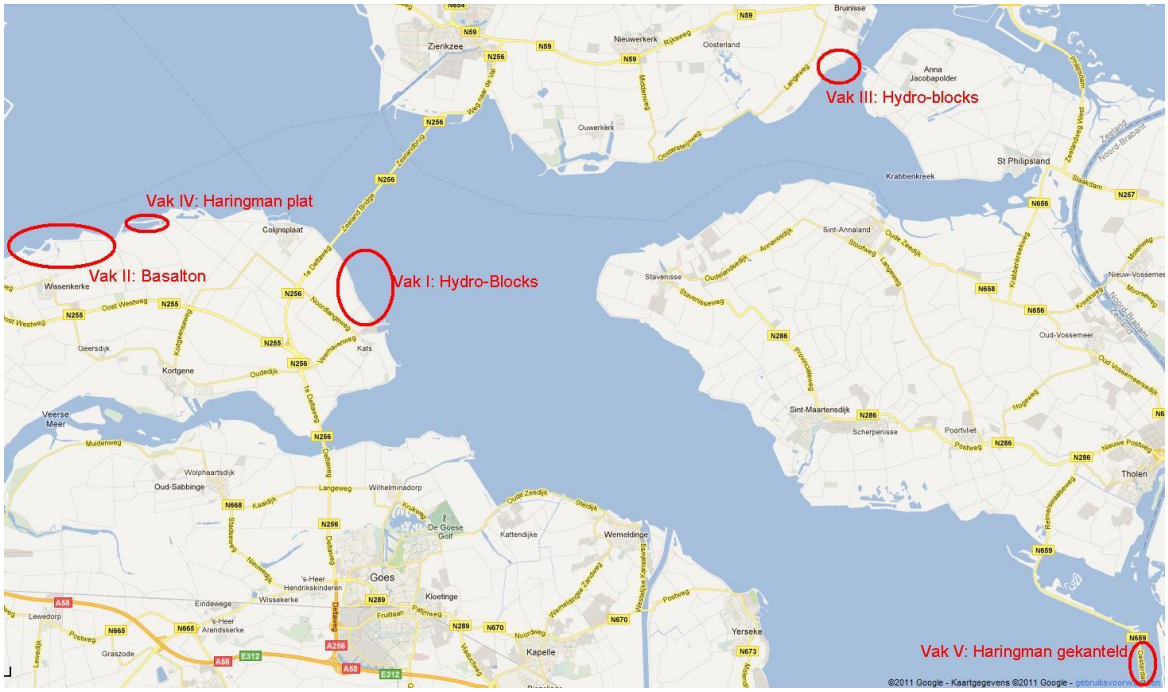
De metingen waar het in het onderzoek om gaat, betreffen de VGD-metingen op grond waarvan een beoordeling van de klemming moet worden gegeven. Aangezien we echter nog niet met zekerheid weten welk criterium daarbij moet worden gehanteerd, zijn er referentiemetingen noodzakelijk die aangeven of een zetting geklemd of ongeklemd is. Daarvoor zijn de gebruikelijke trekproeven gehanteerd. Binnen het onderzoek dienen verschillende zettingen aanwezig te zijn: geklemde en ongeklemde. Echter op voorhand is niet te zeggen of een zetting geklemd of ongeklemd is. Daarom dient eerst door de trekproeven de mate van klemming te worden bepaald, waarna pas duidelijk is of de zetting bruikbaar is voor het onderzoek met de VGD-metingen. Zowel in het huidige onderzoek als in het voorafgaande onderzoek zijn er meer zettingen met trekproeven onderzocht dan met VGD-metingen. Dit kwam omdat zettingen waarvan werd verwacht dat ze niet goed geklemd zouden zijn, toch goed vast bleken te liggen.

In 2011 zijn op vijf locaties in Zeeland series trekproeven uitgevoerd. Deze zijn gerapporteerd door Van Beuningen [2012]. Er zijn trekproeven uitgevoerd op de locaties (zie ook Figuur 2.1):

1. Oud Noord-Bevelandpolder (Kats); dp 1778– 1781; 29-08-2011 Hydro-blocks;
2. Vliete- en Thoornpolder; dp 1873 – 1875; 30-08-2011; Basalton;
3. Bruinisse-polder, dp 395 – 397; 31-08-2011; Hydro-blocks;
4. Nieuw Noord-Bevelandpolder 1854 +36 – 1856; 06-09-2011; Haringmanblok plat;
5. Oesterdam Noord, dp 1134 – 1136; 19-09-2011; betonblokken op hun kant.

De gegevens van deze zettingen zijn in Tabel 2.1 opgenomen. De volgende symbolen zijn in deze en de volgende tabel gebruikt:

A = oppervlak van een element [m^2];
ρ = soortelijke massa van de elementen [kg/m^3];
m_3 = schatting van de gemiddelde massa van een element [kg];
F_{trek} = de maximale kracht waarmee aan een element is getrokken [kgf].



Figuur 2.1 Locaties en steentype voor de trekproeven uitgevoerd in 2011

locatie	I Oud N.Beveland	II Vlietepolder	III Bruinisse	IV Nieuw N.Beveland	V OesterdamN.
Type zetting	Hydro-blocks	Basalton	Hydro-blocks	Haringman-blokken plat geplaatst	Haringman-blokken op hun kant
Aanleg	2006	2007	2008	<2000	2011
Toplaag dikte [m]	0,40	0,45	0,45	0,25	0,50
Lengte [m]	0,25	ca. 0,25	0,25	0,50	0,50
Breedte [m]	0,25	ca. 0,25	0,25	0,50	0,25
A [m^2]	0,0625	0,07	0,0625	0,25	0,125
ρ * [kg/m^3]	2300	2600	2300	2300	2300
m_3 [kg]	50	75	65	135	135
F_{trek} [kgf]	150	225	200	400	400
Filterlaag	Steenslag 0,10 m	Steenslag 0,10 m	Steenslag 0,10 m	Steenslag 0,10 m	Steenslag 0,10 m
Onderlaag	klei 0,6 m	klei 1,0m	hydr. fosforslakken dik 1,0 m	mijnsteen 0,4 m Klei 1,6 m	klei 0,80 m

*Tabel 2.1 Kenmerken van de zettingen waarop in 2011 trekproeven zijn uitgevoerd. * Standaardwaarden of volgens bestekstekening*

In het voorafgaande onderzoek zijn op vijf locaties in Zeeland series trekproeven uitgevoerd. Van één zetting, de koperslakken op de Oesterdam, was uit eerder onderzoek [Schuurmans 2008] al bekend dat deze geklemd lag. De locaties waren respectievelijk (zie ook Figuur 2.2):

1. Oesterdam/Bathpolder: koperslakblokken;
2. Oesterdam: Haringmanblokken plat;

3. Poortvliet: Hydro-blocks;
4. Scherpenisse: Haringmanblokken;
5. Grevelingendam: betonblokken op hun kant;
6. Hansweert: betonblokken op hun kant.

Figuur 2.2 Locaties en steentypen van de metingen uitgevoerd in 2010 (bij Hansweert zijn alleen trekproeven uitgevoerd)

In Tabel 2.2 zijn de gegevens van de zettingen die in 2010 zijn beproefd, verzameld.

Opgemerkt moet worden dat nummering niet de chronologie van de trekproeven weergeeft. De locatie Hansweert is eerder onderzocht, maar bleek tegen de verwachting in geklemd, waarna er een andere locatie is toegevoegd om in het 2010-onderzoek toch maar twee losliggende en twee geklemde blokkenzettingen te verkrijgen. Op de locatie Hansweert zijn dus geen VGD-metingen uitgevoerd.
Op vergelijkbare wijze zijn in 2011 op de dijk van de Nieuw Noord-Bevelandpolder trekproeven uitgevoerd in de verwachting dat die zetting los zou liggen. Aangezien dat niet het geval bleek, is ook deze zetting niet gebruikt voor de VGD-metingen. De locatie Oesterdam Noord (V.) is met een extra serie trekproeven onderzocht en aangezien die wel los bleek te liggen, zijn op deze locatie VGD-metingen uitgevoerd i.p.v. op de dijk bij de Nieuw Noord-Bevelandpolder.

locatie	1 Oesterdam	2 Oesterdam	3 Poortvliet	4 Scherpenisse	5 Grevelingendam	6 Hansweert
Type zetting	Koperslak-blokken	Haringman-blokken	Hydro-blocks	Haringman-blokken	Betonblokken op hun kant	Betonblokken op hun kant
Toplaag dikte [m]	0,25	0,25	0,50**	0,20	0,50	0,50
Lengte [m]	0,30	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50
Breedte [m]	0,20	0,50	0,25	0,50	0,20	0,25
A [m^2]	0,06	0,25	0,0625	0,25	0,10	0,125
ρ * [kg/m^3]	2500	2300	2400	2300	2300	2300
m_3 [kg]	37,5	135	65	105	115	135
F_{trek}***[kgf]	100	400	400	400	400	400
Filterlaag	Grind 0,10 m	geen	Steenslag 0,10 m	geen	Steenslag 0,10 m	-
Onderlaag	mijnsteen 0,45 m dik	klei 0,5 m dik	Niet relevant	Klei 2,20 m dik	mijnsteen 0,80 m dik	niet relevant

Tabel 2.2 Kenmerken van de zettingen waarop in 2010 (of eerder, locatie 1) trekproeven zijn uitgevoerd
**standaardwaarden of volgens bestekstekening ;*
*** foutief gerapporteerd in [`t Hart, 2011].*
**** Bij de in 2010 uitgevoerde trekproeven is abusievelijk standaard met 400 kgf getrokken.*

2.3 Trekproeven

De trekproeven zijn uitgevoerd met een eenvoudige driepoot waaraan een takel met handbediening is bevestigd, zie Figuur 2.3. Met een boormachine is een gat in een steen geboord, en is een slaganker geplaatst. Daarin is een oog gedraaid waaraan getrokken is. Met behulp van een digitale unster is de grootte van de trekkracht gemeten.

Met behulp van de handtakel werd de trekkracht in stapjes van 50 tot 100 kgf opgevoerd totdat de maximale trekkracht van omstreeks 400 à 450 kgf was bereikt, of totdat de steen een paar centimeter omhoog was gekomen.

De grootte van de trekkracht was in de serie trekproeven uit 2010 afgestemd op de blokken op hun kant. De Hydro-blocks waren veel lichter, waardoor naar verhouding tot hun eigengewicht er relatief hard aan is getrokken.

Bij trekproeven is de kracht waarmee aan elementen wordt getrokken om vast te stellen of er sprake is van “losse blokken” maar tot een beperkt krachtsniveau informatief. Als er bijvoorbeeld sprake is van klemming in rijen, dan zal namelijk een wrijvingskracht van 0,5 maal het elementgewicht voldoende zijn om het element waar die kracht op wordt uitgeoefend te laten kantelen. Als dat kantelen daadwerkelijk optreedt, dan treedt er een ander mechanisme in werking: het kantelende element vereist meer ruimte waardoor de rij elementen verder wordt opgespannen. De maximale wrijvingskracht waarbij het element uit de opgespannen rij kan worden getrokken, is niet meer representatief voor de oorspronkelijke normaalkracht in de rij. Daardoor is alleen als een element los komt uit de zetting zonder dat er sprake is van de geometrische effecten, interessant. Uitgaande van een normaalkracht in één richting in de zetting zijn er twee buurelementen die ieder 0,5 maal hun elementgewicht nodig hebben om te kantelen. De maximale trekkracht die nog zeker relevante informatie oplevert, ligt dus bij ca. twee maal het elementgewicht. Omdat kantelen van buurelementen

kan worden verhinderd door klemming in een andere richting, wordt vaak getrokken tot een begrenzing van ca. 3 maal het blokgewicht.

Figuur 2.3 Driepoot met handtakel en digitale unster

Op de meeste locaties zijn 30 trekproeven uitgevoerd. Op de koperslakblokken van de Oesterdam zijn destijds door Fugro 210 trekproeven uitgevoerd met een maximale trekkracht van 100 kgf. Deze kracht is klein, in vergelijking met de andere trekproeven. Maar omdat deze koperslakblokken ca. 35 à 40 kg wegen, is de relatief kleine trekkracht geen bezwaar. De kracht is meer dan tweemaal het eigengewicht van de blokken.
Bij Scherpenisse zijn slechts 11 trekproeven uitgevoerd omdat toen al overduidelijk was dat deze zetting te los lag om deze als geklemde zetting te karakteriseren. Om met enige zekerheid te kunnen spreken van voldoende klemming waarop bij de beoordeling van de toplaagstabiliteit kan worden gerekend, zijn minimaal 30 metingen met een trekkracht van driemaal het elementgewicht nodig waarbij geen elementen los zijn gekomen uit de zetting.

Tijdens de trekproeven op locatie 2 is helaas niet haaks op het taludoppervlak getrokken, maar bijna verticaal. In bijlage C van [`t Hart, 2011] is aangetoond dat dit geen invloed heeft op de conclusies.

2.4 Resultaten trekproeven

Om de gemiddelde verplaatsingen van de stenen waarop de trekproeven worden uitgevoerd te bepalen, is bij elke trekproef het verschil ten opzichte van de ´buurstenen´ op zes punten vooraf en na het aanbrengen van de maximale trekkracht genoteerd. Op alle zes de punten is vervolgens het verschil in hoogte berekend en hiervan is weer het gemiddelde genomen. Op deze manier is voor elke trekproef een gemiddelde verplaatsing berekend. Deze gemiddelde verplaatsingen zijn gegeven in Tabel 2.3 voor alle trekproeven uitgevoerd in 2011 en in Tabel 2.4 voor de trekproeven uitgevoerd in 2010. Merk op dat er in de tabellen ook kleine negatieve waarden voorkomen, minder dan 1 mm. Deze negatieve waarden worden toegeschreven aan de meetnauwkeurigheid.

Als criterium voor wel of geen klemming, is uitgegaan van het gebruikelijke criterium voor een beperkte steekproef: geen element waaraan wordt getrokken mag meer dan 1 cm ten opzichte van zijn buren verschuiven bij een trekkracht van een aantal maal het blokgewicht. Opgemerkt moet worden dat er in de zetting van Hydro-blocks op de locatie Poortvliet relatief veel elementen iets bewogen, maar het criterium van 1 cm is daar niet gehaald. En aangezien aan alle zettingen met ca. 400 kgf is getrokken, is er ook nog eens relatief zwaar getrokken aan de Hydro-blocks in vergelijking met de zettingen met rechthoekige beton-blokken.

Vak nr. **Meting nummer**	**I. Oud NBeveland (mm)**	**II. Vliete en Thoorn (mm)**	**III. Bruinisse (mm)**	**IV. Nieuw NBeveland (mm)**	**V. Oesterdam Noord (mm)**
01	0.09	0.43	-0.06	0.24	21.96
02	-0.12	0.19	0.20	0.24	15.52
03	0.28	-0.01	-0.07	0.17	17.92
04	-0.34	-0.17	-0.11	0.06	15.67
05	0.31	0.36	0.33	0.28	19.25
06	-0.11	0.09	0.09	-0.07	23.85
07	0.17	0.39	-0.09	-0.05	22.31
08	-0.02	-0.08	0.43	-0.02	20.89
09	0.08	0.15	-0.30	0.12	13.16
10	-0.07	-0.45	0.16	0.31	20.48
11	-0.10	-0.30	0.74	0.07	13.93
12	0.30	-0.08	0.80	0.16	1.3
13	-0.21	0.09	0.05	0.00	18.32
14	-0.07	0.19	0.07	0.07	-
15	0.05	0.43	0.56	-0.02	-
16	-0.07	0.00	0.17	0.08	-
17	0.13	-0.07	0.39	0.04	-
18	0.09	0.03	0.19	-0.06	-
19	-0.23	-0.20	0.20	-0.05	-
20	-0.18	0.18	0.46	0.09	-
21	-0.24	0.25	0.17	-0.08	-
22	0.09	0.05	-0.17	-0.03	-
23	0.13	0.05	0.48	0.06	-
24	0.27	0.35	0.71	0.02	-
25	0.38	0.26	-0.21	0.24	-
26	-0.18	0.03	0.40	-0.04	-
27	-0.09	0.18	0.53	0.20	-
28	-0.16	0.19	0.18	0.08	-
29	0.24	-0.20	-0.01	0.12	-
30	-0.34	0.42	0.17	0.03	-
Geklemd?	ja	ja	Ja	ja	nee

Tabel 2.3 Overzicht blokgemiddelde verplaatsingen voor alle trekproeven 2011

Verplaatsing	< 1,0 mm	1,0 - 5,0mm	5,0 - 10 mm	> 10 mm	geen meting

Vak nr. Meting nummer	2 Oesterdam Zuid (mm)	3 Poortvliet (mm)	4 Scherpenisse (mm)	5 Grevelingendam (mm)	6 Hansweert (mm)
01	0,8	0,9	3,4	0,6	0,0
02	0,5	0,1	10,9	0,3	0,2
03	0,3	-0,8	13,7	0,1	-0,2
04	0,1	1,7	27,0	0,9	0,0
05	-0,2	0,6	24,8	0,8	0,0
06	-0,2	0,9	29,4	8,6	0,2
07	0,3	1,5	24,2	0,5	-0,3
08	-0,1	0,7	20,2	2,6	-0,5
09	-0,5	0,6	22,0	11,9	0,2
10	-0,1	0,5	28,0	-	-0,1
11	0,6	3,3	24,5	0,0	-0,1
12	-0,3	2,7	-	1,2	0,4
13	-0,2	0,9	-	0,6	0,1
14	0,9	2,0	-	0,9	0,0
15	0,3	2,4	-	0,4	-0,2
16	0,2	1,6	-	0,8	0,2
17	0,1	2,5	-	0,3	0,1
18	-0,1	0,8	-	0,5	0,1
19	-0,1	1,7	-	0,3	0,4
20	-0,4	1,7	-	0,0	-0,3
21	-0,5	5,0	-	0,3	0,3
22	-0,5	5,4	-	0,5	0,1
23	0,1	3,7	-	11,5	0,3
24	-0,3	1,8	-	0,3	0,4
25	0,3	0,8	-	0,3	0,1
26	0,4	5,6	-	8,3	0,3
27	-0,6	3,8	-	0,7	-0,1
28	0,4	6,2	-	-0,1	0,1
29	-0,2	0,7	-	0,7	-0,2
30	0,3	2,3	-	0,2	0,4
31	-	-	-	9,0	-
Geklemd?	ja	ja	nee	nee	ja

Tabel 2.4 Overzicht blokgemiddelde verplaatsingen voor alle trekproeven 2010

Verplaatsing	< 1,0 mm	1,0 - 5,0mm	5,0 - 10 mm	> 10 mm	geen meting

In Tabel 2.5 en Tabel 2.6 zijn enkele statistische grootheden weergegeven van de trekproeven op de verschillende locaties. Daarbij is uitgegaan van de blokgemiddelde verplaatsingen: het gemiddelde van de verplaatsing van het element waaraan is getrokken ten opzichte van zijn 5 of 6 buren.

Metingen 2010 Locatie	Gemiddelde van blokgemiddelde verplaatsing [mm]	Minimum blokgemiddelde verplaatsing [mm]	Maximum blokgemiddelde verplaatsing [mm]
2 Oesterdam	0,043	-0,60	+0,90
3 Poortvliet	2,05	-0,80	+6,2
4 Scherpenisse	20,7	3,40	+29,4
5 Grevelingendam	0,43	-0,10	+11,9
6 Hansweert	0,063	-0,50	+0,40

Tabel 2.5 Statistische kentallen van de meetlocaties onderzocht in 2010

Metingen 2011 Locatie	Gemiddelde van blokgemiddelde verplaatsing [mm]	Minimum blokgemiddelde verplaatsing [mm]	Maximum blokgemiddelde verplaatsing [mm]
I Oud Noord-Bevelandp.	0,002	-0,34	+0,39
II Vliete- en Thoornpolder	0,092	-0,45	+0,43
III Bruinissepolder	0,215	-0,30	+0,80
IV Nieuw Noord-Bevelandp.	0,074	-0,11	+0,26
V Oesterdam Noord	17,3	1,3	23,9

Tabel 2.6 Statistische kentallen van de meetlocaties onderzocht in 2011

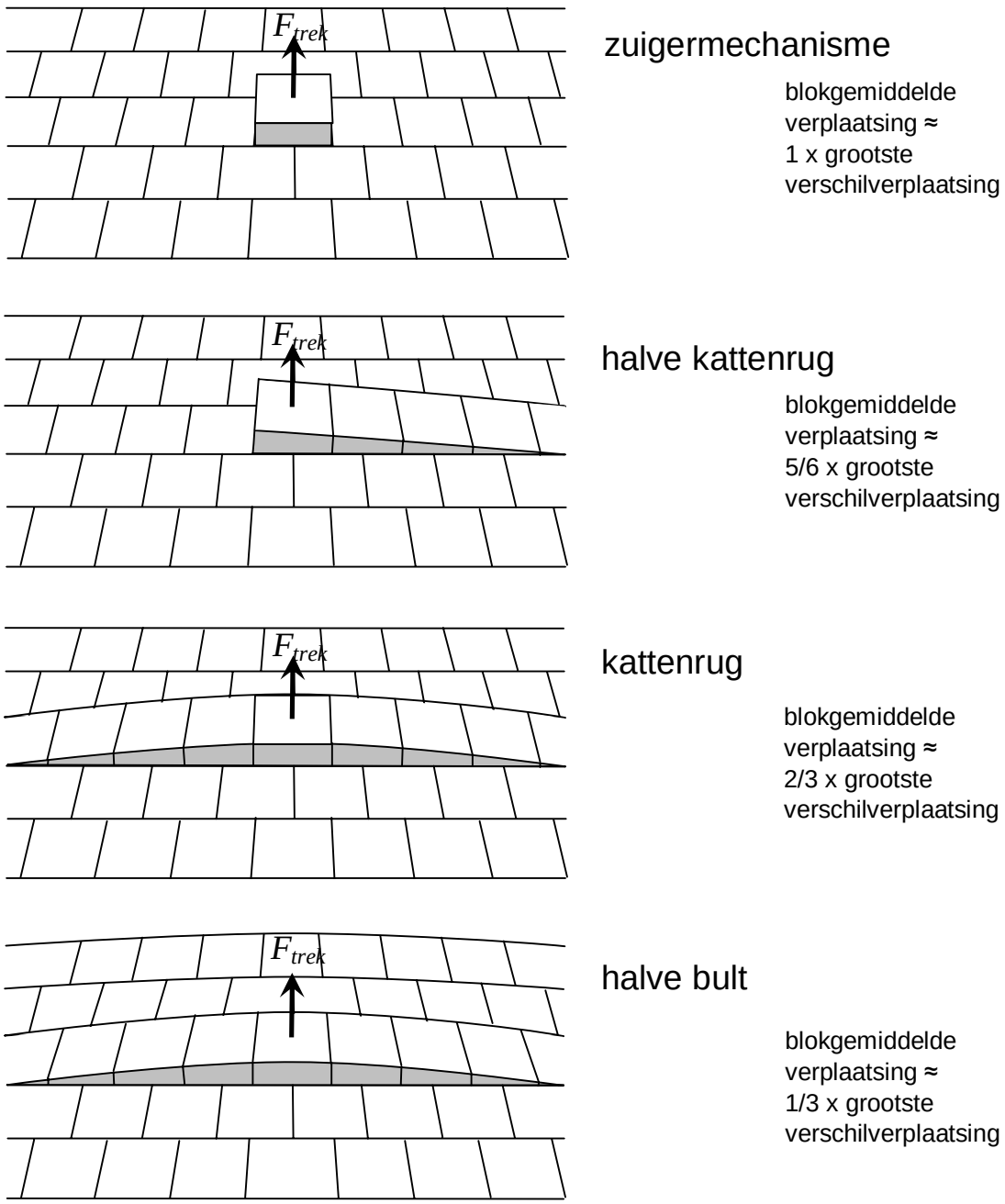
Eigenlijk is deze aanpak alleen zinvol als er slechts sprake is van “geen bezwijken” of van “bezwijken volgens het zuigermechanisme”. Voor andere vormen van bezwijken, zie Figuur 2.4, geeft de blokgemiddelde verplaatsing een wat vertekend beeld: de blokgemiddelde verplaatsing is dan beduidend kleiner dan de maximale verplaatsing tussen het element waaraan wordt getrokken en het deel van de bekleding wat achterblijft.

In eerste instantie is gekeken naar de verplaatsingen gevonden bij de metingen in 2011.
Als wordt gekeken naar de verdeling van de blokgemiddelde verplaatsingen voor de zetting van de Oud Noord-Bevelandpolder dan blijkt deze keurig symmetrisch rond de 0,0 te liggen, zie bijlage A.I. Verondersteld wordt dat voor deze zetting de gemeten waarden slechts het resultaat zijn van meetfouten: meetruis. Aangezien het hier slechts om een fractie van een millimeter gaat, kan dat kloppen. De zetting op de Oud Noord-Bevelandpolderdijk betrof Hydro-blocks, net als de zetting op de Bruinissepolderdijk (A.III). Het minimum van de blokgemiddelde verplaatsing van die laatste zetting komt ook aardig overeen met die van de Oud Noord-Bevelandpolder.

De minimum blokgemiddelde verplaatsingen voor de andere zettingen zijn iets groter (Basalton op de Vliete- en Thoornpolderdijk, A.II) en iets kleiner (plat geplaatste Haringmanblokken op de Nieuw Noord-Bevelandpolder, A.IV). Kwalitatief lijken deze afwijkingen logisch gezien het verschil in blokvormen. Bij vlakke betonblokken zijn verplaatsingsverschillen tussen elementen immers makkelijker meetbaar dan bij blokken met ruime vellingkanten zoals de Basaltonzuilen.

