

Het beoordelen van onderlagen van steenbekledingen

ir. R. 't Hart

1206424-014

Titel

Het beoordelen van onderlagen van steenbekledingen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS-Waterdienst	1206424-014	1206424-014-HYE-0007	30

Trefwoorden

Steenzetting, toetsen, veldonderzoek, onderlaag, alternatieve bouwstoffen

Samenvatting

Deze rapportage beschrijft de resultaten van het onderzoek naar het karakteriseren van de onderlaag van een steenzetting nabij de teen van een (zee)dijk aan de hand van de meest relevante eigenschappen. Zo'n onderlaag bestaat traditioneel uit een kleilaag of kleikade, maar wordt in moderne renovatiewerken steeds vaker vervangen door ander materiaal, zoals mijnsteen, hydraulische slak, et cetera.

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.




Deze rapportage gaat allereerst in op de noodzaak van het karakteriseren van de eigenschappen van de onderlaag. De aspecten die van belang kunnen zijn en hoe die in het veld kunnen worden vastgesteld, worden beschreven. Samen met de beschreven bevindingen van een veldbezoek, waarbij tijdens de reconstructie van bekledingen onderlagen en de daarvoor bestemde materialen zijn beoordeeld, leidt dit tot de conclusie dat alternatieve bouwstoffen toegepast als onderlaag bij steenzettingen meer aandacht verdienen.

Referenties

Zaaknummer 31054958 / 4500180616

Projectleider Waterdienst: K. Saathof

Projectleider Projectbureau Zeeweringen van RWS: Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2012	ir. R. 't Hart		ir. M. Klein Breteler		ir. L. Voogt	
2	nov. 2012	ir. R. 't Hart		ir. M. Klein Breteler		ir. L. Voogt	
3	feb. 2013	ir. R. 't Hart		ir. M. Klein Breteler		ir. L. Voogt	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Kader	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Leeswijzer	3
2 Functies onderlaag en mechanismen	5
2.1 Functies van de onderlaag	5
2.2 Mechanismen waarbij stabiliteitsverlies van de bekleding is gerelateerd met de onderlaag	6
2.3 Rol van waterspanningen bij verweking en afschuiven	7
3 Te karakteriseren grootheden	11
3.1 De parameters	11
3.2 Welke eigenschappen bij welke constructieopbouw?	12
4 Methoden van verzamelen van gegevens	17
4.1 Algemeen	17
4.2 Omstandigheden bij het verzamelen	17
4.3 Te verzamelen gegevens	18
4.4 Sterkte	20
4.5 Laagdikte	21
4.6 Erosiebestendigheid	19
4.7 Toepassingsvoorwaarden	21
5 Verkenning toegepaste alternatieve bouwstoffen in de praktijk	23
5.1 Achtergrond veldbezoek	23
5.2 Locatie Stavenisse	24
5.3 Observaties:	24
5.4 Monstername:	24
5.5 Locatie Roggenplaat	25
5.6 Observaties:	25
5.7 Monstername:	25
5.8 Conclusies naar aanleiding van het veldbezoek	26
5.9 Aanbevelingen naar aanleiding van het veldonderzoek	27
6 Conclusies en aanbevelingen	29

Bijlage(n)

Referenties

A Rekenregel voor afschuiving bij ontbreken van waterdoorlatende laag

B Reparatiemethode geotextiel in klein gat

C Foto's veldbezoek d.d. 12-09-2012

D Foto's bemonsterde materialen

E Door leveranciers opgegeven materiaalspecificaties Stavenisse

1 Inleiding

1.1 Kader

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.

Het onderzoek gaat over het karakteriseren van de onderlaag van een steenzetting nabij de teen van een (zee)dijk. De onderlaag bestaat traditioneel uit een kleilaag of kleikade, maar wordt in moderne renovatiewerken steeds vaker vervangen door alternatieve materialen, zoals (hydraulische) slak, mijnsteen, et cetera.

Deze rapportage betreft onder andere een analyse van de functies van de onderlaag, de eisen die op grond daarvan aan de onderlaag worden gesteld en hoe de relevante parameters kunnen worden bepaald.

1.2 Probleemstelling

De probleemstelling betreft het gegeven dat momenteel vrij geregeld andere materialen dan klei worden toegepast als onderlaag voor steenzettingen, maar dat er in feite geen richtlijnen zijn waaraan deze materialen moeten voldoen. Onduidelijk is welke eigenschappen er echt toe doen en hoe deze kunnen worden bepaald.

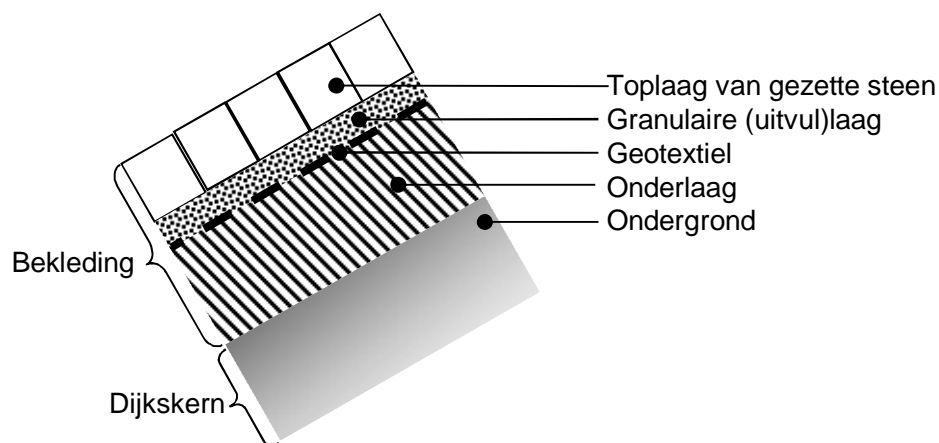
De steenzetting bestaat normaliter uit een toplaag van gezette steen, met daaronder een dunne laag granulair materiaal (uitvullaag) en daaronder een geotextiel, zie Figuur 1.1. Daaronder kan een onderlaag aanwezig zijn van klei, mijnsteen, slakmengsels, et cetera. Het gehele pakket van de gezette toplaag tot en met de onderlagen wordt de bekleding genoemd. De bekleding dekt de kern van de dijk af, die meestal bestaat uit zand, maar soms ook uit klei.

Van oudsher bestaan zeedijken uit lokaal gewonnen klei. De klei vormde daarmee ook de ondergrond voor de bekleding. Veel van de huidige zeedijken zijn echter aangelegd of verzaamd door het aanleggen van zandlichamen afgedekt met een kleilaag. De onderlaag voor een steenzetting op een zeedijk bestaat daarmee veelal uit klei. Die onderlaag kan dus een kleilaag zijn als de kern van de (zee)dijk uit zand is opgebouwd, maar het kan ook de buitenste schil van een oude kleikern of kleikade betreffen. In het eerste geval zit er zand onder de klei, in het tweede geval niet.

Goede klei is best wel verkrijgbaar, maar een zorgvuldige verwerking van klei is, zeker in de getijzone, vrij lastig. Daarom past men, daar waar vroeger klei werd verwerkt, tegenwoordig ook regelmatig alternatieve bouwstoffen toe zoals slakmengsels of soms mijnsteen of GeoCrete.

Voor de reconstructie van steenzettingen wordt tegenwoordig veel zwaarder materieel ingezet dan vroeger. Daardoor kan de draagkracht van de onderlaag in de getijzone nog weleens problemen opleveren. Dat kan zelfs reden zijn om al aanwezige kleilagen als deze vrij slap zijn, te vervangen door een draagkrachtiger substituuut. Tijdens de uitvoering is de onderlaag in feite de werkvloer waarop de bekleding wordt opgebouwd. Dit betreft echter slechts een tijdelijke functie van de onderlaag, de eigenschappen van de onderlaag als functioneel onderdeel van de bekledingsconstructie mogen niet uit het oog worden verloren.

Bij toetsingen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid van Primaire Waterkeringen dient de bekledingsconstructie te worden beoordeeld. Aangezien de onderlaag van belang is voor de standzekerheid van de bekleding en mogelijk zelfs voor de dijk als geheel, dient ook de onderlaag te worden beoordeeld. Het toetsinstrumentarium onderscheidt voor de onderlaag alleen klei en zand.



Figuur 1.1 Standaard opbouw van een steenzetting als dijkbekleding

Doordat inmiddels vele typen materialen zijn gebruikt als onderlaag, komen in de praktijk zeer uiteenlopende onderlagen voor. Enkele voorbeelden zijn:

- Een laag van (vrij slappe) plastische klei.
- Een doorlatende laag van niet-samenhangend granulair materiaal.
- Een ondoorlatende laag van niet-samenhangend granulair materiaal (bijv. goed verdichte mijnsteen tout venant).
- Een schijnbaar ondoorlatende plaat van sterk verkitte hydraulische slakmengsels of GeoCrete.

Het is overigens ook mogelijk dat een uitgesproken onderlaag ontbreekt. In dat geval is de top laag al of niet met een granulaire uitvullaag en geotextiel, direct op de dijk kern van zand of klei aangebracht.

Als er wel een uitgesproken onderlaag aanwezig is, is er in de onderlaag ook nog een gelaagdheid mogelijk. Daarvan kan bijvoorbeeld sprake zijn als bij de reconstructie van de bekleding een te dunne onderlaag van klei is aangevuld tot de gewenste dikte met een afwijkend materiaal.

Zoals een onderlaag van klei moet worden gekarakteriseerd voor de beoordeling van de veiligheid van de dijk(bekleding) ligt het voor de hand ook onderlagen van andere materialen te karakteriseren voor de veiligheidsbeoordeling. Voor de beoordeling op afschuiving (ZAF, stap 2) wordt impliciet verondersteld dat er sprake is van een kleilaag, een cohesieve laag die relatief ondoorlatend is. Alternatieve bouwstoffen zullen echter niet altijd èn cohesief èn

ondoorlatend zijn. Het wettelijk toetsinstrumentarium is niet toegesneden op onderlagen opgebouwd uit alternatieve bouwstoffen.

Doel van deze rapportage is het invullen van de leemten die bestaan bij het beoordelen van de onderlagen omdat andere materialen dan klei worden verwerkt tot onderlaag. Deze rapportage zal daarom antwoord moeten geven op de volgende vragen:

- Welke functies heeft een onderlaag?
- Welke eigenschappen zijn van belang om die functies te vervullen?
- Hoe kunnen die eigenschappen bij een bestaande bekleding worden vastgesteld?

1.3 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de functies die de onderlaag mogelijk kan vervullen en de mechanismen die tot bezwijken van de bekleding kunnen leiden, voor zover de onderlaag daar een rol in speelt. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de te karakteriseren grootheden en de samenhang nagegaan met de opbouw van de constructie.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de wijze waarop gegevens kunnen worden verzameld. Voor het verzamelen van gegevens moet de bekleding worden opengemaakt. Omdat dat nogal wat werk met zich meebrengt, is een eerste verkenning naar toegepaste alternatieve bouwstoffen in het veld gedaan tijdens de uitvoering. Hoofdstuk 5 rapporteert de bevindingen. Tenslotte geeft hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

2 Functies onderlaag en mechanismen

2.1 Functies van de onderlaag

De onderlaag kan meerdere functies vervullen:

1. Draagkrachtige ondergrond voor de toplaag van de steenzetting en daarop werkende mechanische belastingen (belasting door eigen gewicht van de zetting, door golven en door voertuigen bij aanleg en onderhoud. Nb. in sommige gevallen is er sprake van een openbare weg op berm).
2. Waterremmende laag om toestroming van water naar het zwaarst aangevallen deel van de toplaag te beperken.
3. Waterremmende laag om toestroming van buitenwater naar de kern van de dijk of het achterland te beperken.
4. Remming erosie ondergrond als onderdeel van een filterconstructie.
5. Remming erosie (vorm van reststerkte) in geval van falen van de erboven gelegen lagen.
6. Sterkte tegen afschuiving van de bekleding, in de vorm van eigen gewicht van de laag.

De onderlaag zal zijn functies gedurende de gehele levensduur van de bekleding moeten vervullen. Het kan zelfs voordelig zijn als de onderlaag een veel grotere levensduur heeft dan de toplaag. Bij een reconstructie kan de onderlaag dan blijven zitten. De levensduur van de onderlaag dient in ieder geval in overeenstemming te zijn met die van de rest van de constructie.

De twee eerste functies dienen altijd te worden vervuld, maar afhankelijk van de constructie-opbouw worden ook de andere functies vervuld. Met de erosiebescherming in geval van falen wordt bij het ontwerp meestal geen rekening gehouden. Maar bij een toetsing kan de erosiebescherming die de onderlaag biedt in geval van falen van de toplaag, wel een rol spelen (ZEO). Bescherming tegen erosie van de ondergrond, is vrijwel alleen bij oudere constructies aan de orde. In recent aangelegde constructies vervult een geotextiel direct op de onderlaag meestal deze functie. Overigens dient de samenhang danwel de korrelverdeling van de laag zelf wel zodanig te zijn dat deze intern stabiel is (geen interne erosie).

Op grond van deze functies moeten eisen worden gesteld aan het materiaal c.q. aan de laag:

- 1 De (schuif)sterkte.
- 2 De doorlatendheid.
- 3 De laagdikte.
- 4 De korrelverdeling.
- 5 De duurzaamheid (niet-degraderend).
- 6 De volumieke massa.

