

**Vaststellen van klemming in  
dijkbekledingen van gezette  
steen met valgewicht-  
deflectie-metingen**





**Vaststellen van klemming in  
dijkbekledingen van gezette steen  
met valgewicht-deflectie-metingen**

R`'t Hart

1206424-017



**Titel**

Vaststellen van klemming in dijkbekledingen van gezette steen met valgewicht-deflectie-metingen

|                      |                |                       |                 |
|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------|
| <b>Opdrachtgever</b> | <b>Project</b> | <b>Kenmerk</b>        | <b>Pagina's</b> |
| RWS-WD               | 1206424-017    | 1206424-017-HYE-0002- | 25              |

**Trefwoorden**

Dijkbekleding, steenzetting, klemming, meten, valgewicht-deflectie

**Samenvatting**

Met als doel om te komen tot een snellere en kosteneffectieve werkwijze waarmee kan worden vastgesteld of een twijfelachtige steenzetting geklemd is of niet, zijn in 2010 tot 2012 onderzoeken uitgevoerd om te komen tot een werkwijze waarbij gebruik wordt gemaakt van Valgewicht-deflectie-metingen (VGD). Deze rapportage beschrijft de werkwijze voor het klemmingsonderzoek wat gebruik maakt van deze VGD-metingen.

Voor het beoordelen van de klemming is het noodzakelijk dat 200 elementen van de zetting worden beproefd met VGD-apparatuur. Interpretatie van deze metingen kan leiden tot het oordeel dat er onvoldoende klemming aanwezig is in de zetting. Voor een positief oordeel met betrekking tot klemming zijn echter vooralsnog ook nog een beperkte set trekproeven noodzakelijk op stenen die aan de hand van de VGD-metingen zijn geselecteerd.

Omdat naast de VGD-metingen ook nog trekproeven noodzakelijk zijn, is de methode die gebruik maakt van de VGD-metingen vooralsnog niet wezenlijk goedkoper dan de methode die alleen gebruik maakt van trekproeven. Wel geven de VGD-metingen aanvullende informatie over de stijfheid van de top- en onderlagen, maar die baten kunnen momenteel nog niet worden gewaardeerd.




Deze rapportage is opgesteld 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.

**Referenties**

Waterdienst zaaknummer 31068749 / 4500196054, van 7 mei 2012

Contactpersoon Waterdienst: dhr. K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

| Versie | Datum      | Auteur    | Paraaf  | Review            | Paraaf  | Goedkeuring | Paraaf  |
|--------|------------|-----------|---|-------------------|---|-------------|---|
|        | febr. 2013 | R 't Hart |  | M. Klein Breteler |  | L Voogt     |  |

**Status**

definitief



## Inhoud

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Kader   | 1         |
| 1.2      | Afbakening  | 3         |
| 1.3      | Leeswijzer  | 3         |
| <b>2</b> | <b>Klemming</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Klemming in de berekening van de top laagstabiliteit  | 5         |
| 2.2      | Klemming vaststellen in het veld  | 6         |
| <b>3</b> | <b>Aanpak onderzoek klemming gebruikmakend van VGD-metingen</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>4</b> | <b>Uitdetailering onderzoeksstappen</b>   | <b>11</b> |
| 4.1      | Stap 1: Beoordelen van het nut van het veldonderzoek naar klemming.                               | 11        |
| 4.2      | Stap 2: Voer veldonderzoek met valgewicht-deflectie-apparatuur uit en interpreteer de resultaten. | 11        |
| 4.2.1    | Onderverdelen in homogene vakken  | 11        |
| 4.2.2    | Aantal en locatie van de meetpunten   | 12        |
| 4.2.3    | Richtlijnen voor het uitvoeren van VGD-metingen ter bepaling van klemming                         | 13        |
| 4.2.4    | Specifieke aandachtspunten voor het uitvoeren van klemmingsonderzoek op dijken                    | 15        |
| 4.2.5    | Verwerken en interpreteren van de VGD-meetresultaten gericht op klemming                          | 16        |
| 4.3      | Stap 3: Uitvoeren en interpreteren van aanvullende trekproeven                                    | 17        |
| 4.3.1    | Het meetplan voor het uitvoeren van trekproeven   | 17        |
| 4.3.2    | Verwerken en interpreteren van de resultaten van de trekproeven                                   | 20        |
| <b>5</b> | <b>Kosten-baten-afweging klemmingsonderzoek</b>   | <b>23</b> |

### Bijlage(n)

#### Literatuur

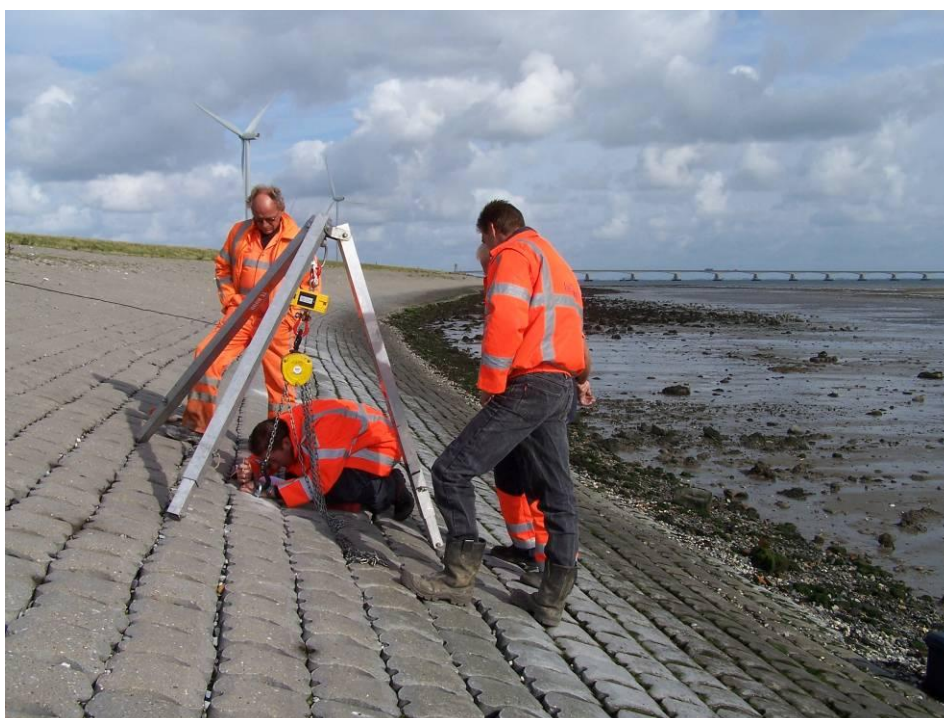
#### A Paragraaf Veiligheid en Gezondheid, uit contractbepalingen RWS





## 1 Inleiding

Deze rapportage heeft tot doel de huidige stand van kennis met betrekking tot het vaststellen van klemming van steenzettingen vast te leggen op een zodanige manier dat beheerders van dijkbekledingen met deze rapportage in de hand hun steenzettingen kunnen laten onderzoeken voor wat betreft de klemming. Deze rapportage geeft de algemene gefaseerde aanpak van het klemmingonderzoek, maar ook concrete aanwijzingen met betrekking tot de werkzaamheden op de dijk zoals deze volgens de laatste inzichten zouden moeten worden uitgevoerd.



Figuur 1.1 Traditionele wijze van bepalen van klemming met trekproef

### 1.1 Kader

Dit rapport is geschreven en de voorafgaande onderzoeken met valgewicht-deflectie-apparatuur zijn 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.

Het principe van het beoordelen van de klemming in steenzettingen met behulp van VGD-apparatuur is ontwikkeld in de jaren 2010-2012. De methode is gebaseerd op een beperkt aantal proefnemingen, mede daarom zijn aanvullende trekproeven momenteel noodzakelijk

om tot een positief oordeel ten aanzien van wel of geen klemming te komen. In het kader van het opbouwen van ervaring is het wenselijk om alle metingen (inclusief meetgegevens) goed vast te leggen en te documenteren. Wellicht kan dan in de toekomst op basis van de resultaten van het klemmingsonderzoek van een groter aantal locaties worden gekomen tot criteria die alleen op basis van de resultaten van VGD-metingen uitsluitend kunnen geven met betrekking tot de klemming.



