

# Geavanceerde toetsing

projectbureau Zeeweringen



Geautoriseerd:

J. Weijers

d.d.

Identificatie: Geavanceerde toetsing

Projectbureau 'Zeeweringen'

d.d. 24-05-2000

Archiefnr: PZDT-R-99507 ken

Auteur: Y.M. Provoost

Status: definitief  
Versie wiki

## INHOUD

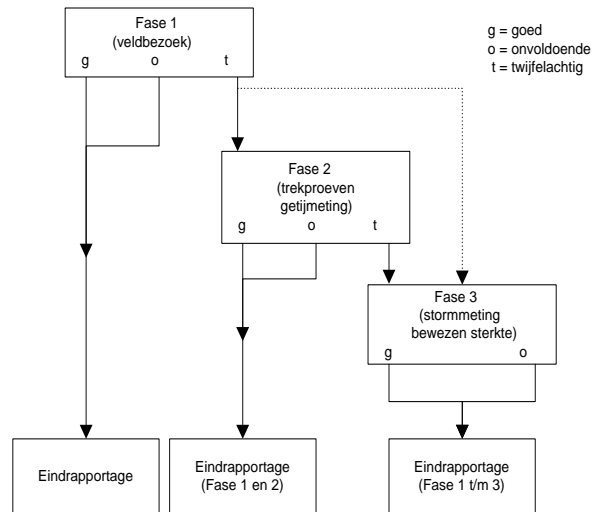
Inhoud .....	2
1. Geavanceerde toetsingen vanaf 2000 .....	3
1.1 De drie-fasen-structuur .....	3
1.1.1 Algemeen .....	3
1.1.2 Voorbereidingen .....	3
1.1.3 Fase 1 .....	3
1.1.4 Fase 2 .....	3
1.1.5 Fase 3 .....	4
1.2 Kwaliteit van de geavanceerde toetsing .....	4
1.2.1 Reproduceerbaarheid .....	4
1.2.2 Controleerbaarheid .....	4
1.3 Rapportage van de toetsingen .....	5
1.4 Ingewonnen gegevens .....	5
2. Proeven en methodieken bij de geavanceerde toetsing .....	6
2.1 In situ Metingen .....	6
2.1.1 Bepaling materiaal eigenschappen .....	6
2.1.2 Getijmeting .....	7
2.1.3 Stormmeting .....	7
2.1.4 Trekproeven .....	8
2.2 Statistische analyse bepaling laagdikte en dichtheid .....	8
2.3 Trekproeven op steenbekledingen .....	9
2.3.1 Algemeen .....	9
2.3.2 Inwinnen van de gegevens .....	9
2.3.3 Statistische analyse .....	10
2.4 Rekenmodellen en hydraulische randvoorwaarden .....	10
2.4.1 Algemeen .....	10
2.4.2 Rekenprogramma's .....	10
2.4.3 Bewezen sterkte .....	10
2.4.4 Hydraulische randvoorwaarden .....	11
Bijlage 1 Achtergronden geavanceerde toetsing	

## 1. GEAVANCEERDE TOETSINGEN VANAF 2000

### 1.1 De drie-fasen-structuur

#### 1.1.1 Algemeen

Een drie-fasen-structuur (zie Figuur 1) sluit goed aan bij de structuur van het VTV en is goed werkbaar. Door het scheiden in fasen blijft de toetsing overzichtelijk en kan bij voldoende (tussentijds) resultaat worden afgerond met een rapportage.



De hoofdbestanddelen van de fasen blijven bestaan, het veldbezoek bij Fase 1, de getijmeting bij Fase 2 en bij Fase 3 de stormmeting.

#### 1.1.2 Voorbereidingen

Verzamel alle gegevens en controleer deze. Zorg ervoor dat de toetsresultaten bekend en juist zijn.

Voer de proeven uit in overleg met de beheerder.

Zorg er voor dat het dijkvak toegankelijk is. Regel (in overleg met de beheerder) een breekploeg.

Zorg voor de benodigde vergunning/toestemming.

#### 1.1.3 Fase 1

Een veldbezoek is noodzakelijk om enig 'gevoel' voor het dijkvak te verkrijgen. Dit veldbezoek wordt uitgevoerd in het bijzijn van de beheerder. Voorafgaand aan het veldbezoek wordt het ter beschikking gestelde materiaal bestudeerd zodat op voorhand al besloten kan worden of en waar nader onderzoek (breekwerk) gewenst is. Een geavanceerde toetsing is meestal gedetailleerder dan de inventarisatie voor de toetsingen. Hierdoor kan het noodzakelijk zijn om nogmaals te breken. Als tijdens het veldbezoek blijkt dat bepaalde plekken (sterk) afwijken (bijvoorbeeld meer of minder ingezand, een 'deuk' in het talud, overgoten i.p.v. ingegoten, slechtere zetting) dan kan (extra) breekwerk eveneens nodig zijn. Dit breekwerk zal informatie op moeten leveren over de steendiktes, de mate van ingieten, de opbouw van de onderlagen, de doorlatendheid van het filter (en de dikte van de kleilaag). In deze fase kan ook een extra analyse van de dikte en de dichtheid van de bekleding worden verricht. (zie § 2.1)

Door het maken van foto's wordt de visuele inspectie vastgelegd (deze foto's worden in de rapportage opgenomen). Ook het beheerdersoordeel (wel of geen ervaring met schade in het dijkvak) wordt in deze fase betrokken.