Een afdoende filterconstructie en/of een geschikt geotextiel op de onderlaag maakt dat er minder strikte eisen aan de korrelverdeling en de duurzaamheid van de onderlaag hoeven te worden gesteld.

Om te komen tot concrete eisen, grenswaarden voor te meten parameters, moeten eerst de bezwijk- danwel faalmechanismen worden beschreven. De meest relevante zijn:

- Afschuiven van de bekleding (sterkte).
- Verweken van de onderlaag (sterkte).
- Interne erosie (filterregels).

Degradatie (duurzaamheid) is weliswaar niet als bezwijkmechanisme beschreven, maar kan uiteindelijk wel leiden tot een zodanige verandering van de materiaaleigenschappen, dat bezwijken en/of falen optreedt.

Een ander bezwijkmechanisme voor steenzettingen betreft topplaaginstabiliteit, die feitelijk nooit door een onderlaag mag worden beïnvloed.

Daarnaast kan er sprake zijn van een ontoelaatbaar lekdebiet door de dijk, maar dat is niet per se gekoppeld aan het bezwijken van (een onderdeel van) de dijk. Dit kan wel opgevat worden als een faalmechanisme, de waterafsluitende functie wordt immers niet naar behoren vervuld. De doorlatendheid en de dikte van de onderlaag zijn daarbij de belangrijkste parameters.

In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op de genoemde bezwijkmechanismen.

2.2 Mechanismen waarbij stabiliteitsverlies van de bekleding is gerelateerd met de onderlaag

Er worden diverse (bezwijk/faal)mechanismen onderscheiden waarbij de eigenschappen van de onderlaag een rol spelen:

- Instabiliteit van de toplaag van de steenzetting is het mechanisme waarbij de waterdrukken onder de toplaag te groot worden voor het gewicht van de toplaag. Eén of meerdere elementen worden daardoor uit de toplaag gedrukt. De doorlatendheden van de lagen onder de toplaag beïnvloeden de grootte van deze waterdrukken. De onderlaag is in de gebruikelijke constructieopbouw een relatief ondoorlatende laag. Als deze laag echter onverhoopt niet relatief ondoorlatend is, dient bij de berekening van de toplaagstabiliteit rekening te worden gehouden met de doorlatendheid van de onderlaag. Om te controleren of de onderlaag daadwerkelijk ondoorlatend is kan de doorlatendheid worden gemeten. Indirect kan ook een indruk worden verkregen van de doorlatendheid door de verdichting en de korrelverdeling van het materiaal te meten of te schatten.
- Verweking is het mechanisme waarbij verdichting van een volledig waterverzadigde korrelskelet leidt tot een wateroverspanning die volledig de uitwendige spanning draagt. De korrelspanning valt daardoor weg. De betreffende laag verwordt daarmee feitelijk tot een zware vloeistof, die als onderdeel van een talud uiteraard niet stabiel meer is. Dit mechanisme kan optreden in of onder de onderlaag. Een afdoende verdichting van de betreffende laag zal dit mechanisme voorkomen. Als er voldoende cohesie binnen de laag bestaat, kan de verdichting die tot wateroverspanning leidt ook niet optreden en is het mechanisme dus ook uitgesloten.
- Afschuiving treedt op als de korrelspanningen ter plaatse van het schuifvlak onvoldoende zijn om de belastingen te kunnen dragen. Afschuiven zal optreden als de aandrijvende belasting te hoog is ten opzichte van de sterkte. In de praktijk van dijkbekledingen zal afschuiven veelal pas optreden als oplopende waterspanningen de korrelspanningen en daarmee de sterkte reduceren. Dit mechanisme kan, afhankelijk van de doorlatendheidsverhoudingen in de constructie, optreden zowel in als net onder de onderlaag.
- Externe erosie is het mechanisme waarbij het materiaal geleidelijk wegslijt door stroming langs het oppervlak van de laag, waardoor de laag in dikte afneemt. Ongelijkmatige erosie zal tot vervorming van het talud leiden of tot holtes in de

constructie. Verwering van het materiaal (degradatie) en daaruit voortkomende erosie wordt als bijzonder geval van externe erosie aangemerkt wat samenhangt met de duurzaamheid van het materiaal van de onderlaag. Dit mechanisme werkt in op de buitenzijde van de betreffende laag. Een afdoende dicht geotextiel kan dit mechanisme verhinderen: de hydraulische belasting op het oppervlak wordt beperkt en het transport van materiaal wordt verhinderd.

- Interne erosie is het mechanisme waarbij de fijne fractie uitspoelt uit een grover korrelskelet. De doorlatendheid neemt daardoor toe en er ontstaat mogelijk een instabiel korrelskelet. Door duurzaam materiaal met een goed opgebouwde korrelverdeling toe te passen, kan dit mechanisme worden uitgesloten. Als de onderlaag redelijk ondoorlatend is, zal interne erosie niet snel op kunnen treden.

2.3 Rol van waterspanningen bij verweking en afschuiven

Hoog oplopende waterspanningen in de ondergrond spelen een cruciale rol bij de mechanismen verweking en afschuiven.

In de praktijk kunnen de waterspanningen door verschillende oorzaken te hoog oplopen:

1. Een relatief snelle val van de buitenwaterstand na een (langdurig) hoogwater kan leiden tot een statische waterspanningsopbouw achter een relatief ondoorlatende laag op het talud.
2. Golfterugtrekking leidt tot dynamische waterspanningen.
3. Verdichting van een verzadigd los gepakt korrelskelet genereert wateroverspanning.

Ad 1: Een hoge freatische lijn in een dijkskern met een dichte bekleding leidt tot hoge grondwaterspanningen onder in de dijk. Nabij het oppervlak van het dijktalud worden de grondspanningen echter gediceerd door het gewicht van de bovenliggende lagen en de hydraulische belastingen op het talud. Als de buitenwaterstand snel valt, neemt de hydraulische belasting op het talud snel af waardoor de grondspanningen eveneens afnemen. Als de freatische lijn in de dijk niet even snel als de buitenwaterstand terugloopt, omdat er maar beperkt grondwater kan afstromen, dan zal de totale grondspanning teruglopen richting het niveau van de grondwaterspanning. De korrelspanning en daarmee de sterkte met betrekking tot afschuiven neemt daardoor af of nadert zelfs tot nul.

Normaliter is het vlak juist onder een ondoorlatende laag maatgevend. Daar is de gronddruk immers relatief laag en de grondwaterspanning hoog, zodat de korrelspanning daar minimaal is.

De ondoorlatende laag van de bekleding kan de toplaag van de bekleding zijn, bijvoorbeeld een gepenetreerde steenzetting, maar het kan ook de onderlaag van klei betreffen.

Wil afschuiving onder statische belastingen kunnen plaatsvinden, dan moet de constructie-opbouw daar aanleiding toe geven: één of meerdere relatief ondoorlatende lagen dekt een kern van doorlatender materiaal af. Bij bekledingen op zanddijken is een dergelijke opbouw vrijwel altijd aanwezig: de kern is doorlatend en de bekleding heeft veelal een onderlaag van klei. In een dijk met een volledige zandkern loopt de freatische lijn meestal maar in beperkte mate op omdat de berging in de kern groot is. Als er echter een zandscheg aan de zeezijde tegen een oude kleidijk is aangelegd, kent deze weinig berging, waardoor de freatische lijn gemakkelijk hoog oploopt. Een zandscheg is vanwege afschuiving als gevolg van statische wateroverdrukken een onderdeel wat de dijk kwetsbaar maakt. De taludhelling en het gewicht van de lagen rustend op het potentiële glijvlak, de scheiding tussen ondoorlatend (zijde van buitentalud) en doorlatend (zijde dijkskern), zijn mede bepalend voor de sterkte.

Ad 2: Bij een open steenzetting op een relatief doorlatende granulaire ondergrond (bijv. de niet veel voorkomende steenzetting op een geotextiel op een zand ondergrond) raakt de ondergrond vrij snel min of meer verzadigd tot aan de buitenwaterstand. Door ontlasten van het talud in de fase van de golfterugtrekking, neemt de grondspanning af. Indien er nog substantiële luchtinsluitingen in de betreffende ondergrond aanwezig zijn, zal het grondwater sterk samendrukbaar zijn in vergelijking met het korrelskelet. Als de doorlatendheid van de ondergrond niet al te groot is, zullen snelle belastingswisselingen (golfbelastingen) ongedraineerd worden opgevangen. Ongedraineerd ontlasten leidt dan tot nagenoeg gelijkblijvende waterspanningen met als consequentie dat het ontlasten leidt tot veel lagere korrelspanningen. En lage korrelspanningen betekenen dat de mogelijkheden om schuifspanningen op te nemen ook gering zijn: een risico op afschuiven.

Het maatgevende schuifvlak in de ondergrond zal, afhankelijk van de doorlatendheid en snelheid van belastingswisselingen, op grotere diepte liggen (relatief doorlatend) of op geringe diepte (relatief ondoorlatend). Als direct onder de steenzetting een gebonden granulaire laag met voldoende sterkte ligt, dan zal in die laag geen afschuiven voorkomen. Het schuifvlak wordt dan naar dieper onder het oppervlak van het talud gedwongen.

Ad 3: Als een onvoldoende verdicht en water verzadigd korrelskelet wordt verdicht door dynamische belastingen, dan zal de overmaat aan poriewater moeten afstromen. Als het water niet kan afstromen, zal wateroverspanning optreden, mogelijk zelfs zozeer dat de korrelspanningen volledig wegvallen: verweking. Merk op dat bij dit mechanisme het bezwijken van het korrelskelet (de verdichting) leidt tot het oplopen van de waterspanningen, terwijl in de hiervoor beschreven situaties de hoog opgelopen waterspanningen juist het bezwijken van het korrelskelet bewerkstelligen.

Verweking kan mogelijk optreden daar waar volledig verzadigd, slecht verdicht materiaal wordt belast door wisselende drukkrachten. De initiërende belasting kan een hydraulische belasting (golflappen) zijn, maar kan ook door verkeer of bouwactiviteiten worden veroorzaakt.

Verweking kan worden beschouwd als een bijzonder geval van afschuiven onder dynamische belastingen. Maar de samendrukbaarheid van het water is bij verweking volslagen anders dan bij de normale afschuiving.

Water is van zichzelf zeer weinig samendrukbaar. Maar als er veel luchtinsluitingen aanwezig zijn, is (grond)water relatief gemakkelijk samendrukbaar. Als het water sterk samendrukbaar is in vergelijking met het korrelskelet, dan zullen de waterspanningen nauwelijks reageren op uitwendige belastingswisselingen. De belastingswisselingen worden vrijwel volledig door spanningswisselingen in het korrelskelet opgenomen, met het risico op afschuiven op het moment van ontlasten, golfterugtrekking.

Verweking zal niet snel optreden als het water sterk samendrukbaar is. Immers verdichting van het skelet leidt door de grote samendrukbaarheid van het water veel minder tot oplopen van de waterspanningen.

Zijn de poriën in een grondlaag volledig verzadigd met water, zonder luchtinsluitingen, dan is het water echter veel stijver dan het korrelskelet. Is dat korrelskelet dan ook nog onvoldoende verdicht, dan is het verwekingsrisico aanwezig. Zijn de korrels in het korrelskelet in voldoende mate gebonden, door cohesie, verkitting of cementatie, dan wordt de herschikking die nodig is voor de verdichting verhinderd: de verweking kan niet optreden.

Algemeen wordt aangenomen dat boven de gemiddelde waterstand in een getijde gebied er altijd sprake is van voldoende luchtinsluitingen, waardoor verweking daar geen problemen kan opleveren. Verweking van een onderlaag vormt dus alleen bij de teen van de dijk een potentieel probleem. Op die locatie zullen golfbelastingen veelvuldig voorkomen, waardoor in

de praktijk al een geleidelijke verdichting mogelijk is. De maatgevende omstandigheden voor die locatie (hoge golven maar een beperkte buitenwaterstand) zal in ieder geval nooit samenvallen met de maatgevende omstandigheden voor de dijk als geheel (extreem hoge buitenwaterstand).

Afdoende verdichting sluit verweking uit. Daarnaast zal een gebonden korrelskelet of een cohesief materiaal het mechanisme verweking in dat materiaal voorkomen.

In de praktijk hoeft niet op lokale verweking met als gevolg het bezwijken van de steenzetting te worden gerekend voor een goed aangelegd talud van een dijk die al significante belastingen heeft gehad.

3 Te karakteriseren grootheden

De functies en mechanismen beschreven in hoofdstuk 2 en de daarmee samenhangende rekenmodellen hebben parameters nodig om te kunnen beoordelen of de bekleding voldoende stabiel is en goed zal functioneren. Op die parameters wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

Toch hoeven niet altijd eisen te worden gesteld aan alle behandelde parameters van een onderlaag. Afhankelijk van de constructie-opbouw zullen sommige parameters niet relevant zijn, omdat de eigenschappen van een ander deel van de constructie maatgevend zijn. Een uitsplitsing in verschillende constructieopbouw-typen en de daarbij relevante parameters wordt gegeven in paragraaf 3.2.

3.1 De parameters

Op de mogelijk relevante parameters in de gebruiksfase wordt in deze paragraaf nader ingegaan.

