

**Veldonderzoek betreffende
onderlagen van
steenzettingen in Zeeland**

Methodiek en meetgegevens en analyse



Veldonderzoek betreffende onderlagen van steenzettingen in Zeeland

Methodiek en meetgegevens en analyse

R. 't Hart
D.J. Peters

1208045-011

Titel

Veldonderzoek betreffende onderlagen van steenzettingen in Zeeland

Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1208045-011	Kenmerk 1208045-011-HYE-0003- gbh	Pagina's 52
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden

Steenzetting, veldmetingen, alternatieve bouwstoffen

Samenvatting

De laatste jaren worden alternatieve bouwstoffen geregeld toegepast als substituut voor klei in de onderlaag van steenzettingen. Het gaat daarbij dan om materialen als mijnsteen, (fosfor)slak of puingranulaat.

In deze rapportage wordt veldonderzoek beschreven met betrekking tot onderlagen van steenzettingen die zijn aangelegd met alternatieve bouwstoffen. Het onderzoek heeft enerzijds voor een aantal constructies gegevens opgeleverd voor de eigenschappen van de onderlaag; in totaal zijn 8 plaatsen bemonsterd. Deze gegevens zijn vastgelegd in deze rapportage.

Anderzijds is in dit onderzoek ervaring opgedaan met de wijze waarop de belangrijkste eigenschappen van de onderlaag kunnen worden ingewonnen. Daartoe zijn diverse zaken uitgetoetst, wat heeft geleid tot een beschrijving van de werkwijze met tal van praktische details.

Op grond van de beperkte steekproef kunnen geen algemeen geldende conclusies worden getrokken over de eigenschappen van de alternatieve bouwstoffen. Maar de steekproef leert wel dat de doorlatendheid van alternatieve bouwstoffen op de onderzochte locaties over het algemeen groot is in vergelijking met die van klei. Een doorlatendheid als die van grof zand is aangetroffen. Verkitting van de alternatieve bouwstoffen is aangetroffen, maar was niet overal (in de onderlaag) duidelijk aanwezig. In de onderlaag van puingranulaat die is onderzocht, is geen verkitting geconstateerd.

Op grond van deze beperkte steekproef lijkt mijnsteen nog het beste substituut voor klei in een onderlaag, omdat het materiaal vrij consequent enige samenhang vertoonde binnen de laag en de doorlatendheid relatief beperkt was in vergelijking met de andere alternatieve bouwstoffen.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat en het Waterschap Scheldestromen.

Contractueel is Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige onderzoek. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

Titel

Veldonderzoek betreffende onderlagen van steenzettingen in Zeeland

Opdrachtgever

RWS-WVL

Project

1208045-011

Kenmerk

1208045-011-HYE-0003-
gbh

Pagina's



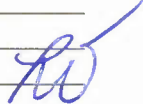
52

Referenties

Contract 31080349 / 4500210457 van 26 maart 2013

Contactpersoon RWS-WVL: de heer K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: de heer Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	nov. 2013	ir. R. 't Hart D. Peters		ir. M. Klein Breteler		ir. L. Voogt	
2	febr. 2014	ir. R. 't Hart D. Peters		ir. M. Klein Breteler		ir. L. Voogt	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Onderzochte bekledingen	3
3 Het veldwerk	5
3.1 Algemeen	5
3.2 Verwijderen toplaagelement	7
3.3 Inwinnen constructiegegevens na lichten steen	8
3.4 Filterdoek en onderlaag	9
3.5 Doorlatendheidsmeting	12
3.6 Reparatie bekleding	13
4 Bevindingen veldonderzoek	15
4.1 Locatie 1, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1387	15
4.2 Locatie 2, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1387	16
4.3 Locatie 3, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1387	18
4.4 Locatie 4, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1393	19
4.5 Locatie 5, Schouwenpolder, dijkpaal 104	21
4.6 Locatie 6, Biezelingsche Ham dijkpaal 32.8	22
4.7 Locatie 7, Willem-Anna polder dijkpaal 30.95	23
4.8 Locatie 8, Vierbannenpolder dijkpaal 274+70	25
5 Laboratorium onderzoek en analyse veldmetingen	29
5.1 Doorlatendheidsproeven	29
5.2 Representatieve korreldiameter	30
5.3 Analyse veldmetingen doorlatendheid	32
5.4 Discussie gemeten doorlatendheden	35
5.5 Gemeten doorlatendheden versus representatieve korreldiameter	36
5.6 Gemeten doorlatendheden versus doorlatendheid berekend met Steentoets	37
6 Analyse stabiliteit in geval van granulaire onderlagen	41
6.1 Eigenschappen voorbeeldconstructies	41
6.2 Resultaten toplaagstabiliteit	42
6.3 Resultaten afschuiving	44
7 Conclusies en aanbevelingen	49
 Bijlage(n)	
A Foto's monsters doorlatendheidsmetingen	A-1
B Foto's uitgelegde materialen	B-1
C Korrelverdelingen	C-1
Literatuur	1