In eerste instantie worden de berekeningen uitgevoerd met de bekende randvoorwaarden. Als blijkt dat de bekleding net niet voldoet, worden in deze fase ook de hydraulische randvoorwaarden kritisch bekeken (zie ook § 2.4.4).

Voor het rekenwerk wordt onder andere gebruik gemaakt van analytische en numerieke modellen (Steentoets, STEENZET), blackbox figuren en resultaten van Deltagoot proeven. De parameters voor deze berekening komen uit de inwinformulieren, de toetstabellen en uit het extra breekwerk.

Deze fase wordt afgerond met een rapport waarin een eindoordeel en/of advies voor nader onderzoek staat vermeld. Bij het advies voor vervolgonderzoek dient ook beschouwd te worden in hoeverre een bekleding voor en na een (maatgevende) storm dezelfde eigenschappen bezit (bv. doorlatendheden).

#### 1.1.4 Fase 2

Indien de voorgaande fase geen eindoordeel heeft opgeleverd wordt Fase 2 opgestart.

Deze fase kan bestaan uit:

- het uitvoeren van trekproeven (§ 2.3)
- het uitvoeren van getijmetingen (§ 2.1.2)
- het uitvoeren van doorlatendheidsmetingen van de toplaag (§ 2.1.1)
- een combinatie van bovengenoemde proeven

De fase bestaat uit het opstellen van een meetplan en het uitvoeren van de proef (of proeven).

Bij het uitvoeren van een getijmeting worden de waarden die uit deze meting worden verkregen (doorlatendheid (toplaag) en filter), gebruikt om de schematisering in het programma STEENZET (of een soort gelijk programma) door te rekenen (te ijken). Met dit programma wordt daarna geëxtrapoléerd tot de maatgevende situatie. De drukken (door water in het filter) die dan onder de bekleding ontstaan, worden bepaald zodat duidelijk wordt of de bekleding de maatgevende condities kan weerstaan.

Deze fase wordt afgerond met een rapport (over de fases 1 en 2) waarin een eendoordeel en/of advies voor nader onderzoek staat vermeld.

### 1.1.5 Fase 3

Indien de voorgaande fase geen eendoordeel heeft opgeleverd, wordt Fase 3 opgestart.

Deze fase kan bestaan uit:

- het 'toepassen' van bewezen sterkte (§ 2.4.3)
- het uitvoeren van een stormmeting (§ 2.1.3)
- een combinatie van beide

Indien gekozen wordt voor een stormmeting wordt een meetplan opgesteld en wordt de stormmeting uitgevoerd. De waarden die uit deze meting worden verkregen (doorlatendheid toplaag en filter, leklengte), worden gebruikt om de schematisering in het programma STEENZET (of een soort gelijk programma) door te rekenen (te ijken). Met dit programma wordt daarna geëxtrapoléerd tot de maatgevende situatie. De drukken (opgewekt door golven) die dan onder de bekleding ontstaan, worden bepaald zodat duidelijk wordt of de bekleding de maatgevende condities kan weerstaan.

Het 'toepassen' van bewezen sterkte houdt in dat (beredenerenderwijs) aangetoond wordt dat de bekleding de maatgevende condities al heeft gehad zonder dat daarbij schade is opgetreden. Hierbij moet dan ook worden aangetoond dat de materiaal eigenschappen die bepaald zijn ook gelden tijdens de maatgevende condities.

Deze fase wordt afgerond met een rapport (over alle doorlopen fases) met een eendoordeel.

## 1.2 Kwaliteit van de geavanceerde toetsing

### 1.2.1 Reproduceerbaarheid

Door alle partijen (toetsers, beheerder, uitvoerende partijen, kennisinstituut) te betrekken bij de geavanceerde toetsingen wordt voorkomen dat persoonlijke ideeën en inzichten de resultaten gaan bepalen. De in situ metingen zoals beschreven (§ 2.1) dienen steeds op een vergelijkbare manier te worden uitgevoerd waardoor de gevonden waarden eenzelfde mate van nauwkeurigheid hebben.

Bij de rapportage dienen de uitgangspunten en gebruikte parameters duidelijk te worden vastgelegd. Door het gebruik van computermodellen wordt de reproduceerbaarheid verbeterd.

Doordat bij de geavanceerde toetsingen veelal gebruik gemaakt wordt van de nieuwste kennis en inzichten blijft het mogelijk dat de tweede toetsing van twee opeenvolgende toetsingen met verbeterde modellen en inzichten wordt uitgevoerd (en tot afwijkende resultaten leidt).

### 1.2.2 Controleerbaarheid

De opdrachten voor de geavanceerde toetsingen worden schriftelijk gegeven.

De bevindingen zijn te lezen in de rapportage van de toetsers. Door te zorgen voor een standaard rapport zijn de resultaten goed te vergelijken en wordt voorkomen dat per (gelijksoortige) toetsing andere aspecten worden behandeld. Bij de berekeningen die worden uitgevoerd dient gebruik te worden gemaakt van geaccepteerde modellen en programmatuur (zie ook § 2.4).