Daarnaast zullen er ook eisen worden gesteld tijdens de bouw / reconstructie van de bekleding. Beoordeeld moet worden of de onderlaag tijdens aanleg van de nieuwe bekleding wel voldoende sterkte heeft om te fungeren als werkvloer. Een en ander zal afhankelijk zijn van het toe te passen materieel en de werkwijze bij de uitvoering. Een dergelijke karakterisering van de sterkte van de onderlaag valt buiten het kader van deze rapportage.

Tijdens de gebruiksfase, bij golfaanval moet de onderlaag voldoende draagkrachtig zijn. Feitelijk zouden er daartoe eisen aan sterkte-eigenschappen van het materiaal moeten worden vastgesteld. In de praktijk van het beoordelen van bestaande bekledingen gebeurt dit niet. Type materiaal en laagdikte zijn volgens de huidige procedures (VTV2006) afdoende om te komen tot een oordeel. Maar die procedures houden geen rekening met andere materialen dan klei. Alleen voor een onderlaag van klei kan er dus feitelijk een oordeel worden uitgesproken.

Indien er slakmengsels of andere alternatieve bouwstoffen worden gebruikt als onderlaag moet worden bedacht dat daar wellicht aanvullende eisen aan moeten worden gesteld.

De doorlatendheid van de onderlaag dient per definitie beperkt te zijn, anders moet de laag bij de berekening van de topplaatstabiliteit nog worden opgevat als onderste filterlaag. Door die beperkte doorlatendheid is bij belasting de ongedraineerde sterkte van de onderlaag van belang. Als verdere verdichting bij cohesieloze materialen als gevolg van golfbelasting mogelijk is, kan dit tot wateroverspanningen leiden, met ongewenst verlies aan draagkracht en de daaruit voortkomende vervormingen (bezwijken). Daarom dient specifiek voor ongebonden granulaire materialen de verdichting afdoende te zijn.

Een goede verdichting dient eigenlijk te worden gegarandeerd door een goede uitvoering, hij kan worden aangetoond door een opleveringscontrole van de onderlaag voordat de steenzetting wordt afgebouwd. Achteraf nog een betrouwbaar beeld krijgen van de mate van verdichting is eigenlijk ondoenlijk.

Om bezwijken als gevolg van onvoldoende verdichting uit te sluiten, is het mogelijk om van de onderlaag te eisen dat deze cohesief of gebonden (hydraulisch) is. Als sprake is van een afdoende mate van cementatie, dan zal dat resulteren in hoge meetwaarden bij een penetratieproef.

Zelfs als het in de onderlaag verwerkte materiaal specifiek is gecertificeerd met betrekking tot de mate waarin het materiaal cementeert, dan is op grond van dat certificaat het nog niet mogelijk een veilige waarde te geven. Als bij het verwerken van het materiaal geen rekening wordt gehouden met de aard van het materiaal, dan kan een onderlaag met voldoende eigenschappen niet worden gegarandeerd. Hydraulisch materiaal verwerken nadat het is opgeslagen in een onderwater depot, zal immers niet meer tot een goed verkitte laag leiden.

Voor de beoordeling van afschuiven in een vlak direct onder de onderlaag is het gewicht van de op het schuifvlak rustende lagen van belang. Voor de onderlaag moet, indien dat mechanisme mogelijk relevant is, dus ook een laagdikte en een dichtheid worden bepaald. Een veilige waarde voor de dichtheid kan worden afgeschat op basis van het type materiaal [zie bijv. CUR 89-1].

De (on)doorlatendheid van de onderlaag is in meerdere opzichten voor de stabiliteit van de constructie van belang. Allereerst voor de toplaagstabiliteit. Als de onderlaag te doorlatend is, moet daarmee bij de berekening van de toplaagstabiliteit rekening worden gehouden. Daarnaast bepaalt de doorlatendheid of en hoe de mechanismen afschuiven en verweken kunnen optreden. En uiteraard, als de onderlaag het minst doorlatende element van de dijk is, is de doorlatendheid voor de waterremmende functie van groot belang. Voor die laatste functie geldt: hoe ondoorlatender, hoe beter.

3.2 Welke eigenschappen bij welke constructieopbouw relevant?

Voor alle gevallen geldt dat alleen de juiste eisen kunnen worden gesteld als de opbouw en de functieverdeling over die opbouw van de dijk bekend is. Als de kern van de dijk uit klei bestaat, dan mag worden verondersteld dat de kern van de dijk zelf al voldoende waterremmend is en hoeven er vanuit die functie geen eisen te worden gesteld aan de doorlatendheid van de onderlaag. Uiteraard dient de onderlaag ook in dat geval niet dusdanig doorlatend te zijn dat hij als watervoerende filterlaag fungeert.

De noodzaak om parameters van de onderlaag (nauwkeurig) te kennen is dus niet voor iedere constructieopbouw dezelfde. Voor het veldonderzoek wordt echter geadviseerd om alle mogelijk relevante parameters op te nemen. De archiefgegevens zijn soms ontoereikend om een betrouwbare richtlijn te geven voor de werkelijke opbouw. Achteraf constateren dat onvoldoende gegevens zijn vastgelegd is uiteraard niet wenselijk, omdat het openmaken van een bestaande bekleding om de onderlaag te onderzoeken een ingrijpende actie is.

Maar voor de eisen te stellen bij het beoordelen van de verzamelde gegevens worden de mogelijke gelaagdheden van de dijkconstructie op een rijtje gezet. De uit die opbouw voortvloeiende te beoordelen mechanismen zijn leidend voor de daadwerkelijk relevante parameters. In totaal worden 8 typen onderscheiden op basis van de verhoudingen in doorlatendheid van de opeenvolgende lagen. Merk op dat de toplaag buiten beschouwing is gelaten. Uiteraard speelt de doorlatendheid van de toplaag ook een rol, maar dat heeft dan vooral betrekking op de toplaagstabiliteit, niet op de stabiliteit van (of net onder) de onderlaag.

Naast de hieronder beschreven zaken dient de onderlaag ook een minimale sterkte te bezitten, omdat anders bij lokale belastingen er grote vervormingen van het talud kunnen optreden.

De verschillende typen dijkopbouw met een kern van zand, typen 1 t/m 4, zie Tabel 3.1, worden hieronder toegelicht.

In alle 4 gevallen kan waterbezwaar een item van belang zijn, al zal als één van de lagen wezenlijk ondoorlatender is dan de zandkern (1, 2 en 4) het wel meevallen.

Type dijkopbouw:	1	2	3	4
Onderdeel:				
Filter	doorlatender dan onderlaag	niet doorlatender dan onderlaag	doorlatender dan onderlaag	niet doorlatender dan onderlaag
Onderlaag	niet doorlatender dan ondergrond	niet doorlatender dan ondergrond	doorlatender dan ondergrond	doorlatender dan ondergrond
scheg	-	-	-	-
ondergrond= dijkskern	Zand	zand	Zand	zand
Uit te voeren checks:	erosie onderlaag afschuif onderl. (waterbezwaar)	afschuif filter afschuif onderl. toplaaginstabiel (waterbezwaar)	erosie onderlaag macro-instabiel verweking onderl. waterbezwaar	afschuif filter toplaaginstabiel (waterbezwaar)
Te bepalen (parameters):	type materiaal erosie doorlatendheid laagdikte	type materiaal erosie doorlatendheid laagdikte	type materiaal erosie doorlatendheid laagdikte	type materiaal erosie doorlatendheid laagdikte

Tabel 3.1 Verschillende typen opbouw bekleding gebaseerd op doorlatendheid, ondergrond = zand

Type 1: Betreft een bekleding op een doorlatend filter op een minder doorlatende onderlaag op een zandkern. In deze categorie valt in ieder geval de gebruikelijke zeedijk van zand met kleidek onder een niet-dichtgeslibd filter. Bedreigingen:

- Erosie onderlaag.
- Afschuifvlak net onder de laagscheiding onderlaag/zandkern.
- Verweking onderlaag indien die slecht verdicht is en onvoldoende cohesie heeft (ongebonden loskorrelig materiaal met grote fijne fractie).

Type 2: Betreft een opbouw waarbij van buiten naar binnen de doorlatendheid steeds groter wordt. Dit type wordt niet aangelegd, omdat een onderlaag die doorlatender is dan het erboven gelegen filter feitelijk deel uitmaakt van het filter en dus geen onderlaag betreft. Toch kan deze opbouw in de loop van de tijd ontstaan uit een Type 1 bekleding doordat de bekleding sterk dichtgeslibd raakt. De betreffende doorlatendheden zijn dan echter zeer gering.

Bedreigingen:

- Afschuiving als gevolg van waterspanningsopbouw onder de laagscheidingen: filter/onderlaag en onderlaag/zandkern.
- Toplaagstabiliteit: omdat de onderlaag doorlatender is dan de filterlaag maakt voor de bepaling van de stabiliteit van de toplaag de onderlaag mogelijk deel uit van filterlaag.

Als de duurzaamheid van de aanwezige inslibbing twijfelachtig is, moet bij de beoordeling van de toplaagstabiliteit worden aangenomen dat de inslibbing ontbreekt.

Als het afschuifvlak net onder de toplaag of het filter ligt, dan zal, als er een goede teen/overgangsconstructie aanwezig is, er geen probleem zijn. Als het schuifvlak dieper ligt, dan is afschuiven minder waarschijnlijk omdat het gewicht van het (dikke) pakket wat erop rust, zorgt voor hogere korrelspanningen.

Type 3: Ongebruikelijke opbouw waarbij richting topklaag de constructie steeds doorlatender wordt. Vooral in dit geval kan het waterbezwaar aanzienlijk worden omdat de dijk kern van zand het minst doorlatende onderdeel van de dijk is.

Bedreigingen:

- Interne erosie (onderklaag en/of ondergrond).
- Macro-instabiliteit door hoge grondwaterstand in dijk kern.
- Verweking in onderklaag indien die slecht verdicht is en onvoldoende cohesie heeft (ongebonden is).

Type 4: Dit is een ongebruikelijke opbouw die, net als type 2, niet als zodanig kan worden aangelegd, omdat de onderklaag dan deel uitmaakt van de filterklaag. Het type kan ontstaan uit type 3 door dichtslibben van de granulaire laag onder de topklaag.

Bedreiging:

- Afschuiving in onderklaag als gevolg van waterspanningsopbouw onder de laagscheiding filter/onderklaag.
- Topklaagstabiliteit: omdat de onderklaag doorlatender is dan filterklaag maakt voor de bepaling van de stabiliteit van de topklaag de onderklaag mogelijk deel uit van filterklaag.

Als de duurzaamheid van de aanwezige inslibbing twijfelachtig is, moet bij de beoordeling van de topklaagstabiliteit worden aangenomen dat de inslibbing ontbreekt.

Indien zich in de zand kern ergens nog een oude klei kern bevindt, dan kan dat de hydrologische situatie aanzienlijk veranderen. Waterbezwaar achter de dijk zal in ieder geval niet meer optreden als gevolg van een te grote doorlatendheid van de dijk zelf, eventueel kan een doorlatende ondergrond nog wel tot een groot lek debiet leiden.

Ligt de oude klei kern niet direct onder de (onderklaag van de) bekleding, dan is er sprake van een zandscheg. De grondwaterstand in dit dijk gedeelte kan dan flink oplopen wat voor bovengenoemde typen opbouw de afschuiving sneller tot maatgevend mechanisme zal maken.

Te bepalen zijn voor de erosie gevoeligheid van de onderklaag het type materiaal waaruit de laag is opgebouwd en de constatering of er al enige mate van erosie is opgetreden.

Voor de afschuiving van de onderklaag is de laagdikte en het type materiaal van belang. Daarbij is verondersteld dat het een standaard materiaal is waarvan een redelijke schatting van de dichtheid van materiaal voor handen is. Zo niet, dan zal op basis van een monster de dichtheid moeten worden vastgesteld.

Voor een beoordeling van het waterbezwaar is de doorlatendheid en de laagdikte relevant.

Voor de afschuiving van het filter is het type materiaal, meer specifiek of het een cohesief (gebonden) materiaal is.

Voor de topklaaginstabiliteit is de doorlatendheid van de onderklaag relevant.

Voor de beoordeling van de macro-instabiliteit is de doorlatendheid en de laagdikte relevant.

Voor de beoordeling op verweking is het type materiaal relevant, meer specifiek of het een cohesief oftewel gebonden materiaal is. Als het ongebonden granulier, slecht doorlatend materiaal betreft, dan is de verdichting relevant.

In de hierna volgende typen, zie Tabel 3.2, ligt de bekleding altijd op een klei kern. Of de dijk ooit binnenwaarts met zand is verzaard, is voor de bekleding op het buitentalud uiteraard niet relevant.

Type dijkbouw:	5	6	7	8
Onderdeel:				
Filter	doorlatender dan onderlaag	niet doorlatender dan onderlaag	doorlatender dan onderlaag	niet doorlatender dan onderlaag
Onderlaag	niet doorlatender dan ondergrond	niet doorlatender dan ondergrond	doorlatender dan ondergrond	doorlatender dan ondergrond
Scheg	-	-	-	-
ondergrond= dijkskern	Klei	klei	klei	klei
Uit te voeren checks:	erosie onderlaag verweking onderl.	duurzaamheid	erosie onderlaag verweking onderl. toplaagstabiliteit	afschuif filter
Te bepalen (parameters):	type materiaal erosie doorlatendheid (laagdikte)	(type materiaal) erosie (doorlatendheid laagdikte)	type materiaal erosie doorlatendheid (laagdikte)	type materiaal erosie (doorlatendheid laagdikte)

Tabel 3.2 Verschillende typen opbouw bekleding gebaseerd op doorlatendheid, ondergrond = klei

Type 5: Opbouw waarbij doorlatendheid afneemt van buiten naar binnen. Hieronder valt de gebruikelijke situatie waarbij het filter direct op de dijk kern is aangelegd. De onderlaag is dan dus de buitenste schil van de kleikern. Maar het is ook denkbaar dat de kleikern aan de buitenzijde is aangevuld met een ondoorlatende granulaire laag.