1 Inleiding

De laatste jaren worden alternatieve bouwstoffen geregeld toegepast als substituut voor klei in de onderlaag van steenzettingen. Het gaat daarbij dan vooral om slak (fosfor) maar ook materialen als mijnsteen of puingranulaat zijn gebruikt.

In 2012 zijn achtergronden van de problematiek beschreven en is een eerste verkenning uitgevoerd bij in uitvoering zijnde werken gericht op het vaststellen van de consequenties van het vervangen van klei door mijnsteen of slak [t Hart 2013].

In de toetsing van steenzettingen speelt de kleilaag een belangrijke rol waar het gaat om het mechanisme afschuiving. In Zeeland is echter soms de kleilaag (deels) vervangen door hydraulische fosforslak of, in incidentele gevallen, door mijnsteen, betonpuingranulaat al dan niet met LD-mix. De vraag die daarbij rijst is of deze materialen ten aanzien van afschuiving gezien moeten worden als granulaire laag, of als kleilaag. Hierbij spelen de doorlatendheid en de mechanische sterkte een rol.

Het vervangen van klei door granulair materiaal kan ook consequenties hebben voor de stabiliteit van de steenzetting. Naarmate het granulair materiaal een grotere doorlatendheid heeft, zal de leklengte van de steenzetting langer zijn en de stabiliteit van de toplaag kleiner.

In vervolg op de verkenning in 2012 zijn in 2013 op Zeeuwse dijken in 6 dwarsprofielen op 8 plekken de zettingen opengebroken. Doel hiervan was enerzijds ervaring opdoen met de wijze waarop gegevens van een onderlaag kunnen worden verzameld, anderzijds de eigenschappen van de mijnsteen, slak of puingranulaat te bepalen teneinde gegevens te verwerven waarmee een grove algemene indruk kan worden verkregen over de eigenschappen van onderlagen (deels) bestaande uit alternatieve bouwstoffen.

Voorafgaande aan het uitvoeren van het veldonderzoek werd verondersteld dat het nodig is om de steenzetting over een oppervlak van 1 à 2 m² open te breken [t Hart 2013]. Uiteindelijk is in overleg met de aannemer en beheerder besloten om het onderzoek te verrichten door telkens slechts een enkele steen uit de toplaag te nemen. Vervolgens wordt de granulaire uitvullaag verwijderd en het geotextiel opengesneden en opengeklapt. Dan ligt het materiaal onderlaag vrij en kan dit worden onderzocht. Ook het geotextiel is beoordeeld, er is gekeken of het dichtgeslibd is. En nagegaan is of de eigenschappen van de slak of mijnsteen in de bovenste paar centimeter duidelijk anders zijn dan daaronder als gevolg van dichtslibbing of uitspoeling.

Verondersteld wordt dat de mate van verkitting bij hydraulische materialen wordt beïnvloed door de inwerking van water. Daardoor zou de verkitting in de getijzone anders kunnen zijn dan daarboven. Afgesproken is om tenminste één locatie in de getijzone te kiezen.

Na afloop van de metingen wordt de steenzetting weer zodanig hersteld dat de sterkte ervan minstens het niveau heeft van voor de werkzaamheden.

Op basis van de opgedane ervaring wordt in de conclusies advies uitgebracht over de wijze waarop deze constructies onderzocht kunnen worden.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat en het Waterschap Scheldestromen.