De definitieve rapporten dienen te worden bewaard in het archief van het projectbureau.

### **1.3 Rapportage van de toetsingen**

De rapportage wordt opgesteld door het ingenieursbureau dat de toetsing uitvoert. De rapportage bestaat uit een beschrijving van het locatiebezoek, de gebruikte parameters en eigenschappen, een omschrijving van de gebruikte modellen, de resultaten van de berekeningen (inclusief verwijzing naar resultaten van de voorgaande toetsingen), het beheerdersoordeel en een conclusie met aanbevelingen. Als bijlage worden geleverd een overzichtskaartje met het dijkvak, een overzicht van het dijkvak met hierop de meetlocaties (aangevuld met enkele doorsneden), een kaartje met de resultaten van de toetsingen (ook van de eventuele voorgaande toetsingen) en de foto's die gemaakt zijn bij het locatiebezoek.

Indien bij de berekeningen en de beschouwing op basis waarvan de rapportage wordt geschreven, uitgegaan wordt van nieuwe inzichten, dient de status hiervan in het rapport te worden vermeld.

Bij gelijksoortige toetsingen dient het rapport eenzelfde opbouw te hebben.

### **1.4 Ingewonnen gegevens**

Tijdens de geavanceerde toetsing worden verschillende gegevens (bv. opbouw filter, dikte bekleding) ingewonnen. Deze gegevens worden aan het einde van de toetsing ter beschikking gesteld van het waterschap. Het waterschap kan deze gegevens dan toevoegen in hun legger en beheersregister.

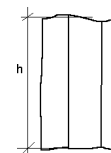
## 2. PROEVEN EN METHODIEKEN BIJ DE GEAVANCEERDE TOETSING

### 2.1 In situ Metingen

#### 2.1.1 Bepaling materiaal eigenschappen

- **Dikte van de bekleding**

De dikte van de bekleding wordt bepaald met bijvoorbeeld een duimstok of rolmaat. Bij natuursteen moet (vanwege het grillige uiterlijk) een reële schatting worden gemaakt van waar tot waar wordt gemeten. (Zie ook § 2.2)



**Figuur 2 Hoogte  
natuursteen**

- **Dichtheid van de bekleding**

Voor de te hanteren standaard dichtheden wordt verwezen naar de vigerende versie van de Handleiding Toetsen en Ontwerpen van Dijkbekledingen. (Zie ook § 2.2)

De dichtheid kan als volgt worden bepaald (zowel met een monster als met het hele element):

$$r_B = r_w + M_o/V_B$$

Hierin is:

$r_B$  = dichtheid blok [kg/m<sup>3</sup>]

$r_w$  = dichtheid van het water waarin wordt gemeten [kg/m<sup>3</sup>]

$M_o$  = massa van het blok onder water [kg]

$V_B$  = volume van het blok (onder water) [m<sup>3</sup>]

Voor koperslakkblokken geldt (vanwege de insluiting van luchtballen) als praktisch toepasbare regel:

$$r_B = M_b/V_b$$

Hierin is:

$r_B$  = dichtheid blok [kg/m<sup>3</sup>]

$M_b$  = massa van het blok boven water [kg]

$V_b$  = volume van het blok (b×d×h) [m<sup>3</sup>]

N.B. deze methode levert een geringe onderschatting van de dichtheid op. Voor een exactere methode wordt verwezen naar Kennismemo's K-00-02-15 en K-00-03-18.

Verder wordt verwezen naar NEN 7024 en BRL 9080. Hierin staat omschreven hoe de dichtheid van betonelementen moet worden bepaald.

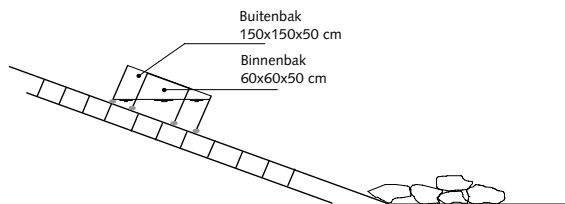
- **Mate van ingieting**

Als het ingietmateriaal minder dan 10 cm in de voegen is doorgedrongen, dan wordt gesproken van een *overgoten* bekleding. Indien de ingieting meer dan 15 cm bedraagt (bijvoorbeeld tot in het filter), dan wordt gesproken van een *ingegoten* bekleding. In het 'grijze' gebied is vooral de te verwachten duurzaamheid (van het ingietmateriaal) van belang bij de keuze voor in- of overgoten. De mate van ingieting is belangrijk bij de bepaling van de maximaal op te nemen waterdrukken.

- **Doorlatendheid van het filter**

De doorlatendheid van het filter wordt geschat door in een gat in de toplaag water te laten lopen. Hierna wordt gekeken hoe snel het water door het filter wegstroomt (m.b.v. horloge en duimstok). Duur van de proef is maximaal 5 minuten. Tijdens de proef moet er voor worden gewaakt dat er water af kan stromen tussendoor de elementen (waardoor de doorlatendheid groter lijkt). Het vullen van holle ruimtes (tussen filter en toplaag) kan enigszins worden voorkomen door de proef meerdere malen achterelkaar uit te voeren. Als het water langzamer wegstroomt dan 1 mm/sec, is het filter weinig doorlatend. Aan de hand van deze proef kan gesteld worden of een filter al dan niet is ingezand.