Afgezien van de resultaten voor de Oud Noord-Bevelandpolder zijn de verdelingen van de resultaten voor de verschillende zettingen een weinig asymmetrisch. Dat zou erop kunnen duiden dat deze bekledingen iets los zitten. Maar aangezien alle maxima van de blok-

gemiddelde verplaatsingen kleiner zijn dan 1 mm, is van losse elementen nog lang geen sprake.



Figuur 2.4 Enkele typerende bezwijkvormen bij trekproeven op steenzettingen

Als er al onderscheid in de zettingen aangebracht zou moeten worden dan kan dat op basis van het gemiddelde van de gemiddelde blokverplaatsing. De zetting op de Bruinissepolder lijkt op grond daarvan van de geklemde zettingen nog de meeste beweging te tonen.

Locaties 2011	type	Jaar van aanleg	Ouderdom [jaar]
I Oud Noord-Bevelandp.	Hydro-blocks	2006/2008?	5?
II Vliete- en Thoornpolder	Basalton	2007	4
III Bruinissepolder	Hydro-blocks	2008	3
IV Nieuw Noord-Bevelandp.	Haringman plat	<1990	>10
V Oesterdam Noord	Haringman gekanteld	2011	0,25

Tabel 2.7 Jaar van aanleg en de ouderdom op moment van de trekproeven in 2011

Als we ons alleen even beperken tot de zuilenzettingen, dan lijkt het erop dat het jaar van aanleg, zie Tabel 2.7 en Tabel 2.8, mede bepalend is voor de mate waarin de bekleding nog wat vervormd bij de trekproeven. Gezien de beperkte steekproef is dit echter een alles behalve goed onderbouwde conclusie.

Locaties 2010	type	Jaar van aanleg	Ouderdom [jaar]
2 Oesterdam	Haringman plat	<2000	>10
3 Poortvliet	Hydro-blocks	2007	3
4 Scherpenisse	Haringman plat	<2000	>10
5 Grevelingendam	Blokken gekanteld	2009	1
6 Hansweert	Haringman gekanteld	2006	4

Tabel 2.8 Jaar van aanleg en de ouderdom op moment van de trekproeven in 2010

Een extra verwerking is losgelaten op de trekproeven op de Oesterdam Noord. Deze zetting is in hetzelfde jaar als de meting aangelegd. Dat betekent dat belasting of begroeiing nog geen significante invloed kan hebben op de gemeten waarden. Van de blokken die loskwamen bij de trekproeven is het krachtniveau genoteerd. Gemiddeld was dit voor die blokken 1,98 maal het blokgewicht. Dat betekent dat een blok ca. 1 maal zijn gewicht aan wrijvingskracht van zijn buren heeft ondervonden. Volgens de theorie, als wordt uitgegaan van een gemiddelde ondersteuning midden onder het blok (zie Bijlage D) zou deze wrijvingskracht pas in de 9^{e} rij aanwezig zijn, terwijl in deze meetcampagne deze gemiddelde kracht in de 7^{e} rij is gemeten. Gezien de onzekerheden die een rol spelen (schatting wrijvingscoëfficiënt = 0,5; invloed van bovenliggende bekleding verwaarloosd; onzekerheid exacte locatie ondersteuning van de blokken; meetonnauwkeurigheid) wordt de gemeten gemiddelde kracht onwaarschijnlijk goed benaderd met de gedane aanname.

Bij de metingen uitgevoerd in 2010 (A.2 t/m 6) lijkt het erop dat de spreiding in alle metingen wat hoger dan bij de metingen in 2011. Opvallend is dat ook de twee heel erg goed geklemde zettingen, namelijk de Oesterdam (Haringmanblokken plat, A.2) en Hansweert (Haringman-blokken op hun kant, A.6), een wat grotere spreiding laten zien. De beproefde zuilenzetting nabij Poortvliet (Hydro-blocks, A.3) had weliswaar geen losse blokken volgens het gestelde criterium, maar de lineaire trendlijn door het merendeel van de meetresultaten ligt vrijwel geheel boven de horizontale as en de grootste gevonden meetresultaten wijken duidelijk af van deze trendlijn.
Dat beeld is enigszins vergelijkbaar met de zetting met losse blokken op de Grevelingendam (A.5). Maar omdat er hier voor twee blokken wel het criterium van 10 mm is overschreden is deze zetting aangemerkt als onvoldoende geklemd.
Bij de zetting nabij Scherpenisse (Haringmanblokken plat, A.4) kwam vrijwel ieder blok los. Een eventuele trendlijn door de metingen wordt in dit geval eerder bepaald door de accuraatheid van stoppen met de meting nadat het verplaatsingscriterium is overschreden, dan door de specifieke eigenschappen van de zetting.

2.5 Valgewichtdeflectiemetingen

De VGD-metingen zijn uitgevoerd met de standaardapparatuur die ook gebruikt wordt op wegen, met wat kleine aanpassingen.
Een belangrijke aanpassing betreft de voetplaat. Die is verkleind tot een ronde plaat met diameter van 15 cm. De gebruikelijke voetplaat is ∅0,3m. Dat is te breed om een enkel element te kunnen belasten.
Een andere aanpassing betreft de locatie van de geofoons waarmee de bewegingen van de stenen zijn gemeten. Er is voor gezorgd dat beide blokken naast het aangestoten blok zijn bemeten (dit is niet op alle locaties correct gegaan). En verder zijn voor de blokkenzettingen de geofoons zodanig gepositioneerd dat de kans dat zij ter plaatse van een spleet tussen de stenen meten gering is.
De laatste aanpassingen betreffen een aangepast steunpunt van de geofoonbalk op het talud en wat langere pennen aan de geofoons teneinde goed contact te kunnen maken met het talud. Dat contact was aanvankelijk wat moeizaam omdat de verkleining van de diameter van de voetplaat had geleid tot een wat dikkere voetplaat. Daardoor maakten de geofoons soms geen contact meer met de zetting.

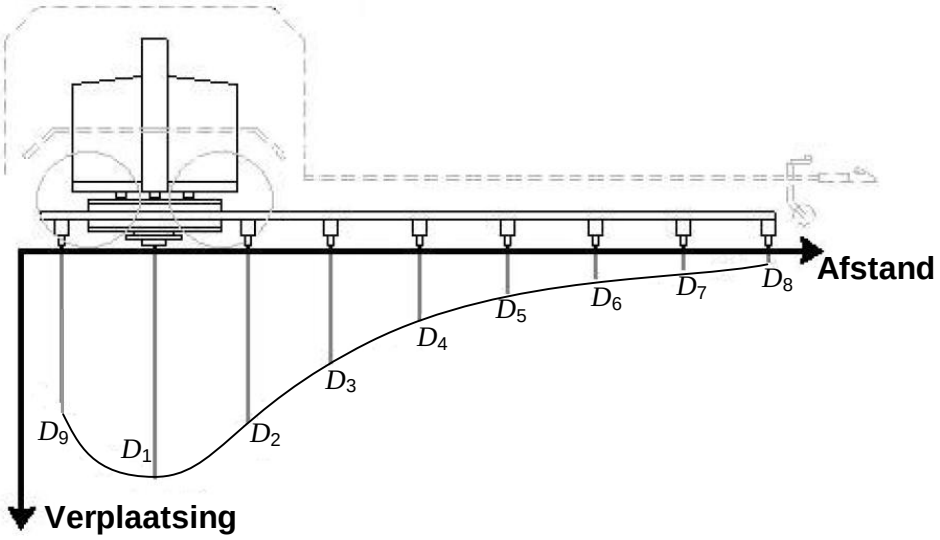
Figuur 2.5 Rubbervoet als steunpunt op het talud voor de geofoonbalk

De foto's in Figuur 2.6 en Figuur 2.7 geven een indruk van de meetapparatuur. In Figuur 2.8 is het principe van de meting weergegeven: een negental geofoons meten de maximale verplaatsing ten gevolge van een klap door het valgewicht.
In het onderzoek uitgevoerd in 2010 zijn een aantal testmetingen uitgevoerd op locatie 1 (koperslakblokken op de Oesterdam, goed geklemd) en locatie 4 (Haringmanblokken bij Scherpenisse, slecht geklemd). Op grond van deze meetresultaten is uiteindelijk gekozen voor het uitvoeren van vier lichte klappen, een valhoogte van 4 cm en zonder de afneembare gewichten. Het vallende gewicht bestaat daardoor uit een slede en voetplaat van 330 kg.

Op deze wijze zijn ongeveer 50 VGD-metingen uitgevoerd op alle geselecteerde locaties, waarbij meestal een paar metingen niet bruikbaar bleken te zijn, waardoor steeds 45 à 50 bruikbare metingen resteren.

Figuur 2.6 Voertuig met aanhangwagen met apparatuur voor VGD-metingen

Figuur 2.7 Vanaf de achterzijde zijn onder de aanhangwagen de voetplaat van het valgewicht en de stiften van de geofoons te zien



Figuur 2.8 Schematische weergaven van meetapparatuur in combinatie met de gemeten doorbuiging

Belangrijk bij de registratie van de signalen van de geofoons is dat een voldoende lange periode wordt bemonsterd. In 2010 is die periode wat te krap genomen om de maximale deflectie van de verst weggeplaatste geofoon(s) te bepalen. Dat komt doordat de start van de inwinning van de signalen bij de gebruikte VGD-apparatuur wordt getriggerd door de passage van het valgewicht langs een sensor. In de wegenbouw is het gebruikelijk dat met een grotere valhoogte wordt gewerkt dan de voor deze toepassing gekozen 4 cm. Bij een geringe valhoogte is de snelheid bij het passeren van de sensor nog gering, waardoor een relatief groot deel van de tijd verstrijkt voordat de klap plaatsvindt. Als de constructie dan ook nog eens relatief slap is, de overdracht van de impuls langs de bekleding dus vrij langzaam verloopt, kan het in de wegenbouw gebruikelijke meetvenster te kort zijn om de maximale verplaatsing bij de verste geofoon(s) te registreren.
Nb. de invloed van de scheefstand, als gevolg van het meten op een talud, op de valsnelheid is slechts marginaal, zie Bijlage C.

In de VGDmetingen uitgevoerd in 2011 zijn de geofoons gedurende een langere periode bemonsterd. Geconstateerd moest worden dat het aldus verkregen signaal zoveel ruis bevatte dat niet simpelweg het maximale signaal kon worden aangemerkt als de grootste opgetreden verplaatsing: stoorsignalen bleken nogal eens maatgevend.

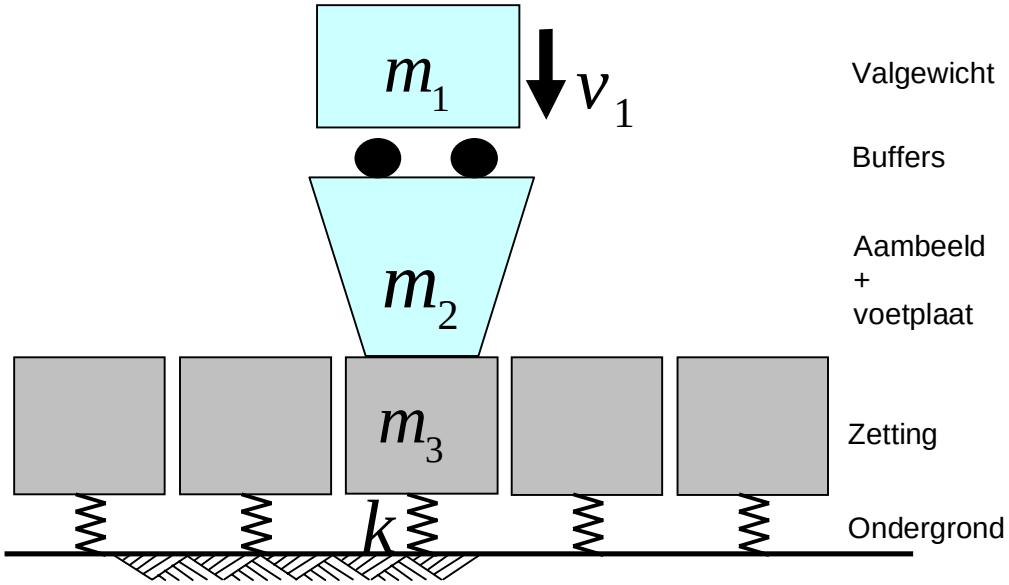
De resultaten van de VGD-metingen zoals aangeleverd door Breijn zijn opgenomen in bijlage B. Hoe deze kunnen worden geanalyseerd staat beschreven in hoofdstuk 3. De feitelijke uitwerking staat in hoofdstuk 4.

3 Analyse van de VGD-metingen

Om de resultaten van de VGD-metingen (gemeten verplaatsingen) te kunnen omwerken tot een mate van klemming van de steenzetting is in dit hoofdstuk een methode afgeleid. Deze afleiding gaat verder dan de methode afgeleid voor de metingen uitgevoerd in 2010 (`t Hart 2011). Toen is een nog iets grofstoffelijker schematisatie gehanteerd.
Voor de afleiding wordt enerzijds een beroep gedaan op wat zeer elementaire dynamica. Op grond daarvan worden te verwachten trends in de meetdata geïdentificeerd. Anderzijds wordt gekeken naar de statica, waarbij meer specifiek gekeken is naar de interactie tussen de toplaagelementen. Uiteindelijk worden de resultaten van beide gecombineerd tot één parameter.

3.1 Analyse dynamica VGD-meting op losse zetting

Er is een klemmingsindicator afgeleid op grond waarvan op grond van VGD-meetresultaten voor verschillende typen bekledingen een uitspraak moet worden gedaan over het al of niet geklemd zijn van de bekleding.
Die klemmingsindicator is gebaseerd op eenvoudige mechanicaprincipes toegepast op een grove schematisatie van de VGD-proef. Daarbij is aangenomen dat de meetapparatuur altijd dezelfde is en de meting altijd op dezelfde wijze wordt uitgevoerd. De massa's van het valgewicht (m_1) en het aambeeld + voetplaat (m_2) en de valsnelheid v_1 waarmee het valgewicht het aambeeld treft, zijn dus ongeacht de zetting en ondergrond hetzelfde.
De meetopstelling en de bekleding waarop deze rust wordt geschematiseerd tot een simpel mechanicasysteem, zie Figuur 3.1. Daarbij is in eerste instantie aangenomen dat er geen interactie is tussen het element waarop wordt geslagen en zijn buur-elementen in de zetting.
Verder is aangenomen dat voor deze meting de ondergrond mag worden geschematiseerd als een set onafhankelijke veren.



Figuur 3.1 Schematisatie Valgewicht-deflectieapparatuur, bekleding en ondergrond

De impuls P die door het valgewicht op het aambeeld wordt overgedragen is:

$$P = m_1 v \tag{3.1}$$

Waarin: m_1 de massa van het valgewicht [kg];
v de snelheid waarmee het valgewicht op het “aambeeld” terechtkomt [m/s].

Verondersteld wordt dat de buffers tussen het valgewicht en het aambeeld een dusdanige elasticiteit en demping hebben dat het snelheidsverschil, tussen het valgewicht enerzijds en de massa die in beweging wordt gezet anderzijds, snel is verdwenen. De impuls wordt dus verdeeld over de gecombineerde massa van valgewicht (m_1), aambeeld + voetplaat (m_2) en steen (m_3).
De gemeenschappelijke snelheid van het geheel wordt vervolgens afgeremd door de (veer)stijfheid van de ondergrond van de bekleding tot de totale massa geen snelheid meer heeft: het moment van de maximale verplaatsing D_1. Als wordt verondersteld dat de massa’s van valgewicht, aambeeld en voetplaat en steen op het moment van de maximale indrukking onderling niet meer bewegen (dat is slechts een idealisering, benadering van de werkelijkheid), dan is de kinetische energie van het valgewicht omgezet in de indrukking van de veer:

$$\tfrac{1}{2} m_1 v^2 = \tfrac{1}{2} k D_1^2 \tag{3.2}$$

Waarin: k de veerstijfheid van de ondergrond [N/m];
D_1 de maximale centrale deflectie = verplaatsing [m].

Nu is $m_1 v$ voor alle metingen hetzelfde: namelijk de impuls P [N/s] geleverd door de vallende massa.
Zolang wordt gewerkt met een vaste valhoogte en steeds hetzelfde valgewicht is de impuls bij iedere meting dezelfde. Scheefstand op het talud maakt theoretisch wat uit, maar praktisch niet, omdat voor de relevante taludhellingen geldt: cos $\alpha \approx$ 1,0.

Daarvan gebruikmakend wordt de voorgaande vergelijking als volgt omgewerkt:

$$\begin{aligned} m_1.m_1 v^2 &= m_1.kD_1^2 \\ P^2 &= m_1.kD_1^2 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Worteltrekken leidt tot:

$$P = D_1 \sqrt{m_1 k} \tag{3.4}$$

De veerstijfheid (k [N/m]) mag voor het ongeklemde blok grofweg evenredig worden verondersteld met het grondoppervlak van het element waarop wordt geslagen (A [m^2]) en de beddingsconstante van het filter waar de oplaag op ligt (S [N/m^3]), dus:

$$k \mathrel{\hat{=}} AS \tag{3.5}$$

Substitutie van deze veerstijfheid levert:

$$P = D_1\sqrt{m_1 A.S} \tag{3.6}$$

Merk op dat de massa van de bekleding en die van het aambeeld + voetplaat, volgens de gehanteerde schematisatie, **niet** relevant is.
De term rechts van het =-teken kan worden opgevat als een elementaire indicator voor de klemming: het product van de centrale deflectie en de wortel uit het product van het grondoppervlak van het blok en de beddingsconstante (P wordt vervangen door V_1):

$$V_1 = D_1\sqrt{m_1 A.S} \tag{3.7}$$

In feite is dit dus de impuls die kan worden berekend uit de gemeten centrale deflectie en de teruggerekende stijfheid.

Als de bekleding niet uit volledig los van elkaar staande elementen bestaat, maar de bekleding kent door de interactie tussen de blokken ook nog enige mate van plaatwerking, dan is de consequentie dat de centrale verplaatsing D_1 relatief klein is. De volgens vergelijking (3.6) berekende indicator voor klemming heeft bij relatief grote klemming dus een relatief lage waarde.

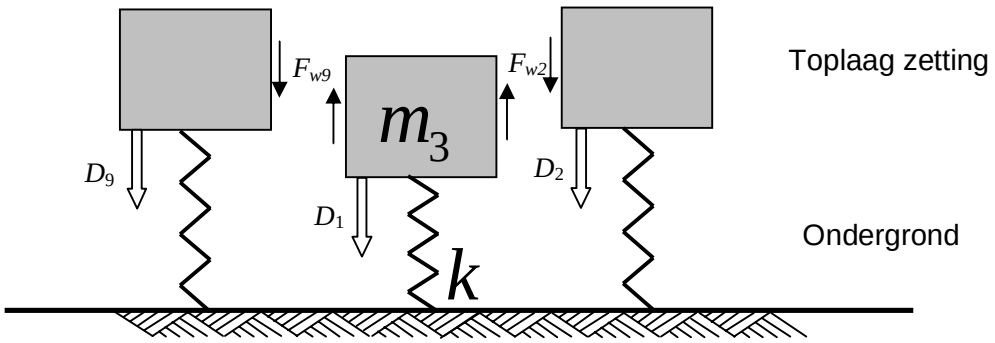
Als wordt verondersteld dat de vorm van het krachtsverloop in de tijd altijd dezelfde is, dan zou het product van krachtsniveau en pulsduur een maat voor de impuls moeten zijn: constant. Een stijvere constructie (beter geklemd en/of een stijvere ondergrond) levert een korter durende, maar hogere reactiekracht op. Nu is het gebruikelijk om de gemeten verplaatsingen van de VGD-metingen op één en hetzelfde vak te verschalen naar hetzelfde krachtsniveau.
Maar om een goede indicatie voor de klemming te verkrijgen dienen de gemeten verplaatsingen dus **niet** te worden verschaald naar hetzelfde krachtsniveau.

Binnen een meetserie is de centrale verplaatsing D_1 dus een indicator voor de klemming. Als er binnen een zetting veel variatie in klemming voorkomt, mag worden verwacht dat de centrale verplaatsing D_1 binnen de meetserie een grote spreiding heeft.

3.2 Analyse VGD-meting op een min of meer geklemde zetting

De indicator voor de klemming kan worden verbeterd door niet alleen naar de deflectie ter plaatse van de voetplaat te kijken, maar ook de interactie met de buurblokken in de modellering mee te nemen. Voor de buurblokken links en rechts van de voetplaat wordt ook de deflectie gemeten.

Teneinde de interactie tussen de blokken in de formules mee te nemen, is in Figuur 3.2 een detail van Figuur 3.1 wat nader uitgewerkt, echter nu met de interactie tussen de elementen. Aan de hand van een statische evenwichtsbeschouwing op het moment van de maximale deflectie wordt de krachtsinteractie beschreven. Overigens is die beschrijving verre van compleet, omdat de werkelijkheid namelijk een statisch meervoudig onbepaald systeem betreft. Dat veel invloeden verwaarloosd worden, is niet zo een groot probleem omdat het slechts om een indicator voor de klemming gaat.



Figuur 3.2 Schematisatie van de interactie tussen de toplaagelementen

De verplaatsing van en de wrijving met de aangrenzende blokken wordt in de beschouwing betrokken. Er is een wrijvingskracht (F_w [N]) met de buurblokken verondersteld. Het product van wrijvingskracht en verschilverplaatsing vormt een (gedissipeerde) energie die in rekening moet worden gebracht. Daarnaast worden door de verplaatsing van de buurblokken ook de veren onder deze blokken iets ingedrukt: er wordt energie opgeslagen in de veren. Deze veerenergie was is de vorige rapportage [`t Hart 2011] verwaarloosd.
Om rekening te houden met de elastische component, de indrukking van de veren onder de buurblokken en de dissipatie tussen het centrale blok en zijn buurblokken moet vergelijking (3.2) worden aangevuld tot:

$$\tfrac{1}{2}m_1v^2 = \tfrac{1}{2}kD_1^2 + F_{w2}.(D_1 - D_2) + F_{w9}.(D_1 - D_9) + \tfrac{1}{2}F_{w2}D_2 + \tfrac{1}{2}F_{w9}D_9 \qquad (3.8)$$

Nu geeft Figuur 3.2 slechts de doorsnede volgens de raai waarin is gemeten. Loodrecht daarop is ook nog een richting waarin krachtsoverdacht kan optreden. Om daarmee rekening te houden, in de veronderstelling dat de normaalkracht in die richting dezelfde is als in de richting van de meetraai, moeten de vier laatste termen nog worden verdubbeld. (Dit soort aannamen maakt duidelijk dat dit een zeer grofstoffelijke benadering van de werkelijkheid betreft, maar het gaat per slot van rekening slechts om een grofstoffelijke indicator voor de klemming.)
De wrijvingskracht op een buurblok is verantwoordelijk is voor de indrukking van de veer onder dat buurblok:

$$F_{wi} = k.D_i \qquad (3.9)$$

Hiermee kunnen de wrijvingskrachten uit vergelijking (3.9) worden weggewerkt; ook de tweede dimensie is in de volgende vergelijking meegenomen:

$$\tfrac{1}{2}m_1v^2 = \tfrac{1}{2}kD_1^2 + 2kD_2.(D_1 - D_2) + 2kD_9.(D_1 - D_9) + kD_2^2 + kD_9^2 \qquad (3.10)$$

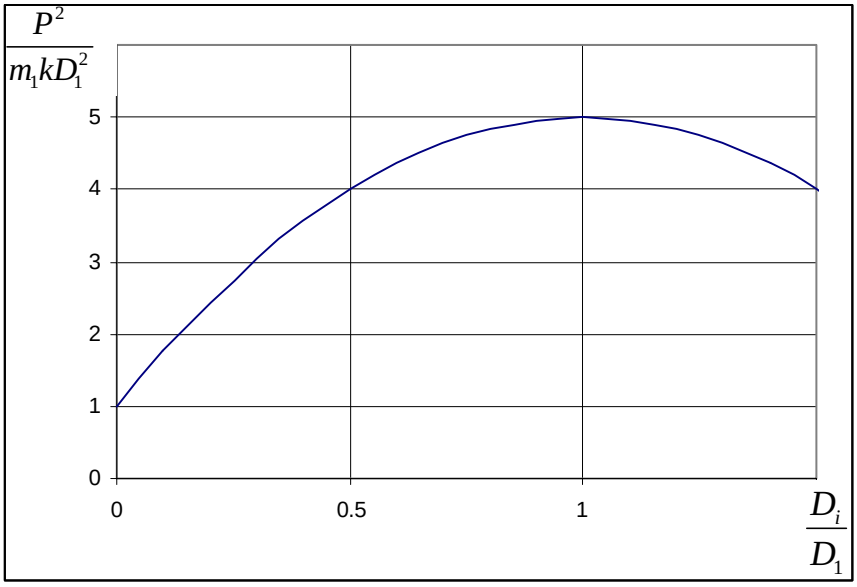
$$m_1v^2 = kD_1^2\left[1 + 4\frac{D_2}{D_1}.(1 - \frac{D_2}{D_1}) + 4\frac{D_9}{D_1}.(1 - \frac{D_9}{D_1}) + 2\frac{D_2^2}{D_1^2} + 2\frac{D_9^2}{D_1^2}\right] \qquad (3.11)$$

$$P^2 = m_1k.D_1^2\left[1 + 2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) - \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} + \frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}\right] \qquad (3.12)$$

Als we de wortel nemen en de veerstijfheid substitueren krijgen we:

$$P = D_1\sqrt{m_1 AS}.\sqrt{1+2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1}+\frac{D_9}{D_1}\right)-\left(\frac{D_2^2}{D_1^2}+\frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}} \qquad (3.13)$$

Als we van vergelijking (3.13) de term onder het laatste wortelteken nader bekijken, dan blijkt dat deze term, als functie van de verhoudingen van de deflecties, een kwadratisch verloop heeft, zie Figuur 3.3. Dit verloop heeft een maximum voor D_i/D_1 = 1. Dat maximum komt door de negatieve kwadratische termen. In de praktijk is echter alleen de eerste, stijgende tak relevant. Een verhouding $D_i/D_1 \geq 1$ wil immers zeggen dat de deflecties van de buurblokken gelijk of groter zijn dan de deflectie van het blok waarop wordt geslagen. Een dergelijk meetresultaat is volgens de modellering van de fysica onmogelijk, hetgeen een reden is om de meting af te keuren.