Figuur 1.2 Voertuig met aanhangwagen met apparatuur voor VGD-metingen



Figuur 1.3 Vanaf de achterzijde zijn onder de aanhangwagen de voetplaat van het valgewicht en de stiften van de gefoons te zien

## 1.2 Afbakening

Het begrip klemming wordt voor steenzettingen op dijken gebruikt voor de interactie tussen de elementen van een steenzetting, waarbij de zettingselementen min of meer prismatisch zijn. Oftewel interlock, waarbij de elementen zodanig zijn vormgegeven dat deze via een vooropgezet patroon in elkaar haken, wordt hier niet tot klemming gerekend. Ook als de (brede) voegen tussen de elementen worden gevuld met een bouwstof die door uitharding de elementen bindt, wordt dit niet als klemming aangemerkt. In dit kader kan worden gedacht aan het ingieten van de voegen met colloïdaal beton of mastiek, danwel voegen vullen met hydraulisch materiaal (DV-voegvulling) danwel polymeer-gebonden materialen (OSA of elastocoast). De meestal vrij zwakke verkitting die op natuurlijke wijze kan plaatsvinden door flora of fauna, wordt wèl tot de klemming gerekend.

Voor ingegoten bekledingen of elementen met interlock is de hier gegeven methodiek niet geschikt.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op wat klemming is, welke onderzoeken er zijn uitgevoerd en hoe er in de berekeningen rekening wordt gehouden met de invloed van klemming. In hoofdstuk 3 geeft een globale beschrijving van de aanpak waarbij VGD-metingen worden ingezet om klemming vast te stellen. Hoofdstuk 4 gaat in op de eisen die aan de veldwerkzaamheden moeten worden gesteld en op de interpretatie van de meetgegevens en de criteria op grond waarvan uiteindelijk kan worden geoordeeld of een bekleding moet worden beschouwd als geklemd of niet-geklemd.



## 2 Klemming

Klemming is de interactie tussen de verschillende elementen van een steenzetting die maakt dat door een lokale hoge belasting op een zetting niet een enkele steen uit de zetting kan worden gelicht. Door de krachten tussen de stenen onderling heeft de toplaag plaatwerking. Een lokale piekbelasting die een losse steen uit de zetting zou kunnen lichten, wordt hierdoor gespreid over meerdere elementen die tezamen voldoende gewicht hebben om de belasting te weerstaan zonder schade.

Daardoor kan klemming wezenlijk bijdragen aan de sterkte van een steenzetting.

### 2.1 Klemming in de berekening van de toplaagstabiliteit

Of een toplaag van een steenzetting stabiel is, kan worden berekend met het rekenmodel Steentoets2008 [Klein Breteler 2009]. In dat programma moet voor de te beoordelen bekleding worden opgegeven of deze al of niet geklemd is.

Als de bekleding niet-geklemd is, dan wordt bij de beoordeling van de toplaagstabiliteit nagegaan of de opwaartse druk onder de toplaag verminderd met de gewichtscomponent van de toplaag leidt tot onaanvaardbaar grote verplaatsingen van een blok dat los in de zetting ligt.

Als de bekleding geklemd is, dan wordt aangenomen dat er een normaalkracht in de bekleding aanwezig is die ervoor zorgt dat de zetting zich als ligger gedraagt. De opwaartse hydraulisch belasting verminderd met het eigengewicht van de ligger, leidt tot dwarskrachten en buigende momenten in de ligger en dus tot vervormingen. Voor een stabiele toplaag mogen criteria met betrekking tot het buigende moment, de dwarskracht en de vervorming niet worden overschreden. Mocht dit wel het geval zijn, dan wordt nog gecheckt of de zetting bestaande uit als losse elementen stabiel is: de sterkte van een geklemd zetting is dus altijd groter of gelijk aan die van een niet-geklemd steenzetting.

Het daadwerkelijk vaststellen van de klemming in een steenzetting zal vooral in de volgende situaties van belang zijn:

- 1 Een slecht gezette zetting die wel als geklemd zetting ontworpen is, opgebouwd uit elementen die normaliter een geklemd zetting opleveren (bijvoorbeeld een zetting van ingewassen betonzuilen).
- 2 Een zetting samengesteld uit elementen die normaliter geen geklemd zetting opleveren, als deze zetting er perfect bij ligt, maar volgens het rekenmodel als ongeklemd zetting net wat aan sterkte tekort komt om de actuele maatgevende condities te kunnen weerstaan.

In het eerste geval is er twijfel over de sterkte, omdat is gerekend op klemming maar deze wellicht niet aanwezig is. Een onderzoek naar de klemming kan dan uitsluitsel geven of er daadwerkelijk een veiligheidsprobleem is.

In het tweede geval is de berekende sterkte ontoereikend, maar die berekening onderschat mogelijk de daadwerkelijk aanwezige sterkte. Een onderzoek naar de klemming kan ertoe leiden dat er mag worden gerekend met klemming, waardoor de bekleding mogelijk toch voldoende sterkte heeft.

## 2.2 Historie Klemming

De eerste onderzoeken naar klemming betroffen vierkante betonblokken waarvan werd verondersteld dat in zettingen van deze blokken er altijd een flink aantal los zouden liggen. Het losliggende element bepaalt de sterkte van de zetting.

Beproeving met golven van ingewassen zuilenzettingen (vooral de betonnen variant daarvan) heeft duidelijk gemaakt dat voor dit type zettingen er sprake is van een hogere stabiliteit dan die van los liggende elementen. Het verschil in sterkte is toegeschreven aan klemming.

In het vroegere rekenmodel voor de stabiliteit van steenzettingen, ANAMOS, kon niet expliciet rekening worden gehouden met klemming, maar het werd aanbevolen om voor geklemde ingewassen zettingen te rekenen zonder de inwassing. De inwassing in de voegen reduceert de toplaagdoorlatendheid van de toplaag. Dynamische overdrukken onder de toplaag kunnen door de inwassing in de voegen minder gemakkelijk wegvloeien door de toplaag, waardoor de opwaartse belasting op de toplaag wat groter wordt. De overschatting van de toplaagstabiliteit door de inwassing niet in rekening te brengen, werd verondersteld gelijk te zijn aan de onderschatting van de sterkte door het niet op klemming te rekenen.

In de jaren 1992-2007 is er intensief onderzoek uitgevoerd naar klemming, met als doel te komen tot een modellering die rekening houdt met de sterkte ten gevolge van klemming. Laboratoriumonderzoek [Peters 2004, Wolters 2007], veldmetingen [Peters 2004, Blom 2006, 2007] en numerieke simulaties [Frissen 1998, 2000, 2000A; Derkzen 2004] hebben ertoe geleid dat er meer inzicht is verkregen in de werking van de klemming. Op basis van die inzichten is in Steentoets2008 [Klein Breteler 2009] een modellering gerealiseerd waarmee, aannemende dat er in de zetting klemming optreedt, de extra sterkte kan worden berekend. Maar dat betekent dus wel dat er moet worden beoordeeld of een zetting geklemd is of niet.

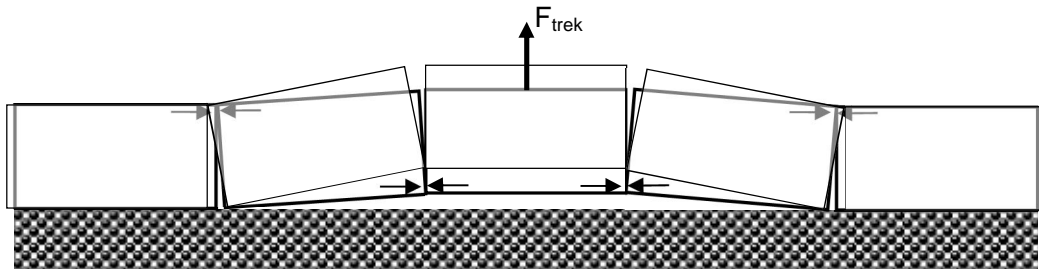
Enerzijds gebeurt die beoordeling op basis van het type zetsteen, anderzijds op basis van de staat van de bekleding. Normaliter wordt verondersteld dat goed gezette zuilenzettingen waarvan de inwassing goed wordt onderhouden, als geklemde zettingen mogen worden beschouwd. Steenzettingen van rechthoekige betonblokken zijn in principe niet geklemd.