Bedreiging:

- Erosie onderlaag.
- Verweking in onderlaag indien die slecht verdicht is en onvoldoende cohesie heeft of ongebonden is.
- Toplaagstabiliteit, in geval de onderlaag te doorlatend is en daardoor deel uitmaakt van de filterconstructie.

Type 6: Opbouw waarbij de doorlatendheid minimaal is. Deze opbouw kan bijvoorbeeld ontstaan uit type 5 als de filterlaag goed dichtslibt.

Bedreiging: geen.

Als de duurzaamheid van de aanwezige inslibbing twijfelachtig is, moet worden getest alsof deze inslibbing ontbreekt.

Type 7: Opbouw waarbij doorlatendheid afneemt van buiten naar binnen. Hieronder valt de situatie waarbij de dijk kern is aangevuld met een granulaire laag die wat doorlatender is dan klei.

Bedreigingen:

- Erosie onderlaag.
- Verweking in onderlaag indien die slecht verdicht is en onvoldoende cohesie heeft of gebonden is.
- Toplaagstabiliteit. De onderlaag mag niet dusdanig doorlatend zijn dat deze de toplaagstabiliteit gaat beïnvloeden.

Type 8: Opbouw waarbij de onderlaag doorlatender is dan de lagen eronder en erboven. Hieronder valt de situatie waarbij de dijk kern is aangevuld met een granulaire laag die wat doorlatender is dan klei (type 7), maar waarbij de filterlaag is dichtgeslibd.

Bedreiging:

- Afschuiving in onderlaag als gevolg van waterspanningsopbouw onder de laagscheiding filter/onderlaag.

Als de duurzaamheid van de aanwezige inslibbing twijfelachtig is, moet ook worden getest alsof deze inslibbing ontbreekt.

Het afschuifvlak net onder het filter zal, als er een goede teen/overgangsconstructie aanwezig is, normaliter geen probleem op mogen leveren.

Niet alle gegevens blijken voor de beoordeling van een specifiek bekledingstype noodzakelijk. Voor het merendeel van de bekledingen zijn de volgende 4 items echter wel noodzakelijk.

Daarom dienen standaard de volgende vijf gegevens te worden verzameld:

- Type materiaal.
- Tekenen van erosie aan oppervlak van onderlaag.
- Doorlatendheid van de onderlaag.
- Sterkte indicatie.
- Laagdikte van de onderlaag.

4 Methoden van verzamelen van gegevens

In dit hoofdstuk is een beschrijving gegeven met betrekking tot het verzamelen van constructiegegevens voor een bestaande constructie. De methode is nog niet in het veld toegepast. In het hoofdstuk 5 is wel een voorlopige verkenning beschreven. Maar die had betrekking op de onderlagen tijdens de bouw, waarbij de onderlagen nog niet waren afgedekt met de rest van de bekledingsconstructie.

4.1 Algemeen

Statistisch verantwoord gegevens verzamelen zonder dat er iets van de onderlaag of zelfs maar van de bekleding bekend is, is eigenlijk onbegonnen werk. Daarom is het wenselijk dat eerst alle bestaande gegevens op tafel komen. Het gaat daarbij om gegevens van het ontwerp (ontwerp- en/of bestekstekeningen), de aanleg (revisietekeningen) en van voorafgaande beoordelingen (opleveringscontroles, toetsrapportages, inwinformulieren van de toetsing en/of Steentoetsbestanden). Daarnaast zijn ook eventuele gegevens verkregen gedurende het beheer zeer waardevol. Te denken valt aan geconstateerde (ver)zakkingen en/ of afschuivingen: de vervormingen van het talud in langs- en dwarsrichting en de naar aanleiding van schades uitgevoerde reparaties.

Als constructie-eigenschappen die in het veld worden bepaald overeenkomen met de waarden en/of eigenschappen die op basis van de archiefgegevens mochten worden verwacht, dan kan met een beperkte steekproef om de materiaaleigenschappen te bepalen worden volstaan.

De metingen die worden voorgesteld zijn zeer grofstoffelijke classificatieproeven. Als dat onvoldoende zekerheid oplevert, dan moeten monsters worden genomen om het materiaal in het laboratorium nader te karakteriseren.

4.2 Omstandigheden bij het verzamelen

Het is de onderlaag van een steenzetting van de zeedijk die moet worden gekarakteriseerd. Daarbij gaat het veelal vooral om de zone nabij de teen, omdat daar granulaire aanvullingen het meeste voorkomen.

De bekleding op de onderlaag bestaat uit tenminste een toplaag van gezette steen. Onder de toplaag bevindt zich vaak nog een "granulair filter" dan wel een granulaire uitvullaag. Bij constructies die de laatste tien jaar zijn aangelegd ligt er normaliter direct op de onderlaag nog een geotextiel. Bij historische bekledingen liggen er nog weleens twee of drie lagen baksteen, de zogenaamde vlijlaag, direct op de onderlaag van klei.

Aangezien het onderzoek de zone nabij de teen van een zeedijk betreft, moet worden aangenomen dat deze zone aan het dagelijks getij wordt blootgesteld. Het te onderzoeken materiaal wordt dus dagelijks nat en is, door de constructie die hem afdekt, dus nooit kurkdroog. Dit wordt als uitgangspunt in het onderzoek aangenomen. De voorgestelde technieken zullen dus mogelijk niet geschikt zijn voor het karakteriseren van bijvoorbeeld uitgedroogde klei.

Bij de inventarisatie van de bekledingseigenschappen voor de toetsing moet de toestand op de peildatum worden gekarakteriseerd. Tijdens het toetsproces wordt, als geen betrouwbare gegevens beschikbaar zijn op basis waarvan de toestand op de peildatum kan worden geschat, meestal de actuele situatie opgenomen. Er wordt dan in feite aangenomen dat de huidige situatie tot aan de peildatum dezelfde zal blijven.

Aangezien de onderlaag zich onder een steenzetting bevindt, zal voor de beoordeling van het materiaal de steenzetting moeten worden opengebroken. Dat gebeurt normaliter ook al om andere onbekende bekledingsparameters te bepalen. Te denken valt aan de dikte van de toplaagelementen, de filterlaagdikte en karakteristieke steendiameter van het granulair filter en om te constateren of er een geotextiel aanwezig is en wat de eigenschappen van het geotextiel zijn (Checklist 1999).

Bij het openbreken van een bekleding is het uiteraard gewenst om een zo beperkt mogelijk aantal elementen uit de toplaag te nemen. De verstoring van het verband van de steenzetting moet namelijk zoveel mogelijk worden beperkt en hoe kleiner het gat, hoe beter het verband in de zetting aanwezig zal blijven en hoe makkelijker het herstel van de toplaag zal zijn. Beproeven van de onderlaag moet dus bij voorkeur door een zo beperkt mogelijk gat in de bekleding. Voor reparatie van het geotextiel in een beperkt gat geeft bijlage B een mogelijke uitvoeringswijze. Per saldo zal grofweg een m^2 van de bekleding moeten worden herzet als de onderlaag is onderzocht.

De laagdikte van de toplaag van de bekleding is normaliter in overeenstemming met de zwaarte van de golfaanval: 0,25 tot 0,5 m. De granulaire (filter)laag bedraagt voor recente bekledingen veelal ca. 0,1 m.

De bekledingen liggen op taludhellingen die grofweg uiteenlopen van 1V:2,5H tot 1V:5H.

Afhankelijk van de exacte locatie en getijomstandigheden is het niet uit te sluiten dat het gat wat in de toplaag wordt gemaakt gedeeltelijk vol sijpelt met water of slib. Het natte talud kan moeilijk begaanbaar zijn door aangroeiing van algen en/of wieren.

Aangezien het te onderzoeken materiaal in de getijzone ligt, moeten de metingen bij voorkeur binnen een beperkte tijd kunnen worden uitgevoerd. Het gat dient al weer afgedicht te zijn voordat de volgende vloed eroverheen komt. Voorspellingen van het astronomisch getij, aangevuld met actuele weer- en op/afwaaiingsvoorspellingen, zijn essentieel voor een goede planning van de werkzaamheden.

Uiteraard moet het verzamelen van deze gegevens, waarbij de bekleding moet worden opengebroken, bij voorkeur buiten het stormseizoen plaatsvinden.

4.3 Te verzamelen gegevens

Voor steenzettingen is het al gebruik om een aantal gegevens met betrekking tot de constructieopbouw in het veld te verzamelen. Daartoe is een checklist gemaakt [Checklist 1999]. Die checklist kan worden uitgebreid met in te winnen gegevens met betrekking tot de onderlaag.

4.3.1 Type materiaal

Het type materiaal waaruit de onderlaag is opgebouwd, geeft, zeker als het gestandaardiseerde materialen betreft, veelal voldoende nauwkeurige inschattingen met betrekking tot de dichtheid. De dichtheid [kg/m^3] is nodig voor de beoordeling op afschuiving van de bekleding.

4.3.2 Erosiebestendigheid

Als de laag erodeert, kan deze in zijn geheel dunner worden of via interne erosie doorlatender worden. De eigenschappen die nodig zijn om de functie te vervullen zijn dan niet duurzaam aanwezig.

Als dagelijkse omstandigheden bij de degradatie een rol spelen, bijvoorbeeld het vol- en leegstromen van de onderlaag door eb en vloed, dan wordt de duurzaamheid al snel aangesproken. Als alleen extreme stormomstandigheden tot kritieke belastingen op de onderlaag leiden dan zal visueel niet snel een aantasting als gevolg van een gebrekkige erosiebestendigheid kunnen worden geconstateerd bij het openbreken van de bekleding. Maar voor locaties nabij de teen van de dijk geldt over het algemeen dat de maatgevende belastingen niet veel groter zijn dan frequent voorkomende stormomstandigheden. Daarom zal een positief resultaat van een inspectie na verloop van een flink aantal jaren toch ook voor de maatgevende omstandigheden zekerheid geven.

Als de laag degradeert onder dagelijkse omstandigheden, dan is het ook mogelijk dat de hydraulische en mechanische eigenschappen veranderen, wat mogelijk pas bij extreme omstandigheden aan het licht treedt.

De erosiebestendigheid zal ook in belangrijke mate de reststerkte bepalen als de top- en filterlaag zijn bezweken. Normaliter wordt hier bij het ontwerp geen rekening mee gehouden en voor de toetsing wordt alleen voor een laag van klei de reststerkte gekwantificeerd. Voor zeedijken stelt deze reststerkte echter meestal niet al te veel voor.

Uitgangspunt is dat de reststerkte van onderlagen anders dan die van klei voorsnog **niet** worden meegenomen in de beoordeling van de bekleding en daarom worden er vanuit dien hoofde geen specifieke eisen aan de onderlaag gesteld. Voor een onderlaag van klei wordt verwezen naar stap 2 van paragraaf 2.4.6 van katern 8 van het VTV2006.

Als op grond van het uiterlijk van het materiaal het naar herkomst kan worden benoemd, geeft dat een eerste indicatie ten aanzien van de erosiebestendigheid/duurzaamheid van het materiaal en eigenschappen. Daarnaast levert de visuele beoordeling van de constructie, maar vooral ook het oppervlak van de onderlaag de nodige aanwijzingen of er (op termijn) problemen met erosie / duurzaamheid zijn (te verwachten). Te denken valt aan de volgende signalen:

- Aangetroffen holten in één van de lagen onder de toplaag: materiaal mogelijk verpulverd en weggespoeld.
- Totaal gedegreerde materialen. Voorbeeld: zachte baksteen in filter- of vlijlaag vergaan tot een rode slurry.
- Er worden deels gedegreerde materialen aangetroffen, waardoor het materiaal aan het oppervlak van de onderlaag een veel grotere fijne fractie bevat dan op iets grotere diepte in de onderlaag. Let op dat het moet zijn veroorzaakt door het uit elkaar vallen van grotere korrels. Er kan ook bij de aanleg van de onderlaag een afwerklaag van fijner materiaal zijn toegepast om de onderlaag strakker te kunnen afwerken.
- Er worden aan het oppervlak van de onderlaag juist minder fijne korrels aangetroffen dan dieper in de laag. Dit duidt op uitspoeling van de fijnste fractie, al moet rekening worden gehouden met een eventuele uitspoeling die gedurende de aanleg al kan zijn opgetreden.

In geval van twijfel: materiaalmonster nemen voor nader onderzoek. Dit monster nemen van een diepte in de onderlaag waar er nog geen sprake is geweest van uitspoeling/degradatie.

Holten beïnvloeden de onderlinge doorlatendheidsverhoudingen binnen de constructie dusdanig dat de toplaagstabiliteit hierdoor in gevaar kan komen. Uitspoeling van tot slurry gedegreerd materiaal zal leiden tot holten en/of reductie van de laagdikte met

verzakkingen tot gevolg. Uiteenvallen van de grove fractie tot te fijne fracties kan op termijn leiden tot uitspoeling en de daaruit voortkomende problemen.