Figuur 3.3 Verloop term uit vergelijking 3.12

Als de klemming goed is, is verhouding D_i/D_1 relatief groot (maar dus altijd kleiner dan 1,0). De buurblokken worden dan immers relatief verder mee naar beneden geslagen. De centrale deflectie D_1 zal dan echter relatief klein zijn ten opzichte van een vergelijkbare situatie met slechte klemming.
Enerzijds volgt dit uit vergelijking (3.13): als de centrale deflectie klein is en de impuls geleverd door het valgewicht, links van het =-teken, verandert niet, dan moet de term onder het laatste wortelteken relatief groot zijn.
Anderzijds kan dat ook met wat mechanisch inzicht worden beredeneerd. Een grote interactie tussen de blokken mobiliseert een tegendruk van een groter oppervlak: niet alleen het belaste blok, maar ook de buurblokken worden verder in de bedding gedrukt. De maximale verplaatsing die daarbij wordt bereikt, zal als gevolg van de tegendruk van het grotere oppervlak, geringer zijn.

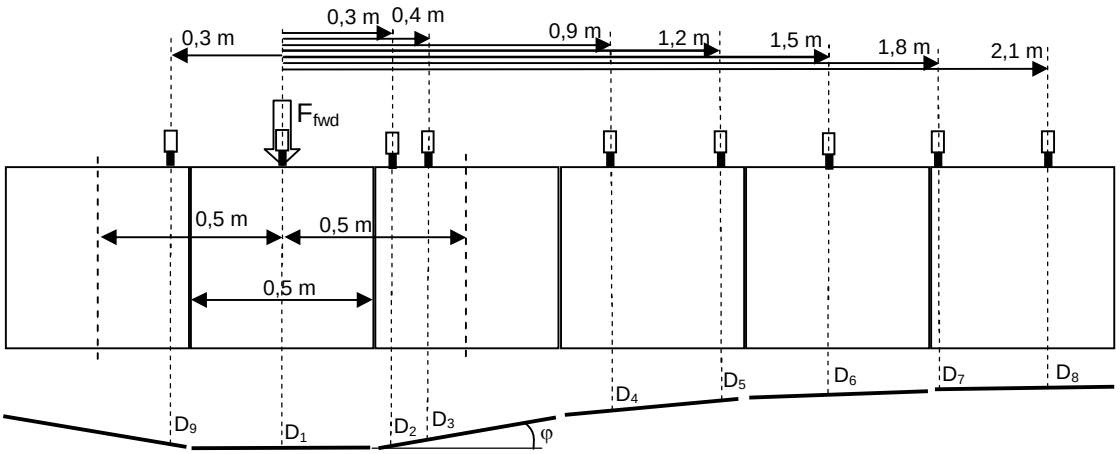
Door te delen door de laatste wortelterm in plaats van ermee te vermenigvuldigen wordt een verbeterde indicator voor de klemming gerealiseerd, die ook gebruik maakt van de verplaatsingen van de twee stenen grenzend aan de steen waarop wordt geslagen:

$$V = D_1\sqrt{m_1 A.S}.\left[\sqrt{1+2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1}+\frac{D_9}{D_1}\right)-\left(\frac{D_2^2}{D_1^2}+\frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}}\right]^{-1} \tag{3.14}$$

4 Resultaten VGD-metingen

4.1 Plaatsing opnemers bij VGD-metingen

De formules voor de klemmingsindicatoren zijn erop gebaseerd dat de verplaatsingen van het blok waarop wordt geslagen en de beide buurblokken worden geregistreerd. In de afleiding is verondersteld dat de blokken alleen een verticale verplaatsing ondergaan. Dat is een versimpeling van de werkelijkheid. Omdat de blokken zelf star zijn, zal de vervorming vooral in de voegen tussen de elementen plaatsvinden. De consequentie is dat de buurblokken bij een symmetrisch vervormingspatroon een hoekverdraaiing ondergaan. Om de gemiddelde indrukking van het filter onder de buurblokken te meten, moet daarom bij voorkeur de verplaatsing in het midden van het blok worden gemeten.
Bij de metingen is bij de keuze van de afstand van de opnemers hier niet op gelet. Dat betekent dat de verplaatsingen op andere plaatsen dan de meest optimale zijn gemeten.
In Figuur 4.1 is de situatie voor Oesterdam Noord (Haringmanblokken op hun kant) weergegeven.



Figuur 4.1 Gehanteerde geofoonafstanden bij meting op locatie Oesterdam Noord (betonblokken op hun kant) en discrete vervormingslijn

Om de verplaatsingen in het hart van de buurblokken te bepalen is uit de verplaatsingen D_2 en D_3 de helling φ bepaald. Aannemende dat de betonblokken zelf onvervormbaar zijn, kan met deze helling de verplaatsing in de hartlijn van het rechter buurblok worden berekend. Voor het linker buurblok is dezelfde helling, maar dan met tegengesteld teken, aangehouden voor de berekening van de verplaatsing in de hartlijn van dat blok.

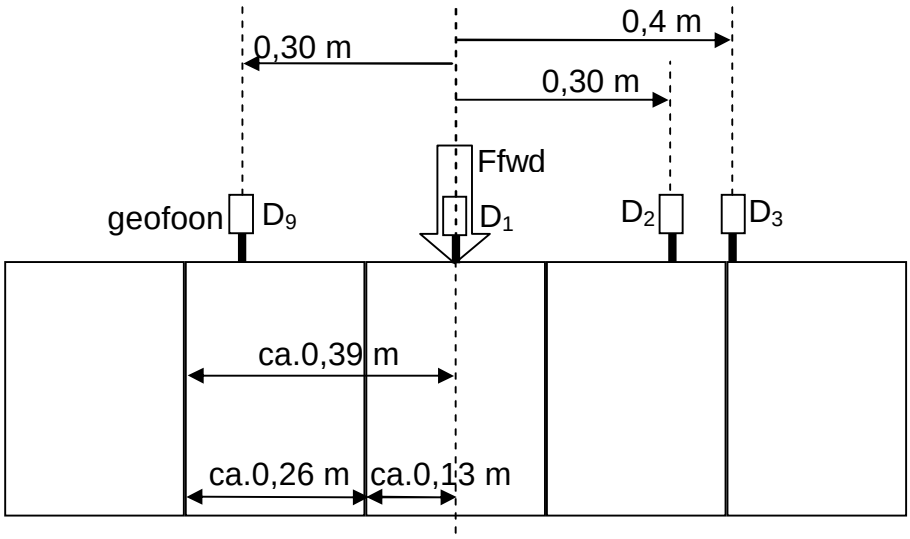
Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-300	0	300	400
gem. deflectie [μm]	238	1026	256	217
deflectie/D_1 [-]	0,23	1,00	0,25	0,21

Tabel 4.1 gemiddelde van de gemeten verplaatsingen voor de locatie Oesterdam Noord (Haringmanblokken op hun kant)

Overigens is met de helling nog een validatie van de meetdata uitgevoerd. Geëist is dat de verplaatsing van het rechterhoekpunt van het rechterbuurblok positief (= neerwaarts) is. Op grond van die eis moesten metingen in een tweetal meetpunten worden afgekeurd.

Ook bij de metingen uit 2010 op (gekantelde) vierkante betonblokken is niet altijd midden op de buurblokken gemeten. Hiervoor is in deze rapportage gecorrigeerd door (indien nodig) rekening te houden met de rotatie van deze blokken. Mede daardoor zijn de waarden voor de klemmingsindicatoren andere dan die gerapporteerd zijn in [’t Hart 2011].

Voor de dijk die de Vlietepolder beschermt, bestaat de bekleding uit Basaltonzuilen. De plaatsing van de geofoons is dezelfde geweest als bij Oesterdam Noord. Omdat Basaltonzuilen gemiddeld veel smaller zijn dan de gekantelde vierkante blokken, ontstaat er bij de interpretatie een probleem, zie Figuur 4.2. De door geofoon 9 en 2 gemeten deflecties (D_9 en D_2) betreffen de verplaatsing van het “naaste” buurblok, maar geofoon 3 stond net een blok verder en heeft dus de verplaatsing van het daarop volgende buurblok gemeten (D_3).



Figuur 4.2 Gehanteerde geofoonafstanden bij meting op locatie Vlietepolder, Basaltonzuilen

In onderstaande tabel zijn de gemiddelden van de gemeten maximale verplaatsingen (deflecties) opgenomen. Voor deze zetting kunnen de registraties van geofoon 2 en 3 dus niet worden gebruikt om een hoekverdraaiing van het eerste buurblok uit te rekenen en zo de verplaatsing in het midden van het eerste buurblok vast te stellen.

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-300	0	300	400
gem. deflectie [μm]	119	468	114	72
deflectie/D_1 [-]	0,25	1,00	0,24	0,15

Tabel 4.2 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Vlietepolder, Basalton

In geval van verschillende zuilenzettingen (niet alleen de Basalton bij de Vlietepolder maar ook de Hydro-blocks van de Oud Noord-Bevelandpolder, bij de Bruinissepolder en bij Poortvliet) is niet exact in het midden van de buurblokken gemeten. De geofoons (2 en 9) kunnen niet zo dicht bij het hart van de klap worden geplaatst. En er zijn geen twee metingen op het buurblok, waardoor de hoekverdraaiing van het buurblok niet is te berekenen en dus ook de verplaatsing in het midden niet is terug te rekenen. Aangezien het hier gaat om zuilen die duidelijk hoger dan breed zijn, mag worden verondersteld dat de fout die daardoor wordt veroorzaakt, beperkt is.

Bij een meting op een afstand van 280 mm, terwijl de werkende breedte van de zuilen (Hydro-blocks) 250 mm is, dan levert de meting een wat geringere verplaatsing dan die van het midden van de zuil. De mate van klemming die wordt berekend, levert voor de zuilenzettingen dus mogelijk een lichte onderschatting op: de uit de metingen berekende klemming is een ondergrens voor de werkelijke klemming.

Conclusie. Om de interpretatie van de metingen eenvoudiger en eenduidiger te maken, is het wenselijk om de twee opnemers ter weerszijde van het valgewicht op gelijke afstand te plaatsen, waarbij die afstand overeenkomt met de (gemiddelde) steenafmeting in de richting van de dijkas (= de richting waarin het meetvoertuig rijdt). De verplaatsingen die dan worden gemeten zijn de verplaatsingen in het midden van de betreffende buurblokken.
Is een dergelijk plaatsing niet mogelijk omdat de zuildiameter kleiner is dan de minimale afstand tussen geofoon 1 en 2, dan moet worden nagegaan of geofoon 3 ook nog op het buurblok kan worden geplaatst, zodat toch de verplaatsing in het midden van het buurblok kan worden teruggerekend.

4.2 Berekende waarden voor de klemming

In de rapportage [’t Hart, 2011] is geconstateerd dat voor de twee zettingen die met zekerheid los waren (HM Scherpenisse, GHM Grevelingendam) de centrale deflectie gemiddeld 2,68 maal groter dan de som van de deflectie van de naastgelegen stenen. Die waarde was voor beide zettingen vrijwel dezelfde: HM Scherpenisse: 2,69; GHM Grevelingendam: 2,68.
Op grond daarvan is als kental voor de klemming voorgesteld uit te gaan van:

$$K_k = 2,68(D_2 + D_9) - D_1 \qquad (4.1)$$

Bij de uitwerking van die meetserie is echter niet onderkend dat de verplaatsingen niet altijd midden op het buurblok zijn gemeten. Een heranalyse van deze meetdata waarbij de meetresultaten zijn omgerekend naar de middens van de buurblokken leidt tot de volgende verhoudingsgetallen:

- HM Scherpenisse: 2,82;
- GHM Grevelingendam: 2,86;
- gemiddeld: 2,84.

Op grond daarvan is het kental voor de klemming bijgesteld tot:

$$K_k = 2,84(D_2 + D_9) - D_1 \qquad (4.2)$$

Dit kental zou voor een ongeklemde zetting nihil moeten zijn. Voor geklemde zettingen blijven de verplaatsingen van de naastliggende elementen minder achter bij de centrale verplaatsing. Het kental wordt voor geklemde zettingen daarmee duidelijk positief.

In de meetserie in 2011 is ook een slecht geklemde zetting van Haringmanblokken op hun kant onderzocht (Oesterdam Noord). Voor die zetting was het verhoudingsgetal nog iets hoger: 3,02. Dat de klemming van deze nog iets minder lijkt, komt wel overeen met de observatie dat bij de trekproeven vrijwel alle blokken los kwamen. Voor het kental voor de klemming wordt voor deze zetting een waarde -63 berekend uit de metingen. Voor Scherpenisse en Grevelingendam waren deze waarden -5 respectievelijk +5. Om een gevoel te geven wat de onzekerheid is voor waarden zijn in Tabel 4.3 naast de gemiddelde waarden ook de extremen en de spreidingen gegeven.

De spreiding in de populatie van berekende waarden is aanzienlijk. Aangezien er een kleine 50 meetwaarden zijn, zal de onzekerheid (spreiding) in het populatie-gemiddelde grofweg 1/7^{e} bedragen (√N) van die van de populatie. Voor de Oesterdam Noord ligt het populatiegemiddelde (=-63µm) uiteindelijk bijna 1 maal de onzekerheid in het populatie-gemiddelde (460/√46 = 68µm) onder de verwachtingswaarde 0,0.

Locatie	gemiddelde (µm)	spreiding (µm)	maximum (µm)	minimum (µm)	N (-)
Scherpenisse	-5	215	338	-728	47
Grevelingendam	5	193	547	-365	46
Oesterdam Noord	-63	460	754	-1157	46

Tabel 4.3 Statistische gegevens K_k voor de locaties met ongeklemde blokkenzettingen (N = aantal waarnemingen)

Om na te gaan of de hiervoor afgeleide klemmingsindicatoren resultaten opleveren die ergens op lijken, zijn deze indicatoren berekend voor de metingen uitgevoerd door Breijn.

Uit de metingen in 2010 kon geen stijfheid worden bepaald. Daardoor kon de indicator voor de klemming, die het mogelijk moest maken de metingen op de verschillende bekledingstypen direct met elkaar te kunnen vergelijken (zie vergelijking (3.14)) niet worden berekend. Daarom is van vergelijking (3.14) slechts (het gemiddelde van) de wortelterm met de verhoudingen van de centrale verplaatsing en die van de naastliggende elementen berekend. Dit is een dimensieloze parameter die ook al als indicator voor de klemming kan worden opgevat. Zie de Tabel 4.4.
Nb. de reciproque waarde van de wortelterm komt in een grove benadering overeen met $-K_k/D_1$ omdat:

$$\frac{K_k}{D_1} = \frac{2{,}84(D_2 + D_9) - D_1}{D_1} = -1\left(1 - 2{,}84\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right)\right) \qquad (4.3)$$

En de wortelvorm kan zeer grofstoffelijk worden benaderd met:

$$\left(\sqrt{1 + 2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) - \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} + \frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}}\right)^{-1} \approx 1 - \left\{2\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) - \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} + \frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\} \approx 1 - 2\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) \qquad (4.4)$$

Daarbij is ervan uitgegaan dat de centrale deflectie (D_1) altijd flink groter is dan de deflecties van de naastliggende stenen.
De echte blokkenzettingen blijken zich, zie Tabel 4.4, wat betreft de berekende klemmingsindicatoren duidelijk te onderscheiden in geklemde en ongeklemde zettingen. Voor wat betreft het kental K_k is dat deels natuurlijk het gevolg van het feit dat een deel van de metingen gebruikt zijn om de factor in de vergelijking (4.2) te bepalen.

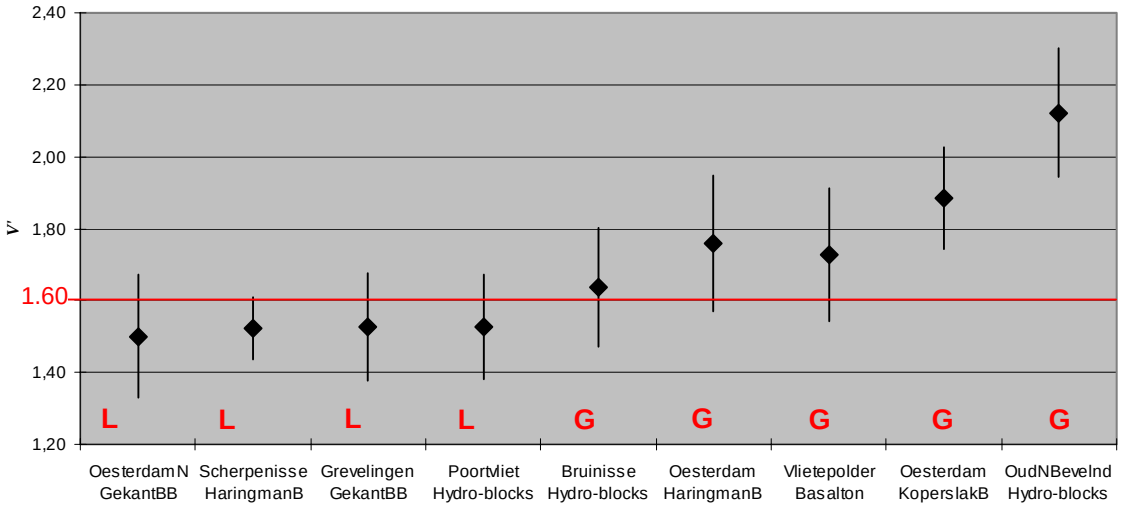
Locatie (G = geklemd; L = los, niet-geklemd)	$V' = \sqrt{1+2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1}+\frac{D_9}{D_1}\right)-\left(\frac{D_2^2}{D_1^2}+\frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}}$ (-)		K_k (μm)
2010			
1 Oesterdam, Koperslakblokken	(G)	1,88 (0,14)	831 (309)
2 Oesterdam, Haringmanblokken	(G)	1,76 (0,19)	171 (167)
3 Poortvliet, Hydro-blocks	(G?L?)	1,52 (0,15)	42 (577)
4 Scherpenisse, Haringmanblokken plat	(L)	1,52 (0,09)	-5 (215)
5 Grevelingendam, Gekantelde betonblokken	(L)	1,53 (0,15)	5 (193)
2011			
I Oud N.Bevelandp., Hydro-blocks	(G)	2,12 (0,18)	120 (70)
II Vlietepolder, Basalton	(G)	1,73 (0,19)	216 (191)
III Bruinisse Hydro-blocks	(G)	1,64 (0,17)	130 (203)
V Oesterdam Noord Gekantelde Haringmanblokken	(L)	1,50 (0,17)	-63 (460)

Tabel 4.4Gemiddelde (en spreiding) van de indicatoren voor klemming op de onderzochte locaties.

De Hydro-blocks bleken bij de trekproeven geklemd, ook al zat er zo hier en daar wel beweging in de zuilen. Op grond van de klemmingsindicatoren lijkt de zetting van Hydro-blocks te Poortvliet niet veel beter te scoren dan de als “niet geklemd” gekwalificeerde bekledingen. Het verschil lijkt niet significant gezien de spreidingen.
Hier is sprake van een moeilijke kwestie. De VGD-metingen meten bij relatief kleine verplaatsingen en slaan de belaste steen naar beneden. Het naar beneden slaan in plaats van naar boven trekken leidt ertoe dat de verplaatsingen altijd in de orde van mm’s of kleiner zijn: de steen die naar beneden wordt geslagen krijgt steun van zijn bedding. Bij relatief kleine verplaatsingen krijgt het inwasmateriaal voor zover het niet al zit vastgewigd, geen of nauwelijks kans om zich vast te wiggen. Daarvoor zijn grotere verplaatsingen nodig, die wel bij trekproeven worden gerealiseerd. Daarbij zou ten aanzien van trekproeven de vraag kunnen worden gesteld of een zetting waarbij het inwasmateriaal zich nog vast moet wiggen tijdens het trekken, eigenlijk wel goed is geklemd. Het inwasmateriaal ligt immers kennelijk zodanig los in de voegen dat het zich eerst nog moet vastwiggen. Het inwasmateriaal zou dus kunnen uitspoelen alvorens er een beroep wordt gedaan op de klemming. Een dergelijke redenering stelt impliciet het criterium voor de trekproeven ter discussie. Een vraag waar we nu nog geen goed antwoord op hebben, is: moet het inwasmateriaal zodanig vastzitten dat zelfs bij VGD-metingen de steenzetting zich als een plaatbekleding gedraagt of geeft het criterium wat we tot op heden voor de trekproeven hebben gehanteerd een voldoende garantie voor klemming?

Op grond van de beschikbare meetresultaten (zie Figuur 4.3) ligt de drempelwaarde voor de klemmingsindicator V' op 1,60. Als het gemiddelde van de steekproef kleiner is dan deze drempelwaarde, dan is de zetting slecht geklemd.

Wat betreft de spreidingen vormt Poortvliet een uitschieter voor K_k. Dat wordt grotendeels veroorzaakt door een drietal metingen (van de 49) waarbij één van de twee buurstenen volgens de metingen een bijna even grote verplaatsing als de centrale verplaatsing te zien geeft. Die “bijna even grote verplaatsing” is overigens bij alle klappen op dat betreffende meetpunt gemeten.



Figuur 4.3 Klemmingsindicator V', verwachtingswaarde (μ) en spreidingsband ($\pm\sigma$), L = los, slecht geklemd, G = goed geklemd

Er is iets voor te zeggen om ook de grootte van de spreiding mee te wegen in de beoordeling van de klemming. Een goed geklemde zetting heeft immers een verwaarloosbaar klein aantal losse blokken. Op grond daarvan zou bijvoorbeeld $\mu(V') - \alpha\cdot\sigma(V')$ beschouwd moeten worden met α = 2 à 3. Stel we gaan uit van een grenswaarde V' = 1,11 bij α = 3. Als we dan de $\mu(V') - 3\cdot\sigma(V')$-waarden voor de verschillende zettingen berekenen, dan blijkt volgens de VGD-metingen Poortvliet slecht geklemd en Scherpenisse goed geklemd te zijn (zelfs beter dan Vlietepolder en Bruinisse). Dit is dus niet overeenkomstig de trekproeven.
Kiezen we α = 3 met $\mu(K_k) - 3\cdot\sigma(K_k)$ = –500 als grenswaarde, dan is Poortvliet niet geklemd volgens de VGD metingen en zelfs de slechtste van allemaal. Voor de rest klopt de score wel met de trekproeven.
In hoofdstuk 5 wordt nader teruggekomen op de vraag of de spreiding op deze wijze moet worden meegeteld.

4.3 Terugrekenen stijfheden

Voor de klemmingsindicator gegeven in formule 3.14 is, naast de verplaatsingen van het belaste blok en zijn buurblokken, ook een karakterisering van de stijfheid van de ondergrond noodzakelijk. Gedacht werd dat die op basis van de VGD-meetresultaten met de voor de wegenbouw gebruikelijke interpretatie software kon worden teruggerekend.
Bij de metingen uitgevoerd in 2010 werd geconstateerd dat het tijdvenster waarover de geofoons waren bemonsterd te kort was om de maximale verplaatsing van de verst weg geplaatste geofoons te kunnen bepalen. Bij de metingen uitgevoerd in 2011 is een ruimer tijdvenster bemeten. Toch bleek de vertaling van deflecties naar stijfheden niet best te lukken. Dat is terug te voeren op een aantal redenen.
Allereerst moest worden geconstateerd dat de in 2011 ingewonnen gegevens vrij veel stoorsignalen (ruis) bevatten, waardoor de maximale signalen niet altijd overeenkomen met de maximale deflecties. Door de volledige tijdregistratie te beoordelen kon dit probleem worden overwonnen.
Voorts is bij een flink aantal metingen de registratie van één of meerdere geofoons evident foutief. Dit kan bijvoorbeeld worden toegeschreven aan toevallig meten ter plaatse van een voeg, of het niet goed op dezelfde plaats blijven staan van de geofoonpunt. De consequentie

is dat voor een flink aantal metingen er weinig betrouwbare maximale deflecties beschikbaar zijn.
Voor die meetpunten waarvoor er voldoende geofoonregistraties waren om te kunnen terugrekenen, bleek de terugrekenprocedure soms tot irreële stijfheden te leiden. In andere gevallen bleek de fit van het deflectieprofiel een forse restfout te geven: een signaal dat de fit niet tot betrouwbare resultaten heeft geleid.
De berekeningsresultaten voor die metingen, die volgens de gestelde criteria goed interpreteerbaar bleken, leken uiteindelijk stijfheidsverhoudingen op te leveren die slecht overeen lijken te komen met de in de constructie toegepaste materialen. Waarschijnlijk is een belangrijke foutenbron het feit dat er in veel van de gemeten deflectiekuilen sprake is van afschuiven rond het belaste blok. In de interpretatiesoftware wordt echter met homogeen elastische lagen gerekend. Die discrepantie tussen werkelijkheid en modellering moet uiteraard leiden tot minder realistische uitkomsten.
In Bijlage B is de rapportage van Breijn over het terugrekenen van de stijfheden opgenomen.
Geconcludeerd moet worden dat het terugrekenen van stijfheden tot problemen leidt die niet binnen de scope van dit onderzoek zijn op te lossen. Daarom wordt afgezien van het presenteren van de klemmingsindicator gegeven door formule 3.14.