Echter, de praktijk kan reden zijn om af te wijken van deze grofstoffelijke indeling. Slecht gezette zuilenzettingen kunnen losse elementen bevatten ("rammelaars") of dusdanig brede voegen hebben dat uitspoelen van inwasmateriaal en eventueel het filter vrijwel onvermijdelijk is. Het is in die gevallen niet logisch te veronderstellen dat de zetting geklemd is. Daar staat tegenover dat sommige blokkenzettingen dusdanig strak erbij liggen en grondig zijn ingezand, dat het aannemelijk lijkt dat deze zettingen wel goed geklemd zijn.

In die laatste gevallen, mogelijk slecht geklemde zuilenzettingen en goed geklemde blokkenzettingen, kan een veldonderzoek naar de klemming zinvol zijn.

## 2.3 Klemming vaststellen in het veld

Van oudsher wordt klemming vastgesteld door aan een element te trekken en te registreren of dat element los komt bij een beperkte trekkracht. In principe geeft het hard trekken aan een element geen betere indruk van de sterkte van de zetting. Als er voldoende klemming is, zal een rij of veld van elementen zich als gevolg van de vervormingen vastwiggen, zie Figuur 2.1.



*Figuur 2.1 Opspanning van een steenzetting door geometrisch niet-lineaire vervormingen als gevolg van verplaatsing onder invloed van een trekkracht: hoe verder het blok omhoog wordt getrokken, des te meer ruimte de zetting nodig heeft, oftewel wordt opgespannen.*

Hoe groter de gerealiseerde verplaatsingen, des te groter de opspanning van de zetting en dus des te groter de schijnbare klemming. In principe geeft een trekproef alleen nuttige informatie tot het moment dat de opspanning door de vervormingen gaat optreden.

Deze theorie heeft ertoe geleid dat tegenwoordig bij trekproeven er slechts met een beperkte kracht aan een element wordt getrokken teneinde vast te stellen of er voldoende klemming aanwezig is: 2 maal het elementgewicht.

Voor het onderzoeken van de klemming door middel van trekproeven is het nodig een flinke kracht centrisk op een enkel element uit te oefenen. Om die kracht op de steen te kunnen uitoefenen boort men een gat in de steen en plaatst daarin een klem- of lijmbout.

Om vast te stellen of een zetting geklemd is, is het niet genoeg om slechts een enkel element in de zetting te beproeven. Er moet een groot aantal elementen in de zetting worden beproefd om voldoende vertrouwen in de zetting te hebben [Coeveld 2003]. Uiteraard kan absolute zekerheid dat alle elementen vast liggen alleen worden verkregen als alle elementen worden beproefd. Maar voor de veiligheid is het niet noodzakelijk dat werkelijk alle elementen vast liggen: als met klemming wordt gerekend, dan wordt daarbij ook de check uitgevoerd of de zetting een zekere mate van reststerkte heeft. Één of enkele losse elementen in een dijkvak zullen dan dus niet tot bezwijken van de dijk leiden. Maar om voldoende zekerheid te krijgen, moet wel een aanzienlijk aantal stenen worden beproefd.

Dit grote aantal stenen wat stuk voor stuk van trekanker moet worden voorzien en beproefd, betekent dat het onderzoek naar klemming relatief tijdrovend en dus significante kosten met zich meebrengt, al zijn deze kosten zeer beperkt in vergelijking met de reconstructie van een dijkvak.

Om te komen tot een methodiek die op een wat efficiëntere manier tot een oordeel kan komen, is in 2010 een onderzoek gestart. Daarbij is gebruik gemaakt van het idee dat de richting van bewegen niet wezenlijk van invloed mag zijn bij het vaststellen of er sprake is van klemming. Uitgaande van dat idee zijn proeven uitgevoerd door met valgewicht-deflectie-apparatuur op individuele stenen te slaan en de resultaten van deze metingen te interpreteren. Als referentie daarbij zijn trekproeven uitgevoerd om te kunnen beoordelen of de bekledingen als geklemd of als onvoldoende geklemd moesten worden gekarakteriseerd [Hart 2011, Hart 2012].



Die proeven hebben tot een nieuwe methodiek geleid die kan worden gevolgd om vast te stellen of een zetting geklemd is of niet geklemd. Die methodiek wordt in het volgende hoofdstuk beschreven.



### 3 Aanpak onderzoek klemming gebruikmakend van VGD-metingen

In dit hoofdstuk worden globaal de stappen beschreven die worden doorlopen voor het onderzoek naar klemming van een steenzetting waarbij gebruik wordt gemaakt van valgewicht-deflectie-metingen. In het volgende hoofdstuk wordt meer in detail ingegaan op de zaken waarop moet worden gelet bij het uitvoeren van de veldonderzoeken en het interpreteren van de resultaten.

De aanpak van het onderzoek naar klemming van steenzettingen wordt een drietal stappen onderscheiden. Waarbij na elk van de eerste twee stappen er een resultaat ligt op basis waarvan kan worden beslist of de volgende stap nog zinvol is:

1. Beoordelen van het nut van het veldonderzoek naar klemming.
2. Uitvoeren van het veldonderzoek met valgewicht-deflectie-apparatuur en interpreteren van de resultaten.
3. Uitvoeren van aanvullende trekproeven en interpreteren van de resultaten.

#### **Stap 1:** Beoordelen van het nut van het veldonderzoek naar klemming.

Alvorens een veldonderzoek naar klemming te starten is het zinvol om eerst vast te stellen of het gewenste resultaat van het onderzoek ook daadwerkelijk het probleem oplost.

Daarbij wordt weer onderscheid gemaakt in de twee eerder genoemde gevallen:

- A. Twijfel of er echt sprake is van klemming in zetting van het type wat normaliter geklemd is.
- B. Hoop dat er klemming is in de zetting van het type wat normaliter niet geklemd is.

A. Stel een zetting van het type wat normaliter geklemd is, voldoet volgens de stabiliteitsberekening met klemming. Maar deze zetting is dusdanig slecht gezet dat er twijfel is of het wel terecht is om hem met klemming te berekenen. Dan moet om het nut van een veldonderzoek naar klemming te beoordelen eerst een stabiliteitsberekening worden gemaakt voor deze zetting zonder klemming. Als de bekleding volgens deze berekening stabiel is, dan kan de zetting ook zonder klemmingsonderzoek als veilig worden beoordeeld. Wijst deze berekening zonder klemming op een instabiele toplaag onder maatgevende omstandigheden dan kan een veldonderzoek uitsluitel geven of de twijfel aan de klemming terecht is.

B. Als een zetting van het type wat normaliter niet is geklemd volgens de stabiliteitsberekening zonder klemming onvoldoende is, maar de zetting lijkt in prima conditie, bereken dan eerst de bekleding met klemming. Levert deze berekening het inzicht dat de sterkte ook met klemming ontoereikend is, dan heeft een veldonderzoek naar de klemming geen praktisch nut. Als deze berekening met klemming aangeeft dat de toplaag wel stabiel is, dan kan een klemmingsonderzoek een investering zijn waarmee reconstructie van de bekleding mogelijk kan worden voorkomen.

#### **Stap 2:** Uitvoeren van het veldonderzoek met valgewicht-deflectie-apparatuur en interpreteren van de resultaten.

In het veldonderzoek wordt met valgewicht-deflectie-apparatuur op een groot aantal stenen van de zetting een serie klappen gegeven en wordt de verplaatsing van de aangeslagen steen en zijn directe burens gemeten. Zo worden gegevens verkregen die in combinatie met een criterium het mogelijk maken te beoordelen of er zodanig veel losse elementen in de

zetting voorkomen dat de zetting als niet-geklemd moet worden beschouwd. Is dat het geval, dan is het onderzoek daarmee afgerond.

Mocht de bekleding deze test doorstaan, dan kan nog niet meteen worden geconcludeerd dat de bekleding wél is geklemd. Daarvoor moet eerst stap 3 worden uitgevoerd op de meetpunten die door de VGD-metingen als mogelijk twijfelachtig zijn aangewezen.