- **Doorlatendheid van de toplaag**



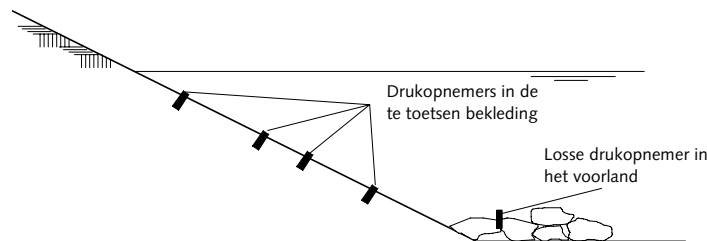
De doorlatendheid van de toplaag wordt geschat door de zaksnelheid van het water in een op het talud geplaatste bak te meten. Om een parallelle stroming door de toplaag te creëren dient het water in de buitenste bak even snel te zakken als het water in de binnenste (meet)bak. De bakken worden met PUR-schuim bevestigd op het talud. Bij de proeven dient er opgelet te worden dat het water het filter instroomt. Bij ingezande bekledingen kan dit problemen opleveren.

**Figuur 3 Opstelling doorlatendheidsmetingen toplaag**

De metingen worden per meetlocatie minimaal 3 maal achter elkaar herhaald. Opgemerkt wordt dat het creëren van een parallelle stroming zeer moeilijk is bij bekledingen met een grote doorlatendheid. Deze parallelle stroming door de toplaag is van belang omdat bij referentieproeven in het laboratorium wordt uitgegaan van parallelle stroming. (Voor een beschrijving van een uitgevoerde proevenserie wordt verwezen naar WL-rapport H3564 maart 2000.)

### 2.1.2 Getijmeting

Getijmetingen worden uitgevoerd om het drukverloop in het filter, dat ontstaat door het stijgen en dalen van de waterspiegel, na te kunnen gaan. Omdat de drukken die worden gemeten, gebruikt worden voor extrapolatie naar de maatgevende omstandigheden, is het van belang te meten bij een hoge waterstand (springtij). De metingen vinden plaats van laagwater tot het daarop volgende laagwater.



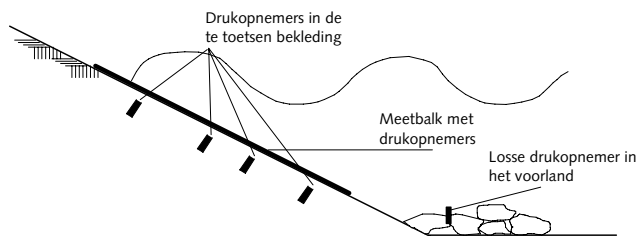
**Figuur 4 Opstelling getijmeting**

In de bekleding worden gaten gemaakt waarin de drukopnemers worden geplaatst. De drukopnemers worden ingemeten t.o.v. een vast punt. Na de meting worden de gaten dichtgemaakt. Bij meerdere metingen worden de meters steeds in eenzelfde volgorde (van hoogte) geplaatst. De meters worden voor en na een meting geijkt. Als de betreffende bekleding slechts over een beperkte hoogte aanwezig is dan moet de bovenste drukopnemer zo hoog mogelijk op die bekleding worden aangebracht. In dit geval is het wenselijk om in de bekleding boven en/of onder de te toetsen bekleding eveneens een drukopnemer te plaatsen. Om tijdens de metingen ook het getij te registreren wordt in het voorland een (losse) drukopnemer geplaatst.

### 2.1.3 Stormmeting

Stormmetingen worden uitgevoerd om het drukverloop ontstaan door golfdrukken en golfklappen, in het filter te registreren.

De metingen worden uitgevoerd met een meetbalk met drukopnemers (om de glofklap te registreren) en met losse drukopnemers (voor de druk in het filter en voor het meten van het getij). De metingen vinden (om praktische reden) plaats van laag water tot het volgende laagwater.



**Figuur 5 Opstelling stormmeting**

De drukopnemers worden ingemeten t.o.v. een vast punt. Na de meting worden de gaten dichtgemaakt. Bij meerdere metingen worden de meters steeds in eenzelfde volgorde (van hoogte) geplaatst. De meters worden voor en na een meting geijkt.

Voor het uitvoeren van een stormmeting worden eisen gesteld aan het weer. De gewenste windrichting wordt per locatie bepaald. De gewenste minimale windkracht is 7 à 8 Bft. (uitvoeringstechnisch wordt als maximum 10 Bft. aangehouden). De gewenste minimale waterstand is afhankelijk van de hoogte waarop de meetbalk wordt aangebracht (dit is uiteraard afhankelijk van de hoogte van de bekleding). N.B. een hoge (afhankelijk van de ligging van de bekleding) waterstand verdient de voorkeur.

#### 2.1.4 Trekproeven

Om de inklemming tussen de verschillende elementen te bepalen worden trekproeven uitgevoerd.