4.4 Dimensieloze klemmingsindicator

Omdat het terugrekenen van de stijfheden niet goed mogelijk bleek, is als alternatief gekeken naar de dimensieloos gemaakte klemmingsindicator K_k. Om deze grootheid dimensieloos te maken is deze gedeeld door de centrale deflectie D_1:

$$K_{kd} = f\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) - 1 \qquad (4.5)$$

Het principe achter dit dimensieloos maken is het volgende. De stijfheid van de ondergrond bepaalt mede de grootte van de klemmingsindicator K_k: hoe stijver de ondergrond, des te kleiner de verplaatsingen, des te kleiner de klemmingsindicator. De gemeten waarde van de klemmingsindicator is daardoor niet alleen een indicator voor de klemming, maar ook voor de stijfheid van de ondergrond van de locatie. Dat maakt dat de indicator niet goed bruikbaar is om de klemming van verschillende locaties met elkaar te vergelijken. Door de klemmingsindicator K_k te delen door de verplaatsing ter plaatse van de voetplaat, wordt het leeuwendeel van de stijfheidsafhankelijkheid verwijderd.

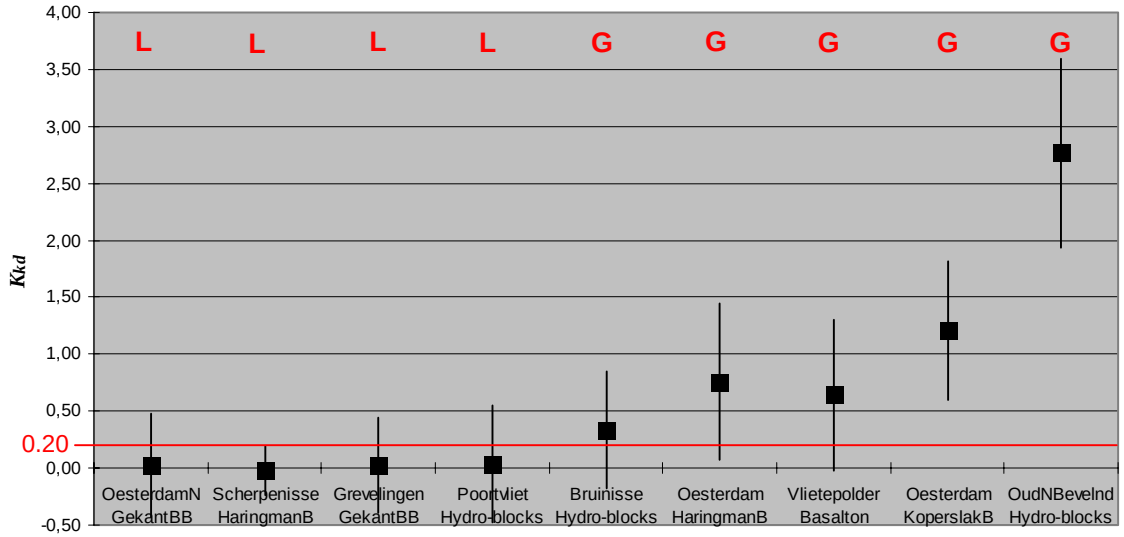
De factor f in deze vergelijking is bepaald door te eisen dat de K_{kd} gemiddeld op 0,0 uitkomt voor de metingen op de locaties met ongeklemde blokkenzettingen uit 2010 (gecorrigeerd voor de locatie van de opnemers). De factor f krijgt dan de waarde 2,67.

In Tabel 4.5 en Figuur 4.4 zijn de K_{kd}-waarden voor de verschillende locaties opgenomen.

Op grond van deze beschikbare meetresultaten wordt als drempelwaarde voor de klemmingsindicator K_{kd} voorgesteld om uit te gaan van 0,20. Als het gemiddelde van de steekproef kleiner is dan deze drempelwaarde, dan is er sprake van een slecht geklemde zetting.

Locatie (G = geklemd; L = los, niet-geklemd)	K_{kd} (-)
2010	
1 Oesterdam, Koperslakblokken	(G) 1,21 (0,61)
2 Oesterdam, Haringmanblokken	(G) 0,76 (0,69)
3 Poortvliet, Hydro-blocks	(G?L?) 0,04 (0,52)
4 Scherpenisse, Haringmanblokken plat	(L) -0,02 (0,21)
5 Grevelingendam, Gekantelde betonblokken	(L) 0,02 (0,42)
2011	
I Oud N.Bevelandp., Hydro-blocks	(G) 2,76 (0,82)
II Vlietepolder, Basalton	(G) 0,64 (0,66)
III Bruinisse Hydro-blocks	(G) 0,33 (0,51)
V Oesterdam Noord Gekantelde Haringmanblokken	(L) 0,03 (0,46)

Tabel 4.5 Gemiddelde (en spreiding) van de indicatoren voor klemming op de onderzochte locaties.



Figuur 4.4 Dimensieloze klemmingsindicator K_{kd}, verwachtingswaarde (μ) en spreidingsband ($\pm\sigma$), L = los, slecht geklemd, G = goed geklemd

Aldus is er een tweetal klemmingsindicatoren, de dimensieloze wortelvorm V' en K_{kd} die beide gebaseerd zijn op de verhoudingen tussen de deflectie van het belaste blok en zijn buurblokken. Zoals in paragraaf 4.3 al is aangegeven is het kwaliteitsverschil in beide parameters niet wezenlijk. Beide zijn bruikbaar.

Opvallend is de soms grote spreiding in de resultaten. Om meer vertrouwen te krijgen in de metingen zijn wat ruwe meetgegevens van de Oud Noord Bevelandpolder gecheckt. Het meetpunt aan het begin van de raai (0,000 m) en een meetpunt halverwege (0,045 m) geven een zeer forse centrale deflectie te zien, terwijl de deflecties ter weerszijde redelijk overeenkomen met die van de andere metingen, zie de tabel op pagina B-13. In deze tabel

zijn namelijk alleen de maximale deflecties van de vierde klap gepresenteerd. Daarom is nagegaan in hoeverre bij alle klappen dit zeer forse verschil is opgetreden en of dat zeer forse verschil wellicht ook bij andere meetpunten bij voorafgaande klappen is opgetreden. Voor de twee genoemde meetpunten laten de tijdsignalen van de voorafgaande klappen een vergelijkbaar beeld zien: een verhoudingsgewijs extreme centrale deflectie die qua vorm wel past binnen het totale beeld. Bij eerdere klappen van een aantal onderzochte metingen die een veel lagere centrale deflectie opleveren, is geen verhoudingsgewijs extreme centrale deflectie aangetroffen. Geconcludeerd moet worden dat de informatie van de overige klappen geen aanleiding geeft om de gepresenteerde meetdata te wantrouwen.

Beschouwen we nu $\mu(K_{kd}) - 3\sigma(K_{kd})$ dan is er geen enkele grenswaarde te bedenken waarbij de meeste beoordelingen uit de VGD-metingen overeenkomen met de resultaten van de trekproeven. In hoofdstuk 5 is aannemelijk gemaakt dat het beter is het criterium op de verwachtingswaarde te baseren.

4.5 Herevaluatie meerdere meetsessies op hetzelfde vak in 2010

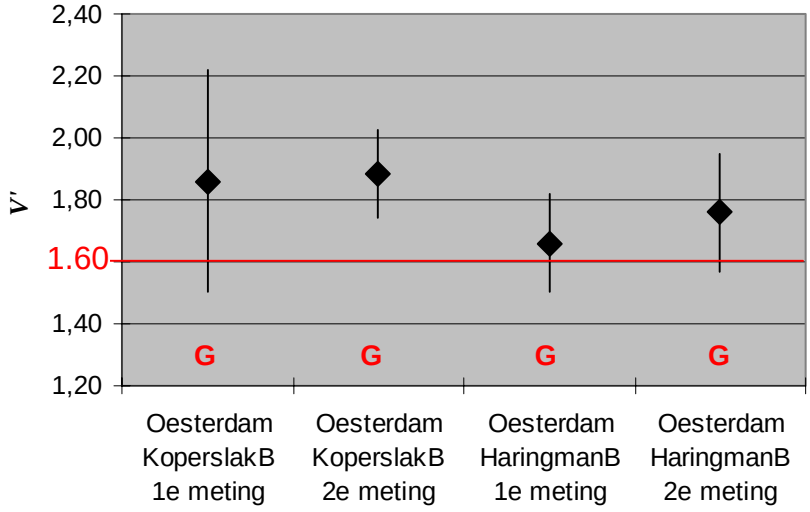
In 2010 zijn op twee locaties meerdere meetsessies uitgevoerd met de VGD-apparatuur. Allereerst is met verschillende wijzen van meten uitgeprobeerd volgens welk recept er goede resultaten kunnen worden ingewonnen. Vervolgens is in een tweede meetcampagne volgens dit meetrecept een “productiemeting” op een 50-tal stenen uitgevoerd. [’t Hart 2011] geeft hier meer details over.
Op grond van een vergelijking van statistische gegevens van de centrale deflecties is toen de conclusie getrokken dat de metingen behoorlijke verschillen opleverden.
De meetdata zijn opnieuw geanalyseerd door de klemmingsindicator V' voor beide metingen te bepalen en naast elkaar te zetten. Daarbij moet worden aangetekend dat bij de in 2010 uitgevoerde metingen de afstanden, waarop de geofoons direct links en rechts naast de voetplaat waren geplaatst, niet bij alle metingen dezelfde zijn geweest. Daarom is de vergelijking tussen de berekende resultaten eigenlijk niet helemaal zuiver. Daarbij is om ongestoorde metingen te verkrijgen er altijd een andere set stenen beproefd. De statistische kentallen van de berekende klemmingsindicatoren voor de verschillende metingen zijn gegeven in Tabel 4.6.

V'	koperslakblokken		Haringmanblokken	
	1e meting	2e meting	1e meting	2e meting
Aantal	49	50	34	45
Gemiddelde	1,86	1,88	1,66	1,76
Standaardafwijking	0,36	0,14	0,16	0,19

Tabel 4.6 Statistische gegevens van de “testmetingen” (1e meting) en de “productiemetingen” (2e meting) in uitgevoerd in 2010 op een tweetal bekledingen.

Deze gegevens zijn in Figuur 4.5 gevisualiseerd.

Het blijkt dat de in [’t Hart, 2011] getrokken conclusie dat de metingen behoorlijke verschillen opleverden weliswaar voor de gemeten centrale deflecties mag gelden, maar dat het niet betekent dat beide metingen op grond van de klemmingsindicator V' tot andere conclusies ten aanzien van de klemming van de betreffende zettingen leiden. Beide locaties zitten bij beide metingen boven het criterium van V' = 1,60 en zijn dus volgens de VGD-metingen goed geklemd.



Figuur 4.5 Klemmingsindicator V' berekend voor de twee locaties waar tweemaal is gemeten, vergelijk ook figuur 4.3

Dit geldt echter niet als $\mu(V') - 3\cdot\sigma(V') = 1{,}11$ als criterium wordt beschouwd. Dan is de eerste meting met koperslakblokken te laag en zou dus geconcludeerd worden dat deze zetting niet geklemd is. Maar in hoofdstuk 5 wordt duidelijk gemaakt dat klemmingscriteria baseren op extreem lage waarden uit de steekproef geen goed idee is.

4.6 Conclusies betreffende de interpretatie van de VGD-metingen

Om steenzettingen wat betreft klemming te kunnen vergelijken, blijkt de massa van de stenen volgens een eenvoudige dynamicamodellering niet relevant. De stijfheid van de ondergrond en het grondoppervlak van de elementen blijken wel relevant. De stijfheid dient dus uit de VGD-metingen te worden teruggerekend. Bij de verwerking van de meetdata moest echter worden geconstateerd dat terugrekenen niet tot zinvolle resultaten leidde.

Door niet alleen de centrale deflectie te meten, maar ook verplaatsingen ter weerszijde van de voetplaat, kunnen bruikbare indicatoren voor de klemming worden verkregen.

Evaluatie van de beschikbare metingen laat zien dat voor de blokkenzetting de indicatoren onderscheidend zijn, maar dat de beproefde zuilenzetting van Hydro-blocks bij Poortvliet een twijfelgeval oplevert. Volgens de normaliter gehanteerde criteria bij trekproeven zou deze zetting geklemd moeten zijn. De waarde voor de klemmingsindicator is echter niet significant verschillend van die voor één van de slecht geklemde blokkenzettingen. Gezien het feit dat er bij de trekproeven ook daadwerkelijk wel wat kleine bewegingen in de zetting zijn waargenomen, is het resultaat van de VGD-metingen eigenlijk wel verklaarbaar, omdat bij de VGD-metingen ook slechts kleine vervormingen optreden. Daarom wordt de beproefde zetting bij Poortvliet toch als losse zetting gekwalificeerd.

Op grond van de beschikbare meetresultaten moet de drempelwaarde voor slechte klemming liggen voor de klemmingsindicator V' op 1,60 en voor K_{kd} op 0,20. Als een gemiddelde waarde onder deze drempelwaarde wordt gevonden, mag er niet op klemming worden gerekend.

Herhaalde metingen op een tweetal locaties hebben weliswaar verschillende centrale deflecties opgeleverd, maar de klemmingsindicator V' bleek geen wezenlijk andere waarden op te leveren.

Indien voor toekomstige metingen een ander type VGD-apparatuur wordt ingezet, is het noodzakelijk dat deze wel een enigszins vergelijkbare impuls levert, omdat anders de gegeven drempelwaarden niet mogen worden gehanteerd.
Overwogen is om het klemmingscriterium te formuleren als eis aan de (μ - $\alpha.\sigma$)-waarde uit de steekproef, maar in hoofdstuk 5 zal aannemelijk worden gemaakt dat dat geen goed idee is.

5 VGD-metingen en trekproeven voor het vaststellen van klemming

De ontwikkeling van de VGD-metingen voor het vaststellen van klemming van steenzettingen zijn bedoeld om te komen tot een alternatief voor het uitvoeren van trekproeven die nogal tijdrovend zijn.
Om te beoordelen of de methode met de VGD-metingen levensvatbaar is, is niet alleen de efficiency (de kosten) van belang maar uiteraard ook de kwaliteit van het oordeel over de klemming. De betrouwbaarheid van dat oordeel is echter zeer lastig vast te stellen.

In principe vormen de trekproeven de beschikbare referentie. Maar hoe betrouwbaar is die referentie? Doordat het meetprincipe van de VGD een wezenlijk andere is dan voor de trekproef zijn de metingen en ook de interpretatie niet direct vergelijkbaar. En aangezien het oordeel ten aanzien van de klemming tot op heden alleen op trekproeven kon worden gebaseerd is nu in feite een heroverweging van de criteria aan de orde.

Klemming kan worden beschreven als het gegeven dat een enkele steen bij een belasting loodrecht op het talud niet uit zijn verband komt, zodat de sterkte en belasting bij de beoordeling van de toplaagstabiliteit niet afhankelijk is van de belasting en het gewicht van die ene steen, maar van de over een groter oppervlak gemiddelde belasting en toplaaggewicht.
De klemming kan worden toegeschreven aan een drietal processen waarvan in de praktijk vaak meerdere samen gaan:

1. Er werkt een normaalkracht in het vlak van de zetting, waardoor wrijvingskrachten tussen de stenen het loskomen van een enkele steen verhinderen.
2. Er bevindt zich inwasmateriaal tussen de elementen (zuilenzetting) waardoor het enkele element dat de neiging heeft de zetting te verlaten al na een beperkte verplaatsing (< 1 cm) door het inwasmateriaal zal vastwiggen. Ruwheden, interlock op mm-schaal spelen hierbij een rol.
3. Door (bio)chemische processen kunnen de elementen met elkaar verkitten.

Ingewassen zettingen
Voor goed ingewassen zuilenzettingen zou mechanisme 2 in principe bij trekproeven altijd tot de conclusie “geklemd” moeten leiden. Overigens is bij ingewassen zettingen van betonblokken op hun kant geplaatst met afstandhouders weleens geconstateerd dat er losse blokken in de zetting aanwezig waren. Kennelijk geeft inwassing geen absolute garantie voor de kwalificatie “geklemd” bij trekproeven. Maar biedt een positief oordeel op basis van trekproeven op een verse ingewassen zetting die zich bij trekken vastwigt ook de garantie dat het inwasmateriaal niet uitspoelt en dus dat de klemming duurzaam is?
Omdat VGD-metingen slechts bij heel kleine vervormingen testen, zullen ingewassen zuilenzettingen veel sneller dan bij trekproeven als niet-geklemd worden gekwalificeerd. Als voorbeeld hiervan kan de beproefde zetting van Hydro-blocks bij Poortvliet worden genoemd.

In zuilenzettingen kunnen uiteraard ook normaalkrachten optreden die de klemming veroorzaken en ook verkitting kan de belangrijkste oorzaak van klemming zijn. Als het inwasmateriaal zich door trillen en temperatuursvervormingen goed heeft vastgezet, dan kan het inwasmateriaal ook een substantiële bijdrage leveren aan de normaalkrachtsoverdracht in het vlak van de bekleding.

Als het inwasmateriaal in een ingewassen zuilenzetting nog los in de voegen aanwezig is, zal normaliter pas na een verplaatsing van enkele mm's het inwasmateriaal voldoende grip krijgen. Een verse ingewassen zetting zal dus bij onderzoek meer elementverplaatsingen laten zien dan een goed geklemde zetting. Bij een dergelijk type zetting bestaat de kans dat het inwasmateriaal uitspoelt voordat er sprake is van oplichten en dus vastwiggen van elementen. Per saldo zouden dergelijke zettingen zich dus kunnen gedragen als een zetting met losse elementen.

Op grond hiervan lijkt het verstandig om het criterium wat we hanteren bij trekproeven om onderscheid te maken tussen wel of niet-geklemde zettingen scherper te stellen.
Voorgesteld wordt: gemiddelde verplaatsing van het element waaraan wordt getrokken ten opzichte van de direct aangrenzende elementen dient kleiner dan 3 mm te zijn.
Merk op dat hier een relatieve maat ten opzichte van de buurblokken wordt gehanteerd, waar bij de historische metingen de referentie werd gevormd door het frame van de trekkar (van RWS-DWW).

Als deze maat wordt toegepast op de zettingen die in 2010 en 2011 zijn beproefd, zie bijlage A, dan wijzigt daarmee alleen het oordeel met betrekking tot Poortvliet van geklemd in niet-geklemd.

Niet-ingewassen zettingen
Voor een niet-ingewassen zetting van betonblokken moet de processen 1 of 3 de klemming veroorzaken. Al is het zelfs voorstelbaar dat ook inzanding op de lange duur voor interlock (proces 2) zorgt. Normaliter zal bij een geklemde, niet-ingewassen blokkenzetting het element waaraan wordt getrokken geen significante verplaatsingen ondergaan ten opzichte van zijn buurelementen. Een onderlinge verplaatsing is moeilijk op gang te brengen, maar als die op gang is gekomen, dan kan de vervorming doorgezet worden. Dit geldt zeker voor de verkitting (3). Als die eenmaal is verbroken, dan kan de zetting zelfs weer ongeklemd zijn.
Een statische trekproef op een verkitte zetting zal, zolang de verkitting niet wordt verbroken, als geklemd worden gekwalificeerd. Maar blijven verkittingen altijd in tact, ook als de bekleding zwaar door golven wordt belast? Aangezien VGD-apparatuur een vrij zware dynamische belasting levert (4 klappen op dezelfde steen en op de resultaten van de laatste klap wordt het oordeel gebaseerd) leveren de VGD-metingen bij verkitte bekledingen wellicht een realistischer beeld dan trekproeven.

Als minpunt bij de VGD-metingen kan worden aangevoerd dat de klap die gegeven wordt wel erg fors is, ondanks dat er in het onderzoek in 2010 al voor een standaard beproevings-procedure is gekozen waarbij de valhoogte en ook de massa minimaal is. Maar omdat deze minimale belasting toch zeer aanzienlijk is (afhankelijk van de stijfheid van de constructie 11 tot 19 kN) zullen er, zelfs bij een zeer goed geklemde zetting, altijd meetpunten zijn waar het belaste blok tussen zijn buren door naar beneden wordt geschoven.
Als voorbeeld worden genoemd de metingen uitgevoerd op de dijk van de Oud-Noord-Bevelandpolder, de dijkstrekking die qua klemming als beste is beoordeeld. Daar bleken het 1e VGD-meetpunt en het meetpunt op 45 m in de set metingen uitbijters op te leveren, zie tabel op pagina B13. Aangezien ook de registraties van de voorafgaande klappen op de betreffende meetpunten eenzelfde vervormingspatroon laten zien worden deze uitbijters geïnterpreteerd als metingen waarbij de aangeslagen steen tegen een forse wrijvingskracht in, iets tussen zijn buurblokken naar beneden is geslagen. Bij de andere meetpunten is dit verband naar alle waarschijnlijkheid niet verbroken.

Dat er, ook bij een heel goed geklemde zetting, daadwerkelijk onderlinge blokverplaatsingen optreden is niet echt verwonderlijk als naar de maximale belasting wordt gekeken. In het betreffende voorbeeld gaat het om een stootbelasting met een piekwaarde van 18 kN, dit is een klap van 1800 kgf op een enkele steen. Nu mag deze kracht natuurlijk niet één op één worden vergeleken met de uitgeoefende kracht bij de trekproeven. Enerzijds omdat dit een dynamische kracht is: de traagheid van de steen zelf maakt dat de reactiekracht die de steen aan zijn omgeving moet ontlenen iets kleiner zal zijn. Anderzijds is de belasting een drukkracht en de steen waarop wordt geslagen zal een groot deel van de reactiekracht direct kunnen ontlenen aan de bedding waar de bekleding op rust. Dat deel van de reactiekracht hoeft dus niet te worden geleverd door interactie met de buurblokken.

Door de hoge belastingen door de VGD-apparatuur zijn uitbijters dus ook in goed geklemde zettingen zeer verklaarbaar en ook toelaatbaar. De mate waarin dit doorponsen van stenen in een zetting wordt geconstateerd, heeft uiteraard een relatie met de mate van (gemiddelde) klemming in de zetting.
Dat maakt het daarom toch onlogisch om het criterium voor klemming te baseren op $\mu(V') - 3\cdot\sigma(V')$. De uitbijters hoeven immers geen indicatie te zijn van incidenteel slecht geklemde stenen.

Een lastig punt bij de VGD-metingen is het goed contact maken van de geofoons met de toch wat onvlakke zetting. Ook dat kan leiden tot uitbijters in de metingen. Al moet worden opgemerkt dat de voetplaat in principe midden op een steen wordt gezet, zodat de centrale geofoon dan nooit op een voeg kan komen te staan. Uitbijters ten gevolge van slecht contact door de centrale geofoon zijn dus minder waarschijnlijk dan bij geofoons die wat verder weg staan van de klap.

Bij trekproeven wordt het oordeel “niet-geklemd” in feite gebaseerd op een uitbijter: de steen die los komt als eraan wordt getrokken. Bij VGD-metingen kan één uitbijter niet op voorhand tot het oordeel “niet-geklemd” leiden. Uitbijters komen voor omdat de belasting zodanig hoog is dat zelfs bij een goed geklemde zetting onderlinge verplaatsingen mogelijk zijn en omdat de meting foutgevoeliger is. In feite is met VGD-metingen de simpele voorstelling van zaken van trekproeven (één blok los, dan mag voor deze zetting niet op klemming worden gerekend) niet mogelijk. Het oordeel wordt daarom op een veel vagere waarneming gebaseerd: de gemiddelde klemmingsindicator. Die loopt terug naarmate meer elementen eruit worden geponst, wat in ieder geval dus aangeeft dat de gemiddelde interactie in de zetting geringer wordt. De VGD-meting zal dus nooit onderkennen dat er ergens een blok echt los ligt. Een echt los blok behoort uiteraard wel tot de uitbijters die het gemiddelde omlaag trekken, maar bij een verder perfect geklemde zetting zal dat nooit leiden tot de conclusie “niet-geklemd” voor het vak.

Het geheel overziend moet worden geconcludeerd dat VGD- en trekproeven ieder hun sterke kanten en zwakheden hebben. Het ideaal is in feite een combinatie van VGD- en trekproeven. Als de eerste verkenning wordt uitgevoerd met de VGD-apparatuur, dan kan op grond van die meting bij tegenvallende resultaten direct het oordeel “niet-geklemd” worden gegeven. Als de VGD-metingen voldoende positief zijn, zou een zeer beperkt aantal trekproeven uitgevoerd op de door de VGD aangewezen uitbijters het positieve oordeel kunnen onderbouwen. De gemiddelde toestand van de zetting wordt in feite beoordeeld door de VGD-metingen, het losse blok binnen de steekproef wordt uitgesloten door trekproeven.

Het is denkbaar dat een brosse (biologische) verkitting van een blok wordt losgeslagen tijdens de VGD-meting, waarna het tijdens de daaropvolgende trekproef inderdaad een los

blok blijkt te zijn, terwijl het aanvankelijk geklemd was. Een dergelijke trekproef leidt tot het oordeel “los blok” als er niet ook sprake is van enige normaalkracht of effectieve inwassing. Dat is eigenlijk wel realistisch: tijdens maatgevende omstandigheden zal een zwaar belaste bekleding ook wat gaan vervormen waardoor een stijve, brosse verkitting wordt verbroken.
Om trekproeven uit te kunnen voeren op de uitbijters van de VGD-metingen, is het uiteraard wel noodzakelijk dat de VGD-meetpunten op een afdoende manier worden vastgelegd, zodat elke beproefde steen later kan worden teruggevonden. Of deze aanpak kosteneffectief is, is nog niet nagegaan.