4.3.3 Doorlatendheid

De doorlatendheid van het *filter* wordt al beoordeeld, zie de Checklist 1999 (specifiek filterdoorlatendheid [9]). Zelfs als het filter al de beoordeling “ondoorlatend” krijgt, is een nadere bepaling van de doorlatendheid van de onderlaag nog noodzakelijk. Een doorlatende onderlaag onder een dichte filterlaag kan tot een ongewenste waterspanningsopbouw in de onderlaag en dus tot een ongunstige situatie ten aanzien van afschuiven leiden.

Overigens geldt dat de (on)doorlatendheid van het filtermateriaal wordt afgemeten aan de stroming opgewekt door de golven op het talud. Voor de doorlatendheid van de onderlaag is de stroming opgewekt door de getijgolven bepalend. Voor de onderlaag is het daarom noodzakelijk om het meetbereik met een factor 10 aan de ondoorlatende zijde van de meetrage op te rekken.

Als het materiaal van de onderlaag klei is, dan is de ondoorlatendheid voldoende gegarandeerd en is geen meting nodig. Als de onderlaag echter een granulaire laag betreft, dan moet een doorlatendheidsmeting worden uitgevoerd.

De meting van de doorlatendheid is, evenals die voor het filter, gebaseerd op een elementaire infiltratiemeting. Bij de filterlaag kan de gatwand meestal als infiltratiebuis worden gebruikt. Voor de onderlaag moet er echter een buis worden gebruikt. Het gat wat in de bekleding is gemaakt, is niet als buis bruikbaar omdat lekstromen door de toplaag en het filter niet te onderscheiden zijn van de afstroming door de onderlaag, terwijl de meting van de doorlatendheid van de onderlaag gericht is op wat geringere doorlatendheden.

Vermoed wordt dat verschillende partijen een bruikbare doorlatendheidsmeting kunnen uitvoeren. In ieder geval biedt Fugro voor dit soort onderzoeken de dubbele ring-infiltrometer aan [De Bruin, 2010].

Tijdens aanleg zou in geval van (hydraulische) granulaire materialen een geringe doorlatendheid moeten worden bereikt door te voldoen aan verdichtingseisen. Desgewenst kan bij het breken ook de verdichtingsgraad worden gecontroleerd. Daartoe dient dan de dichtheid te worden bepaald met de grindmethode en moet van het uitgegraven materiaal een eenpuntsproctordichtheid bepaald worden. Op basis van die gegevens kan de verdichtingsgraad worden berekend.

Door de respons van de waterspanningen in de dijk op het getij te meten kan eventueel ook een indicatie van de doorlatendheid van de bekledingsconstructie als geheel worden verkregen. Die doorlatendheid biedt een prima inzicht ten aanzien van de functie "waterremmende laag om toestroming van buitenwater naar de kern van de dijk of het achterland te beperken". Het levert echter géén informatie over de ligging van het afschuifvlak. Daarvoor moeten, zoals eerder in deze paragraaf is aangegeven, de doorlatendheid van de filterlaag en de onderlaag afzonderlijk bekend zijn.

4.3.4 Sterkte

De sterkte speelt een rol bij het beoordelen op afschuiven of verweken. Gebonden of cohesief materiaal kan deze mechanismen voorkomen, danwel een schuifvlak naar grotere diepte dwingen. Dat laatste betekent overigens in zijn algemeenheid ook dat de stabiliteit ten aanzien van afschuiven groter wordt.

Voor plastische lagen kan voor de karakterisering gebruik worden gemaakt van een simpele penetratieproef (bijv. een handsondering) en/of torsieproef (vane-test). Voor wat betreft de

waterbouwkundige eisen kan er echter worden gesteld dat de sterkte van de klei nooit een probleem vormt als deze maar onderdeel uitmaakt van een goed opgebouwde constructie. Het soort metingen wat wordt gebruikt voor het karakteriseren van plastische materialen is niet bruikbaar voor (grove) al of niet gebonden steenachtige materialen. Daarom wordt een rudimentaire vorm van een slagsondering geadviseerd.

Door na te gaan of een ijzeren staaf (een haaks afgeslepen stuk glad wapeningsstaal $\varnothing 10$ mm) met het ene uiteinde geplaatst op de onderlaag penetreert in de onderlaag als men een vuistje van 10 cm hoog laat vallen op het andere uiteinde, kan de sterkte van het materiaal worden geclassificeerd. Deze elementaire slagsondering dient op 5 verschillende plekken op de onderlaag te worden uitgevoerd, omdat een enkele grote steen in de onderlaag de penetratie op die plek kan verhinderen.

Een criterium voor een dergelijke slagsondering op basis waarvan wordt beoordeeld moet nog worden geformuleerd.

4.3.5 Laagdikte

De toe te passen techniek voor het bepalen van de laagdikte is afhankelijk van de penetreerbaarheid van het materiaal van de onderlaag.

De laagdikte is in geval van een kleilaag op een ondergrond van zand vast te stellen aan de hand van een handboring (met een guts of grondboor). Daarbij kan tevens de homogeniteit van de kleilaag worden beoordeeld. Daarbij moet loodrecht op het talud worden geboord omdat de laagdikte in die richting relevant is.

Tenzij expliciet wordt gevraagd om laagdiktes groter dan 1,8 m aan te tonen, mag, als de aangetroffen laagdikte groter blijkt dan 1,8 m, worden volstaat de melding: laagdikte > 1,8 m.

In geval van een granulaire onderlaag is de laagdikte wat lastiger vast te stellen. Als de granulaire laag niet of in beperkte mate is verkit, kan met een geschikte avegaar door de laag worden geboord. Alleen in het uitzonderlijke geval dat de laag in sterke mate is gebonden, kan het noodzakelijk zijn om een kern te laten boren door een boorbedrijf.

Als bij een onderlaag van klei onbekend is waar in de dijk de oude kleikern ligt dan zal, als de oude kleikern aan de buitenzijde ligt, het onderzoek bij het bepalen van de laagdikte resulteren in de constatering dat de laagdikte groter is dan 1,8 m.

4.4 Toepassingsvoorwaarden

Bij de genoemde technieken is er impliciet vanuit gegaan dat het gaat om onderlagen die zich op een dusdanige hoogte op het talud bevinden dat ze dagelijks nat worden (getijzone). Door uitdroging keihard geworden klei of andere materialen kunnen op die plek dus niet worden aangetroffen. In dat soort lagen zal specifiek de aanbevolen sterkte- en laagdiktebepaling niet altijd conform de beschrijving mogelijk zijn.

Voorts is de gebruikelijke opbouw van een steenzetting voorzien: toplaag van gezette steen op granulaire filterlaag op (eventueel geotextiel op) te onderzoeken onderlaag op dijk kern.

5 Verkenning toegepaste alternatieve bouwstoffen in de praktijk

Omdat het openbreken van bekledingen voor het beoordelen van de onderlagen een nogal ingrijpende operatie is, is ervoor gekozen om een eerste verkenning uit te voeren op locaties waar het werk nog gaande was, zodat de kleivervangers konden worden beoordeeld voordat het geotextiel, de filterlaag en de toplaag waren aangebracht.

In Zeeland is op 12-09-2012 op twee locaties bij de uitvoering van de dijkverbetering een veldbezoek afgelegd. Deze locaties zijn Stavenisse en de Roggenplaat.

De daar als alternatief voor klei gebruikte materialen zijn:

- Fosforslak.
- Hoogovenslak.
- Mijnssteen.

Van de locaties zijn monsters van de onderzochte materialen genomen en tevens zijn voor de beeldvorming enkele foto's gemaakt. Deze zijn opgenomen in bijlage C.

5.1 Achtergrond veldbezoek

Dit veldbezoek was er niet op gericht de materialen in samenhang met de specifieke constructie te beoordelen, maar om een indruk te krijgen of de materialen kunnen functioneren als onderlaag in een gebruikelijke constructieopbouw. De aspecten waarop de alternatieve materialen zijn beoordeeld zijn daarom:

- De doorlatendheid (minimaal een factor 10 minder doorlatend dan zand) en,
- de stabiliteit (de laag moet samenhangend zijn).

De eis ten aanzien van de doorlatendheid komt voort uit twee mechanismen. Allereerst afschuiving: wil men het gewicht van de onderlaag meetellen voor de sterkte tegen afschuiven van de bekleding dan dient de alternatieve bouwstof die is toegepast als kleivervanger minimaal een orde minder doorlatend te zijn dan de doorlatendheid van de zandkern. Het tweede mechanisme betreft de toplaagstabiliteit. Als de onderlaag te doorlatend is, dan functioneert hij feitelijk wellicht als filterlaag. Het eerste mechanisme stelt de zwaarste eis: een doorlatendheid die een orde kleiner is dan die van zand.

Onbekend is in hoeverre er aan de onderlaag op de bezochte locaties daadwerkelijk specifieke eisen vanuit het ontwerp werden gesteld. Waterbezwaar voor het achterland speelt in ieder geval niet voor de bekleding op Roggenplaat aan de Oosterscheldezijde.

De bevindingen van het veldbezoek zijn niet bedoeld om een beoordeling te geven over de toestand van de betreffende bekledingen. Het veldbezoek had alleen tot doel om praktijkgegevens te verzamelen met betrekking tot de alternatieve bouwstoffen: welke karakteristieken zij hebben, op welke manier worden zij verwerkt tot onderlaag en tot welk resultaat dat kan leiden.

5.2 Locatie Stavenisse

Op de locatie Stavenisse, waar een laag van slak op de oude kleilaag wordt aangebracht, was de dijkverbetering in de laatste fase en was het niet mogelijk dikke (> 40 cm), representatieve lagen met fosfor- of hoogovenslak te onderzoeken. Deze was reeds afgedekt door de steenbekleding. Op de locaties waar nog een deel van de steenbekleding aangebracht moest worden, was voornamelijk klei (oude dijklichaam) aanwezig. Echter, tussen de reeds geplaatste steenbekleding en de onderhoudsweg was een strook aanwezig waar een dunne laag slak aanwezig was, deze is beproefd en bemonsterd. Beide slaksoorten (hoogoven en fosfor) zijn door elkaar gebruikt.

Volgens de opzichter ter plekke wordt de slak in lagen met een dikte van 40 cm aangebracht en vervolgens met een trilplaat verdicht. De verdichting wordt vervolgens steekproefsgewijs nucleair beoordeeld, deze moet minimaal 98% van de proctordichtheid zijn. Deze eis is pas enkele jaren ingesteld, daarvoor bestond geen enkele eis en kon hierop dus niet worden beoordeeld.

Om een idee te krijgen van de doorlatendheid zijn drie kuilen gegraven (+/- 20x20x30 cm³) die vol zijn gegoten met water teneinde een indicatieve relatieve doorlatendheid te kunnen bepalen. Dit is gedaan door het opnemen van de zakking van het waterniveau in het volgegoten gat. Hier is geen absolute, kwantitatieve doorlatendheid uit te bepalen en daarom worden alleen de onderlinge verschillen gepresenteerd. Twee van deze kuilen bevonden zich in beide slaksoorten en één in de kleilaag die vlak naast de steenbekleding aan het oppervlak kwam.

5.3 Observaties:

Bij het graven van de kuilen in de alternatieve materialen is nauwelijks een effect van verdichting geconstateerd. Hierbij moet opgemerkt worden dat de onderzochte locaties niet onder de steenzetting zelf liggen en dus mogelijkerwijze niet representatief zijn verdicht. Echter, doordat voor zowel de onderhoudsweg als de onder de steenzetting liggende laag met behulp van hetzelfde apparaat is verdicht (een handbediende trilplaat), wordt aangenomen dat de verschillen klein zijn.

De slakmengsels waren op het moment van het bezoek zeer recent aangebracht en vertoonden mogelijk daardoor nog geen effecten van verkitting, waardoor het effect van de hydraulische werking nog niet beoordeeld kon worden.

De resultaten van de indicatieve, relatieve doorlatendheidsmetingen laten zien dat de doorlatendheid van de fosfor- en hoogovenslak vergelijkbaar zijn. De doorlatendheid van de klei is naar schatting al gauw een factor 1000 kleiner.

Beide slaksoorten bevatten weinig fijn materiaal, zodat het twijfelachtig is of het materiaal goed te verdichten is en of er een waterremmende laag van kan worden gemaakt.

5.4 Monstername:

Ter plaatse is uit het werk een monster meegenomen van de hoogoven- en fosforslak. Daarnaast is nog een monster hoogovenslak uit het depot meegenomen.

Zowel bij het materiaal in depot als bij het materiaal in het werk is geen enkele mate van verkitting waargenomen.

5.5 Locatie Roggenplaat

Op de locatie Roggenplaat, waar een extra mijnsteenlaag op de oude mijnsteenlaag wordt aangebracht, was de dijkverbetering op het betreffende gedeelte nog niet zo ver dat een nieuw aangelegde laag mijnsteen kon worden beoordeeld. De waarnemingen zijn derhalve verricht op de oude mijnsteenlaag waarvan de oude uitvullaag en steenzetting was verwijderd. Volgens de opzichter wordt op deze locatie de verdichting van de mijnsteenlaag met een trilwals loodrecht op de helling uitgevoerd.