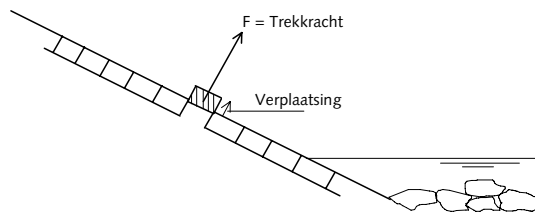
In de geselecteerde elementen worden gaten geboord waarin ankers worden gelijmd.

Betonblokken kunnen ook worden getrokken m.b.v. een zuignap.

Met behulp van een hiervoor geschikt apparaat/opstelling wordt de trekkracht gemeten waarbij

maximaal een verplaatsing van 25 mm optreedt (bij een grotere verplaatsing wordt de bekleding als zijnde bezwaken beschouwd). Er dient loodrecht op het talud te worden getrokken.

Wellicht kan de inklemming ook worden gemeten m.b.v. VGD-metingen.



**Figuur 6** Trekproef op gloopingselementen

## 2.2 Statistische analyse bepaling laagdikte en dichtheid

(Zie ook § 2.1.1)

Bij natuursteen bekledingen varieert de dikte van de elementen binnen een dijkvak. In tegenstelling tot bij het ontwerpen (waarbij wordt uitgegaan van de minimaal aanwezige dikte) wordt bij het toetsen uitgegaan van de gemiddelde dikte van de elementen als er sprake is van een ingeklemde zetting, als er losse elementen worden aangetroffen wordt ook bij het toetsen de minimale waarde aangehouden.

Uitgaande van een normale verdeling wordt de karakteristieke lokale waarde met een onderschrijdingskans van 5% als volgt bepaald (zie ook Kennismemo's K-99-05-36 en K-99-06-43):

$$m_5 = \bar{x} - t_s \sqrt{\frac{1}{n}}$$

$m_5$  = de gemiddelde dikte met een 5% onderschrijdingskans

$t$  = is afhankelijk van het aantal steekproeven;  $t$  is bij benadering 1,64 als  $n \gg 100$  verder geldt:

$$(\bar{x} \text{ is een schatting van } m) \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n - 1}$$
$$(s \text{ is een schatting van } s) \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

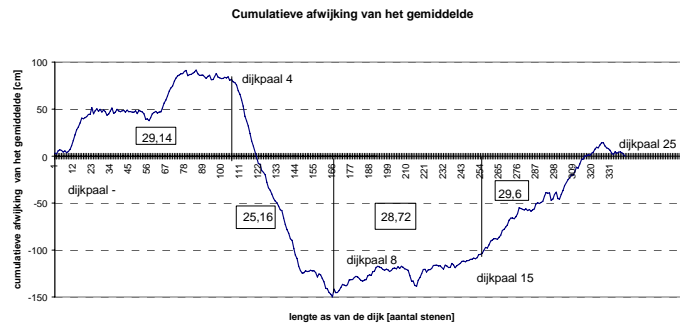
hierbij is  $n$  het aantal elementen en  $x$  de dikte van de elementen.

(Het gebruik van een spreadsheet bij deze bewerkingen wordt aangeraden.)

Bij het bepalen van de dikte dient ook rekening te worden gehouden met de 'geschiedenis' van het dijkvak. Als de 'scheepsloadingen nog herkenbaar zijn', dient hiermee rekening te worden bij het kiezen van de elementen die worden gemeten. Het kan voorkomen dat de gemiddelde dikte per scheepsloading verschilt, het is dan niet juist om te middelen over meerdere loadingen.



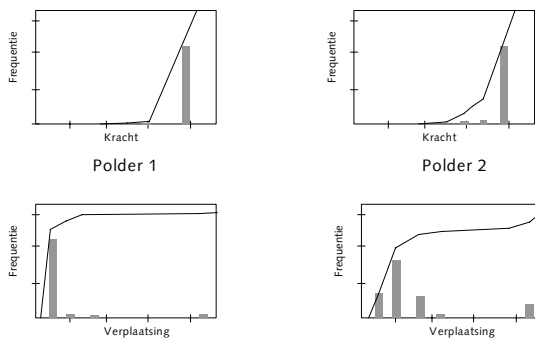
Met behulp van de meetgegevens is dit ook statistisch in beeld te brengen. Dit kan met de *cumulatieve somkaart*. Per element wordt het verschil tussen de gemeten waarde en het steekproefgemiddelde bepaald en cumulatief uitgezet. (zie Figuur 7). Een stijgende lijn hierbij betekent dat de gemeten waarden boven het gemiddelde liggen (tot en met dp 4), een dalende lijn betekent dat de gemeten waarden onder het gemiddelde liggen (dp 4 t/m dp 7), een horizontale lijn betekent dat de gemeten waarden gelijk zijn aan het gemiddelde (dp 8 t/m dp 15).



Figuur 7 Cumulatieve afwijking t.o.v. het gemiddelde

Ook de dichtheid van de bekleding kan variëren in een dijkvak. Ook hierbij geldt dat (extra) metingen, en de bepaling van een gemiddelde en een standaard afwijking van de betreffende elementen, nauwkeurigere antwoorden opleveren dan gebruik van de standaard waarde (veiligheidshalve aan de lage kant). Bij bepaling van de dichtheid kan eveneens de bovenstaande exercitie worden doorlopen.