**Stap 3:** Uitvoeren van aanvullende trekproeven uit en interpreteren van de resultaten.

Uit de interpretatie van de VGD-metingen volgt een selectie van meetpunten waar de klemming mogelijk tekort schiet. Op die meetpunten dienen trekproeven te worden uitgevoerd om aan te tonen dat de klemming in de beproefde meetpunten (VGD) aanwezig is. Als voor alle getrokken stenen geldt dat ze geklemd zijn, dan levert dat voldoende zekerheid op dat de bekleding goed is geklemd.

## 4 Uitdetailering onderzoeksstappen

### 4.1 Stap 1: Beoordelen van het nut van het veldonderzoek naar klemming.

Het onderzoek naar de klemming van een steenzetting brengt de nodige inspanning met zich mee. Alvorens een wezenlijke inspanning in dit onderzoek wordt gestoken, is het van belang om vast te stellen of de gewenste uitkomst van het onderzoek het oordeel over de stabiliteit van de zetting wezenlijk zal bijstellen.

Het is mogelijk dat er serieus wordt getwijfeld of zetting van het type wat normaliter geklemd is, echt wel geklemd is. Als deze zetting, ongeacht de klemming volgens de berekeningen stabiel is, dan is antwoord op de vraag of de zetting al of niet geklemd is, feitelijk niet relevant en kan het klemmingsonderzoek achterwege blijven. Uiteraard dient een berekening met klemming uit te wijzen dat de betreffende zetting wel stabiel is, anders dient de bekleding sowieso te worden afgekeurd.

Vergelijkbaar, maar net andersom, is de situatie waarbij een zetting van het type wat normaliter niet geklemd is, zodanig strak erbij ligt, en mogelijk volledig is ingezand, dat wordt vermoedt dat deze zetting wel geklemd is. Alleen als berekeningen aantonen dat de bekleding met klemming stabiel is en deze zonder de klemming geen stabiele toplaag heeft, dan is het zinvol om het klemmingsonderzoek voort te zetten met stap 2

### 4.2 Stap 2: Voer veldonderzoek met valgewicht-deflectie-apparatuur uit en interpreteer de resultaten.

Ter voorbereiding op de feitelijke valgewicht-metingen moet een meetplan worden opgesteld. Essentiële elementen voor dat meetplan zijn:

- 1 Het vastleggen op welke bekleding(en) de metingen moeten worden uitgevoerd.
- 2 Aan hoeveel elementen van de zetting er moet worden gemeten en hoe de meetpunten over de zetting moeten worden verdeeld.
- 3 En hoe er moet worden gemeten.

In de paragrafen 4.2.1, 4.2.2 en 4.2.3 wordt ingegaan op een aantal aspecten van belang voor het meetplan.

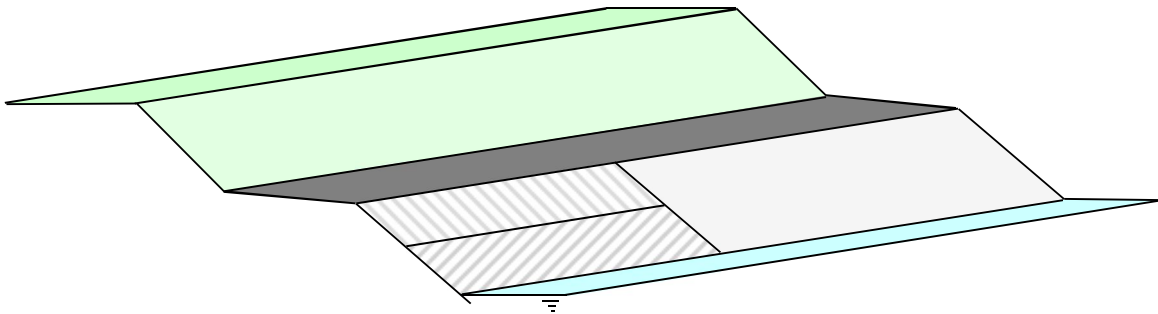
Vervolgens zullen de metingen op de dijk moeten worden uitgevoerd. Specifieke aandachtspunten voor het werken op de dijk zijn gegeven in paragraaf 4.2.4. Als de metingen zijn verricht, dan moeten deze zodanig worden verwerkt dat daar conclusies uit kunnen worden getrokken. Paragraaf 4.2.5 gaat in op de verwerking en de te hanteren criteria en de te trekken conclusies.

#### 4.2.1 Onderverdelen in homogene vakken

Bij het onderzoek naar de klemming van een zetting moet de respons van een groot aantal elementen worden gemeten zodat uiteindelijk op grond van de totale steekproef voldoende zekerheid kan worden verkregen omtrent de klemming in het gehele dijkvak. Om valide conclusies te kunnen trekken uit deze steekproef is het noodzakelijk dat het een steekproef betreft uit een min of meer homogene verzameling. De bekleding dient homogeen te zijn: de eigenschappen van de te beoordelen bekleding dienen niet noemenswaardig te variëren.

Dit kan het noodzakelijk maken om een te beoordelen bekleding verder op te delen in homogene stukken. Maar vanuit het oogpunt van efficiëntie is het verstandig de bekleding niet in al te kleine stukken onder te verdelen. Want ieder stuk moet namelijk apart worden beoordeeld met een flink aantal meetpunten per homogeen stuk. Om met voldoende zekerheid uitsluitel geven of er sprake is van klemming of niet, dient dat aantal meetpunten minstens het statistisch minimaal benodigde aantal te zijn.

Voor de onderverdeling moet gekeken worden naar factoren die de gemiddelde klemming zullen beïnvloeden. Uiteraard dient de bekleding met hetzelfde type/merk elementen met eenzelfde toplaagdikte en dichtheid te zijn aangelegd. Wezenlijke verschillen in mate van dichtslibbing of aanzanding, danwel begroeiing, kunnen reden zijn om de strekking onder te verdelen in homogene vakken of stroken (voor een uitleg van stroken en vakken, zie Figuur 4.1). Als de bekleding zich uitstrekt over sterk uiteenlopende niveaus van het buitentalud, bijvoorbeeld van NAP tot ver boven gemiddeld hoogwater, dan is dat reden om de bekleding op te delen in stroken die afzonderlijk moeten worden beoordeeld op klemming.



Figuur 4.1 Dijkstrekking waarvan het ondertalud is onderverdeeld in twee vakken (scheidingslijn loodrecht op de dijkas) en het linkervak onderverdeeld is in twee stroken (horizontale scheidingslijn, evenwijdig aan de dijkas)

Verskil in kwaliteit van het zetwerk kan ook reden zijn om de bekleding onder te verdelen in homogene vakken of stroken. Visueel waarneembare verschillen in spleetbreedte danwel open oppervlak van de bekleding zijn hiervoor een indicator. In bochten in de dijk is de kwaliteit van het zetwerk veelal wezenlijk anders dan op de aansluitende rechte dijkstrekkingen. Aangezien ook de taludhelling een rol speelt bij de mate van klemming zijn ook significante veranderingen van de taludhelling reden om de bekleding op te delen teneinde homogene proefvakken te verkrijgen.

Opgemerkt wordt nog dat de onderverdeling voor dit type onderzoek niet per se samen hoeft te vallen met de onderverdeling die is gemaakt voor de toetsing. Die onderverdeling is o.a. ook gemaakt aan de hand van de hydraulische randvoorwaarden. Maar een iets hoger toetspeil of een net wat grotere golfhoogte langs een en dezelfde dijkstrekking zal de klemming niet wezenlijk beïnvloeden.

#### 4.2.2 Aantal en locatie van de meetpunten

Het aantal punten wat in het klemmingsonderzoek moet worden beproefd dient toereikend te zijn om voldoende zekerheid te geven dat slecht geklemde elementen niet of nauwelijks voorkomen in de bekleding.

Het minimaal aantal elementen voor een steenzetting wat moet worden beoordeeld is gebaseerd op de methodiek beschreven in [Coeveld 2003]. Daarbij is uitgegaan van de aanname dat bij goede klemming er geen losse elementen worden aangetroffen (geen

trekkracht  $F_n < 2$  maal het eigengewicht van een element). Tegenwoordig wordt uitgegaan van een steekproef van 200 meetpunten, op grond waarvan met een betrouwbaarheid van meer dan 85% kan worden gesteld dat minder dan 1 op 1000 elementen los ligt.