Op deze locatie zijn, op vergelijkbare wijze als op de locatie Stavenisse, indicatieve doorlatendheidsmetingen uitgevoerd: twee in de oude mijnsteenlaag en één in de zandkern van de dijk. Deze laatste had overigens een hoog breuksteengehalte.

Op het betreffende dijkgedeelte lagen de haringmanblokken op een dunne laag van fijn breuksteen direct op het zand. Een geotextiel is niet aangetroffen in dit gedeelte waarvan men de te vervangen bekleding aan het verwijderen was. Het is een hoogst ongebruikelijke constructie-opbouw zonder geotextiel, maar het dijkvak betreft ook geen normale dijk in een dijkkring. Het is de niet-zeezijde van een verbindende waterkering.

5.6 Observaties:

Ook op deze locatie is er nauwelijks verdichting van de mijnsteenlaag geconstateerd. De doorlatendheid van zowel de mijnsteen als het zand in de kern zijn vergelijkbaar met die van beide slaksoorten op de locatie Stavenisse.

Verkitting (ook op enige diepte) in de oude mijnsteenlaag is nauwelijks aangetroffen. Alleen aan de oppervlakte was zeer lokaal en niet dikker dan circa 1 mm sprake van wat verkitting. Deze laag was eenvoudig kapot te maken.

De mijnsteen in de teen van de dijk aan de waterlijn was verweekt en slap. In hoeverre dit een gevolg van de werkzaamheden is of altijd al het geval was, is onduidelijk.

5.7 Monstername:

Op de locatie waren depots aanwezig van:

- Nieuw aangevoerde en te gebruiken mijnsteen.
- Oude, uit het werk vrijgekomen, mijnsteen.
- Fosforslak.

Van alle 3 de materialen zijn monsters meegenomen.

De hier aanwezige fosforslak (alleen in depot), bevatten duidelijk meer fijn materiaal dan die bij de locatie Stavenisse. Delen van dit materiaal vertoonden duidelijke verkitting (brokken).

Zowel bij het nieuwe mijnsteen, dat in depot lag, als het oude mijnsteen (in depot) is geen noemenswaardige verkitting aangetroffen.

Visueel en qua fysische eigenschappen was de eerste indruk van de nieuwe mijnsteen (in depot) dat dit een geschikt materiaal leek voor de uit te voeren werkzaamheden. Enigszins kleilig, maar ook vrij stevig/sterk, hoewel ook hierin dus geen verkitting is geconstateerd. Een beoordeling van de praktische verwerking in het dwarsprofiel heeft echter niet plaats kunnen vinden.

5.8 Conclusies naar aanleiding van het veldbezoek

Op basis van de gevoerde gesprekken en de observaties wordt het volgende geconcludeerd:

- Het is twijfelachtig of de gebruikte verdichtingsmethode toereikend is om 40 cm dikke mijnsteen of slaklagen te verdichten. Op beide locaties lagen de materiaalsoorten er slecht verdicht bij, met een open poriestructuur tot gevolg.
- Mede door deze open poriestructuur hebben alle onderzochte kleivervangers (staal-, fosforslak en mijnsteen) doorlatendheden die hoogstwaarschijnlijk vergelijkbaar zijn met die van het zand in de kern van de dijk.
- Er is, op basis van de uitgevoerde indicatieve doorlatendheidsproeven, geen absolute waarde van de doorlatendheid af te leiden. Hiervoor zijn teveel variabelen onbekend. Echter, uitgaande van een doorlatendheid van zand van 10^{-4} tot 10^{-5} m/s, en uitgaande van de observatie dat de doorlatendheden van de slak hiermee vergelijkbaar zijn, zal de doorlatendheid van de slak ook in deze orde liggen. Een factor 10 verschil in de doorlatendheid tussen slakmengsel en zand zal bij lange na niet gehaald kunnen worden.
- Verkitting van de op de dijken aangebrachte kleivervangers is niet geconstateerd. Alleen in het depot van Roggenplaat zijn brokken verkitte fosforslak waargenomen: een teken dat verkitting in principe wel in dit materiaal op kan treden. Verkitte slak is op beide locaties niet in aangebrachte toestand waargenomen. De verkitting in het depot van Roggenplaat kan overigens samenhangen met het relatief hoog gehalte aan fijn materiaal in vergelijking met de slakmengsels toegepast bij Stavenisse, waar geen enkele vorm van verkitting is waargenomen.
- Zover kon worden nagegaan zijn geen eisen gesteld aan de gebruikte slak. Het lijkt momenteel mogelijk om slakmengsels toe te passen die, omdat de sortering onvoldoende fijn materiaal bevat, zelfs na goede verdichting, geen waterremmende laag oplevert.

5.9 Aanbevelingen naar aanleiding van het veldonderzoek

Het uitgevoerde onderzoek is slechts een oriënterend onderzoek geweest. Verder onderzoek wordt aanbevolen om de gevolgen van de constatering nader te onderzoeken. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen onderzoek op de meegebrachte monsters en verder onderzoek.

De meegebracht monsters (ca. 30 kg per monster) zijn geschikt om enkele eenvoudige proeven op uit te voeren, zoals het bepalen van de korrelverdeling en de uitvoering van verkittingsproefjes.

Nader onderzoek kan daarnaast verricht worden naar:

- Te stellen eisen aan de materialen en verwerkingsmethoden om tot eigenschappen te komen waarmee aan de gestelde eisen wordt voldaan.
- De gevolgen voor de bestaande dijken waar alternatieve materialen zijn aangebracht die niet aan de gestelde eisen voldoen
- Karakterisering van de toegepaste materialen, zoals korrelverdeling, hydraulische werking en dergelijke.
- Karakterisering van alternatieve materialen in het algemeen om zodoende een beeld te krijgen van de variatie in samenstelling en eigenschappen.

5.10 Eisen aan de onderlaag bij het Projectbureau Zeeweringen

Na het veldbezoek heeft contact met PBZ (R. Bosters) duidelijk gemaakt dat de alternatieve materialen toe te passen in de onderlaag worden onderworpen aan een vooronderzoek om de geschiktheid aan te tonen. Dit betreft dus geen eisen die in het bestek staan, maar het zijn (impliciete) eisen waaraan materialen in het voortraject wordt getoetst:

1. Met een doorlatendheidsproef (in een cilindervormige cel) moet met een vooronderzoek worden aangetoond dat de doorlatendheid van het materiaal een orde kleiner is dan die van zand, d.w.z. kleiner dan 10^{-5} m/s. Gezien de onzekerheden van e.e.a. is de eis van 10^{-5} m/s niet keihard. Als er vertrouwen is in het materiaal wordt bijvoorbeeld een doorlatendheid van $2 \cdot 10^{-5}$ m/s ook nog wel geaccepteerd. Als het materiaal door hydraulische binding in de loop van de tijd minder doorlatend wordt, dan moet de doorlatendheidsproef enige maanden worden doorgezet om de ontwikkeling in de tijd te zien. De proef moet uitgevoerd worden bij dezelfde verdichting als buiten gerealiseerd moet worden.
2. Het materiaal moet voldoende samenhangend zijn door cohesie of door chemische (al dan niet hydraulische) binding. De eis is kwalitatief en komt er op neer dat het materiaal (na binding) niet met de hand verkruid moet kunnen worden en niet als los zand uit elkaar mag vallen als het droog is.

Zowel de doorlatendheid als de binding zijn sterk gecorreleerd aan de mate van verdichting. In het bestek worden daarom eisen gesteld aan de verdichting ter garantie van (o.a.) de waterdichtheid.

Naast een vooronderzoek, wat moet aantonen dat met de alternatieve materialen een laag met de gewenste eigenschappen is aan te leggen, wordt er dus via het bestek een eis aan de verdichting van de onderlaag gesteld.

6 Conclusies en aanbevelingen

Omdat de eigenschappen van de onderlaag van een steenzetting belangrijk kunnen zijn voor de stabiliteit van de erop aangelegde steenzetting, dienen deze eigenschappen bij de beoordeling van de bekleding bekend te zijn. Momenteel is hier in de beoordelingsprocedure (VTV2006) te weinig aandacht voor. Er wordt alleen rekening gehouden met zand of klei als onderlaag.

Omdat de onderlaag niet alleen een werkvloer is om de steenzetting gemakkelijk op aan te kunnen leggen, maar een wezenlijk, functioneel onderdeel is van de steenbekleding, verdient de onderlaag meer aandacht.

De onderlaag kan meerdere functies vervullen:

1. Draagkrachtige ondergrond voor de toplaag van de steenzetting en daarop werkende mechanische belastingen.
2. Waterremmende laag om toestroming van water naar het zwaarst aangevallen deel van de toplaag te beperken.
3. Waterremmende laag om toestroming van buitenwater naar de kern van de dijk of het achterland te beperken.
4. Remming erosie ondergrond als onderdeel van een filterconstructie.
5. Remming erosie (reststerkte) in geval van falen van de erboven gelegen lagen.
6. Sterkte tegen afschuiving van de bekleding.

Op grond van deze functies van een onderlaag en de (bezwijk)mechanismen zijn aspecten benoemd die bij de beoordeling van (alternatieve) bouwstoffen als onderlaag van een steenzetting een rol spelen. Het gaat om het volgende:

- Het type materiaal.
- Erosiebestendigheid.
- De doorlatendheid.
- De sterkte.
- De laagdikte.

Bij een bestaande zetting kunnen deze gegevens alleen met zekerheid worden vastgesteld door de bekleding open te breken. Hoofdstuk 4 beschrijft daarvoor de mogelijkheden.

Omdat het openbreken van bekledingen voor het beoordelen van de onderlagen een nogal ingrijpende operatie is, is ervoor gekozen om een eerste verkenning uit te voeren op een tweetal locaties waar de aanleg van bekledingen nog gaande was, zodat de kleivervangers konden worden beoordeeld voordat het geotextiel, de filterlaag en de toplaag erop waren aangebracht.

Geconstateerd is dat op de bezochte locaties de aanwezige alternatieve bouwstoffen vrijwel geen tekenen van verkitting vertoonden en dat zij relatief weinig fijn materiaal bevatten. Dat maakt dat er twijfel is of de aangetroffen materialen uiteindelijk leiden tot een cohesieve onderlaag die ook voldoende waterdoorlatend wordt om als waterremmende laag (functie 2 en 3) te kunnen worden aangemerkt.

Aanbevolen wordt om de bij het veldbezoek verzamelde monsters nader te karakteriseren en er proeven op uit te voeren om na te gaan of het materiaal verkit.

De eigenschappen van de bij het veldonderzoek aangetroffen materialen geven aanleiding om aan te bevelen striktere eisen te formuleren aan materialen die als substituuat voor klei als

onderlaag bij steenzettingen worden verwerkt. Tevens moet ervoor gezorgd worden dat de geformuleerde eisen bij de betrokken partijen bekend zijn, zodat er op kan worden toegezien dat de gewenste materialen worden toegepast en de gewenste eigenschappen van de onderlaag ook daadwerkelijk worden gerealiseerd.

Aanbevolen wordt om als proef een aantal bekledingen, waarvan bekend is dat er alternatieve materialen zijn toegepast, open te breken om na te gaan wat de onderlaag daadwerkelijk voorstelt. Dit onderzoek levert enerzijds ervaring op met het openbreken van een bekleding en onderzoeken van de onderlaag en weer herstellen van de constructie. Deze ervaring kan dan worden gebruikt om de beschrijvingen waar nodig te verbeteren. Anderzijds kan een dergelijk onderzoek enig aanvullend inzicht geven in de daadwerkelijke kwaliteit van gerealiseerde onderlagen bestaande uit alternatieve bouwstoffen.

Referenties

CUR1989

Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw, literatuurstudie
Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
CUR rapport 89-1, Gouda, januari 1989

Checklist1999

Checklist (gegevens verzamelen) d.d. 20-04-99
Opgenomen als Bijlage A in Handleiding STEENTOETS2008 versie 4,
Deltares rapport 1202551-HYE-0026, Delft, februari 2011

TRS2003

TR Steenzettingen Bijlage A7: Parameters voor toetsing steenzettingen, Basismateriaal
steenzettingen.
Technische adviescommissie voor de Waterkeringen
DWW-2003-097, ISBN 90-369-5551-3, Delft, december 2003.

VTV2006

Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen
Derde toetsronde, September 2007 (ISBN 978-90-369-5762-5).

De Bruin 2010

Geotechnisch onderzoek betreffende project Roggenplaat, Hoogh Plaetweg / N-57 nabij
Neeltje Jans
G. de Bruin
Fugro, Regio Zuid, rapport 7010-0336-000.R01; 23 november 2010.

Bosters 2011

Waterremmende onderlaag bij PBZ
Ruud Bosters,
RWS projectbureau Zeeweringen, memo PZDT-M110 ken, juni 2011.