## 2.3 Trekproeven op steenbekledingen



Figuur 8 De verdelingen op basis van kracht lijken op elkaar, de verdelingen op basis van verplaatsing niet

(50 steekproefsgewijs) te trekken en de gegevens te verwerken. Als blijkt dat de gevonden verzameling past binnen de geaccepteerde (landelijke/grotere) verzameling, dan mag voor deze bekleding de factor die behoort bij de landelijke verzameling worden gebruikt. Als dit niet het geval is, moet op dit dijkvak een groter aantal (totaal 450) elementen worden getrokken ten einde een nieuwe verzameling te krijgen waaruit een factor kan worden verkregen.

Voor de theoretische onderbouwen van trekproeven (vertaling trekkracht naar inklemfactor) worden simulatieberekeningen uitgevoerd met een eindige elementen programma.

### 2.3.2 Inwinnen van de gegevens

Verdeeld over de hoogte worden enkele rijen elementen gekozen. Per rij worden hier random de nummers gekozen van de elementen die worden getrokken (hierbij geldt wel dat de elementen niet aan elkaar mogen grenzen).

Bij het bepalen van de 'grote verzameling' wordt (naast de 400 elementen die random verdeeld, gekozen zijn) (visueel) een selectie gemaakt van 50 elementen die waarschijnlijk een geringe(re) inklemming hebben. De gegevens (maximale trekkracht en verplaatsing) worden grafisch weergegeven en digitaal opgeslagen.

### 2.3.1 Algemeen

Eén van de mogelijke proeven in de tweede fase is de trekproef (zie § 2.1.4). Deze proef geeft de inklemming weer tussen verschillende elementen.

Uit een statistische analyse van deze proeven wordt een bepaalde verdeling van de krachten en de verplaatsingen gevonden.

Met de proeven die tot nu toe zijn uitgevoerd, is een landelijke verdeling gemaakt van de inklemming die hoort bij bepaalde bekledingen.

Voor een dijkvak waarbij inklemming een rol kan spelen is het noodzakelijk in eerste instantie een beperkt aantal elementen

### 2.3.3 Statistische analyse

(zie ook § 2.4)

De inklefactor (die gebruikt kan worden in ANAMOS) wordt bepaald uitgaande van een parameterloze verdeling (in het geval alle elementen vastliggen) of een Weibull verdeling (in de andere gevallen). Om te zien of een dijkvak (waarop 50 trekproeven zijn verricht) past in het landelijke beeld voor die betreffende bekleding, worden eerst de resultaten van de trekkracht met elkaar vergeleken. Als hier geen duidelijke overeenkomsten zijn, dan kan voor het betreffende dijkvak niet de landelijke factor worden afgegeven. Als het beeld, op basis van krachten, (nagenoeg) hetzelfde is, wordt gekeken of ook de verplaatsingen van de elementen van beide verzamelingen overeenkomen. Als alle blokken vast liggen (er ontstaat dan een beeld zoals in Polder 1 in Figuur 8) kan in feite niet worden gesproken van een verdeling. Ook dan worden de verplaatsingen vergeleken.

Als de verdeling van de verplaatsingen niet gelijk zijn, wordt geen factor toegekend op basis van deze metingen. Als er wel een inklefactor gewenst is, dan dient voor dit dijkvak een groter aantal (400) trekproeven te worden verricht. Op deze manier wordt dan een 'eigen' verzameling voor het dijkvak verkregen.

Bij het analyseren van de gegevens is het belangrijk om de locatie van de proeven in beschouwing te nemen. Elementen die laag op het talud liggen kunnen ingezand zijn waardoor een hogere trekkracht wordt gevonden dan bij elementen die hoger op het talud liggen (ook de geografische ligging en het seizoen kunnen bepalend zijn).

## 2.4 Rekenmodellen en hydraulische randvoorwaarden

### 2.4.1 Algemeen

Voor de berekeningen dient gebruik te worden gemaakt van geaccepteerde modellen. Indien er nieuwe inzichten ontstaan of als er nieuwe modellen nodig zijn, dan dienen deze een landelijk draagvlak te hebben (bijvoorbeeld via TAW). Dit geldt ook voor de resultaten van Deltagoot proeven die worden gebruikt. De resultaten van de Deltagoot proeven zijn gerapporteerd in het meetverslag 'Grootschalig modelonderzoek naar stabiliteit van taludbekleding' (H3272 februari 2000). Een analyse rapport is op dit moment (maart 2000) nog niet beschikbaar.

Een *methode* voor het bepalen van inklefactoren is nog niet door de TAW geaccepteerd. Dit betekent dat voor alle nieuw te verkrijgen factoren de TAW geraadpleegd moet worden.

### 2.4.2 Rekenprogramma's

Er kan gebruik worden gemaakt van verschillende programma's. Zoals:

STEENTOETS: een door het WL in samenwerking met DWW en de waterschappen ontwikkelde spreadsheet die op basis van ingevoerde hydraulische randvoorwaarden en bekleding- en filtereigenschappen de stabiliteit van de toplaag toetst  
Deze toetsing is conform het VTV katern 8.