Als 200 metingen gewenst zijn, moeten er iets meer VGD-metingen worden ingepland. Er zal bij de validatie van de meetresultaten een zeker percentage metingen worden afgekeurd, omdat onvoldoende gefoons contact hadden met de bekleding, of omdat de essentiële gefoons onvoldoende contact hadden met de bekleding tijdens de meting. Het percentage afgekeurde metingen zal afhankelijk zijn van de werkwijze en de onvlakheid van de bekleding en de voorzieningen getroffen aan de VGD-apparatuur om hiermee om te gaan. Bij een zorgvuldige werkwijze zal dit percentage de 10% doorgaans niet te boven gaan.

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 gemarkeerd of ingemeten worden, zodanig dat zij achteraf te traceren zijn.

#### 4.2.3 Richtlijnen voor het uitvoeren van VGD-metingen ter bepaling van klemming

- 1 De grondplaat moet bij een meting midden op één steen rusten en mag andere stenen daarbij niet raken. Afhankelijk van het type steenzetting zal de grondplaat van de VGD-apparatuur moeten worden aangepast. Een diameter van 20 cm of minder is voor bekledingstypen met relatief kleine elementen noodzakelijk.
- 2 De interpretatie van de metingen is vooral gericht op de verplaatsingen van de steen waarop wordt geslagen en zijn beide buurstenen. Daarom ook een gefoon aan de achterzijde van de meetopstelling opnemen. En wel zodanig dat de verplaatsingen van de twee elementen aan weerszijden van het belaste element op gelijke afstand wordt gemeten.
- 3 Om de verplaatsing van de direct ter weerszijde van de belaste steen goed te kunnen meten dient de afstand tussen de verplaatsingsopnemers op deze elementen en de centrale verplaatsingsopnemer afgestemd te zijn 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 stenen die grenzen aan de steen waarop de voetplaat rust. Is de (gemiddelde) steenafmeting te gering, dan kan door twee opnemers naast elkaar op één buurblok te plaatsen de verplaatsing in twee punten van dat element worden geregistreerd. Uit deze verplaatsingen kan de hoekverdraaiing van dit element worden vastgesteld en dus ook de verplaatsing in het hart van het element worden teruggerekend, zie paragraaf 4.2.5.
- 4 Tijdens een meting dienen voldoende gefoons goed contact te maken met de zetting. De meetbalk die de gefoons 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 gefoons is wenselijk om te voorkomen dat te veel gefoons onbruikbare signalen afgeven. Voor regelmatige bekledingen, zoals bijvoorbeeld de Haringmanblokkenzetting en de zetting van Hydro-blocks, is het wenselijk de standaard gefoonafstanden (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, zal een te grote uitval van geofoons bij de validatie leiden tot een grote uitval van meetpunten.

- 5 Zonodig 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.



Figuur 4.2 Brede rubbervoet als steunpunt voor de geofoonbalk op de steenzetting

- 6 Alle elementen waarop een meting wordt uitgevoerd, dienen te worden gemarkeerd danwel te worden ingemeten. Als na de interpretatie van de metingen blijkt dat er trekproeven noodzakelijk zijn, dan dienen zijn namelijk te kunnen worden teruggevonden.
- 7 Een volgende te beproeven steen dient daarom tenminste 1 m verwijderd te zijn van alle eerder beproefde stenen, zie paragraaf 4.2.2.
- 8 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.
- 9 Bij elke meetpunt moet er bij elke klap op de steen worden gemeten. Dus ook bij de inleidende klap. Die klap wordt in de wegebouw 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 afwijkende resultaten opleveren. Daarom moeten de meetresultaten van alle klappen, en dus ook de eerste, worden vastgelegd.
- 10 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.
- 11 Neem een overzichtsfoto van alle meetlocaties die zijn onderzocht.
- 12 Voer op tenminste 200 meetpunten een geslaagde meting uit. De meting is geslaagd als hij door de validatie heen komt.

- 13 Validatie van de ingewonnen data verdient in vergelijking met de wegenbouwpraktijk extra aandacht doordat de metingen plaatsvinden op een talud en doordat de bekleding tamelijk onvlak is. Tijdens de meting zullen gefoons daardoor sneller slecht contact maken met de bekleding, of zijdelings wegspringen vanaf oneffenheden. Tenminste de centrale deflectie en de deflecties van de stenen direct ter weerszijde van het belaste element moeten betrouwbaar geregistreerd zijn. Maar om terugrekenen van de stijfheden van bekleding en onderlagen mogelijk te maken, moeten ook voldoende betrouwbare signalen van andere gefoons beschikbaar zijn.
- 14 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 de opdrachtgever aangeleverde constructieopbouw.

#### 4.2.4 Specifieke aandachtspunten voor het uitvoeren van klemmingsonderzoek op dijken

##### **Storm, getij en golven**

Bij het uitvoeren van de metingen moet er rekening mee worden gehouden dat de bekleding die wordt onderzocht er voor bedoeld is om de dijk te beschermen tegen golfaanval. De metingen kunnen uiteraard niet worden uitgevoerd op het moment dat er daadwerkelijk sprake is van golfaanval op de betreffende bekleding. Met de planning van de metingen zal terdege rekening moeten worden gehouden met de randvoorwaarden die worden opgelegd door getij en weersomstandigheden.

Normaliter zal een klemmingsonderzoek buiten het zogenaamde stormseizoen worden uitgevoerd. Dit stormseizoen, ook wel "gesloten seizoen" genoemd, is een periode waarin werkzaamheden aan de dijk alleen in zeer dringende gevallen mogen worden uitgevoerd, omdat het risico op onwerkbaar weer en stormen in die periode relatief hoog is. Het gesloten seizoen wordt door de waterkeringbeheerder vastgesteld, maar bevat in ieder geval de wintermaanden. In Zeeland loopt het stormseizoen van 1 oktober tot 1 april.

Echter, buiten het gesloten seizoen zijn stormen ook niet uitgesloten. Dat betekent dat het noodzakelijk is om de weer- en getij/waterstand- en golfvoorspellingen in de gaten te houden. Zelfs als het niet stormt, kunnen getij en waterstand het werken tijdelijk onmogelijk maken. Hoe lager op het talud de metingen gewenst zijn, hoe groter de kans dat de waterstand en golfoploop het werken op het talud gedurende een bepaalde periode van de dag onmogelijk maakt.

Mogelijk nuttige sites met voorspellingen zijn:

[http://www.meetadviesdienst.nl/nl/water-en-weer\\_verwachtingen-water.htm](http://www.meetadviesdienst.nl/nl/water-en-weer_verwachtingen-water.htm)

##### **Talud en begroeiing**

De proeven moeten uitgevoerd worden op het dijktaalud. Dat kan zodanig steil zijn dat het niet door ieder type voertuig berijdbaar is. Er dient terdege rekening te worden gehouden met het risico op wegglijden. Specifiek als het talud nat is en begroeid met algen of wieren is dit risico aanzienlijk. Werken op een droog talud reduceert het risico aanzienlijk. Maar (laag) in de getijzone is het niet altijd mogelijk om te wachten tot een begroeid talud helemaal droog is.

##### **Vergunningen**

Nagegaan moet worden of er toestemming nodig is in verband met mogelijke verstoring van natuurwaarden. Gedacht kan worden aan broedvogels op het voorland of vegetatie/fauna op

het talud zelf. Als een vergunning daadwerkelijk nodig is, kan dit consequenties hebben voor de planning. Denk daarbij aan wachten tot het einde van het broedseizoen.