A Rekenregel voor afschuiving bij ontbreken van waterdoorlatende laag

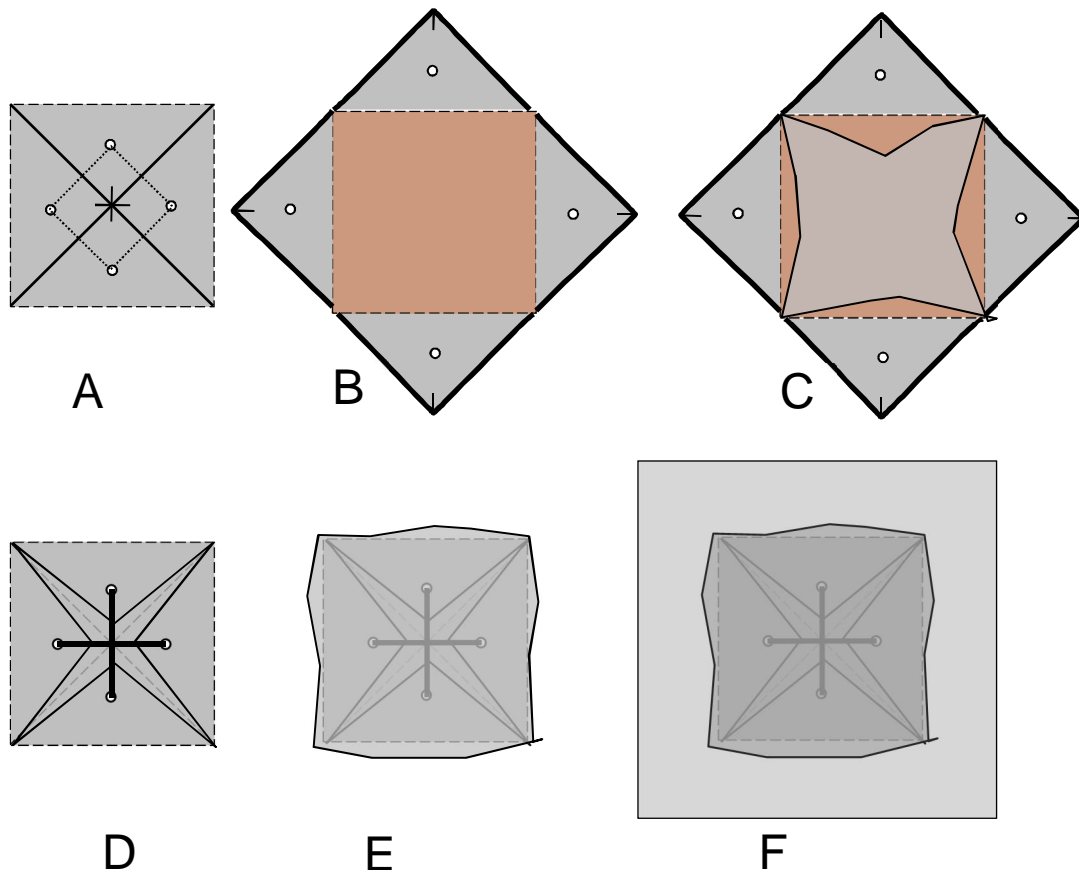
Als er geen ondoorlatende (top)laag aanwezig is, kan afschuiving door waterspanningen gerelateerd aan dynamische belastingen mogelijk optreden. Met de formules achter de rekenregels voor de gedetailleerde toetsing op afschuiving [VTV2006] kan dit mechanisme worden beoordeeld. Om te komen tot de rekenregels zelf zijn diverse aannamen gedaan [pag. 88 Achtergronden TRS] die specifiek gericht waren op zand. O.a. de hoek van inwendige wrijving, maar ook een relatie tussen de doorlatendheid enerzijds en de D_{15} en de porositeit anderzijds. Daarom kan voor andere materialen dan zand worden uitgegaan van onderstaande voorwaarde:

$$\Delta D + b_f > \min \left\{ 0,16 \cdot H_s^{0,2} \cdot T_p^{1,6} \cdot (\tan(\alpha))^{0,8}; 1,5 \cdot H_s \right\} - 2,8 \cdot (1 - n_o) \Delta_o \left(1 - \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\Phi)} \right) \cdot \sqrt{\frac{T_p \cdot k_o}{n_o \cdot W_L}}$$

Waarin:

Δ	is relatieve dichtheid van toplaag	[-]
D	de dikte van de toplaag	[m]
b_f	de dikte van het granulaire filter	[m]
H_s	de significante golfhoogte die het talud belast	[m]
T_p	de piekperiode van de golfbelasting	[s]
α	de hoek van het talud met de horizontaal	[°]
n_o	de porositeit van het materiaal waarin het schuifvlak optreedt	[-]
Δ_o	de relatieve dichtheid van het materiaal waarin het schuifvlak optreedt	[-]
Φ	de hoek van inwendige wrijving van het materiaal waarin het schuifvlak optreedt	[°]
k_o	de doorlatendheid van het materiaal waarin het schuifvlak optreedt	[m/s]
W_L	het luchtgehalte in het materiaal waarin het schuifvlak optreedt (=0,1)	[-]

B Reparatiemethode geotextiel in klein gat



Figuur B1: Maken, beproeven onderlaag en reparatie gat in geotextiel, voor een verklaring van de fasen zie de onderstaande tekst.

Bij het onderzoek naar de eigenschappen van de onderlaag zal het geotextiel wat zich tussen de filterlaag en de onderlaag bevindt, moeten worden opengemaakt, en na afloop van het onderzoek uiteraard weer moeten worden hersteld. Daarvoor worden de volgende stappen, zie figuur B1 voorgesteld:

- In het geotextiel wordt op de hoekpunten van een vierkant (gestippeld) vier gaten geprikt die een rol gaan spelen bij herstel van het gat. Voorts worden de lijnen uitgezet volgens welke het geotextiel wordt opengesneden (getrokken lijnen).
- Het geotextiel wordt vervolgens kruisgewijs ingesneden op de snijlijnen. Na openklappen van de vier losgesneden punten komt een vierkant van de onderlaag vrij voor onderzoek.
- Na onderzoek van de onderlaag en wordt wat materiaal van de onderlaag verwijderd, vooral ter plaatse van de snijlijnen. Dit gat wordt half opgevuld met een zeer snel uithardende betonmortel (NoMix beton o.i.d.)
- Vervolgens worden de tegenoverliggende punten van het geotextiel twee aan twee verbonden door gebruik te maken van de gaten die bij stap A zijn gemaakt. De randen van de losgesneden driehoeken worden naar beneden gedrukt in de daar aanwezige mortel. Aldus is nog door een vierpuntige ster van de mortel zichtbaar.

- E. Het resterende gat in de onderlaag wordt opgevuld en het geheel afgedekt met het dezelfde snel uithardende betonmortel.
- F. De opengesneden plek dient vervolgens met een ruime lap geotextiel van tenminste gelijkwaardige kwaliteit te worden afgedekt. Daarbij dient buiten de randen van de aangebrachte schade aan het af te dekken geotextiel, het nieuwe geotextiel een overlap te hebben van ten minste 25 cm. Er mag geen filtermateriaal tussen de overlappende stukken geotextiel aanwezig zijn.
- G. Ten slotte wordt de filterlaag aangevuld en het zetwerk hersteld en ingewassen.

Door een “prop betonmortel” te gebruiken om het geotextiel te herstellen, hoeft er in het gat geen ruimte te zijn om het geotextiel te herstellen met een gebruikelijke overlap van ten minste 0,5 m. Op deze wijze kan aanzienlijk worden bespaard op het breek en herzetwerk.

Bedacht moet worden dat het onderzoek naar en het uitgraven van de onderlaag uitgevoerd moet worden in een gat wat naar schatting 0,5 meter diep is (toplaagdikte 0,35 à 0,45 m; filterdikte ca. 0,10 m).

De gatgrootte zal afgestemd moeten zijn op de ruimte nodig voor de werkzaamheden. De doorlatendheidsmeting zal daarbij waarschijnlijk de meeste ruimte vragen.

C Foto's veldbezoek d.d. 12-09-2012



Foto 1: Veldbezoek locatie Stavenisse



Foto 2: Infiltratiekuil voor indicatieve beoordeling doorlatendheid (Stavenisse)



Foto 3: Kuiltje na infiltratie (Stavenisse)



Foto 4: Locatie Roggenplaat, verweekte teen



Foto 5: Oude mijnsteen (Roggenplaat)



Foto 6: Infiltratiekuil indicatieve beoordeling doorlatendheid (Roggenplaat)



Foto's 7 en 8: Haringsmanblokken op de locatie Roggenplaat die op fijn filter zonder een geotexiel direct de zandlaag liggen

D Foto's bemonsterde materialen

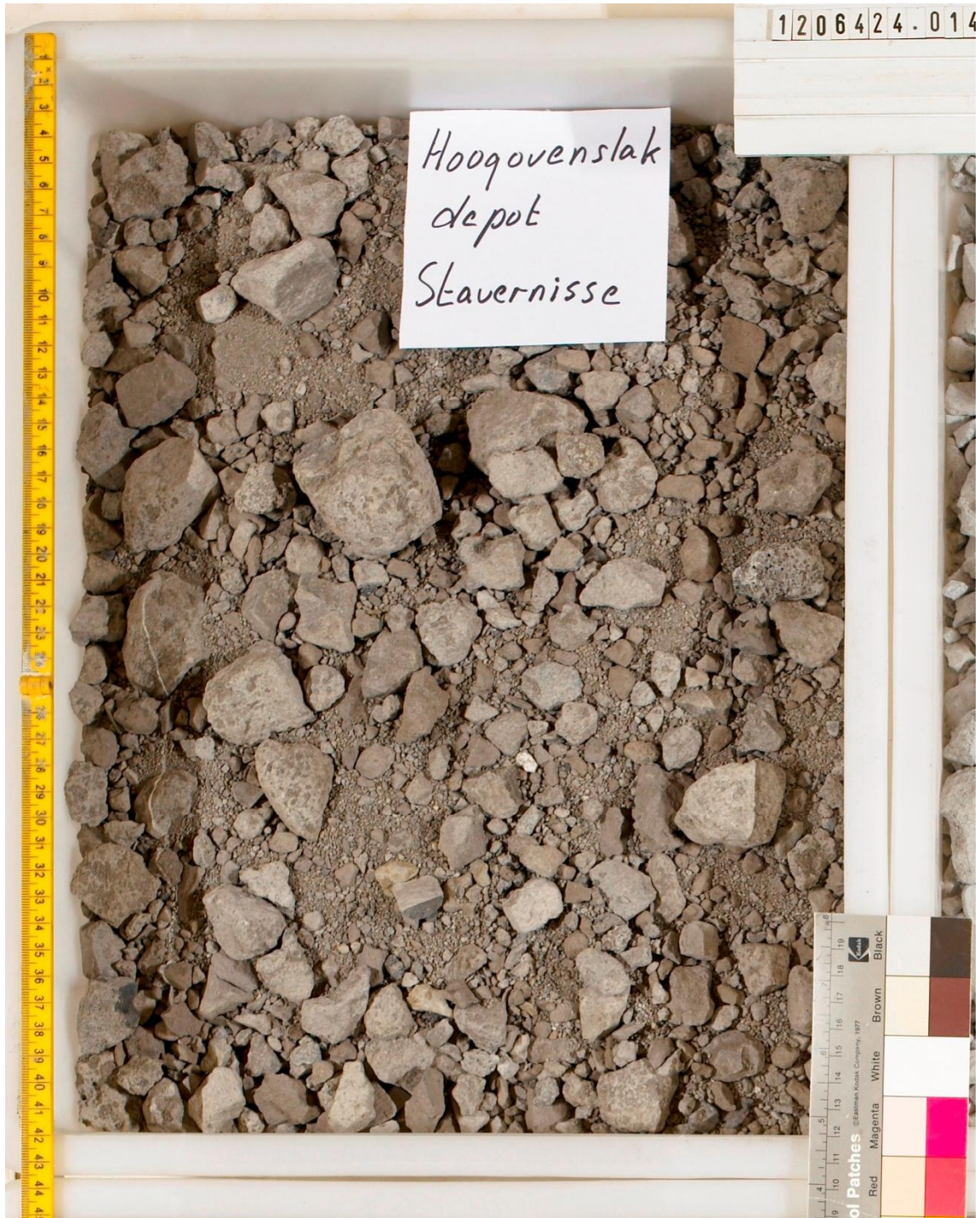


Foto 1: Stavernisse (Hoogovenslak)