6 Conclusies en aanbevelingen

Om te kunnen beoordelen of VGD-metingen geschikt zijn om de mate van klemming in een steenzetting te kwantificeren, zijn op negen dijkvakken proefmetingen met valgewicht-apparatuur verricht. Als referentie voor deze metingen zijn trekproeven uitgevoerd:

1. Oesterdam/Bathpolder: koperslakblokken;
2. Oesterdam: Haringmanblokken;
3. Poortvliet: Hydro-blocks;
4. Scherpenisse: Haringmanblokken;
5. Grevelingendam: betonblokken op hun kant;
6. Oud Noord-Bevelandpolder: Hydro-blocks;
7. Vliete- en Thoornpolder: Basalton;
8. Bruinisse: Hydro-blocks;
9. Oesterdam Noord: Haringmanblokken op hun kant.

In de eerste fase van het onderzoek is aan de hand van metingen op koperslakblokken (locatie 1 op Oesterdam, met goede klemming) en Haringmanblokken (locatie 4 bij Scherpenisse, met slechte klemming) een methodiek voor het uitvoeren van de VGD-metingen ontwikkeld. Geconcludeerd is dat bij de VGD-metingen per blok 4 klappen met een valhoogte van 4 cm moeten worden gegeven, zonder extra gewichten. Het statische gewicht wat op het te belasten blok rust voordat de klap wordt gegeven bedraagt dan, inclusief de slede, 330 kg.

Vervolgens zijn op elk van de 9 locaties op ca. 50 stenen VGD-metingen uitgevoerd. Voor de analyse van deze metingen is in hoofdstuk 3 een klemmingsindicator afgeleid:

$$V = D_1\sqrt{m_1 A.S}.\left[\sqrt{1+2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1}+\frac{D_9}{D_1}\right)-\left(\frac{D_2^2}{D_1^2}+\frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}}\right]^{-1} = D_1\sqrt{m_1 A.S}\,/\,V' \qquad (6.1)$$

Met:

V = score van VGD-meting (hoe hoger, hoe minder geklemd) [μm.kg/s]
V' = dimensieloze klemmingsindicator gebaseerd op verhoudingen van deflecties [-]
D_1 = maximale verplaatsing van aangestoten steen [μm]
D_2 = maximale verplaatsing van de ene aangrenzende steen [μm]
D_9 = maximale verplaatsing van de andere aangrenzende steen [μm]
m_1 = massa van het vallende gewicht [kg]
A = oppervlak van de steen [m^2]
S = beddingconstante van de ondergrond [Pa/m]

Omdat uit de VGD-metingen het niet mogelijk bleek om betrouwbare stijfheden van de ondergrond terug te rekenen uit de gemeten deflecties, kan de waarde van V niet worden bepaald. Daarom is alleen het deel onder het wortelteken (V') berekend, samen met de waarde van K_{kd} (zie formule 4.5). De resultaten staan in Tabel 4.4 (V') en Tabel 4.5 (K_{kd}).

De conclusie getrokken door [`t Hart, 2011], dat herhaalde metingen op eenzelfde zetting (dijkstrekking) flinke verschillen in uitkomsten kan opleveren, betreffen de centrale deflecties.

De klemmingsindicator V' geeft veel geringere verschillen te zien die geen reden zijn om het oordeel “geklemd” of “niet-geklemd” te herzien.

Op basis van de waarde van V' en K_{kd} bleek een bekleding met Hydro-blocks bij Poortvliet niet goed te worden onderscheiden van evident slecht geklemde zettingen, terwijl tijdens de trekproeven de bekleding als geklemd werd aangemerkt, omdat het gebruikelijke criterium voor “niet-geklemd” niet werd overschreden. Daarbij moet opgemerkt worden dat er wel enige beweging zat in de bekleding tijdens de trekproeven. Bij nader inzien wordt geadviseerd een scherper criterium te hanteren voor trekproeven op zuilenzettingen: als de gemiddelde verplaatsing van het element waaraan wordt getrokken kleiner is dan 1 mm (ten opzichte van zijn buur-elementen) dan is het geklemd. Als het groter is dan 3 mm, dan is het niet geklemd. Daartussen is er sprake van twijfel.

Stijfheden terugrekenen uit de verplaatsing gemeten in de VGD-metingen op steenzettingen blijkt binnen de mogelijkheden van dit onderzoek niet haalbaar.

Algemeen kunnen de volgende conclusies en aanbevelingen worden gegeven:

- Voor ingewassen zuilenzettingen wordt geadviseerd een stringenter criterium te hanteren: een gemiddelde verplaatsing van het element waaraan wordt getrokken groter dan 3 mm ten opzichte van zijn buur-elementen leidt tot het oordeel “los blok”.
- Voor een simpele, betrouwbare uitwerking van de meetresultaten is het wenselijk om de twee opnemers ter weerszijde van het valgewicht op gelijke afstand te plaatsen, waarbij die afstand bij voorkeur overeenkomt met de (gemiddelde) steenafmeting in de richting van de dijkas. De verplaatsingen die dan worden gemeten zijn de verplaatsingen in het midden van de betreffende buurblokken. Is een dergelijk plaatsing van de geofoons niet mogelijk omdat de steenafmeting kleiner is dan de minimale afstand tussen geofoon 1 en 2, dan moet worden nagegaan of geofoon 3 ook nog op het buurblok kan worden geplaatst, zodat toch de verplaatsing in het midden van het buurblok kan worden teruggerekend.
- Alhoewel de plaatsing van de drie geofoons direct onder en nabij het valgewicht het belangrijkste is, wordt ook een zorgvuldige positionering van de overige geofoons aanbevolen: op afstanden van n+0,5 maal de gemiddelde steenafmeting vanaf de centrale geofoon. Dit reduceert de kans op foute registraties bij deze geofoons, waardoor het deflectieprofiel beter is te beoordelen. Aldus is zijn ook de gemeten waarden van de drie belangrijkste geofoons beter te valideren.
- Het onderzoek heeft een methode opgeleverd waarmee de mate van klemming van steenzettingen kan worden verkend. Alleen als deze methode wordt gecombineerd met aanvullende trekproeven op “verdachte” elementen kan een los blok binnen de genomen steekproef worden uitgesloten. Er mag dus nog **niet** worden geconcludeerd dat er nu een operationele meetmethode is die uitsluitend op basis van VGD-metingen in alle gevallen uitsluitsel geeft. In twijfelgevallen zijn trekproeven ter verificatie onontkoombaar.
- Omdat voor goed ingewassen zuilenzettingen klemming normaliter niet ter discussie staat, zal het toepassingsgebied van deze techniek vooral bij blokkenzettingen liggen.
- Pas als na meerdere VGD-onderzoeken naar klemming er een grotere dataset beschikbaar is gekomen, dan kan wellicht ook voor minder evidente uitkomsten van de VGD-metingen een betrouwbare uitspraak over al of niet goede klemming worden gedaan. Daarom wordt geadviseerd om alle meetdata goed te documenteren en als de verkregen meetdata een veelvoud zijn van de nu beschikbare, deze te evalueren in de hoop conclusies te kunnen trekken uit de VGD-meting zonder de hulp van aanvullende trekproeven.

- Indien voor toekomstige metingen een ander type VGD-apparatuur wordt ingezet, is een directe vergelijking met voorgaande metingen, uitgaande van de V' volgens vergelijking (6.1), alleen mogelijk als deze apparatuur dezelfde impuls levert.
- Als het gemiddelde over ca. 50 metingen van de klemmingsindicatoren V' en K_{kd} lager is dan de drempelwaarden 1,60 respectievelijk 0,20, dan is de zetting slecht geklemd. V' en K_{kd} worden berekend uit de verplaatsing van het element waarop met het valgewicht wordt geslagen (D_1) en de twee elementen ter weerszijde (D_2 en D_9):

$$V' = \sqrt{1 + 2\left\{2\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) - \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} + \frac{D_9^2}{D_1^2}\right)\right\}}$$

$$K_{kd} = 2,67\left(\frac{D_2}{D_1} + \frac{D_9}{D_1}\right) - 1$$

Literatuur

Schuurmans, V.P.C. (2008)
Trekproeven aan koperslakblokken aan de Oesterdam te Zeeland
Fugro, rapport 1408-0121-000.R02, 4 november 2008

Coeveld, E.M., M. Klein Breteler (2003)
Invloed klemming: statistische analyse trekproeven, Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, rapport H4134, WL | delft hydraulics, November 2003.

Hart, R. `t (2011)
Bepaling klemming in steenzettingen op basis van VGD-metingen
Deltares, rapport 1202551-006 versie 2, Februari 2011.

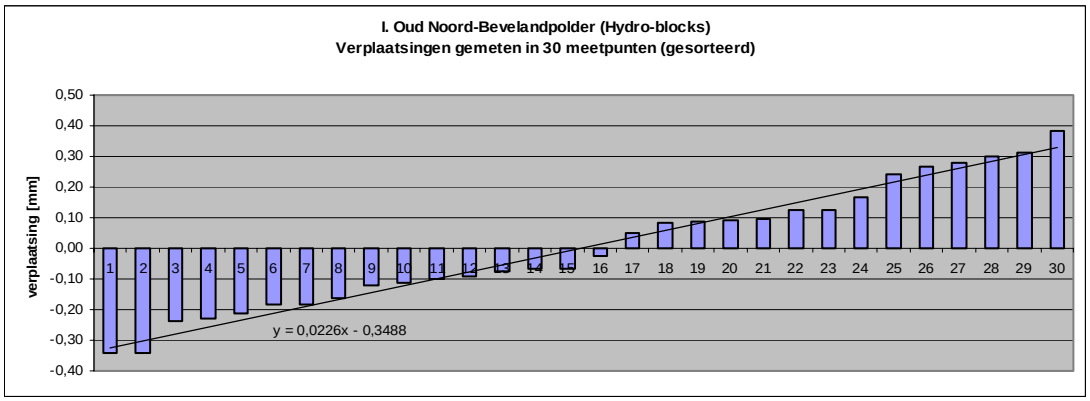
Beuningen, R.H. van (2012)
Trekproeven
Breijn B.V. Wegenbouwkunde, rapport 651 versie 1.0, januari 2012.

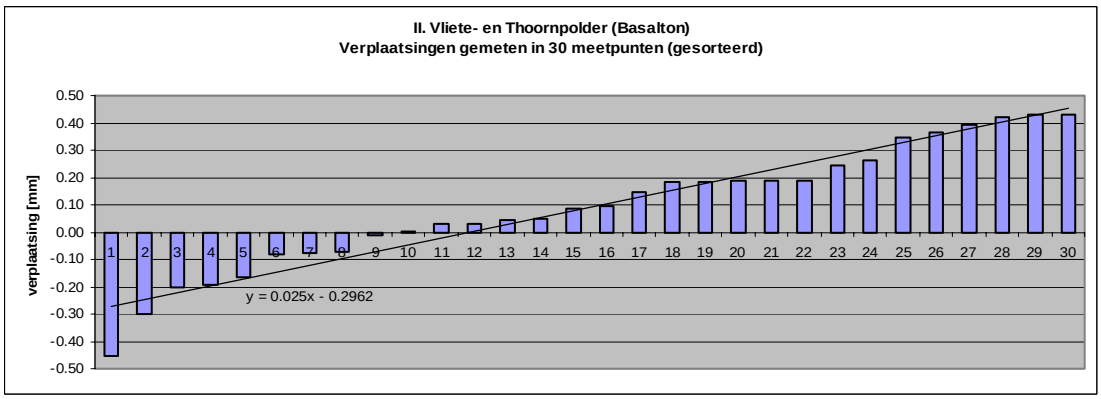
Lijst van symbolen

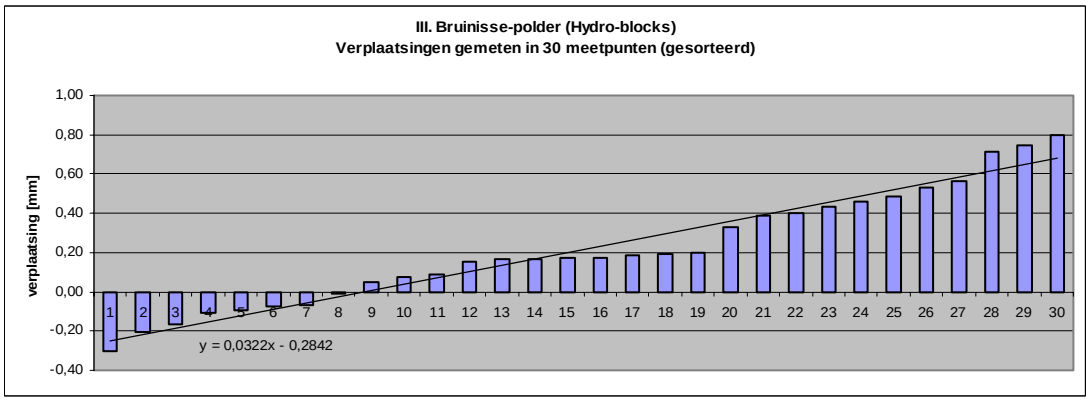
Symbool	Eenheid	Betekenis
a	versnelling van het valgewicht	[m/s^2]
A	grondoppervlak van de steen	[m^2]
D	dikte van de toplaag van de bekleding	[m]
D_i	maximale verplaatsing gemeten bij opnemer i	[μm]
D_1	maximale verplaatsing van aangestoten steen	[μm]
D_2	maximale verplaatsing van de steen rechts grenzend aan de aangestoten steen	[μm]
D_9	maximale verplaatsing van de steen links grenzend aan de aangestoten steen	[μm]
f_w	wrijvingscoëfficiënt tussen valgewicht en geleide-constructie	[-]
F_b	kracht tussen de blokken in de richting van het talud	[N]
F_{trek}	maximale kracht waarmee aan een zettingselement wordt getrokken	[kgf]
F_w	wrijvingskracht tussen de zettingselementen onderling	[N]
F_{wb}	wrijvingskracht tussen elementen en bedding	[N]
F_{w2}	wrijvingskracht tussen het aangestoten blok en het blok rechts daarvan	[N]
F_{w9}	wrijvingskracht tussen het aangestoten blok en het blok links daarvan	[N]
F_z	zwaartekracht van een zettingselement	[N]
h	hoogte (verticaal) waarover het valgewicht valt langs de geleide-constructie	[m]
i	teller	[-]
k	veerstijfheid van de ondergrond	[N/m]
K_k	klemmingparameter (hoe hoger, hoe beter geklemd)	[μm]
L	breedte van een zettingselement gemeten in richting van het talud	[m]
m_1	massa van het valgewicht	[kg]
m_2	massa van het aanbeeld en de voetplaat	[kg]
m_3	massa van de aangestoten steen	[kg]
P	impulsbelasting door vallend gewicht	[N/s]
S	beddingconstante van de ondergrond	[N/m^3]
v	snelheid waarmee het valgewicht op het “aambeeld” terecht komt	[m/s]
V	indicator voor klemming (hoe hoger, hoe minder de klemming)	[μm.kg/s]
V'	indicator voor klemming (hoe hoger, hoe minder de klemming)	[-]
V_0	indicator voor klemming (hoe hoger, hoe minder de klemming)	[10^{-3}.m^3.kg]
V_1	indicator voor klemming (hoe hoger, hoe minder de klemming)	[μm.kg/s]
w	afstand waarover het valgewicht valt, gemeten langs de geleide-constructie	[m]
Y_{max}	maximale verplaatsing tijdens de trekproeven	[mm]
α	taludhelling	[rad]
δ	afstand	[m]
ρ	soortelijke massa van de elementen van de toplaag	[kg/m^3]
$\varnothing$	diameter	[m]

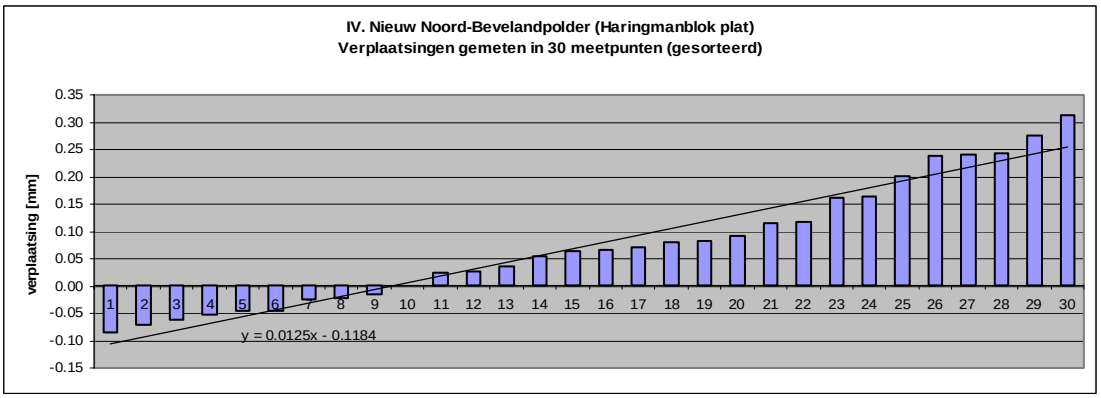
A Trekproeven

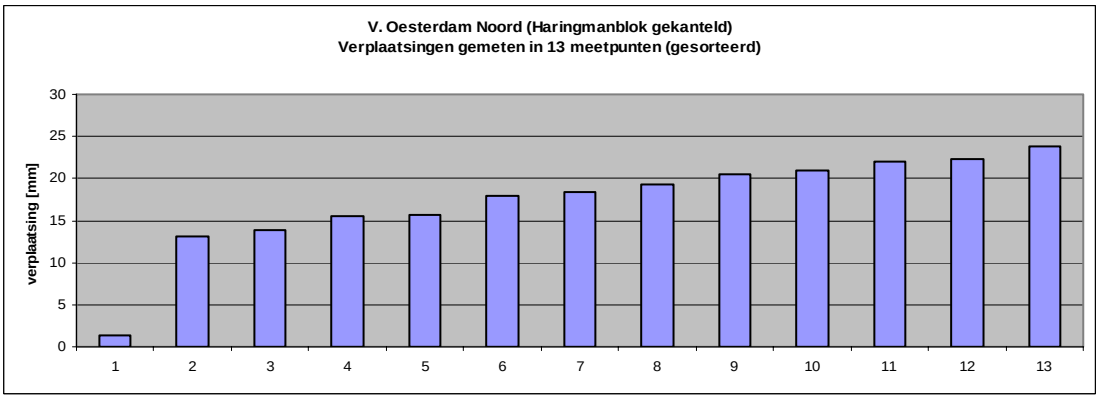
A.1 Meetresultaten 2011 trekproeven: gesorteerde blokgemiddelde verplaatsingen





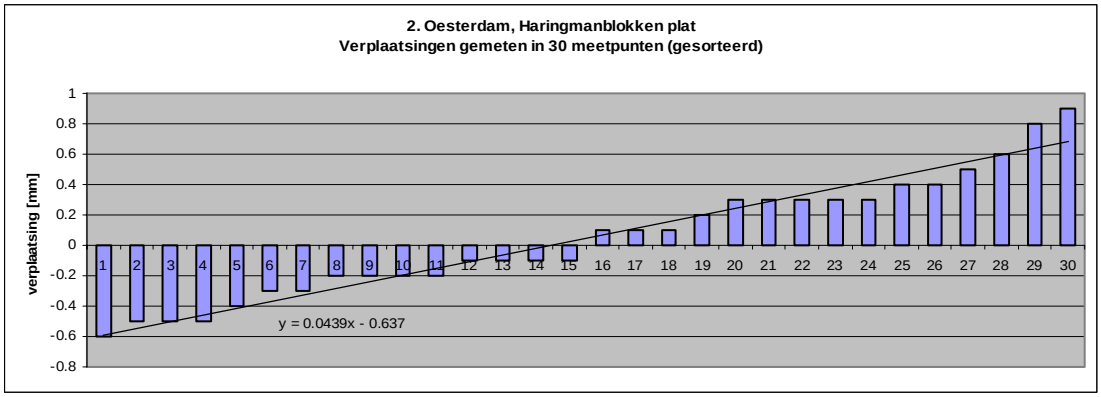


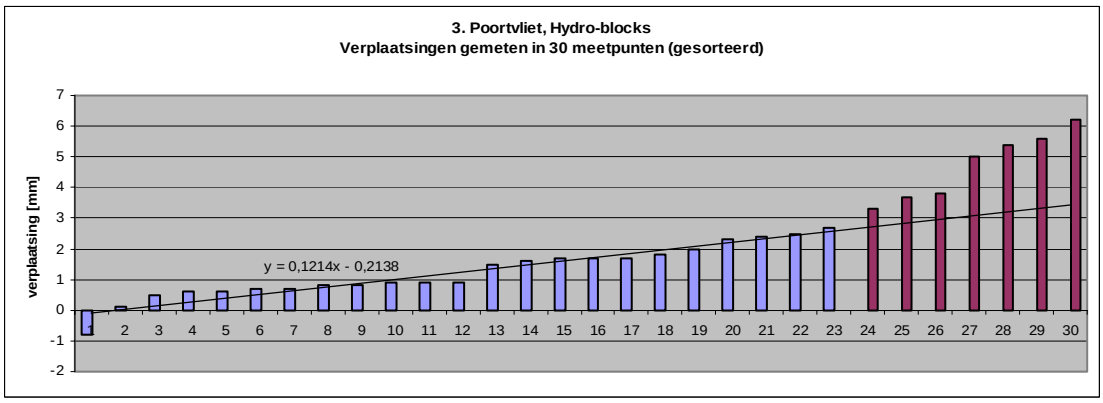

IV. Nieuw Noord-Bevelandpolder (Haringmanblok plat)
Verplaatsingen gemeten in 30 meetpunten (gesorteerd)
verplaatsing [mm]
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
y = 0.0125x - 0.1184

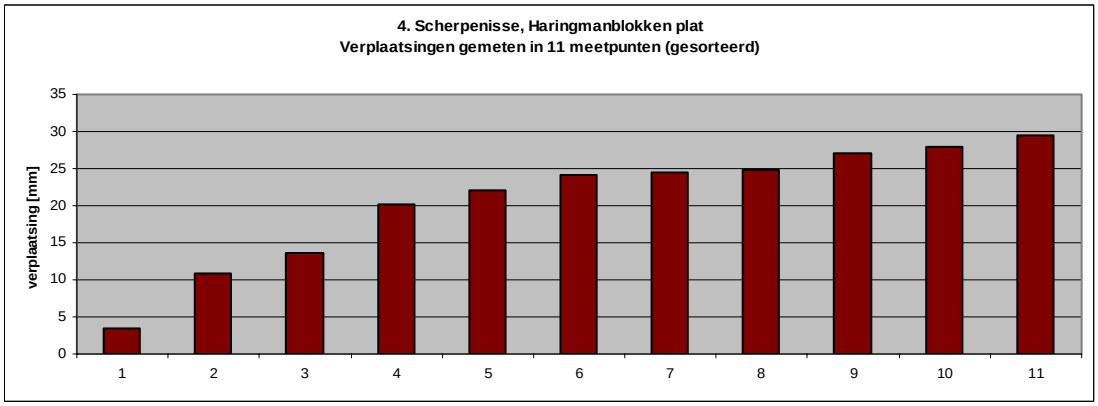

V. Oesterdam Noord (Haringmanblok gekanteld)
Verplaatsingen gemeten in 13 meetpunten (gesorteerd)
verplaatsing [mm]
30
25
20
15
10
5
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

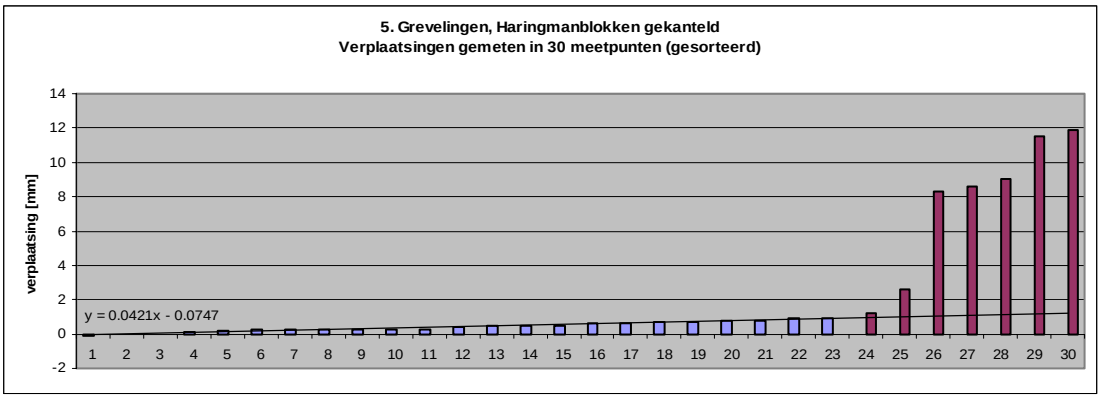
A.2 Meetresultaten 2010 trekproeven: gesorteerde blokgemiddelde verplaatsingen

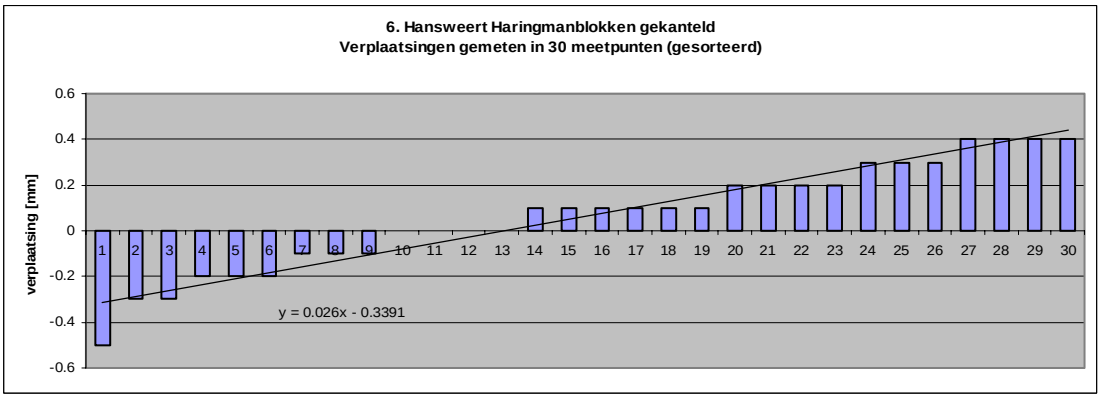
De trendlijn is alleen gebaseerd op de in blauw weergegeven meetresultaten.