## Contractbepalingen

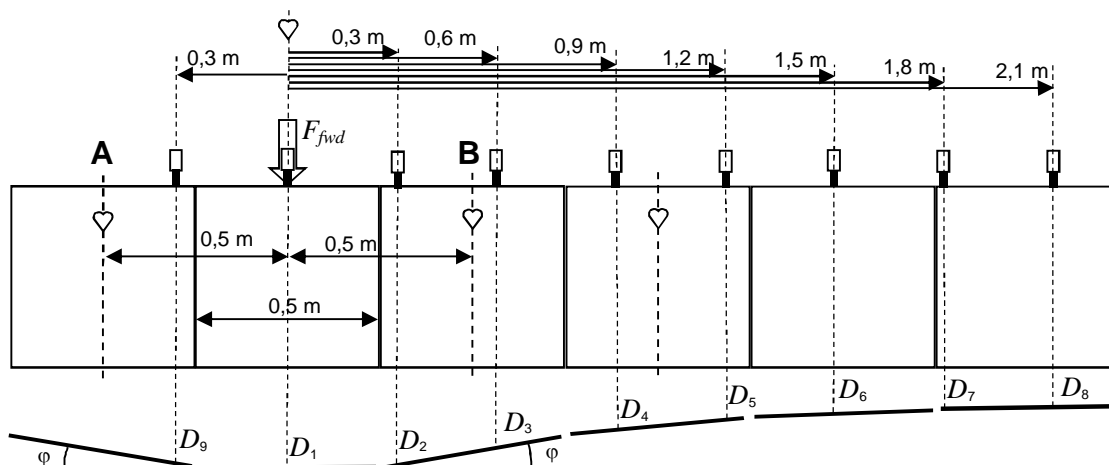
Vanuit het oogpunt van de zorg voor de veiligheid en gezondheid (V&G) van (onder)aannemers op de dijk, neemt RWS een V&G-paragraaf op in contracten met betrekking tot onderzoeken op dijken. Een voorbeeld hiervan is opgenomen in bijlage A.

### 4.2.5 Verwerken en interpreteren van de VGD-meetresultaten gericht op klemming

Bij de verwerking en de presentatie van de VGD-meetresultaten zijn een aantal punten van belang. Slechts wat hoofdlijnen worden hier gememoreerd. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar [Hart 2012].

De meetresultaten moeten worden gevalideerd, daarvoor moeten de deflectiecurven worden beoordeeld. Zeker als de centrale deflectie en die van de twee aangrenzende elementen twijfel oproepen, kan de meting niet worden gebruikt bij de interpretatie.

Bij de evaluatie van de VGD-metingen staan de verticale verplaatsingen van het element waarop is geslagen en zijn twee buurblokken ter weerszijde centraal. Als de meting op de buurblokken ( $D_2$  en  $D_9$ ) niet in het hart van de betreffende blokken heeft plaatsgevonden, zie bijvoorbeeld Figuur 4.3, moet met behulp van een tweede meting op het rechter buurblok ( $D_3$ ) de verplaatsing in het midden van dat blok door middel van lineaire interpolatie worden bepaald. Ook de hoekverdraaiing  $\varphi$  van het buurblok kan worden bepaald. Als voor het linker buurblok een tegengestelde maar even grote hoekverdraaiing wordt aangenomen kan ook voor dat blok de gezochte verticale verplaatsing worden berekend.



Figuur 4.3 Voorbeeld plaatsing geofoons van VGD op een zetting van (gekantelde) betonblokken  $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ , waarbij de deflecties  $D_2$ ,  $D_3$  en  $D_9$  gebruikt moeten worden om de verplaatsingen in de hartlijnen **A** en **B** te berekenen.

Aannemende dat de deflecties  $D_2$  en  $D_9$  betrekking hebben op de hartlijn van de elementen, danwel dat het de daarnaar teruggerekende waarden betreffen, dient de klemmingsindicator  $V'$  te worden bepaald:

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



Waarin:

- $D_1$  De maximale deflectie van de steen waarop is geslagen [mm].
- $D_2$  De maximale deflectie van de steen rechts van de steen waarop is geslagen [mm].
- $D_9$  De maximale deflectie van de steen links van de steen waarop is geslagen [mm].

Als de waarde van deze parameter gemiddeld over alle meetpunten van een homogeen bekledingsvak kleiner is dan 1,60, dan is de betreffende bekleding slecht geklemd. Uitvoeren van trekproeven ter verificatie is dan niet meer nodig.

Blijkt de gemiddelde klemmingsindicator groter dan 1,60, dan is dat nog geen garantie dat de bekleding goed is geklemd. Om het oordeel "goed geklemd" te kunnen geven, moeten aanvullende trekproeven worden uitgevoerd op een aantal stenen die een lage waarde voor de klemmingsindicator te zien geven. Dit zijn elementen die mogelijk (relatief) los liggen. Als trekproeven op de tien elementen met de laagste waarde voor de klemmingsindicator geen losse elementen te zien geven, dan mag die bekleding als goed geklemd worden aangemerkt.

### 4.3 Stap 3: Uitvoeren en interpreteren van aanvullende trekproeven

Ter voorbereiding op de trekproeven moet ook een meetplan worden opgesteld. Essentiële elementen die in dat meetplan moeten zijn vastgelegd zijn:

- 1 De selectie van 10 stenen van de zetting waaraan moet worden getrokken en hoe die in het veld kunnen worden teruggevonden.
- 2 De wijze van meten en vastleggen van de meetgegevens.

In paragraaf 4.3.1 wordt ingegaan op een aantal aspecten van belang voor het meetplan. Vervolgens zullen de metingen op de dijk moeten worden uitgevoerd. Specifieke aandachtspunten voor het werken op (zee)dijken zijn gegeven in paragraaf 4.2.3. Als de metingen zijn verricht, dan moeten de resultaten zodanig worden gepresenteerd dat daar conclusies uit kunnen worden getrokken. Paragraaf 4.3.2 gaat in op de verwerking en de te trekken conclusies.

#### 4.3.1 Het meetplan voor het uitvoeren van trekproeven

Op grond van de interpretatie van de VGD-metingen zal aan een 10-tal stenen moeten worden getrokken. Het meetplan moet duidelijk aangeven aan welke stenen van de zetting getrokken moet worden en hoe die stenen op de dijk kunnen worden teruggevonden.

Voorts moet het meetplan de installatie beschrijven waarmee de trekproeven worden uitgevoerd en de richtlijnen geven voor het meten. Vastgelegd moet worden met welke kracht er aan de stenen getrokken moet worden. Dit is namelijk afhankelijk van de afmetingen en dichtheid van de elementen, dit is dus voor elke bekleding een heel specifieke kracht.

Voorafgaand aan de feitelijke metingen dient een meetformulier te worden opgesteld, waarmee de veldploeg de benodigde gegevens per meetpunt eenvoudig en volledig kan vastleggen. Het meetformulier dient, per trekproef, voldoende ruimte voor vrije aantekeningen of een schetsje te bieden.

Richtlijnen voor het uitvoeren van trekproeven ter bepaling van klemming:

1. 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!).



Figuur 4.4 Uitvoering van trekproef met driepoot, digitale unster en takel

2. Om zeker te zijn dat er minstens met een trekkracht van tweemaal het eigengewicht wordt getrokken, wordt bij de trekproeven als doel gesteld om met een trekkracht van ongeveer 3 maal het elementgewicht te trekken. 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 maximum heeft geen zin omdat de bekleding zich dan alleen maar verder op zal spannen tot het moment dat er ergens materiaal gaat verbrijzelen.
3. 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".
4. Als verankering in een steen van de zetting kan gebruik worden gemaakt van ankers in geboorde gaten. Het boorgat dient voorafgaand aan het plaatsen van het anker te worden schoongebleden. Dat vergroot de kans dat het anker voldoende grip heeft tijdens het trekken.
5. Altijd zuiver centrisch aan een element trekken: daarom het trekanker met trekkoog 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. 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 onnodig te worden belast door zaken met een significant gewicht en zeker niet excentrisch (zie Figuur 4.5).
8. Meet voordat met trekken wordt begonnen het verschil in hoogte met de (zes) buurelementen. 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 wordt deze stortbraam voor zover nodig eerst verwijderd door hem eraf te tikken met een hamertje.

9. De trekkracht (te meten met bijvoorbeeld een digitale unster) geleidelijk opbouwen, zodat als een element loskomt, kan worden genoteerd bij welke kracht het element los kwam.
10. Trek tot de grenswaarde voor de trekkracht is bereikt of tot 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 5 mm bedraagt, dan is er ook sprake van een "los blok".
12. Als blijkt dat 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. Zodra er bij een trekproef een "los blok" is geconstateerd, kan de meting op die bekleding worden beëindigd. Het betreft dan een zetting met een groot aantal losse blokken.
15. Verwijder na beëindiging van de proeven de trekogen en/of andere boven de stenen uitstekende delen die zijn gebruikt voor het trekken aan de stenen.