STEENZET: een door GD in samenwerking met DWW ontwikkeld numeriek model dat met bekende golfparameters en de ingevoerde bekleding- en filtereigenschappen de stabiliteit van de toplaag controleert. In het najaar van 2000 verschijnt hiervan een gebruikersvriendelijke versie onder de naam Zsteen.

### 2.4.3 Bewezen sterkte

Indien blijkt dat bij bepaalde dijkvakken de bekleding volgens de huidige rekenmethodiek niet sterk genoeg is om de maatgevende omstandigheden te weerstaan, kan, in sommige gevallen, gekeken worden naar de historie van die bekleding.

Als beredenerenderwijs aannemelijk gemaakt kan worden dat de maatgevende omstandigheden zich al hebben voorgedaan en als blijkt dat de bekleding toen geen schade op heeft gelopen (en er zijn geen gewijzigde omstandigheden), dan kan de bekleding alsnog worden goedgekeurd. Als uitgangspunt kan bijvoorbeeld de krokusstorm van 1990 worden gebruikt (bij deze storm zijn 6 opeenvolgende extreme getijden gemeten. Deze storm is voornamelijk geschikt bij getijmetingen).

Deze werkwijze zal voornamelijk toegepast worden in combinatie met Fase 2. Hierbij dient dan te worden aangetoond dat de waterdrukken die bij de maatgevende omstandigheden optreden niet groter worden dan

de waterdrukken die bij de 'referentie omstandigheden' op zijn getreden. De doorlatendheid van het filter speelt hierbij een grote rol.

De toepassing bij Fase 3 kan moeilijker zijn. Het is de vraag of voor de betreffende locatie golfmetingen zijn verricht ten tijde van een storm die als uitgangspunt kan dienen. Vooral de kans dat er golven zijn geweest met een periode die (nagenoeg) gelijk is aan de maatgevende golfperiode, is zeer klein.

Op dit moment (maart 2000) is toepassing van bewezen sterkte (op deze manier) nog niet geaccepteerd door de TAW.

#### **2.4.4 Hydraulische randvoorwaarden**

Op de hydraulische randvoorwaarden kan een nadere beschouwing worden uitgevoerd. Het kan dan gaan om de grenzen van een vak, het in kleinere vakken verdelen van een randvoorwaardenvak, het nauwkeuriger detailleren van het voorland in de berekeningen of het doorrekenen van de hydraulische randvoorwaarden over de laatste 50 m tot aan de teen van de dijk. Ook kan hier een nadere beschouwing worden gemaakt van de te verwachten erosie van het voorland.

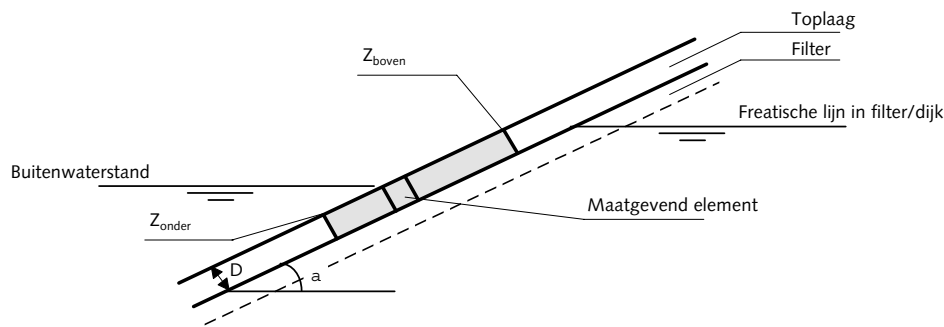
Indien vernieuwde hydraulische randvoorwaarden worden afgegeven, dienen deze goed te worden gedocumenteerd. Deze randvoorwaarden dienen naderhand ook beschikbaar te zijn voor het ontwerp.

## BIJLAGE 1 ACHTERGRONDEN GEAVANCEERDE TOETSING

### Bepaling waterdruk onder ingegoten/overgoten bekledingen

(ingegoten; als het ingietmateriaal 15 cm of meer in de naden is gedrongen)

(overgegoten; als het ingietmateriaal minder dan 10 cm in de naden is gedrongen)



**Figuur 9 Waterdruk onder de bekleding**

De maximaal mogelijke waterdruk in het filter kan als volgt worden bepaald (ervan uitgaande dat het filter gevuld is tot aan de bovenzijde van de bekleding):

$$f_{\max} = (z_{\text{boven}} - z_{\text{onder}}) / c$$

De toelaatbare waterdruk op het maatgevende element kan als volgt worden berekend:

$$f_{\text{toelaatbaar}} = DD \times \cos a$$

hierbij geldt:

- a = hellingshoek [-]
- D = onderwatergewicht van het element [-]
- $f_{\max}$  = de maximaal optredende waterdruk [m]
- $f_{\text{toelaatbaar}}$  = de toelaatbare waterdruk [m]
- c = parameter afhankelijk van de doorlatendheid van de teen [-]
- D = dikte element [m]
- $z_{\text{boven}}$  = de bovengrens van de bekleding [m t.o.v. NAP]
- $z_{\text{onder}}$  = de ondergrens van de bekleding [m t.o.v. NAP]