5. Grevelingen, Haringmanblokken gekanteld
Verplaatsingen gemeten in 30 meetpunten (gesorteerd)
verplaatsing [mm]
y = 0.0421x - 0.0747


6. Hansweert Haringmanblokken gekanteld
Verplaatsingen gemeten in 30 meetpunten (gesorteerd)
verplaatsing [mm]
y = 0.026x - 0.3391

B Valgewichtdeflectiemetingen (VGD)

B.1 Valgewichtdeflectiemetingen op dijken, Eindrapportage door M.M. Willemsen, Breijn B.V., Wegbouwkunde d.d. 20-01-2012.

breijn

Valgewichtdeflectiemetingen op dijken

Draagkrachtbepaling

Auteur	ir. M.M. Willemsen
Verificatie	ing. S.D. Blom
Autorisatie	ir. G. Akker
Kenmerk	6511618
Datum	20 januari 2012
Versie	1.0
Status	Definitief

Inhoudsopgave

1 Inleiding 3

2 Valgewichtdeflectiemetingen 4

3 Resultaten 5

4 Opmerkingen 12

Bijlage 1 Resultaten deflectiemetingen per meetlocatie

Datum 20 januari 2012
Kenmerk 6511618
Pagina 3 van 12

1 Inleiding

In opdracht van Deltares heeft Breijn valgewichtdeflectiemetingen uitgevoerd op steenbekledingen op een viertal locaties in Zeeland. Het doel van de metingen is het vinden van een correlatie tussen de resultaten van trekproeven en de valgewichtdeflectiedata om zo de klemming van de steenbekleding te kunnen beoordelen. In figuur 1-1 is de ligging van de meetlocaties in Zeeland weergegeven, in tabel 1-1 staat de locatie beschreven met het type steenbekleding.

Figuur 1-1: Ligging proeflocaties

Tabel 1-1: Meetlocaties

1	Oud-Noord Bevelandpolder, dp 1778 – 1781	Hydro-block
2	Vliete- en Thoornpolder, dp 1873 – 1875	Basalton
3	Bruinissepolder, dp 390 – 392	Hydro-block
4	Oesterdam, dp 1134 – 1136	Gekantelde Haringmanblokken

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de details van de valgewichtdeflectiemeting. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de valgewichtdeflectiemetingen en de draagkrachtsberekeningen gepresenteerd. Hoofdstuk 4 bevat een aantal opmerkingen die bij de analyse van de deflectiemetingen en het terugrekenen van de laagstijfheden gemaakt moeten worden.

2 Valgewichtdeflectiemetingen

Een valgewichtdeflectiemeter is een apparaat dat de vervorming van de verhardingsconstructie meet wanneer deze wordt belast. Hiertoe worden een aantal geofoons (verplaatsingsopnemers) op verschillende afstanden van het lastcentrum geplaatst waarna een gewicht op een voetplaat valt dat in het lastcentrum staat. Hierbij worden onder andere de krachtgrootte van het vallende gewicht en de verplaatsingen van de geofoons geregistreerd. In figuur 2-1 is de valgewichtdeflectiemeter van Breijn weergegeven.

Figuur 2-1: Valgewichtdeflectiemeter

Om het valgewicht op dijken te kunnen inzetten, zijn er een aantal aanpassingen gedaan. Zo zijn de geofoonafstanden aangepast maar is ook een andere voetplaat gemonteerd met een diameter van 150 mm. Deze kleinere voetplaat was nodig om te voorkomen dat de voetplaat met meerdere stenen tegelijk contact maakt. Daarnaast zijn er langere geofoonpinnen gebruikt waardoor goed contact met de ondergrond gewaarborgd is. Tevens is aan de voorkant van de geofoonbalk een rubbervoet gemonteerd om ongewenst verschuiven van de geofoonbalk tegen te gaan (zie figuur 2-2).

Figuur 2-2: Rubbervoet onder geofoonbalk

3 Resultaten

Bij het meten is een meetvenster gehanteerd van 120 ms omdat uit het onderzoek van 2010 is gebleken dat 60 ms onvoldoende is om de maximale deflectie van alle geofoons te registreren. Echter bij analyse van de data is gebleken dat er na de eerste initiële lastpuls vaak ruis voorkomt met grotere deflecties. Het uitvoerbestand van een meting bevat uitsluitend de maximale deflecties van elke geofoon die binnen de periode van 120 ms is opgetreden wat geregeld niet overeenkomt met de initiële deflectie. Om toch de goede waardes voor de deflectie te verkrijgen, is het history-bestand (waarin de volledige 120 ms van alle geofoons en drukdoos zijn geregistreerd) bewerkt waarbij de resultaten/ruis na 80 ms zijn weggelaten. Dit is per meetpunt gedaan voor de laatste klap uit de serie van vier klappen.

Bij het terugrekenen van laagstijfheden is de laagdikte een belangrijke parameter die een grote invloed uitoefent op het resultaat van de terugrekening. Bij de berekeningen van de laagstijfheden zijn de steen en de laag steenslag waarop de stenen gevleid zijn samengenomen voor een betere en realistischere terugrekening. In de wegenbouw worden straatstenen en straatlaag ook altijd samengenomen om dezelfde redenen. In tabel 3-1 zijn de laagdiktes per dijkvak weergegeven waarmee de terugrekening heeft plaatsgevonden.

Tabel 3-1: Laagdiktes bekledingen t.b.v. terugrekenen laagstijfheden.

	Steenklemming	fundering	Ondergrond
Oud-Noord Bevelandpolder	500 mm Hydroblocks, incl. steenslag 16/32 op geotextiel	600 mm klei	Dijklichaam
Vliete- en Thoornpolder	550 mm Basalton, incl. steenslag 16/32 op geotextiel	1000 mm klei	Dijklichaam
Bruinissepolder	550 mm Hydroblocks, incl. steenslag 16/32 op geotextiel	1000 mm fosforslakken	Dijklichaam
Oesterdam	600 mm gek. Haringman, incl. steenslag 4/20 op geotextiel	800 mm klei	Dijklichaam

Voor het terugrekenen van laagstijfheden is het zaak alleen de deflectiedata van goedgeplaatste geofoons te gebruiken. Hiertoe is het history-bestand gebruikt om te controleren welke geofoons goede data hebben geregistreerd en welke geofoons niet stabiel genoeg waren voor bruikbare data. Het aantal bruikbare geofoons varieert tussen de 5 en 8 (de negende geofoon staat achter het lastcentrum en is daarom bij het terugrekenproces niet bruikbaar). Met minder dan 5 geofoons is terugrekening van laagstijfheden niet meer goed mogelijk. Meetpunten waarvan minder dan 5 geofoons goedgeplaatst waren, zijn daarom ook niet verder uitgerekend.

In tabel 3-3 t/m tabel 3-6 zijn de stijfheden van de vier meetlocaties weergegeven. Hierin is het meetpunt weergegeven, de metrering van het meetpunt, een kleurcodering waaruit te herleiden is hoeveel geofoons gebruikt zijn bij de terugrekening, de laagstijfheden steenbekleding, fundering en ondergrond en de bijbehorende fit van de terugrekening. Op basis van deze fit hebben de laagstijfheden ook een kleurcodering gekregen. De betekenis van de kleurcoderingen zijn weergegeven in tabel 3-2.

Datum	20 januari 2012
Kenmerk	6511618
Pagina	6 van 12

Tabel 3-2: betekenis kleurcodering

	8 geofoons		Fit < 10%
	7 geofoons		Fit 11% - 25%
	6 geofoons		Fit > 25%
	5 geofoons		Afgekeurd
	< 5 geofoons, niet berekend		

Een terugrekenresultaat is als afgekeurd aangemerkt wanneer één van de volgende situaties zich voordoet:

- De maximale waarde voor de bekleding wordt bereikt (20.000MPa);
- De minimale waarde voor de fundering wordt bereikt (10 MPa);
- De maximale waarde voor de ondergrond wordt bereikt (2000 MPa);
- De fit groter dan 100% is.

De resultaten van alle vakken zijn in tabel 3-7 samengevat.

In bijlage 1 zijn de deflectiemetingen per meetlocatie opgenomen.

Datum 20 januari 2012
Kenmerk 6511618
Pagina 7 van 12

Tabel 3-3: Meetlocatie 1: Hydro-block Oud Noord Bevelandpolder

Punt	Afstand [km]	Stijfheid [Mpa]			Fit [%]
		Steenklemming	Fundering	Ondergrond	
1	0.000	321	619	232	15.85
2	0.001	5212	10	2000	74.22
3	0.006				
4	0.010	16556	10	2000	26.91
5	0.012				
6	0.016				
7	0.016	11566	10	2000	22.16
8	0.018				
9	0.023	1656	10	673	264.06
10	0.024	1653	10	590	268.66
11	0.027	4265	20	2000	39.85
12	0.030	403	125	160	170.92
13	0.029	1986	22	2000	76.53
14	0.031	401	146	158	198.87
15	0.033				
16	0.034				
17	0.035	14296	10	2000	28.75
18	0.037	404	184	148	185.22
19	0.039	7650	60	477	11.73
20	0.041	3385	10	739	240.19
21	0.044	6076	61	579	5.98
22	0.045				
23	0.046				
24	0.048	6576	129	352	12.75
25	0.049				
26	0.051	8929	25	2000	14.12
27	0.054				
28	0.055	9006	105	698	7.4
29	0.056				
30	0.059				
31	0.060				
32	0.063	9371	57	2000	11.50
33	0.065				
34	0.067				
35	0.068	7263	127	524	5.29
36	0.071				
37	0.073	8806	296	630	14.61
38	0.074	20000	10	2000	67.71
39	0.075	19443	10	2000	145.43
40	0.078	11360	43	2000	19.42
41	0.079				
42	0.076	9437	53	1101	21.38
43	0.077	10650	10	209	195.85
44	0.080	10137	56	1548	14.37
45	0.081	405	229	160	286.02
46	0.082	20000	10	2000	84.14
47	0.084	11196	29	1354	6.21
48	0.087	20000	10	2000	30.63
49	0.089	9955	44	808	13.66
50	0.090	20000	10	2000	100.02

Datum 20 januari 2012
Kenmerk 6511618
Pagina 8 van 12

Tabel 3-4: Meetlocatie 2: Basalton, Vliete- en Thoornpolder

Punt	Afstand [km]	Stijfheid [Mpa]			Fit [%]
		Steenklemming	Fundering	Ondergrond	
1	0.000	895	33	2000	6.91
2	0.001	899	125	77	5.64
3	0.003	873	137	84	5.91
4	0.005				
5	0.006	440	122	72	1.81
6	0.009	258	118	105	5.32
7	0.012	240	137	96	15.65
8	0.013	582	169	85	9.91
9	0.016	1316	10	2000	37.90
10	0.018	491	48	100	19.31
11	0.021	428	126	79	8.91
12	0.023	439	140	99	4.39
13	0.026	499	18	2000	30.30
14	0.028				
15	0.030	94	383	55	7.49
16	0.031	836	40	2000	10.14
17	0.033				
18	0.035	205	142	71	7.14
19	0.038	214	87	85	9.18
20	0.040	224	113	72	3.41
21	0.043	69	138	79	13.76
22	0.047	227	120	95	8.67
23	0.049	270	95	113	12.93
24	0.052	130	315	59	8.45
25	0.053	715	16	676	15.18
26	0.055	713	24	2000	7.64
27	0.057	508	64	133	12.49
28	0.060	673	45	132	12.74
29	0.062	266	121	91	4.53
30	0.066				
31	0.069	205	169	68	1.77
32	0.072	384	54	104	15.56
33	0.074	327	46	141	13.96
34	0.077	172	135	89	15.05
35	0.078	252	120	80	9.23
36	0.080	1749	10	2000	56.64
37	0.083	266	222	112	5.43
38	0.085	315	77	178	13
39	0.086	206	213	82	8.49
40	0.089	313	75	172	10.13
41	0.090	225	134	116	12.15
42	0.091	427	84	129	4.62
43	0.093				
44	0.094	430	152	120	7.51
45	0.097				
46	0.099	1039	30	2000	10.97
47	0.101	445	167	128	8.68
48	0.104	225	406	82	9.05
49	0.106	264	54	142	9.64
50	0.108	486	224	105	4.21

Datum 20 januari 2012
Kenmerk 6511618
Pagina 9 van 12

Tabel 3-5: Meetlocatie 3: Hydro-block, Bruinissepolder

Punt	Afstand [km]	Stijfheid [Mpa]			Fit [%]
		Steenklemming	Fundering	Ondergrond	
1	0.000	193	41	127	7.13
2	0.002	517	53	121	6.44
3	0.006				
4	0.007	119	754	60	12.49
5	0.010	140	192	71	5.55
6	0.012	269	106	83	3.25
7	0.015	181	175	72	5.88
8	0.017	169	546	55	11.67
9	0.021	239	84	115	2.35
10	0.022	421	59	102	8.07
11	0.026	213	238	85	6.94
12	0.028	506	56	157	10.73
13	0.031	289	309	61	2.01
14	0.033	426	63	118	7.92
15	0.037	302	26	336	15.47
16	0.038	237	188	68	2.91
17	0.043	350	60	108	13.35
18	0.044	711	31	205	12.16
19	0.047	145	481	50	14.89
20	0.049	431	47	128	15.53
21	0.053				
22	0.054				
23	0.058	324	43	120	11.12
24	0.060	260	105	84	2.46
25	0.063	581	17	2000	27.01
26	0.065	637	19	2000	13.43
27	0.068	398	30	174	17.96
28	0.070	203	95	82	1.97
29	0.073	292	64	130	9.26
30	0.075	266	292	85	3.63
31	0.078	441	93	107	9.94
32	0.080	598	76	110	8.38
33	0.083	582	128	104	4.14
34	0.085	192	103	118	3.56
35	0.089	409	69	132	14.35
36	0.091	228	292	73	3.74
37	0.095	520	82	140	18.67
38	0.097	206	307	87	6.8
39	0.100	448	68	208	15.32
40	0.101	276	193	82	2.77
41	0.104	325	135	91	6.39
42	0.106	183	314	91	7.67
43	0.110	460	149	92	1.63
44	0.111	306	157	97	3.48
45	0.115	395	24	2000	15.61
46	0.116	221	154	76	3.4
47	0.119	218	73	154	1.73
48	0.120	262	145	75	3.78
49	0.124	359	51	183	3.01
50	0.125	264	39	227	11.52

Breijn B.V., Wegbouwkunde
Valgewichtdeflectiemeting

Datum 20 januari 2012
Kenmerk 6511618
Pagina 10 van 12

Tabel 3-6: Meetlocatie 4: Gekantelde Haringmanblokken, Oesterdam

Punt	Afstand [km]	Stijfheid [Mpa]			Fit [%]
		Steenklemming	Fundering	Ondergrond	
1	0.000	134	10	319	20.78
2	0.003	121	10	424	19.06
3	0.005	143	10	69	82.74
4	0.007	114	10	81	21.00
5	0.009	107	37	83	18.79
6	0.010	537	10	148	46.22
7	0.011	65	62	75	13.87
8	0.013	104	49	69	7.24
9	0.016	80	13	426	28.53
10	0.018	66	66	51	6.05
11	0.021	134	17	255	14.51
12	0.023	249	10	62	40.38
13	0.025	152	10	770	19.07
14	0.028	51	613	44	10.12
15	0.029	105	10	2000	29.18
16	0.033	314	10	88	57.30
17	0.034	179	10	187	19.21
18	0.035	120	22	161	6.22
19	0.037	139	10	132	34.54
20	0.040	60	44	110	5.66
21	0.043	71	57	60	4.16
22	0.044	131	10	160	25.32
23	0.046	88	16	124	18.33
24	0.049	108	10	2000	8.72
25	0.052	95	18	2000	7.44
26	0.054	181	10	511	16.24
27	0.055	145	11	229	21.12
28	0.058	117	10	179	47.12
29	0.060	207	10	25	168.51
30	0.062	143	10	21	181.72
31	0.063	63	40	49	3.26
32	0.065	159	10	35	82.19
33	0.067	170	10	55	63.15
34	0.069	89	11	1027	10.33
35	0.071	82	25	111	5.68
36	0.073	242	10	48	93.84
37	0.075	53	98	60	34.51
38	0.077	119	20	163	2.30
39	0.079	114	46	57	8.26
40	0.080	160	17	115	13.73
41	0.081	163	52	66	2.63
42	0.084	78	50	112	13.60
43	0.086	102	21	172	2.46
44	0.088	151	13	315	19.01
45	0.089	79	29	113	3.94
46	0.092	96	18	173	18.15
47	0.095	75	20	105	10.03
48	0.096	135	10	133	28.32
49	0.098	106	26	119	12.46
50	0.100	116	10	155	26.42

Datum 20 januari 2012
Kenmerk 6511618
Pagina 11 van 12

Tabel 3-7: Samenvatting

	Oud Noord Beveland Hydro-block		Vliete- en Thoorn Basalton	
	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking
Steenklemming	8385	2227	354	206
Fundering	81	44	168	88
Ondergrond	789	384	91	23
	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking
Steenklemming	7555	3436	362	189
Fundering	180	213	82	42
Ondergrond	735	461	164	157

	Bruinisse Hydro-block		Oesterdam gek. Haringman	
	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking
Steenklemming	300	122	95	31
Fundering	148	86	39	16
Ondergrond	98	27	99	47
	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking	Gemiddelde [MPa]	Standaard afwijking
Steenklemming	364	162	105	36
Fundering	167	239	75	170
Ondergrond	150	78	146	81

4 Opmerkingen

Na analyse van de deflectiemetingen en de terugrekening van laagstijfheden worden de volgende opmerkingen geplaatst.

- De taludhelling bij de Oud Noord Bevelandpolder was zodanig steil dat positionering van de valgewichtdeflectiemeter erg moeizaam was. Dit heeft dan ook geresulteerd in een grote spreiding in de meetpunten en een groot aantal afgekeurde meetpunten;
- Het is erg moeilijk gebleken om alle geofoons goed contact te laten maken met de steenzetting. Deze is hiervoor toch te onregelmatig;
- De deflecties op het meetvak op de Oud Noord Bevelandpolder waren erg laag. Dit vermoeilijkt het terugrekenen waardoor onrealistische waardes gevonden worden.
- De laagdiktes die bij het terugrekenen gebruikt zijn, zijn ontwerpdiktes. Werkelijke diktes zijn nodig voor een optimaal resultaat;

Legenda voor Bijlage 1

- Geofoon 9, aan andere zijde van voetplaat.
- Veel geofoonregistraties afgekeurd waardoor terugrekenen deflectieprofiel onmogelijk
- Individuele registratie die niet past binnen deflectieprofiel: achterwege gelaten

Bijlage 1 Resultaten deflectiemetingen per meetlocatie

Project	:	VGD en trekproeven dijken 2011
Opdrachtgever	:	Deltares
Locatie	:	Oud Noord Bevelandpolder, Hydro-blocks
Datum	:	20/09/11
Lengte	:	90 m

breijn

Afstand in kilometers	Deflecties in µm bij geofoon: (afstand in mm t.o.v. lastcentrum)									Spanning [kPa]	Kracht [kN]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	0	280	600	900	1200	1500	1800	2100	-280		
0.000	423	51	34	23	12	117	208	210	55	1044	18.5
0.001	69	46	30	22	14	183	8	12	45	993	17.6
0.006	49	40	32	23	152	13	11	13	36	981	17.3
0.010	43	37	25	22	172	44	41	9	31	995	17.6
0.012	38	31	22	17	65	21	25	18	29	993	17.6
0.016	468	424	285	41	21	200	26	25	44	982	17.4
0.016	52	40	34	26	19	15	230	186	39	957	16.9
0.018	440	67	263	256	21	18	5	11	349	1043	18.4
0.023	59	47	26	19	11	9	33	6	39	997	17.6
0.024	62	48	31	25	15	5	5	10	58	960	17.0
0.027	57	43	29	20	14	65	10	7	41	978	17.3
0.029	56	39	28	20	311	10	9	32	42	1004	17.7
0.030	59	47	26	19	14	75	38	89	44	951	16.8
0.031	58	43	28	125	13	9	5	7	45	983	17.4
0.033	42	32	23	246	7	11	0	3	43	989	17.5
0.034	45	41	21	18	36	25	11	26	30	969	17.1
0.035	45	41	27	24	17	14	10	10	35	996	17.6
0.037	47	40	23	18	14	13	27	17	34	970	17.1
0.039	42	31	233	17	13	171	11	10	34	1004	17.7
0.041	40	34	19	15	15	167	6	10	30	1016	18.0
0.044	47	30	21	18	14	13	27	1	31	984	17.4
0.045	324	28	15	26	57	30	106	33	27	1020	18.0
0.046	36	31	16	24	40	50	46	35	25	1018	18.0
0.048	43	31	19	14	140	12	14	10	25	991	17.5
0.049	402	325	47	17	258	14	15	12	29	1044	18.5
0.051	41	35	19	112	84	13	17	10	27	999	17.7
0.054	41	34	15	13	9	10	63	64	26	1055	18.7
0.055	32	21	14	12	50	9	3	24	24	989	17.5
0.056	36	19	14	14	9	15	3	7	20	1030	18.2
0.059	28	16	143	8	6	6	39	33	15	991	17.5
0.060	28	26	12	14	21	4	12	10	16	976	17.3
0.063	32	23	14	137	6	7	13	5	22	1004	17.8
0.065	34	40	27	8	355	50	44	95	19	1006	17.8
0.067	32	29	16	13	151	11	339	91	22	1012	17.9
0.068	40	24	18	289	11	10	13	7	26	1054	18.6
0.071	153	30	8	9	10	8	18	20	187	1027	18.2
0.073	29	15	13	9	179	7	7	3	20	1005	17.8
0.074	33	28	18	14	10	9	32	18	22	1007	17.8
0.075	32	30	16	12	8	8	75	3	23	1036	18.3
0.078	31	28	14	53	10	9	56	8	21	1051	18.6
0.079	70	45	339	444	328	397	14	10	21	931	16.5
0.076	33	29	16	10	28	9	11	8	22	999	17.7
0.077	31	22	15	12	13	10	9	7	20	1019	18.0
0.080	32	26	13	12	111	9	8	8	21	1049	18.5
0.081	35	29	16	14	10	9	10	69	22	1022	18.1
0.082	33	26	15	11	9	9	109	16	21	1038	18.4
0.084	37	29	20	159	12	13	12	9	25	1045	18.5
0.087	36	32	21	16	7	14	11	12	26	1027	18.2
0.089	35	30	17	15	92	11	18	9	22	1006	17.8
0.090	29	21	14	311	9	6	20	15	18	948	16.8

Geofoon	:	0	280	600	900	1200	1500	1800	2100	-280	Spanning	Kracht
Gemiddelde	:	81	47	44	56	60	39	38	27	39	1004	17.7
Std.afw.	:	114	69	74	94	89	71	63	42	51		
Var.coeff.(%)	:	141	146	167	167	149	181	167	153	131		
85 percentiel	:	66	45	33	120	147	60	52	34	43		

Project	:	VGD en trekproeven dijken 2011
Opdrachtgever	:	Deltares
Locatie	:	Vliete- en Thoornpolder, basalton
Datum	:	21/09/11
Lengte	:	108 m

Afstand in kilometers	Deflecties in µm bij geofoon: (afstand in mm t.o.v. lastcentrum) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Spanning [kPa]	Kracht [kN]
	0	300	400	900	1200	1500	1800	2100	-300		
0.000	203	91	60	42	30	76	47	88	89	925	16.4
0.001	207	92	67	54	43	37	36	30	93	948	16.8
0.003	212	88	65	50	45	34	33	377	82	977	17.3
0.005	212	95	67	97	42	21	65	32	93	984	17.4
0.006	347	99	423	61	308	40	33	30	111	926	16.4
0.009	508	110	73	47	36	53	198	113	112	907	16.0
0.012	545	110	73	508	46	519	19	28	120	920	16.3
0.013	269	93	58	214	36	320	33	26	112	944	16.7
0.016	204	124	82	59	39	230	28	33	102	951	16.8
0.018	322	148	79	62	39	28	38	32	145	872	15.4
0.021	328	299	80	55	39	34	244	31	127	873	15.4
0.023	323	83	69	48	36	362	392	19	139	908	16.0
0.026	318	144	82	55	34	51	117	32	131	916	16.2
0.028	168	161	71	115	36	26	24	21	96	1007	17.8
0.030	1021	109	71	54	6	34	32	53	118	761	13.4
0.031	220	87	61	44	23	167	216	29	95	989	17.5
0.033	152	296	66	38	24	114	20	42	85	922	16.3
0.035	652	131	84	64	49	106	32	30	104	942	16.7
0.038	610	143	85	65	41	34	31	150	122	894	15.8
0.040	585	125	95	57	49	69	458	109	162	901	15.9
0.043	1391	158	74	54	30	29	32	41	641	756	13.4
0.047	561	113	77	56	32	38	26	109	152	894	15.8
0.049	496	110	80	60	26	27	24	26	109	905	16.0
0.052	839	109	74	52	49	43	31	28	98	836	14.8
0.053	278	137	184	142	42	74	28	27	124	907	16.0
0.055	253	118	75	53	38	27	125	26	121	911	16.1
0.057	310	118	68	51	33	30	77	23	98	915	16.2
0.060	265	116	84	350	38	32	281	28	121	925	16.3
0.062	495	110	77	52	38	31	302	24	159	901	15.9
0.066	719	135	69	52	164	108	40	28	132	843	14.9
0.069	588	105	664	52	581	36	34	30	133	860	15.2
0.072	398	145	88	53	91	34	35	622	141	905	16.0
0.074	433	151	76	501	38	30	25	34	129	865	15.3
0.077	687	129	65	50	32	343	402	28	133	866	15.3
0.078	526	126	75	52	45	149	34	24	124	905	16.0
0.080	166	102	70	45	31	56	22	22	109	966	17.1
0.083	501	91	57	40	31	26	31	108	102	965	17.1
0.085	431	114	62	47	27	329	78	94	106	898	15.9
0.086	593	105	64	167	36	142	136	28	99	894	15.8
0.089	457	117	72	50	29	29	31	390	120	942	16.7
0.090	536	102	62	46	423	21	193	42	129	866	15.3
0.091	354	98	300	44	342	328	22	20	90	939	16.6
0.093	205	115	57	39	77	92	66	42	87	952	16.8
0.094	336	89	58	38	349	26	27	21	106	952	16.8
0.097	371	84	227	71	78	26	1	1	93	983	17.4
0.099	156	81	363	41	33	20	75	34	88	989	17.5
0.101	315	76	55	40	30	34	70	14	93	929	16.4
0.104	570	92	55	37	133	33	40	30	115	964	17.0
0.106	559	158	92	56	43	32	95	62	176	956	16.9
0.108	290	526	59	438	32	24	205	22	106	927	16.4