*Figuur 4.5 Voorbeeld van de trekproef met driepoot. De driepoot is correct geplaatst: geen enkele 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*

Gegevens die bij de trekproeven moeten worden vastgelegd:

- 1 Noteer de weersomstandigheden waarbij het werk is uitgevoerd (temperatuur, regen en wind).
- 2 Fotografeer het element waaraan gaat worden getrokken vanuit een hoog standpunt, zodat een goede indruk wordt verkregen van de toestand van de voegen rond het element.
- 3 Noteer locatiegegevens (waaronder nummer van de rij ten opzichte van onderste of bovenste overgangsconstructie als het om een blokkenzetting gaat), fotonummer en datum/tijdstip van de proef.
- 4 Noteer de verschillen in hoogte [mm] tussen het blok waaraan zal gaan worden getrokken en zijn (zes) burens.

- 5 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).
- 6 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) burens. En bereken en noteer de (zes) verplaatsingen [mm] en de gemiddelde verplaatsing [mm].
- 7 Noteer indien waarneembaar het vervormingspatroon rond de steen waaraan wordt getrokken op het moment dat één van de twee grenswaarden wordt overschreden. Onderscheiden worden, zie Figuur 4.6:
  - 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 meerdere 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.
- 8 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) burens. En bereken en noteer de (zes) restverplaatsingen [mm] en de gemiddelde restverplaatsing [mm].
- 9 Leg eventuele bijzonderheden tijdens de proef vast op foto of schets en maak notities op het inwinformulier. Vermeldenswaardig zijn bijvoorbeeld:
  - 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 specifieke foto's.

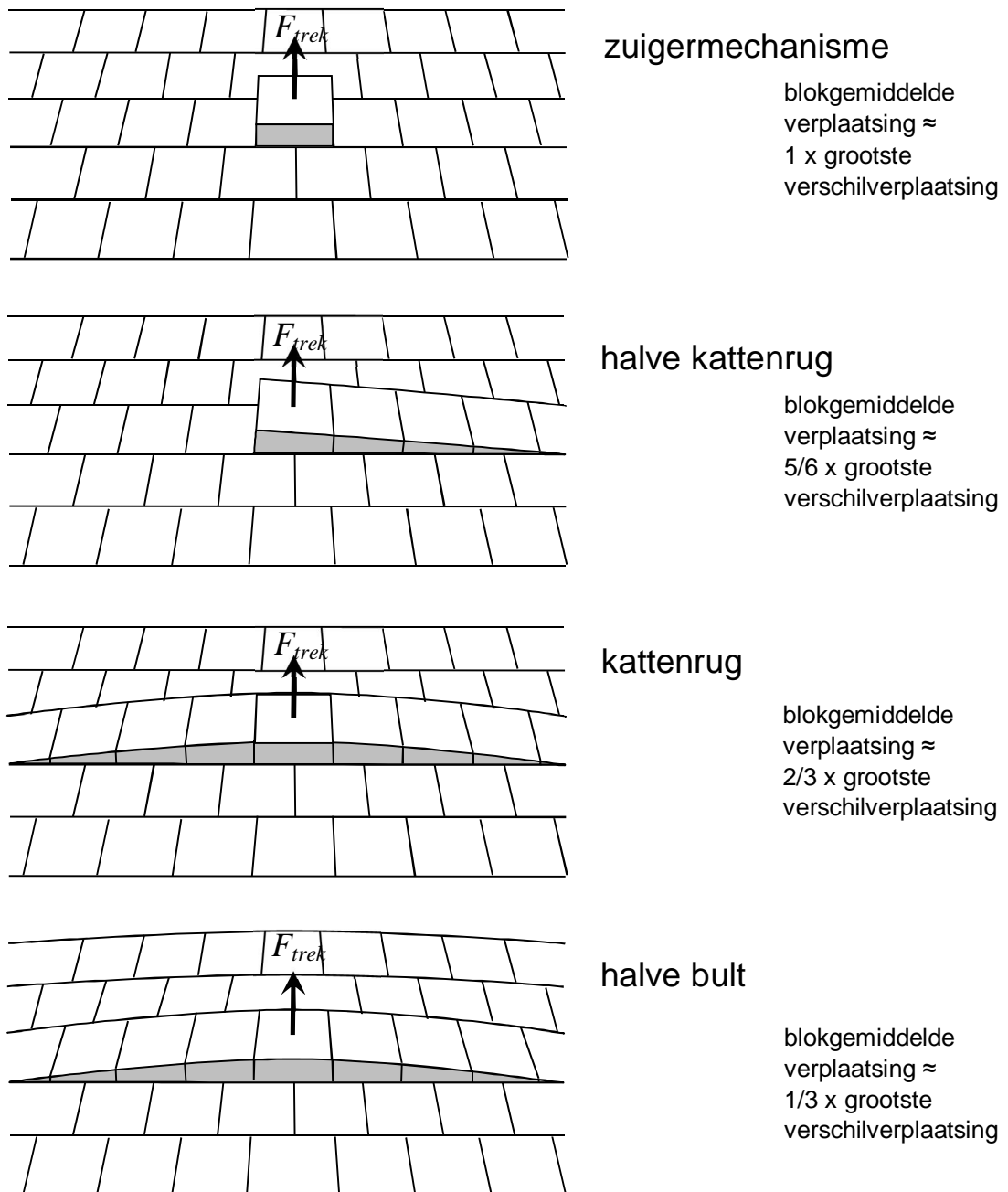
#### 4.3.2 Verwerken en interpreteren van de resultaten van de trekproeven

Doel van de trekproeven is om vast te stellen of de elementen met de laagste waarden voor de klemmingsindicator, gebaseerd op de VGD-metingen werkelijk losse elementen bevatten of dat er om andere redenen lage waarden in de VGD-metingen aanwezig zijn.

Strikt genomen is de constatering dat er één of geen los blok binnen de onderzochte steekproef aanwezig is, voldoende om tot het oordeel niet-geklemd of goed-geklemd te komen.

Maar het is met het oog op toekomstige ontwikkeling nuttig om de bij de trekproeven gemeten resultaten vast te leggen. Als op die manier ervaringen wordt opgebouwd, kan op grond daarvan de meetgegevens uit meerdere klemmingsonderzoeken hopelijk ooit direct harde

conclusies worden verbonden aan de resultaten van de VGD-metingen. Aanvullende trekproeven zouden dan in de toekomst kunnen vervallen.



Figuur 4.6 Enkele typerende bezwijkvormen bij trekproeven op steenzettingen



## 5 Kosten-baten-afweging klemmingsonderzoek

Allereerst wordt ingegaan op de vraag of klemmingsonderzoek lonend is. Als berekeningen aantonen dat een oordeel over de klemming uitsluitend geeft over het al of niet stabiel zijn van de toplaag (stap 1 in de beschreven methodiek), dan is klemmingsonderzoek al snel lonend.

Dat komt omdat de investering gemoeid met het uitvoeren en interpreteren van de proeven marginaal is in vergelijking met de besparingen die kunnen worden gerealiseerd door het niet hoeven reconstrueren van de betreffende bekleding. Zelfs als de kans dat het klemmingsonderzoek tot positieve bevindingen leidt, wordt ingeschat op 1/100<sup>e</sup>, dan zal de investering in het klemmingsonderzoek volgens een economische afweging waarschijnlijk al rendabel zijn.

In deze rapportage wordt een alternatieve aanpak van het klemmingsonderzoek beschreven waarbij VGD-apparatuur wordt ingezet, zodat in vrij korte tijd een groot aantal stenen van een steenzetting kan worden onderzocht. Het betreft een alternatief voor het doen van een set trekproeven met een vergelijkbare omvang.

In principe was de ontwikkeling van het onderzoek naar klemming met VGD-apparatuur bedoeld om te kunnen beschikken over een snellere en kosten-effectievere werkwijze om klemming vast te stellen bij een bekleding waarbij daarover twijfels zijn.