Contractueel is Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving 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.

2 Onderzochte bekledingen

In dit onderzoek zijn bekledingen op een achttal plaatsen in het beheergebied van het Waterschap Scheldestromen opengemaakt. In Figuur 2.1 is de ligging van de onderzoekslocaties aangegeven. De verschillende punten waar de zettingen zijn opengeboren zijn in de naamgeving aangeduid als locaties 1 t/m 8. Het gaat om de volgende breekgaten:

- Locatie 1 t/m 3: Oosterscheldedijk, dijkpaal 1387 van “Polder De breede watering bewesten Yerseke”, op drie verschillende hoogtes.
- Locatie 4: Oosterscheldedijk, dijkpaal 1393 van “Polder De breede watering bewesten Yerseke”.
- Locatie 5: Oosterscheldedijk, dijkpaal 104 van de Schouwenpolder bij Heerenkeet.
- Locatie 6: Westerscheldedijk, dijkpaal 32.8 Biezelingsche Ham.
- Locatie 7: Westerscheldedijk, dijkpaal 30.95 Willem-Annapolder.
- Locatie 8: Oosterscheldedijk, dijkpaal 274+70 Vierbannenpolder.



Figuur 2.1 Onderzoekslocaties aangeduid op overzichtskartaal

De data van de onderzoeken en de exacte coördinaten zijn gegeven in Tabel 2.1. De vermelde coördinaten en het niveau ten opzichte van NAP hebben betrekking op het hart van de bovenzijde van het toplaagelement dat is verwijderd om het onderzoek te doen.

De eerste breekgaten zijn relatief hoog op het talud gemaakt, teneinde eerst wat ervaring op te doen met de boortechnieken. Hoog op het talud kon worden gewerkt zonder de tijdsdruk van het opkomend getij. Vervolgens zijn de gaten wat lager op het talud gemaakt, in de zone van het dagelijks getij. In die zone zal, door de wisselende vochtomstandigheden, de veroudering van de materialen het verst gevorderd zijn. Deze gaten waren op voorhand

aangemerkt als meest leerzaam met betrekking tot de eventuele binding danwel ontbinding van de materialen toegepast in de onderlaag.

Loc.nr./ datum	GPS-coördinaten X/Y	Niveau [m] t.o.v. NAP	Type toplaag, dikte [cm]
1. 19 juni 2013	61363.630/391559.600	4,50	Basalton, 45
2. 26 juni 2013	61368.140/391563.468	3,00	Basalton, 45
3. 26 juni 2013	61372.185/391567.721	1,31	Basalton, 45
4. 27 juni 2013	60866.072/391895.610	1,32	Basalton, 45
5. 28 juni 2013	47161.083/411592.512	1,66	Hydro-block, 45
6. 12 september 2013	53540.700/385650.100	1,40	Haringman, gekanteld, 25*
7. 13 september 2013	55103.480/386155.230	1,25	Hydro-block, 40
8. 16 oktober 2013	55428.670/405022.300	0,92	Hydro-block, 50

Tabel 2.1 Gemaakte breekgaten, coördinaten, hoogteligging en type zetting (* De toplaagdikte van de gekantelde Haringmanblokken is zoals gebruikelijk 50 cm, maar de oorspronkelijke dikte voor kantelen was 0,25 m)

3 Het veldwerk

In dit hoofdstuk wordt de algemene lijn van het uitgevoerde veldwerk voor een breekgat beschreven. Deze kan dienen als globale werkwijzebeschrijving voor eventuele toekomstige onderzoeken waarbij ook de volledige constructieopbouw in kaart moet worden gebracht. Voor specifieke bijzonderheden van de onderzochte constructies wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

3.1 Algemeen

Aangezien bij dit type onderzoek de toplaag van de bekleding van een primaire waterkering wordt opengemaakt, moet dit, omdat het geen zeer urgente werkzaamheden zijn, bij voorkeur buiten het stormseizoen worden gedaan.

Ter voorbereiding op de werkzaamheden is de beoogde werkwijze doorgesproken met de dijkbeheerder en zijn afspraken gemaakt over de wijze waarop de bekleding na het onderzoek moest worden hersteld.