Geofoon	:	0	300	400	900	1200	1500	1800	2100	-300	Spanning	Kracht
Gemiddelde	:	430	129	106	92	79	92	94	67	126	916	16.2
Std.afw.	:	235	71	110	113	115	114	110	109	77		
Var.coeff.(%)	:	55	55	104	122	145	123	118	164	62		
85 percentiel	:	591	147	90	109	86	161	202	103	137		

Project : VGD en trekproeven dijken 2011
Opdrachtgever : Deltares
Locatie : Bruinissepolder, Hydro-blocks
Datum : 20/09/11
Lengte : 125 m

breijn

Afstand in kilometers	Deflecties in µm bij geofoon: (afstand in mm t.o.v. lastcentrum) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Spanning [kPa]	Kracht [kN]
	0	280	600	900	1200	1500	1800	2100	-280		
0.000	671	168	92	60	42	48	28	21	132	853	15.1
0.002	303	107	77	54	36	32	15	24	140	877	15.5
0.006	794	124	69	48	214	90	37	71	90	839	14.8
0.007	889	87	63	45	36	29	38	15	97	835	14.8
0.010	803	112	70	50	40	31	74	4	101	848	15.0
0.012	452	102	70	493	37	33	26	160	169	817	14.4
0.015	634	104	68	49	39	37	31	22	100	839	14.8
0.017	677	87	66	53	46	31	33	123	99	870	15.4
0.021	520	112	68	46	36	44	20	36	114	851	15.0
0.022	344	117	75	45	43	37	29	320	107	851	15.0
0.026	588	91	64	43	38	27	167	99	126	922	16.3
0.028	303	107	68	40	34	26	44	23	107	890	15.7
0.031	438	87	62	50	42	39	74	93	101	889	15.7
0.033	354	115	70	53	36	45	30	10	96	897	15.9
0.037	468	164	81	50	49	33	33	200	77	853	15.1
0.038	522	100	70	49	42	38	603	29	116	871	15.4
0.043	390	126	69	44	40	57	56	29	113	836	14.8
0.044	251	118	77	51	37	33	103	25	125	887	15.7
0.047	796	98	76	61	661	34	697	478	96	881	15.6
0.049	359	135	73	51	39	405	448	30	134	894	15.8
0.053	706	106	659	70	482	24	43	88	120	910	16.1
0.054	707	81	63	38	49	26	30	30	100	835	14.8
0.058	461	152	80	104	42	35	164	27	105	899	15.9
0.060	481	111	67	50	49	45	394	25	112	840	14.9
0.063	283	142	78	51	34	25	20	24	98	875	15.5
0.065	281	134	77	160	37	31	28	47	149	885	15.6
0.068	388	156	77	200	38	32	89	28	110	864	15.3
0.070	602	126	71	56	42	190	193	192	100	849	15.0
0.073	510	131	85	46	283	29	23	24	125	962	17.0
0.075	487	83	56	44	36	29	33	25	111	940	16.6
0.078	333	105	58	42	159	34	27	160	102	904	16.0
0.080	269	102	60	46	82	34	40	23	95	905	16.0
0.083	276	88	59	43	212	30	26	25	73	963	17.0
0.085	677	122	503	46	426	29	20	20	82	932	16.5
0.089	378	125	58	45	101	34	27	261	84	950	16.8
0.091	560	92	62	48	38	35	40	295	87	933	16.5
0.095	295	107	70	148	142	31	22	24	85	922	16.3
0.097	584	84	53	45	33	27	24	38	91	898	15.9
0.100	336	104	55	33	67	29	116	21	78	934	16.5
0.101	469	92	62	157	87	33	168	24	87	906	16.0
0.104	425	106	55	152	38	35	43	25	82	922	16.3
0.106	662	89	53	41	61	31	21	15	80	921	16.3
0.110	327	90	61	46	241	251	28	25	87	950	16.8
0.111	417	88	58	42	31	30	153	43	121	877	15.5
0.115	405	156	78	47	40	35	160	49	132	912	16.1
0.116	569	111	64	53	41	38	29	32	96	888	15.7
0.119	585	121	66	44	32	35	180	110	92	881	15.6
0.120	503	111	67	52	41	38	42	31	92	905	16.0
0.124	411	117	75	48	38	126	77	54	134	912	16.1
0.125	530	154	68	55	45	53	12	185	97	890	15.7

Geofoon :	0	280	600	900	1200	1500	1800	2100	-280	Spanning	Kracht
Gemiddelde :	489	113	89	70	93	52	97	76	105	889	15.7
Std.afw. :	162	23	103	71	127	65	144	96	20		
Var.coeff.(%) :	33	20	116	102	136	125	148	127	19		
85 percentiel :	675	135	77	67	153	47	166	160	126		

Project	:	VGD en trekproeven dijken 2011
Opdrachtgever	:	Deltares
Locatie	:	Oesterdam, gekantelde Haringman
Datum	:	21/09/11
Lengte	:	100 m

Afstand in kilometers	Deflecties in µm bij geofoon: (afstand in mm t.o.v. lastcentrum)									Spanning [kPa]	Kracht [kN]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	0	300	400	900	1200	1500	1800	2100	-300		
0.000	975	283	251	98	52	42	33	28	315	810	14.3
0.003	1023	272	249	113	46	36	39	22	151	781	13.8
0.005	914	442	340	70	47	31	25	19	369	789	14.0
0.007	1083	354	290	106	60	33	46	36	234	765	13.5
0.009	1072	171	170	100	40	27	155	134	217	813	14.4
0.010	346	259	215	84	50	36	31	27	206	929	16.4
0.011	1333	152	132	63	40	26	18	17	122	669	11.8
0.013	1027	166	147	76	48	29	32	21	183	772	13.6
0.016	1307	258	235	68	32	28	20	15	132	720	12.7
0.018	1443	182	161	72	50	81	57	37	250	719	12.7
0.021	925	235	164	63	48	44	175	14	219	819	14.5
0.023	676	347	293	112	57	85	58	58	227	893	15.8
0.025	849	271	222	92	43	54	35	31	377	793	14.0
0.028	1599	126	102	62	44	35	34	41	126	663	11.7
0.029	1116	307	245	51	43	34	196	34	324	765	13.5
0.033	532	339	262	78	48	42	39	59	236	891	15.7
0.034	783	283	247	105	56	42	30	24	247	825	14.6
0.035	983	193	176	74	40	32	19	70	371	802	14.2
0.037	981	352	283	83	79	30	29	21	246	830	14.7
0.040	1585	210	125	55	32	24	101	144	171	722	12.8
0.043	1344	182	146	72	49	38	39	25	168	712	12.6
0.044	1007	328	271	85	57	37	38	31	231	817	14.4
0.046	1245	277	203	64	53	38	30	27	146	751	13.3
0.049	1065	268	221	78	55	89	24	23	309	740	13.1
0.052	1262	232	185	55	38	88	189	30	168	848	15.0
0.054	793	277	225	87	59	132	16	14	211	856	15.1
0.055	864	260	209	76	52	46	37	25	416	773	13.7
0.058	981	292	297	138	27	32	20	22	499	720	12.7
0.060	700	660	385	125	59	26	22	25	291	788	13.9
0.062	927	661	552	76	50	39	22	23	368	759	13.4
0.063	1376	204	167	74	54	44	40	139	139	637	11.3
0.065	852	448	394	129	67	36	33	25	318	767	13.6
0.067	796	374	318	120	48	35	27	32	322	774	13.7
0.069	1153	246	221	71	54	31	45	37	261	689	12.2
0.071	1187	187	180	62	42	29	36	33	264	697	12.3
0.073	636	599	212	80	49	34	34	30	158	846	15.0
0.075	1544	146	128	65	39	37	10	18	156	654	11.6
0.077	911	189	164	75	43	28	149	135	304	737	13.0
0.079	945	169	164	69	56	91	44	29	231	751	13.3
0.080	781	205	190	80	48	44	34	29	221	788	13.9
0.081	696	149	126	68	52	68	32	31	188	767	13.6
0.084	1164	145	125	54	27	152	12	17	246	684	12.1
0.086	1035	205	161	67	45	25	25	42	360	727	12.9
0.088	815	224	187	72	44	49	38	22	172	774	13.7
0.089	1183	180	158	60	39	23	203	96	144	684	12.1
0.092	1086	205	198	55	39	31	27	28	221	718	12.7
0.095	1266	230	186	62	50	30	30	23	156	671	11.9
0.096	922	315	289	82	46	40	31	21	270	766	13.5
0.098	988	185	162	52	41	28	28	26	251	727	12.9
0.100	1021	279	267	129	37	116	254	41	168	740	13.1

Geofoon	:	0	300	400	900	1200	1500	1800	2100	-300	Spanning	Kracht
Gemiddelde	:	1022	270	220	80	48	47	55	39	242	763	13.5
Std.afw.	:	262	120	82	22	10	28	58	33	85		
Var.coeff.(%)	:	26	44	37	27	20	61	105	84	35		
85 percentiel	:	1293	351	290	105	56	77	86	53	323		

B.2 Tabellen met gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locaties onderzocht met het valgewicht.

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-280	0	280	520
gem. deflectie [μm]	271	671	258	113
deflectie/D_1 [-]	0,40	1,00	0,38	0,18

Tabel B.1 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Oesterdam, koperslakblokken

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3	$D_{2fictief}$
positie [mm]	-500	0	440	600	500
gem. deflectie [μm]	77	290	95	70	85
deflectie/D_1 [-]	0,27	1,00	0,33	0,24	0,29

Tabel B.2 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Oesterdam Haringman plat geplaatst

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-280	0	280	520
gem. deflectie [μm]	226	1162	198	131
deflectie/D_1 [-]	0,19	1,00	0,17	0,11

Tabel B.3 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Poortvliet, Hydro-blocks

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3	$D_{2fictief}$
positie [mm]	-500	0	440	600	500
gem. deflectie [μm]	150	883	178	126	159
deflectie/D_1 [-]	0,17	1,00	0,20	0,14	0,18

Tabel B.4 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Scherpenisse, Haringman plat geplaatst

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3	$D_{2fictief}$
positie [mm]	-500	0	440	600	500
gem. deflectie [μm]	92	517	102	74	91
deflectie/D_1 [-]	0,18	1,00	0,20	0,14	0,18

Tabel B.5 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Grevelingendam, platte betonblokken op hun kant

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-280	0	280	600
gem. deflectie [μm]	29	57	33	21
deflectie/D_1 [-]	0,52	1,00	0,58	0,37

Tabel B.6 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Oud N.Bevelandpolder, Hydro-blocks

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-300	0	300	400
gem. deflectie [μm]	119	468	114	72
deflectie/D_1 [-]	0,25	1,00	0,24	0,15

Tabel B.7 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Vlietepolder, Basalton

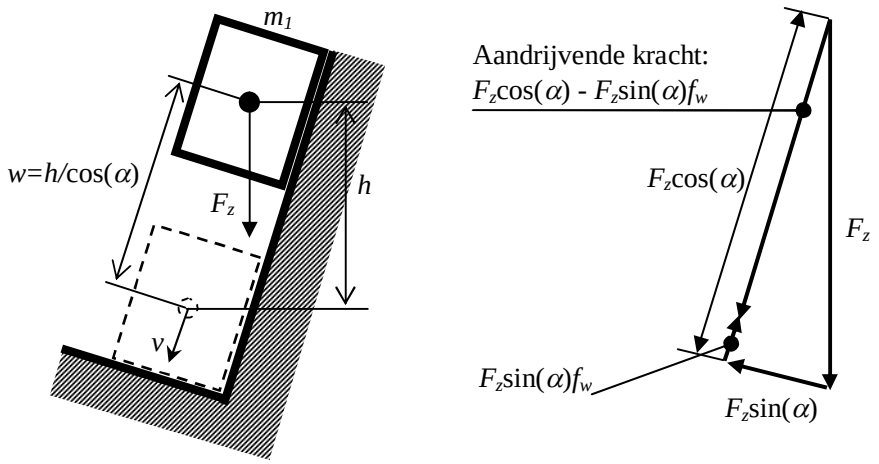
Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3
positie [mm]	-280	0	280	600
gem. deflectie [μm]	105	489	113	68
deflectie/D_1 [-]	0,21	1,00	0,23	0,14

Tabel B.8 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Bruinisse, Hydro-blocks

Opnemernummer	D_9	D_1	D_2	D_3	$D_{2fictief}$
positie [mm]	-300	0	300	400	500
gem. deflectie [μm]	238	1026	256	217	178
deflectie/D_1 [-]	0,23	1,00	0,25	0,21	0,17

Tabel B.9 gemiddelde gemeten verplaatsingen voor de locatie Oesterdam Noord: Haringmanblokken op hun kant

C Invloed van de taludhelling en wrijving op de impuls van het valgewicht



Figuur C.1 Elementaire schematisatie van het vallende gewicht en geleider, en de bijbehorende krachtendriehoek tijdens het vallen

Op het valgewicht werkt, als het valt, de zwaartekracht F_z en loodrecht op de geleider waarlangs het gewicht valt een reactiekracht van de geleider. Als het valgewicht niet wrijvingsloos langs de geleider schuift, zal er nog een wrijvingskracht $F_z\sin(\alpha)f_w$ inwerken op het valgewicht. Per saldo, zie Figuur C.1, resteert een voor het vallen aandrijvende kracht gelijk aan $F_z\cos(\alpha) - F_z\sin(\alpha)f_w$. Als we deze kracht delen door de zwaartekracht, dan levert dat de relatieve versnelling van het valgewicht op een talud. In de onderstaande tabel zijn numerieke waarden van deze relatieve versnelling gegeven voor een aantal taludhellingen en wrijvingscoëfficiënten. Daarnaast is de relatieve snelheid gegeven: de snelheid bij het treffen van het aambeeld bij een meting op het talud gedeeld door die snelheid bij een meting op een horizontale verharding.
Volgens de elementaire mechanica is de snelheid waarmee een massa beneden aankomt:

$$v = \sqrt{2aw} = \sqrt{\frac{2ah}{\cos(\alpha)}}$$

Waarin a de versnelling is, w de afgelegde weg en h de hoogte waarover de massa valt.

Wrijvingscoëfficiënt f_w: Taludhelling:	0	0,2	0,5
1:3	0,95 /1,00	0,89 /0,97	0,79 / 0,91
1:4	0,97 / 1,00	0,92 / 0,97	0,85 / 0,94
1:5	0,98 / 1,00	0,94 / 0,98	0,88 / 0,95
1:6	0,97 /1,00	0,95 / 0,98	0,90 / 0,96

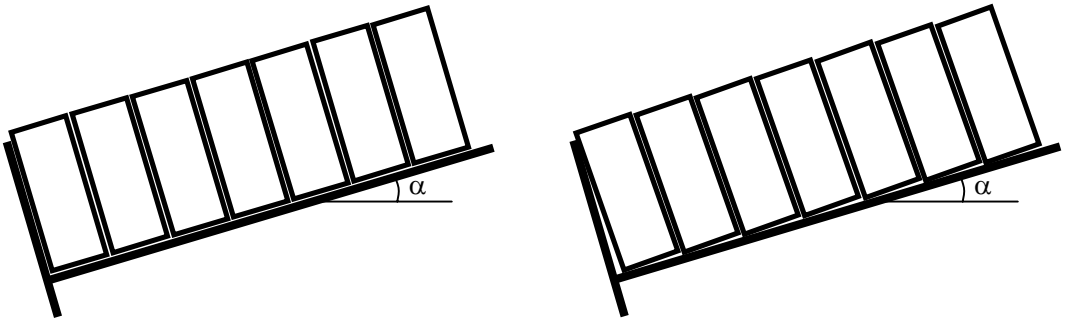
Tabel C.1 Waarden (a) de relatieve versnelling tijdens het vallen / (v) de aankomstsnelheid (v); de referentie wordt gevormd door de waarde bij een verticale vrije val

Het blijkt dat zelfs bij een hoge wrijvingscoëfficiënt (f_w = 0,5) en een relatief steil talud (1 : 3) de snelheid en dus ook de impuls minder dan 10% afwijkt. Voor een realistischer inschatting van de wrijvingscoëfficiënt (f_w = 0,2) blijft de afwijking beperkt tot 3%.

D Klemming bij losliggende blokken op hun kant

Bij trekproeven wordt door aan individuele elementen van de zetting te trekken, nagegaan in hoeverre er sprake is van klemming in de zetting. Soms wordt verondersteld dat deze klemming wordt veroorzaakt door een normaalkracht in het vlak van de zetting. Die voorspankracht kan zich opbouwen door thermische krimp en uitzetting waardoor inwasmateriaal of inzanding zich vaster in de toplaag werkt. Ook kan oplichten van elementen door golfbelasting de zetting langs het talud naar beneden laten schuiven, zodat de steun die de bekleding van de teenconstructie krijgt, leidt tot voorspanning van de zetting.

Afhankelijk van de elementhoogte en taludhelling zal er echter al direct vanaf de aanleg een zekere mate van interactie tussen de elementen optreden. Het “kammen” van de zetting, zie Figuur D.1, is een aanwijzing dat dit verschijnsel zich bij die zetting voordoet. Aangezien kammen het duidelijkst wordt waargenomen bij op hun kant geplaatste betonblokken (vlak of Haringman) is in onderstaande uitwerking uitgegaan van dergelijke betonblokken, maar het geldt mogelijk ook voor zettingen met relatief hoge zuilen.

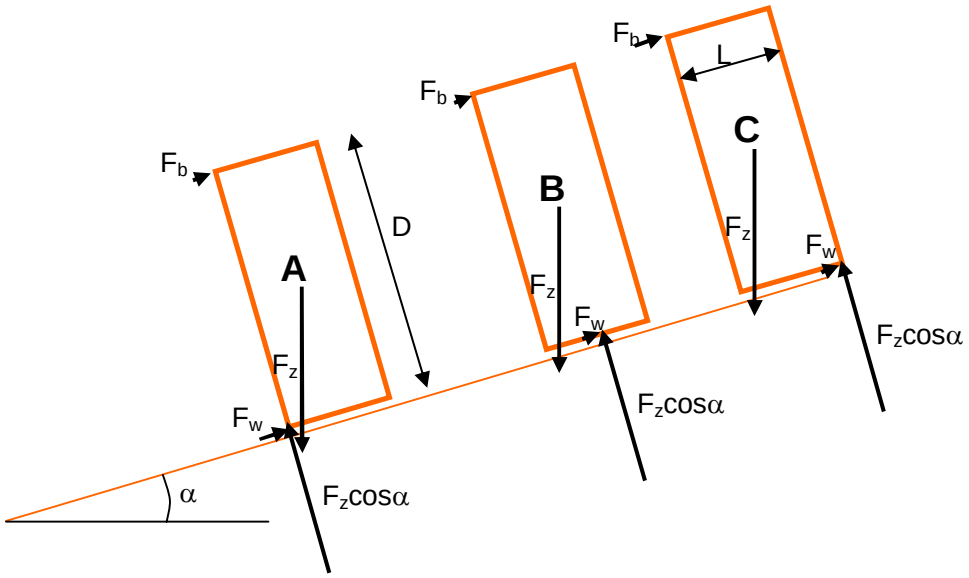


Figuur D.1 links: zetting waarbij hoogte-breedte-verhouding van de elementen en taludhelling gemakkelijk tot kammen van de zetting kan leiden; rechts: zetting die iets kamt

De rechthoekige blokken op een talud leunen mogelijk tegen elkaar, waarbij het onderste element tegen de overgangsconstructie leunt.
In principe kunnen de contactpunten met elkaar en met de ondergrond overal op het betreffende zijvlak liggen: er is sprake van een statisch onbepaalde situatie. Waar en hoeveel contact er in werkelijkheid is, zal afhankelijk zijn van veel factoren. Te denken valt aan:

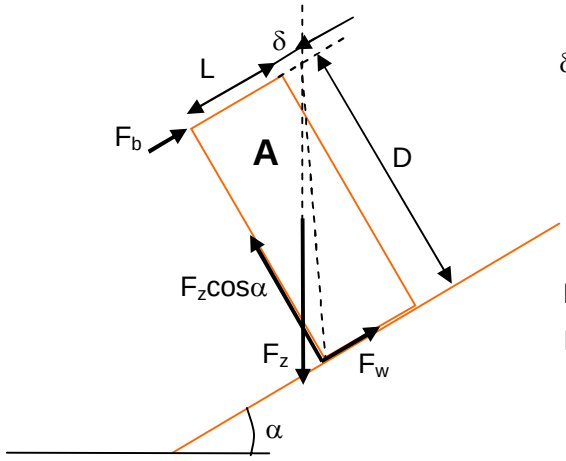
- De wijze van plaatsen van de elementen op het filter;
- De eventuele aanwezigheid van een enkel verdwaalde korrel filtermateriaal tussen de elementen;
- De stijfheid van het teenschot of het wellicht kruipen van de teenconstructie onder invloed van de belasting;
- De belastingsgeschiedenis, bij elementen die door golven iets worden opgelicht, zal zich een andere krachtsverdeling instellen dan bij elementen die zojuist op hun filter zijn geplaatst. Ook berijden met zware voertuigen kan gemakkelijk tot herverdeling van krachten leiden.
- De verhouding tussen de taludhelling en breedte-hoogte-verhouding van de elementen.

Om een afschatting te kunnen maken van de krachten in een kammende zetting, kunnen er wat aannamen worden gedaan voor de ligging van de contactpunten. Daarbij zijn wat extremen onderzocht, de werkelijkheid zal zich daar ergens tussenin bevinden.
Voor blok C, zie Figuur D.2, is aangenomen dat er contact is tussen de linker bovenhoek met de linkerbuur (alleen normaalkracht) en de rechteronderhoek (normaalkracht en wrijving).
Voor blok B is aangenomen dat er contact is tussen de linker bovenhoek met de linkerbuur (alleen normaalkracht) en het midden van het ondervlak (normaalkracht en wrijving).
Voor blok A is aangenomen dat de kracht op het ondervlak aangrijpt in het hoekpunt linksonder. In dat geval, zal er, bij de getekende taludhelling en blokafmetingen, sprake moeten zijn van een trekkracht van de benedenbuur, wat natuurlijk niet mogelijk is met koud tegen elkaar geplaatste elementen. Er is sprake van evenwicht op het betreffende hoekpunt als de zwaartepunt van het blok precies boven het hoekpunt linksonder ligt. Die situatie wordt de kritieke taludhelling genoemd, De kritieke taludhelling wordt gegeven door: $\tan(\alpha) = L / D$.
Voor dunne vlakke blokken (0,15 m x 0,5 m x 0,5 m) die op hun kant worden hergebruikt, is de kritieke taludhelling 1 : 3,33. Bij een steilere taludhelling zullen dergelijke elementen dus nooit op de helling stabiel kunnen blijven liggen op wrijving zonder de steun van hun benedenbuur en uiteindelijk de teenconstructie.



Figuur D.2 verschillende aannamen voor de ondersteuning van een blok door het vlak van het talud en de daaruit resulterende steun die moet worden ontleend aan de onderbuur

Als het blok A wordt beschouwd als het eerste van een reeks van N blokken die op eenzelfde wijze wordt ondersteund, dan bouwt zich als de taludhelling kleiner is dan de kritieke taludhelling geen normaalkracht op, maar zal de reactiekracht met de ondergrond verschuiven naar onder het zwaartepunt van het blok zodat $F_w = F_z \sin\alpha$.