Een analyse van de kosten van recent uitgevoerde klemmingsonderzoeken hebben duidelijk gemaakt dat momenteel het kostenniveau van de aanpak van het klemmingsonderzoek met gebruik van VGD en het klemmingsonderzoek gebaseerd op uitsluitend trekproeven elkaar niet veel ontloopt. Welke aanpak goedkoper is, zal mogelijk worden bepaald door de mate waarin de orderportefeuille van de inschrijver gevuld is.

Dat de kostprijs voor beide onderzoeksmethoden ongeveer op hetzelfde niveau uitkomt, is voor een belangrijk deel toe te schrijven aan het feit dat vooralsnog niet op grond van alleen de VGD-metingen een positief oordeel kan worden geveld. Als meer ervaring wordt opgedaan met het vaststellen van klemming door middel van VGD-metingen zal mogelijk een oordeel kunnen worden gebaseerd op alleen de resultaten van de VGD-metingen. De kostenbalans slaat dan om in het voordeel van de VGD-metingen. Maar dat vraagt dan dus nog wel om beduidend meer ervaring met de inzet van VGD-metingen en een analyse van deze ervaringen.

Tot slot moet worden opgemerkt dat de beproeving met VGD-apparatuur net iets beter inzicht in de toestand van de bekleding geeft. Een recent aangelegde zetting met ingewassen zuilen scoorde volgens de VGD-metingen qua klemmingsindicator duidelijk minder dan een wat oudere ingewassen zetting. Op zich lijkt dat reëel: de inwassing zit nog niet echt goed vast. De inwassing is daardoor gevoeliger voor uitspoeling, oftewel de constructie is daarmee inderdaad wat minder betrouwbaar.

Trekproeven leveren dat specifieke onderscheid niet of in veel mindere mate. Maar omdat de trekproeven momenteel nog de referentie vormen, kan dit voordeel van de VGD-metingen vooralsnog niet aan de batenkant worden gewaardeerd.





## 6 Conclusie

Traditioneel kan de mate van klemming van steenzettingen bepaald worden met behulp van trekproeven. Door middel van een trekkracht haaks op de bekleding wordt dan gekeken of een bepaalde steen met een kracht van tenminste tweemaal (maar om praktische redenen meestal driemaal) het eigen gewicht tussen de andere stenen uitgetrokken kan worden. Om een statistisch voldoende betrouwbaar resultaat te verkrijgen moet op elke steenzetting echter een paar honderd trekproeven uitgevoerd worden.

In de afgelopen twee jaar is een alternatief voor deze beproevingsmethode ontwikkeld, namelijk de valgewichtdeflectiemeting (VGD), die ook veel toegepast wordt om wegverharding te beproeven.

Helaas is gebleken dat met deze methode niet altijd uitsluitsel gegeven kan worden over de klemming. Voor het aantonen van een goed geklemd steenzetting moeten altijd nog een aantal verdachte stenen op de traditionele wijze getrokken worden.

Zowel de nieuwe VGD-metingen als de traditionele trekproeven zijn in dit rapport uitvoerig beschreven.

Op basis van een kosten-batenanalyse is geconcludeerd dat de nieuwe methode vooralsnog geen grote voordelen heeft ten opzichte van de traditionele methode.



## Literatuur

- [Blom 2006] J.A.H. Blom: *Veldproeven op steenzettingen in Zeeland, Synopsis*. Royal Haskoning, Rotterdam september 2006.
- [Blom 2007] J.A.H. Blom, L. van Nieuwenhuijzen, D.J. Peters: *Meet- en analyserapport proefnemingen op geklemde steenzettingen op dijken in Zeeland*. Royal Haskoning, rapport 9R5069.A0, Nijmegen, juni 2007
- [Coeveld 2003] E.M. Coeveld en M. Klein Breteler: *Invloed klemming : statistische analyse trekproeven*. WL | Delft Hydraulics, Delft november 2003.
- [Derkzen 2004] B.G.L. Derkzen: *Constructief ontwerp van steenzettingen. Numeriek onderzoek naar de liggerwerking van de toplaag*. TUD afstudeerrapport 9179483, Delft, juni 2004.
- [Frissen 1998] C.M. Frissen, G.M.A. Schreppers: *Numerieke modellering van steenzettingen, Zuilenbekledingen, met variatiestudies, imperfecties en praktijkaanbevelingen*. TNO Bouw rapport 07.23.3.4998, Delft, december 1998.
- [Frissen 2000] C.M. Frissen: *Modelleren van een zuilen- en blokkenbekleding*. TNO Bouw rapport 006.03499/01.01, Delft, juli 2000.
- [Frissen 2000A] C.M. Frissen: *Numerieke modellering van een blokken- en zuilenbekleding, Simulaties van trekproeven en bezwijken door golfbelasting*. TNO Bouw rapport 006.03582/01.01, Delft, december 2000.
- [Hart 2011] R. Hart: *Bepaling klemming in steenzettingen op basis van VGD-metingen (valgewichtdeflectiemetingen)* Deltares rapport 1202551-006 HYE, Delft februari 2011.
- [Hart 2012] R. Hart: *Klemming in steenzettingen bepalen met VGD-metingen* Deltares rapport 1204727-011-HYE-0013, maart 2012.
- [Klein Breteler 1998] M. Klein Breteler: *Open taludbekledingen, Invloedsfactor van minimale klemkracht*. WL | Waterloopkundig laboratorium, H2530, Delft mei 1998.
- [Klein Breteler 2009] M. Klein Breteler, *Documentatie Steentoets2008, Kennisleemtes Steenbekledingen*, Rapport v64. Deltares, H4846, juni 2009.
- [Klein Breteler 2013] M. Klein Breteler, G.C. Mourik, *Invloed kwaliteit zetwerk op stabiliteit steenzetting, Trekproeven op slecht zetwerk*, Deltares, 1206424-016-HYE-0011, Delft, febr. 2013.
- [Peters 2004] D.J. Peters: *Laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen*. Royal Haskoning rapport 9P0669.A0/R0001/DJP, Nijmegen november 2004.

[Peters 2008] D.J. Peters: *Veldproeven op teenconstructies in Zeeland, Meetrapport met verkennende analyse*. Royal Haskoning rapport 9T5583.A0/R0001/416450 Nijmegen, december 2008.

[Wolters 2007] G. Wolters, M. Klein Breteler: *Normaalkracht in steenzetting met blokken op hun kant. Grootschalig onderzoek in Deltagoot*. Rapport H4941, WL|delft hydraulics, Oktober 2007.

## **A Paragraaf Veiligheid en Gezondheid, uit contractbepalingen RWS**

### Artikel .. Veiligheid en Gezondheid

1. Ten behoeve van de uit te voeren werkzaamheden dient de opdrachtnemer te voldoen aan de eisen t.a.v. veiligheid en gezondheid zoals die gelden bij de opdrachtnemer voor de uit te voeren werkzaamheden.
2. De opdrachtnemer wordt op de volgende risico's gewezen voor de werkzaamheden op en nabij de dijk en wordt geacht hier passende maatregelen voor te nemen:
  - De werkzaamheden vinden plaats in een tijgebied (voorkomen van hoog- en laagwater), tijden van hoog- en laagwater zijn o.a. te vinden op [www.getij.nl](http://www.getij.nl).
  - Onbeschutte situatie; denk hierbij aan weersomstandigheden zoals bliksem, harde wind.
  - Het talud van de dijk kan glad zijn door bv. vocht, aanwezige planten(resten) en afval.
  - Aanwezigheid van derden, waarbij speciaal aandacht wordt gevraagd voor fietsers/bromfietzers op de onderhoudspaden op de berm van de dijk.
3. In de rapportage van de werkzaamheden dient aandacht geschonken te worden aan ongevallen en bijna-ongevallen.
4. Rijkswaterstaat houdt zich het recht voor om op bovenstaande punten te toetsen.
5. In geval van onduidelijkheden/vragen t.a.v. V&G-risicobeheersing wordt opdrachtnemer geacht direct contact op te nemen met opdrachtgever.
6. In geval van een incident (arbeidsongeval, letsel derde) dient terstond contact opgenomen te worden met opdrachtgever.