Bij de planning van de werkzaamheden is rekening gehouden met het getij: wanneer valt de te onderzoeken plek op het talud droog en wanneer mag er weer water worden verwacht. En kort te voren is de weers-, wind- en opzetverwachting gecheckt om te controleren of de werkzaamheden inderdaad doorgang konden vinden.



Figuur 3.1 Links: Te onderzoeken locatie nog beneden de stilwaterlijn, vallend water; rechts: onderzoek gaande tijdens laag water

Aangezien het getij de werkzaamheden laag op het dijktafstand kan hinderen, is besloten eerst ervaring op te doen in een zone op het talud die ruimschoots ligt boven de zone die dagelijks wordt beïnvloed door het getij. Toen bleek dat de constructieopbouw in ca. 6 uur kon worden onderzocht en weer hersteld, zijn punten in de getijzone opengemaakt.

Tevoren werd verwacht dat voor het onderzoek meerdere zetstenen uit de toplaag zouden moeten worden genomen. Toch is na overleg met de aannemer ingezet op een werkwijze waarbij slechts één zetsteen uit de toplaag wordt weggenomen. Voor de zettingstypen met verschillende maten van stenen wordt wel aanbevolen om ter plaatse van de te onderzoeken locatie het grootste element te kiezen. Zo is bij dit onderzoek op de Basaltonzetting steeds de

zuil met de grootste diameter (ca. \varnothing 0,33 m) uit het standaard Basaltonpakket gekozen, zie Figuur 3.2.

Als het breekgat wordt gemaakt mede om de oorzaak van een lokale verzakking van de toplaag te achterhalen, dan is de keuzevrijheid ten aanzien van het te lichten toplaagelement uiteraard beperkt.



Figuur 3.2 Het grootste element uit het standaard pakket Basalton wordt uit de zetting genomen om een voldoende groot gat te krijgen om de onderlaag te onderzoeken

Afhankelijk van de mate van begroeiing op het talud moet zo nodig eerst de omgeving van de te verwijderen zetsteen worden ontdaan van begroeiing. Hierbij moet erop worden gelet dat het talud, als het nat wordt door een regenbuitje of een hoog oplopende golf, veel gladder wordt dan in droge toestand. Door wat schelpengruis op de bekleding te strooien kan de begaanbaarheid aanzienlijk worden verbeterd.



Figuur 3.3 Werkvlak is ontdaan van begroeiing met wieren (dijkpaal 1387 van "Polder De breede watering bewesten Yerseke")

Laag op het talud kan een volledige bedekking door wieren (klappers) het zicht op de zetting totaal ontnemen. Lokaal verwijderen van de begroeiing is dan in ieder geval al noodzakelijk om een specifiek te verwijderen zetsteen aan te kunnen wijzen, zie Figuur 3.3.

3.2 Verwijderen toplaagelement

Bij voorkeur moet hetzelfde element wat uit de zetting wordt gehaald na het onderzoek ook weer worden teruggeplaatst in de zetting. Als de zetting goed is geklemd, dan lukt het uitnemen van het betreffende element niet in alle gevallen zonder dat dit element met een breekhamer in stukken wordt gebroken. Meestal kunnen toplaagelementen met behulp van een aantal stootijzers uit de zetting omhoog worden gewrikt, zie Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Het element wordt uit de zetting gewrikt met stootijzers

Specifiek in de getijzone, waar sprake kan zijn van inzanding en aangroei door organismen (o.a. zeepokken) kunnen de elementen soms lastig los worden gekregen. Van de onderzochte typen steenzettingen, Basalton, Hydroblocks en gekantelde Haringmanblokken, bleken bij deze steekproef alleen de Hydroblocks altijd in één geheel te verwijderen. Het gekantelde Haringmanblok en een enkele Basalton zuil moesten met een breekhamer in stukken worden gebroken voordat zij konden worden verwijderd, zie Figuur 3.5. Om de zuilen los te krijgen was het overigens wel nodig om het inwasmateriaal zoveel mogelijk uit de voegen te verwijderen.