$\delta = ½(D.\ \tan\alpha - L)$

$F_w = F_z\cos\alpha\ (L+\delta)/\ D$

$= ½F_z\cos\alpha\ (L/D + \tan\alpha)$

$= F_z\sin\alpha\ .½\ (1+ L/D.1/\tan\alpha)$

$F_b + F_w = F_z\sin\alpha$

$F_b = F_z\ \sin\alpha\ (1-\ ½\ (1+\ L/D\ .$

$= F_z\ \sin\alpha\ .½\ (1- L/D\ .1/\tan\alpha)$

Figuur D.3 Situatie A: contact in grondvlak in linker hoekpunt, specifiek het geval waarbij de taludhelling is groter dan de kritieke

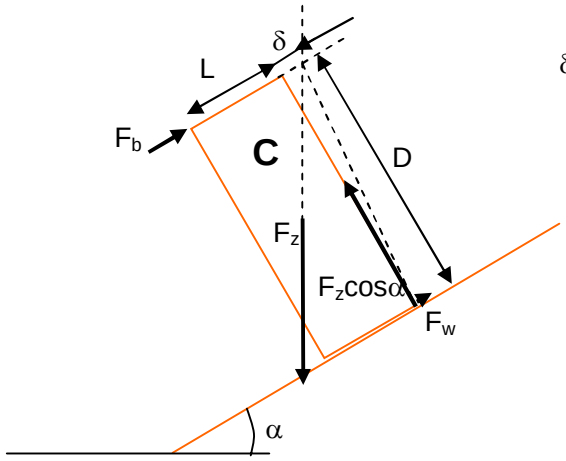
Maar als de taludhelling groter is dan de kritieke taludhelling dan is het blok in evenwicht als, zie Figuur D.3:

- $F_w = F_z\sin\alpha\ ½\ (1+L/D\ .1/\tan\alpha)$ voor zover $(L/D + \tan\alpha) \leq 1{,}0$ (uitgaande van $\mu_w = 0{,}5$)
- $F_b = F_z\ \sin\alpha ½\ (1- L/D\ .\ 1/\tan\alpha)$

De voorwaarde bij F_w betreft het overschrijden van de wrijvingscoëfficiënt. Indien deze wordt overschreden, dan zal het veronderstelde steunpunt het talud afglijden en het blok gaat dan mede op het hoekpunt rechts daarvan steunen: het steunpunt in het grondvlak verschuift naar rechts.
Per saldo bouwt zich na N rijen elementen een normaalkracht op in het vlak van de zetting:

$N.F_b = ½N.F_z\ \sin\alpha\ (1- L/D\ .\ 1/\tan\alpha))$

Als de ondersteuning van alle blokken overeenkomt met blok C, zie Figuur D.4, dan wordt de $½N.F_z\ \sin\alpha(\ 1+ L/D\ .\ 1/\tan\alpha)$.



$\delta = ½(D.\ \tan\alpha - L)$

$F_w = F_z\cos\alpha\ \delta/\ D$

$= F_z\sin\alpha\ .\ ½\ (1-\ L/D\ .1/$

$F_b + F_w = F_z\sin\alpha$

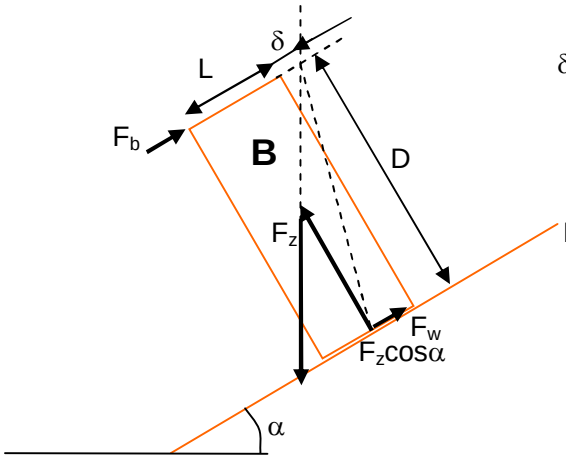
$F_b = \sin\alpha F_z(1+ ½\ (1 - L/D\ .1/\tan\alpha))$

$= F_z\ \sin\alpha\ ½\ (1+ L/D\ .1/\tan\alpha)$

Figuur D.4 Situatie C: contact in grondvlak in rechter hoekpunt

Merk op dat het teken van de wrijvingskracht afhankelijk is van of de taludhelling groter of kleiner is dan de kritieke. Bij enigszins reële taludhellingen zal de maximale wrijving nooit worden overschreden.

Als de ondersteuning van alle blokken overeenkomt met blok B, dan wordt de normaalkracht na N rijen blokken: $\frac{1}{2}N.F_z.\ \sin\alpha$ (zie Figuur D.5).



$$\delta = \tfrac{1}{2}(D.\ \tan\alpha - L)$$

$$F_w = F_z\cos\alpha\ (\tfrac{1}{2}L + \delta)/\ D$$

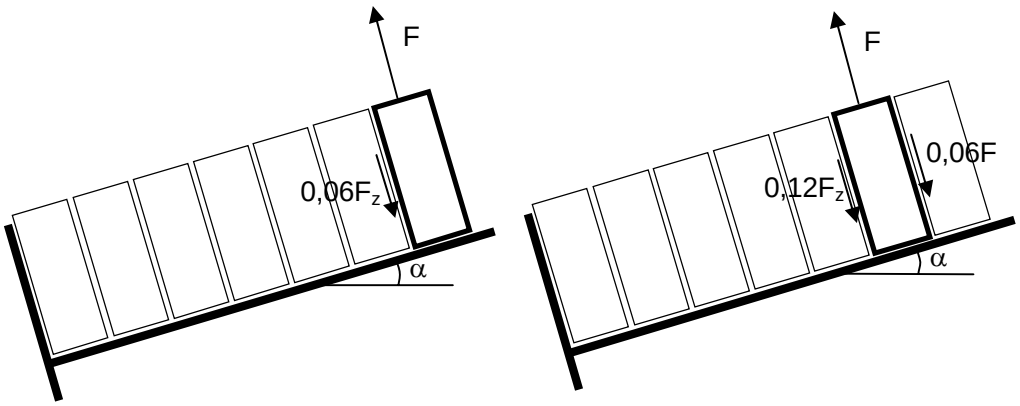
$$= \tfrac{1}{2}F_z\cos\alpha\ \tan\alpha = \tfrac{1}{2}F_z\sin\alpha$$

$$F_b + F_w = F_z\sin\alpha$$

$$F_b = \tfrac{1}{2}F_z\sin\alpha$$

Figuur D.5 Situatie B, contact in het midden van het grondvlak

Merk op dat als kammen plaatsvindt dat dan de ondersteuning in eerste instantie op die van blok A zal lijken. Maar door het kantelen van de elementen neemt de helling die het blok maakt met de horizontaal toe, waardoor deze in potentie zwaarder op zijn benedenbuur gaat rusten.



Figuur D.6 trekken aan de eerste en de tweede rij en de daarbij gemobiliseerde wrijvingskrachten voor L/D = 0,4 en een taludhelling 1:4

Voor een talud van 1 : 4 en vlakke betonblokken op hun kant van $0{,}2*0{,}5*0{,}5m^3$ levert plaatsing volgens blok B een kracht per rij gelijk aan 0,12 F_z. Uitgaande van een wrijvingscoëfficiënt van 0,5 is er een wrijvingskracht voor de bovenste rij gelijk aan 0,06 F_z, zie Figuur D.6. De 2^e rij ondervindt van de buurblokken een wrijvingskracht: (2*2-1)*0,06 F_z en de N^e rij: (2*N-1)*0,06F. Per saldo ondervindt de 9^e rij bij trekken een extra wrijvingskracht die ongeveer gelijk aan het eigengewicht. Ca. tweemaal het eigengewicht wordt bereikt in de 18^e rij.

Voor een taludhelling 1:3 is er na ca. 7 rijen een extra wrijvingskracht gelijk aan het eigengewicht mogelijk door de krachten tussen de elementen. Tweemaal het eigengewicht wordt bereikt na ca. 15 rijen.

Merk op dat als de bekleding kamt, dat het dan lijkt of de blokken de dijk af “kantelen”. Het kan echter ook simpelweg een tekortkoming bij het plaatsen betreffen: één keer een korreltje filtermateriaal onderin de spleet tussen twee rijen blokken, terwijl de spleet bovenin bij het zetten wel wordt dichtgedrukt, leidt al tot een kolom gekamde elementen. Zolang de kritieke taludhelling niet wordt overschreden, kantelen de blokken niet per se.

In Hansweert lagen er wel meer dan 35 rijen boven de rij waaraan is getrokken.
Op de Grevelingendam lagen er grofweg 12 rijen blokken boven, met daarboven een Basaltontzetting 0,35 m dik. De taludhelling is ca. 1:3,5, waardoor ca. 8 rijen een extra wrijving gelijk aan een blokgewicht kunnen opleveren.

Omdat de stapeling van stenen op het talud van granulair materiaal statisch onbepaald is, is de normaalkracht in de zetting ook onbepaald. De aanname dat de krachtsopbouw volgens blok B plaatsvindt, is in feite een willekeurige, maar een niet onaannemelijke.

Als er tegen een zetting van op hun kant geplaatste blokken een afgewalste asfaltbekleding is aangelegd, zou kunnen worden verondersteld dat dit bij aanleg van het asfalt tot een voorspanning in de zetting moet hebben geleid. Echter na passage van de wals rust er tegen de blokken slechts het beperkte gewicht van het asfalt. Die voorspanning zal dus wel meevallen. Temeer daar kan worden verondersteld dat het achteraf de rij blokken iets het talud afkantelen leidt tot het verschuiven van het contactpunt tussen blok en filter naar de linkeronderhoek van het grondvlak van de blokken. En specifiek voor ondersteuningswijze A is de opbouw van normaalkracht in de zetting afwezig of gering.

Voor slanke elementen op een vrij steil talud is het waarschijnlijk dat er gemiddeld een interactie tussen de elementen is doordat zij “omvallen”, die kan worden geïnterpreteerd als een goede klemming. Voor relatief gedrongen elementen, die niet omvallen en tegen elkaar leunen, betekent een geklemde zetting dat deze daadwerkelijk is opgespannen. Voor zowel de gedrongen als voor de slanke elementen kunnen door maatafwijkingen of toevalligheden uiteraard ook incidentele losse elementen in de zetting voorkomen. Uiteraard kunnen ook die incidentele gevallen vast komen te zitten door bijvoorbeeld biologische activiteit (aangroei schelpdieren in de spleten).

Overwogen moet worden of voor slanke elementen er niet andere eisen aan het vaststellen van klemming door (trek- of VGD)proeven moeten worden gesteld, omdat voor dat soort zettingen de kans op een los blok veel kleiner is dan voor zettingen met gedrongen elementen.

E Aandachtpunten bij uitvoeren van metingen voor vaststellen van klemming

E.1 Algemeen

Denk aan de eigen veiligheid!

1. Algen (kleur: groen) op het talud zijn spekglad, of worden dit als het talud nat wordt door regen of golfoploop. Wieren (kleur: bruin tot groen, slierten laag op het talud) zijn eigenlijk altijd nat en spekglad. Voorkom, als dat mogelijk is, werken op een nat talud.
2. Denk aan getij, golfoploop en in het bijzonder golven ten gevolge van scheeps-passages. Specifiek voor dijken grenzend aan een platengebied: de waterstand zal ineens snel oplopen als het water eenmaal de platen op komt.
3. Controleer de verwachte weers- en getijomstandigheden. De meetlocaties betreffen locaties waar (onder extreme omstandigheden) golfaanval kan plaatsvinden, anders lag er geen harde bekleding. Maar ook golfoploop kan werkzaamheden op het talud al onmogelijk maken. Voorspellingen zijn te vinden op:
   http://www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaartberichten_waterdata/voorspellingen_waterdata/
   Onder “Getijvoorspellingen” staan verwachte getijomstandigheden zonder wind-invloeden. Actuele waterstandvoorspellingen staan onder “Hydro- en meteover-wachtingen”. Specifiek “Deltabericht Westerschelde” en “Deltabericht Oosterschelde” kunnen relevante actuele info voor Zeeuwse locaties bevatten.

E.2 Trekproeven

De installatie waarmee aan de elementen van de zetting wordt getrokken dient zodanig stijf te zijn dat als er een bevestigingspunt losschiet er geen voorwerpen worden gelanceerd of kabels zijwaarts kunnen wegzwiepen. (Voorkom het effect van het elastiekje dat als het breekt tegen je handen striemt. De trekankers komen soms los uit de stenen!)

1. Voer ten minste 30 geslaagde trekproeven uit per locatie zolang er minder dan 5 “losse blokken” zijn geconstateerd. Als er bij 5 trekproeven op een locatie een “los blok” is geconstateerd, kan de meting worden beëindigd. Het betreft dan een zetting met een groot aantal losse blokken. Een trekproef is alleen dan niet geslaagd, als de meting niet kan worden voltooid, bijvoorbeeld doordat het trekoog los komt uit het element wat wordt beproefd. Als het verplaatsingscriterium wordt overschreden (“los blok”), dan levert dat dus gewoon een geslaagde trekproef op.
2. Meet, in geval van een zuilenzetting, als de inwassing geheel of gedeeltelijk ontbreekt, de grootste diepte van de aan het blok grenzende spleten/gaten en noteer deze waarde als die meer dan 5 cm bedraagt, noteer anders “< 5 cm”.
3. *De maximale trekkracht is begrensd op 3 maal het elementgewicht*. Voor ieder type zetting geldt dus een andere grenswaarde. Let op het soortelijke gewicht van de elementen. Zuilen zijn soms gemaakt van beton met een grote dichtheid (soortelijke massa). Trekken met een grotere kracht dan de genoemde begrenzing heeft geen zin omdat de bekleding zich dan alleen maar verder op zal spannen tot het moment dat er ergens materiaal gaat verbrijzelen.
4. Als verankering in een steen van de zetting kan gebruik worden gemaakt van ankers in geboorde gaten. Het boorgat schoonblazen voorafgaand aan het plaatsen van het anker vergroot de kans dat het anker voldoende grip heeft tijdens het trekken.
5. Altijd zuiver centrisch aan een element trekken: daarom het trekanker met trekoog in het zwaartepunt van de zichtbare bovenzijde van het element aanbrengen. Als (te) excentrisch wordt getrokken zal ieder element vast lijken te zitten.

6. Altijd loodrecht op het vlak van het talud trekken (dus niet verticaal, tenzij er aan een element op een horizontale berm of kruin wordt getrokken. Maar die zullen in klemmingsonderzoek niet snel voorkomen). Een afwijking van de richting van enkele graden is geen probleem, dus een beoordeling met een timmermansoog volstaat.
7. De installatie waarmee wordt getrokken dient niet te steunen op of direct naast het element waaraan wordt getrokken. De buurelementen van het element waaraan wordt getrokken dienen dus vrij van steunpunten te zijn. Ook dient de steen waaraan wordt getrokken niet te worden belast door zaken van gewicht en zeker niet excentrisch.

Figuur E.1 Voorbeeld van de trekproef met driepoot. De driepoot is correct geplaatst: geen poot staat op een blok wat direct grenst aan het blok waaraan wordt getrokken. Maar de overmaat aan ketting van het hijsblok vormt extra excentrisch gewicht op de steen waar aan wordt getrokken: zo moet het niet

8. Meet voordat met trekken wordt begonnen het verschil in hoogte met de (zes) buur-elementen. Let op, afhankelijk van de wijze van meten kan een eventueel opstaand randje aan de betonblokken/zuilen, de zogenaamde “stortbraam”, de meting hinderen. In dat geval deze stortbraam plaatselijk eerst verwijderen door hem eraf te tikken.
9. De trekkracht (te meten met bijvoorbeeld een digitale unster) geleidelijk opbouwen, zodat als een element loskomt, kan worden genoteerd bij welke kracht die los kwam.
10. Trek tot de grenswaarde voor de trekkracht is bereikt of *de maximale verplaatsing van 2 cm ten opzichte van een buurelement* wordt overschreden. Wordt de maximale verplaatsing bereikt, dan is er in ieder geval sprake van een “los blok”.
11. Meet als de grenswaarde voor de trekkracht is bereikt het verschil in hoogte met de (zes) buurelementen op dezelfde meetpunten als voor aanvang van de trekproef. En bereken met de overeenkomstige meting voorafgaand aan het trekken de (zes) verplaatsingen. Als het gemiddelde van de verplaatsingen meer dan 3 mm bedraagt, dan is er ook sprake van een “los blok”.
12. Als na ontlasten een element een blijvende verplaatsing heeft, tik dan met een zwaar stootijzer het element weer zo goed mogelijk terug in de zetting.
13. Meet daarna wederom het verschil in hoogte met de (zes) buurelementen op dezelfde meetpunten als voor aanvang van de trekproef en bereken de resterende verplaatsing uit het verschil met de meting voorafgaand aan de trekproef.
14. Verwijder na beëindiging van de proeven de trekogen en/of andere boven de stenen uitstekende delen.

Tijdens de trekproeven in het veld vast te leggen items (een meetformulier met, per trekproef, voldoende ruimte voor vrije aantekeningen of een schetsje verdient aanbeveling):

15. Noteer de weersomstandigheden waarbij het werk is uitgevoerd.
16. Fotografeer het element waaraan gaat worden getrokken vanuit een hoog standpunt, zodat een goede indruk wordt verkregen van de voegen rond het element.

17. Noteer locatiegegevens (waaronder nummer van de rij ten opzichte van onderste en bovenste overgangsconstructie als het om een blokkenzetting gaat), fotonummer en datum/tijdstip van de proef.
18. Noteer de verschillen in hoogte [mm] tussen het blok waaraan zal gaan worden getrokken en zijn (zes) buren.
19. Noteer als de maximale verplaatsing bij een proef wordt overschreden, dat er sprake is van een “los blok” en de maximale kracht [N] tijdens de proef. Nb. deze maximale kracht is veelal niet de kracht op het einde van de proef, maar de kracht waarbij het element in beweging komt (gewenste nauwkeurigheid: $\pm$ 10% van de grenswaarde van de trekkracht).
20. Als het element de grenswaarde voor de verplaatsing niet overschrijdt, noteer dan de verschillen in hoogte [mm] tussen het blok waaraan (nog steeds) met de grenswaarde voor de trekkracht wordt getrokken en zijn (zes) buren. En noteer de berekende (zes) verplaatsingen [mm] en de gemiddelde verplaatsing [mm].
21. Noteer indien waarneembaar het vervormingspatroon rond de steen waaraan wordt getrokken op het moment dat één van de twee grenswaarden wordt overschreden. Onderscheiden worden:
    a. “zuiger”: alleen de steen waaraan wordt getrokken komt significant omhoog.
    b. “kattenrug”: er ontstaat een boog van stenen waarin de steen waaraan wordt getrokken de “sluitsteen” is.
    c. “halve kattenrug”: aan één zijde van de steen komt een rij stenen mee omhoog.
    d. “bult”: de steen waaraan wordt getrokken sleept aan alle zijden zijn buurelementen iets mee omhoog. Dit patroon treedt op als de interactie tussen de elementen erg groot is: de bekleding is stijf. Daardoor wordt dit patroon normaliter niet waargenomen als er met beperkte trekkrachten wordt getrokken.
    e. “incomplete bult”: interactie met één of twee buurelementen is afwezig waardoor een segment van de bult niet mee omhoog komt. In feite is een kattenrug een specifieke vorm van incomplete bult, waarbij de bewegende elementen een afgetekende rij vormen.

    Bij patroon b en c is de oriëntatie van de kattenrug (evenwijdig met de dijkas of er loodrecht op) een extra te noteren parameter.
22. Nadat het element met een stootijzer is teruggetikt in de zetting: noteer de verschillen in hoogte [mm] tussen het blok waaraan is getrokken en zijn (zes) buren. En noteer de berekende (zes) restverplaatsingen [mm] en de gemiddelde restverplaatsing [mm].
23. Leg eventuele bijzonderheden vast op foto of schets en maak notities. Gedacht kan worden aan:
    a. Loskomen van het trekanker;
    b. In geval van een ingewassen zuilenzetting kan de inwassing lokaal in meer of mindere mate ontbreken. Noteer het hoogteverschil tussen het diepste punt op de inwassing en de rand van de betreffende zuil indien dit meer dan 5 cm bedraagt;
    c. Afspringen van scherven van blok of zuil tijdens het trekken;
    d. Verwijzing naar nummer van eventuele foto’s.

E.3 VGD-metingen

1. De grondplaat moet bij een meting midden op één steen rusten, daarom moet de grondplaat van de VGD-apparatuur een diameter van 20 cm of minder hebben.
2. Aangezien de interpretatie van de metingen vooral is gericht op de verplaatsingen van de steen waarop wordt geslagen en zijn beide buurstenen, dient de plaatsing van de verplaatsingsopnemers direct ter weerszijde van de centrale verplaatsingsopnemer afgestemd te worden op de (gemiddelde) steenafmeting. Bij voorkeur

dienen de twee verplaatsingsopnemers direct ter weerszijde van de centrale verplaatsingsopnemer te meten ter plaatse van de hartlijn door de buurblokken. Is de (gemiddelde) steenafmeting te gering, dan kan door twee opnemers op een buurblok te plaatsen de verplaatsing in twee punten worden geregistreerd. Uit deze verplaatsingen kan de hoekverdraaiing van het buurblok worden vastgesteld en dus ook de verplaatsing in het hart van het buurblok worden teruggerekend.

3. Tijdens een meting dienen voldoende geofoons goed contact te maken met de zetting. De meetbalk die de geofoons op het talud plaatst, dient dus niet weg te zakken in spleten en gaten tussen de gezette stenen. Een breder voetje voor de steunpunten en/of de pinnen van de geofoons is wenselijk om te voorkomen dat te veel geofoons onbruikbare signalen afgeven. Voor regelmatige bekledingen, bijvoorbeeld de Haringmanblokkenzetting en de zetting van Hydro-blocks, is het wenselijk de standaard geofoonafstanden (om de 30 cm) aan te passen, zodat bij centrisch op een steen slaan alle opnemers altijd in het midden van een blok meten. In geval van Haringmanblokken moet uiteraard rekening worden gehouden met de sparing in het blok. Omdat de metingen o.a. worden gevalideerd aan de hand van het deflectieprofiel, samengesteld uit de maxima gemeten bij de reeks geofoons, is een te grote uitval van geofoons schadelijk voor de validatie.
4. Zo nodig andere voorziening treffen aan het meetsysteem zodat oneffenheden in de bekleding beter kunnen worden opgevangen. Gedacht kan worden aan langere pinnen voor de geofoons of, in geval van Haringmanblokken een wig waarmee het kuiltje van het blok waarop gaat worden geslagen, kan worden opgevuld.
5. Ook een geofoon aan de achterzijde van de meetopstelling opnemen. En wel zodanig dat de verplaatsing van de twee elementen op gelijke afstand aan weerszijden van het belaste element wordt gemeten.
6. Elke steen mag maar één keer gebruikt worden voor een meting. De metingen mogen, omdat de verplaatsingen vrij gering zijn, weliswaar aangemerkt worden als niet-destructieve metingen, maar een (beperkte) verstoring van de klemming in de aan het meetpunt grenzende naden is toch niet uit te sluiten. Alleen stenen in een ongestoorde omgeving mogen worden gemeten. Een volgend meetpunt dient daarom tenminste 1 m verwijderd te zijn van alle eerder gebruikte meetpunten. Voorafgaande trekproeven en VGD-proeven zijn in dit opzicht beide bronnen van mogelijke verstoringen. De beproefde stenen moeten dus eenduidig genummerd en ingemeten worden, zodanig dat zij achteraf te traceren zijn.
7. Het meetvenster (tijdsduur gedurende welke de signalen van krachtopnemer en geofoons worden gemeten) zodanig kiezen dat:
   - Het krachtsniveau van de klap kan worden bepaald.
   - De pulsduur kan worden bepaald.
   - Bij alle geofoons, ook de uiterste, de maximale deflectie wordt gemeten (van belang voor het terugrekenen van de stijfheden).
   - Bij de centrale geofoon de restverplaatsing kan worden bepaald. Indien dit problematisch is voor alle metingen, dan voor slechts enkele metingen. Maar dan wel zodanig (rapporteren) dat de link met de rest van de metingen kan worden gelegd.
8. Bij elke meting moet er bij elke klap op een steen worden gemeten. Dus ook bij de inleidende klap. Die klap wordt in de wegenbouw wel opgevat als afkeurenswaardig omdat eerst de apparatuur nog goed contact moet maken met de ondergrond. Elke klap op de steen heeft mogelijk al invloed op de zetting. Meerdere keren slaan op één steen kan het resultaat dus beïnvloeden en verschillende resultaten opleveren. Daarom moeten de meetresultaten van alle klappen, en dus ook de eerste, worden vastgelegd.
9. Geef en registreer per meetpunt 4 gelijke klappen (incl. de klap om voetplaat en geofoons te laten zetten). De klapgrootte dient ca. 16 kN te bedragen bij een pulsduur van ca. 20 ms. Deze klapgrootte en klapduur worden gerealiseerd met een valgewicht

van ca. 108 kg, en valhoogte van 40 mm en 8 buffers (hardheid 55 shore), uitgaande van een VGD-type PRI2100 van Grontmij/Carl Bro.

10. Neem een overzichtsfoto van alle meetlocaties die zijn onderzocht.
11. Voer op tenminste 50 meetpunten een geslaagde meting uit. De meting is geslaagd als hij door de validatie heen komt.
12. Validatie van de ingewonnen data verdient extra aandacht doordat het werken op een talud en de ongebruikelijk onvlakke bekleding waardoor bijvoorbeeld geofoons geen contact maken met de zetting tijdens de meting, of zijdelings wegspringen vanaf oneffenheden. Tenminste de centrale deflectie en de deflecties direct ter weerszijde van het belaste element moeten betrouwbaar geregistreerd zijn. Maar uiteindelijk moeten ook voldoende meetdata beschikbaar zijn om terugrekenen van de stijfheden van bekleding en onderlagen mogelijk te maken.
13. De meetdata dient met de standaard methode uitgewerkt te worden tot een stijfheid van de steenzetting en ondergrond. Bij het terugrekenen van stijfheden kan worden uitgegaan van laagdikten in overeenstemming met de door het Projectbureau Zeeweringen aangeleverde constructieopbouw.
14. De maximale verplaatsingen geregistreerd door de geofoons dienen ten behoeve van de analyse van de klemming **niet** te worden genormaliseerd naar eenzelfde krachtsniveau.