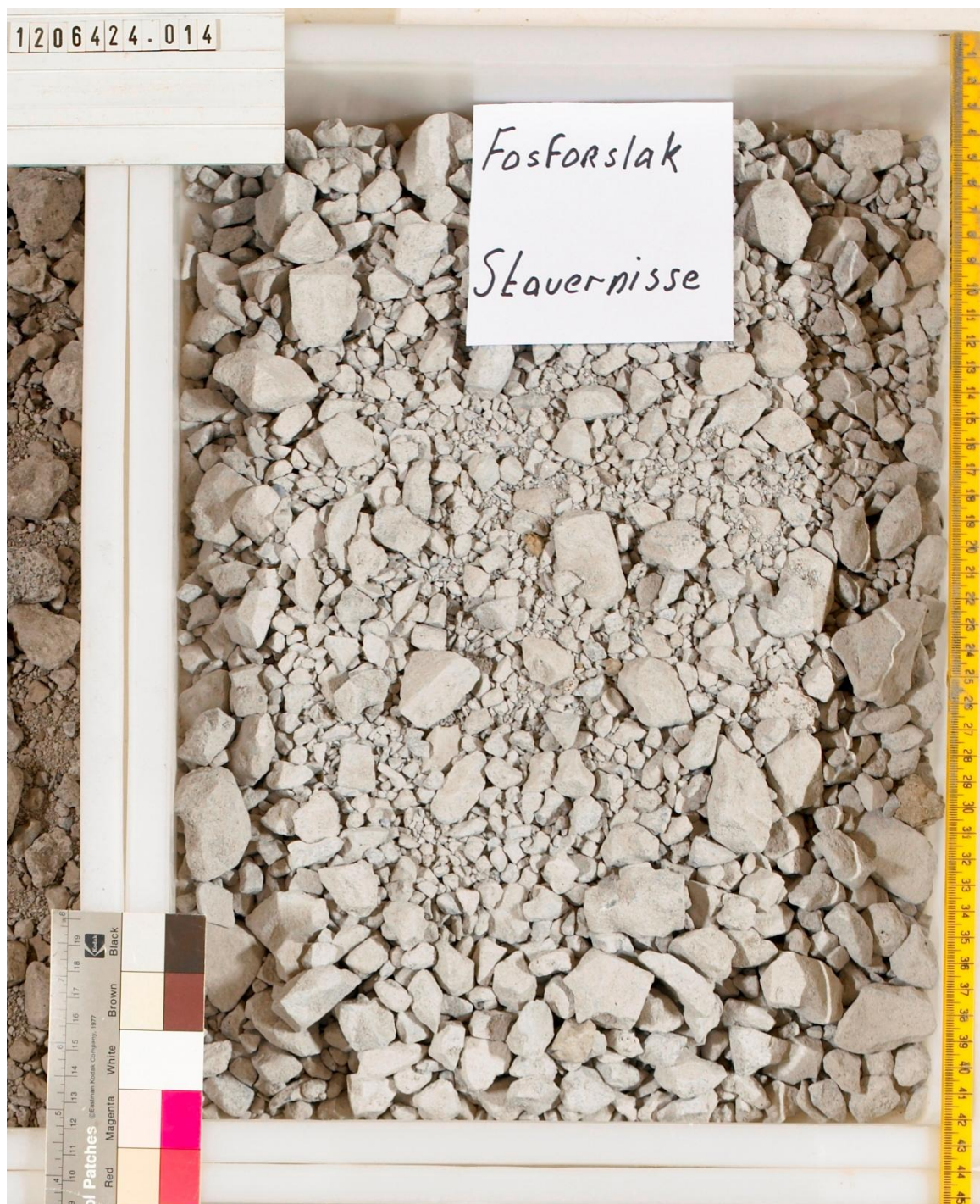


Foto 2: Stavernisse (Fosforslak) en Roggenplaat (oud mijnsteen, fosforslak)



Foto 3: Roggenplaat (oud mijnsteen)



Foto 4: Roggenplaat (fosfor slak)



Foto 5: Roggeplaat (Nieuw mijnsteen)

E Door leveranciers opgegeven materiaalspecificaties Stavenisse

Producent-eigen-verklaring	
Pelt & Hooykaas-Vlissingen BV Europaweg Zuid 6, 4389 PD Ritthem 09	
EN 14227-2	
Slakgebonden mengsels	
Hydraulische fosforslak 0/45	
Korrelmaat	0/45 mm
Korrelgradering	A5
Gemiddelde korrelverdeling	
	63 mm 100 (100) % (m/m)
	45 mm 100 (90 - 100) % (m/m)
	31,5 mm 97 % (m/m)
	16 mm 76 (60 - 90) % (m/m)
	8 mm 52 % (m/m)
	4 mm 33 (30 - 60) % (m/m)
	2 mm 23 (15 - 40) % (m/m)
	1 mm 16 % (m/m)
	0,500 mm 10 % (m/m)
	0,063 mm 3 % (m/m)
Mengselsamenstelling	
Fosforslak	88 % (m/m)
LD-staalslak	9 % (m/m)
Gegranuleerde hoogovenslak	3 % (m/m)
Gehalte LD-staalslak in de fractie > 22,4 mm	0 % (m/m)
Gemiddelde maximale droge dichtheid (EN 13286-2)	2,00 Mg/m ³
Gemiddelde optimale vochtgehalte	4,5 % (m/m)
Losgestorte dichtheid bij natuurlijk vochtgehalte	1,5 - 1,7 Mg/m ³
Mechanische eigenschappen	CBR _{50/25}
Korrelvorm	
Vlakheidsindex	FI ₂₀
Korrelvormgetal	NPD
Gehalte gebroken materiaal	NPD
Fijne bestanddelen	
Gehalte aan fijne bestanddelen	NPD
Kwaliteit van fijne bestanddelen	NPD
Weerstand tegen verbrijzeling	
Los Angeles coëfficiënt	LA ₃₀
Slagweerstand	NPD
Weerstand tegen afslijting	NPD
Gemiddelde korreldichtheid (ρ_{rd})	
0,063 - 4 mm	2,73 Mg/m ³
> 4 mm	2,67 Mg/m ³
Gemiddelde waterabsorptie	
0,063 - 4 mm	1,9 % (m/m)
> 4 mm	1,4 % (m/m)
Chemische eigenschappen	
In zuur oplosbaar sulfaat	NPD
Totaal zwavelgehalte	NPD
Bestanddelen die van invloed zijn op de verharding van hydraulisch gebonden mengsels	NPD
In water oplosbare bestanddelen	NPD
Verontreinigingen	geen vreemde bestanddelen
Duurzaamheid	
Waterabsorptie	NPD
Vorstdoobestendigheid	NPD
Natuurlijke activiteit (²³⁸U_{sec})	< 1 Bq/g
Besluit bodemkwaliteit	KOMO K14723



Producent-eigen-verklaring			
Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH			
11			
EN 14227-2			
Hoogovenslakkenmengsel voor de toepassing in vergardingslagen van steenmengsel of semi-verhardingen			
Korrelmaat		0/40	mm
Korrelgradering		A3	
Gemiddelde Korrelverdeling	63 mm	100	M.-%
	45 mm	99,0	M.-%
	31,5 mm	89,1	M.-%
	16 mm	73,1	M.-%
	4 mm	44,5	M.-%
	2 mm	30,5	M.-%
	1 mm	21,9	M.-%
	0,5 mm	13,9	M.-%
	0,063 mm	1,7	M.-%
Mengselsamenstelling			
	Hoogovenslak	65	M.-%
	gegran. Hoogovenslak	10	M.-%
	LD-staalslak	25	M.-%
Gehalte an LD-staalslak in de fractie > 22,4 mm		0	M.-%
Gemiddelde maximale droge dichtheid (EN 13286-2)		2,02	Mg/m ³
Gemiddelde optimale vochtgehalte		8,4	M.-%
Losgestorte dichtheid bij natuurlijk vochtgehalte		1,5-1,7	Mg/m ³
Mechanische eigenschappen		CBR _{50/50}	
Korrelvorm			
	Korrelvormgetal	SI ₅₀	
	Gehalte gebroken material	100	M.-%
Fijne bestanddelen			
	Gehalte an fijnandelen	UF ₃	
Weerstand tegen verbrijzeling			
	Los Angeles coëfficiënt	LA ₄₀	M.-%
	Slagweerstand	SZ ₃₅	
Gemiddelde korreldichtheid (prd)		2,385	Mg/m ³
Gemiddelde waterabsorptie			
	8/12 mm	1,4	%
	35,5/45 mm	2,18	%
Verontreinigingen		geen vreemde bestanddelen	
Besluit bodemkwaliteit		FEhS-HOS-08-001	

FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e.V., Bliersheimer Str. 62, 47229 Duisburg

Herrn
Dipl.-Ing. H. Iffland
Hüttenwerke
Krupp Mannesmann GmbH
Abt. CV-Q
Postfach 25 11 24

47251 Duisburg

 Institut für
Baustoff
Forschung

Bliersheimer Straße 62
47229 Duisburg-Rheinhausen

Baustoffprüfstelle

Telefon: 02065 / 9945-0
Telefax: 02065 / 9945-10
E-Mail: fehs@fehs.de
Internet: www.fehs.de

10.11.2010

IHRE ZEICHEN

IHRE NACHRICHT VOM

UNSERE NACHRICHT VOM

DURCHWAHL
- 84

UNSERE ZEICHEN
Doh

Beproofingscertificaat 2010/547

Onderzoek van hoogovenslakmengsel

1. Onderwerp

<u>1.1 Opdrachtgever:</u>	Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
<u>1.2 Materiaal:</u>	Hoogovenslakmengsel
<u>1.3 Datum monsterneming:</u>	30.03.2010
<u>1.4 Monstername door:</u>	FEhS-Instituut
<u>1.5 Oorsprong van monster:</u>	Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
<u>1.6 Monster gemerkt:</u>	P2010-01007

Dresdner Bank AG Duisburg
Kto. Nr.: 2771019
BLZ: 350 800 70
Vorstandsvorsitzender:
Dr.-Ing. Herbert Eichelkraut
Geschäftsführung:
Dr.-Ing. Heribert Motz
Amtsgericht Duisburg: VR 3514

FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.

2. Algemeen

In opdracht van Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH heeft FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V. (FEhS-Institut) onderzoek verricht naar de eigenschappen van funderingsmateriaal. Ten behoeve van het onderzoek wird op 30.03.2010 door FEhS-Institut een monster hoogovenslakmengsel bij Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH in Duisburg (D) genomen. Het onderzoek bestond uit het bepalen van de korrelverdeling, de eenpuntsproctordichtheid, C.B.R.-waarde en -toename, de kalkbestendigheid, de ijzerbestendigheid, het gehalte aan ronde en ongebroken stukken, de dichtheid van steenstukken en de bestandheid tegen verbrijzeling. Het monster is in plastic zakken meegenomen voor onderzoek na het laboratorium.

In deze rapportage worden de resultaten van het onderzoek samengevat.

3. Monsterneming

Op 30.03.2010 heeft FEhS-Institut tijdens de productie van hoogovenslakmengsel een monster genomen vanaf de staande band, op de bedrijfsterrein van Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH te Duisburg (D). Ten behoeve van de monsterneming is de band 3 keer stop gezet en wird op de plaats waar monsterneming mogelijk is op en drietal aselechte plaatsen over de gehele breedte van deze band een greep materiaal weggenomen. De lopende band heeft tussen de momenten van monsterneming ongeveer 5 minuten gedraait. De in total negen grepen, elk ongeveer 20 kg groot, werden in het laboratorium van FEhS-Institut tot een mengmonster samen gevoegd.

4. Gehanteerde onderzoeksmethoden of normen

Bij de uitvoering van het onderzoek is gebruik gemaakt van de volgende normen of proefomschrijvingen zoals omschreven in de Standaard RAW Bepalingen 2005:

1. Korrelverdeling conform proef 6.0
2. Proctordichtheid van steenmengsels voor verhardingslagen conform proef 5.2
3. Toename van de C.B.R.-waarde van steenmengsels conform EN 13 286-47
4. Kalkbestendigheid van hoogovenslak conform proef 16.1 (NEN-EN 1744-1)
5. Ijzerbestendigheid van hoogovenslak conform proef 16.2 (NEN-EN 1744-1)
6. Gehalte aan ronde en ongebroken stukken van steen conform proef 19
7. Bepaling van de dichtheid van steenstukken met een volume van ten minste 50 ml conform NEN 5186
8. Bepaling van de bestandheid tegen verbrijzeling (Los Angeles) conform NEN-EN 1097-2

FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.

5. Resultaten van het onderzoek**5.1 Korrelverdeling**

Op zeef NEN 2560	Zeefrest [M.-%]
C63	0,0
C45	0,8
C16	11,4
C4	66,4
2 mm	54,2
door zeef 2 mm	45,8

Opmerking:

Het monster bevatte geen vreemde bestanddelen

5.2 Eenpuntsproctordichtheid

Vochtgehalte [M.-%]	Droge dichtheid [kg/m ³]
9,5	2,04

5.3 Toename van de C.B.R.-waarde van steenmengsels**5.3.1 C.B.R.-waarde (normale proctordichtheid)**

Directe beproeving	C.B.R.-waarde [%]
1	55,13
2	60,24
3	67,64
Gemiddeld	61,00

Beproeving na 28 dagen	C.B.R.-waarde [%]
1	97,45
2	93,59
3	107,59
Gemiddeld	99,54

Beproeving na 91 dagen	C.B.R.-waarde [%]
1	114,91
2	116,91
3	127,65
Gemiddeld	119,82

FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.

5.3.2 Toename van het dragvermogen

De C.B.R.-waarde van het materiaal na 28 dagen verharden als percentage van de C.B.R. –waarde van het material onmiddellijk na de bereiding van de proefstukken [%]
163

5.3.3 Toename van het dragvermogen

De C.B.R.-waarde van het materiaal na 91 dagen verharden als percentage van de C.B.R. –waarde van het material onmiddellijk na de bereiding van de proefstukken [%]
196

5.4 Kalkbestendigheid

Kalkbestendig
ja

5.5 Ijzerbestendigheid

Ijzerbestendig
ja

5.6 Gehalte aan ronde en ongebroken stukken van stenen

	Ronde en ongebroken stukken [M.-%]
Hoeveelheid ronde stukken	0
Hoeveelheid ongebroken stukken	0

5.7 Dichtheid steenstukken

Steenstuk gemerkt	Dichtheid [kg/m³]
1	2,50
2	2,72
3	2,16
4	2,13
5	2,74
6	2,30
7	2,56
8	2,33
9	2,02
10	1,86
Gemiddeld	2,33

FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.

5.8 Bestandheid tegen verbrijzeling

Los Angeles coefficient
34

FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.



Dr.-Ing. H. Motz
(Prüfstellenleiter)



Dr. rer. nat. M. Dohlen
(Sachbearbeiter)