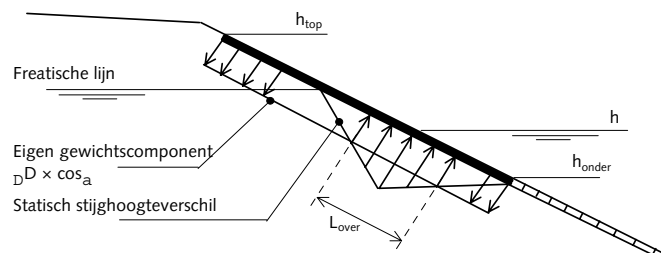
De waarde c varieert van 1 (bij dichte teenconstructie) tot 4 (bij open teenconstructie).

### Buigspanning in ingegoten bekledingen

(ingegoten; als het ingietmateriaal 15 cm of meer in de naden is gedrongen)

(Zie voor volledige rapportage WL-verslag H3272, november 1999)

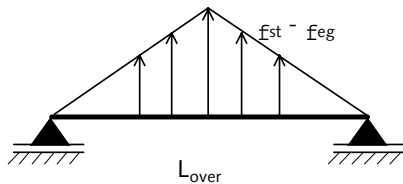
Voor het beoordelen van de stabiliteit van een ingegoten steenzetting wordt eerst het maximaal optredende stijghoogteverschil bepaald (zie voorgaande paragraaf). Dit stijghoogteverschil kan een gevolg zijn van een statische belasting en van golfbelasting. De constructie is stabiel als het maximale stijghoogteverschil kleiner blijft dan het eigen gewicht. Maar als hier niet aan voldaan wordt, kan de bekleding



**Figuur 10 Opwaarts stijghoogteverschil en eigen gewicht**

toch stabiel zijn, omdat bij een kleine overbelasting de vervorming acceptabel zou kunnen zijn en de toelaatbare breukspanning in de bekleding niet overschreden zou kunnen worden. Dit geldt echter alleen voor goed ingegoten bekledingen, en wordt nog niet toegelaten voor oppervlakkig overgoten bekledingen. De situatie voor een statische belasting is geschetst in Figuur 10. De methodiek is voor een golfbelasting ongeveer vergelijkbaar.

De smalle strook met netto opwaartse belasting gaat als gevolg van deze belasting opbollen, en zou kunnen opbarsten. Voor de bepaling van de buigende momenten wordt de bekleding voorlopig geschematiseerd tot een ligger op twee steunpunten met overspanning  $L_{\text{over}}$  (zie Figuur 11).



**Figuur 11 Bekleding geschematiseerd tot een ligger op twee steunpunten**

De lokale stromingsweerstand onder de toplaag wordt dan gereduceerd, en de stijghoogte onder de bekleding wordt groter. Daarom moet steeds gecontroleerd worden of de opbuiging verwaarloosbaar klein is. De opbuiging moet verder ook klein blijven om te voorkomen dat het filter gaat migreren en er bij elke opbolling een iets grotere permanente verplaatsing optreedt, hetgeen op den duur leidt tot een S-profiel. De maximaal toelaatbare beweging is nog niet bekend. Er wordt voorlopig 1 mm aangehouden.

Ook over de maximaal toelaatbare buigspanning van ingegoten steenzettingen is nog vrijwel niets bekend. Voorlopig wordt voor statische belasting  $30 \text{ kN/m}^2$  gehanteerd en voor golfbelasting  $1000 \text{ kN/m}^2$ . Bij de bepaling van de vervorming en spanningen als gevolg van golfbelasting wordt ook rekening gehouden met de korte belastingduur. Tijdens een kortdurende opwaarts stijghoogteverschil zal de bekleding vastgezogen lijken te zitten op de ondergrond. Dit wordt de invloed van verhinderde toestroming genoemd.

## Toetsing overgoten bekledingen

(overgegoten; als het ingietmateriaal minder dan 10 cm in de naden is gedrongen)

Overgoten bekledingen worden op dezelfde manier getoetst als open (niet-overgoten) bekledingen.

Uit Deltagoot proeven blijkt echter dat bij (specifieke gevallen van) overgoten bekledingen schade optreedt bij een belasting  $H_s/DD > 4,5 * x^{-2/3}$ .

## Toetsing ingezande bekledingen

De toetsing van ingezande bekledingen vindt plaats conform de toetsing van 'gewone' bekledingen. Uit Deltagoot proeven blijkt dat schade optreedt bij (bepaalde gevallen van) ingezande bekledingen bij een belasting  $H_s/DD > 6,28 * x^{-2/3}$  (of zelfs  $H_s/DD > 7,26 * x^{-2/3}$ ).

Als conservatieve benadering (en er vanuit gaande dat ingezand in de Delatgoot niet hetzelfde is als ingezand in de praktijk) wordt voor deze bekledingen (voorlopig) uitgegaan van  $6 * x^{-2/3}$  (als bovengrens). Bij dit soort bekledingen wordt STEENZET indicatief gebruikt.