Figuur 3.5 Links: verwijderen deel van kapot gebroken Haringmanblok; Rechts: Bewerken van basaltzuil met een breekhamer in een poging om de zuil uit de zetting te krijgen

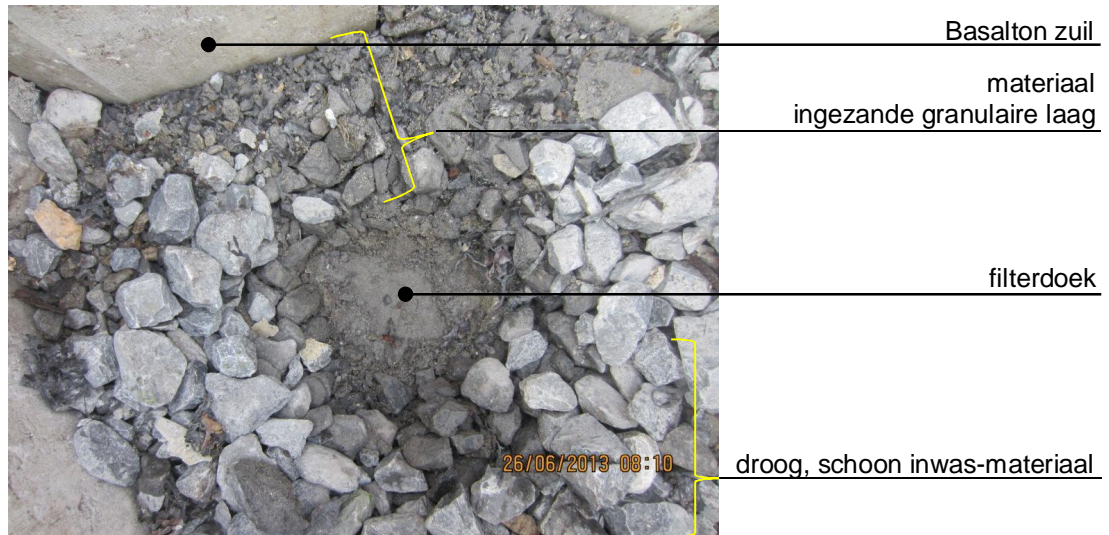
3.3 Inwinnen constructiegegevens na lichten steen

Als een zetsteen uit de toplaag is genomen, dan kunnen diverse relevante parameters van de bekleding worden bepaald:

- De dikte van de toplaag kan worden opgemeten aan de verwijderde steen en aan de stenen die aan het gemaakte gat grenzen.
- De laagdikte van het filtermateriaal kan worden opgemeten: de afstand tussen de onderzijde van de aan het gat grenzende elementen en het geotextiel.
- Vastgesteld moet worden of het filter is ingezand.
- De representatieve korreldiameter van het filtermateriaal kan worden bepaald: de D_{15} is gelijk aan de afmeting van de kleinste steen uit een hand materiaal (10 à 20 korrels) genomen uit het filter. Bij die beoordeling telt het fijne materiaal wat later door eventuele inzanding onder de zetting terecht is gekomen, niet mee.

Bij de beoordeling van de filterlaag moet er bij zuilenzettingen op worden gelet dat ook een deel van het inwasmateriaal uit de voegen tussen de toplaagelementen op het filtermateriaal terecht zal komen. In geval van Figuur 3.6 is het onderscheid tussen filter- en inwasmateriaal

relatief gemakkelijk: het relatief grove inwasmateriaal is nog droog, terwijl het wat ingezande filtermateriaal vochtig is. Als ook het inwasmateriaal over de volle toplaagdikte is ingezand, dan zal het onderscheid echter minder duidelijk zijn.



Figuur 3.6 Onder de toplaag: filterlaag deels weggegraven tot op het geotextiel, deels afgedekt met inwasmateriaal wat op het filter is gevallen bij het lichten van het toplaagelement

Al het filtermateriaal in het gat wordt, op een klein randje na, weggegraven van het filterdoek, zie Figuur 3.7 links.



Figuur 3.7 Links: filtermateriaal weggegraven tot op het geotextiel; rechts: geotextiel kruisgewijs vanuit het midden ingesneden en opengelapt zodat de onderlaag kan worden onderzocht

3.4 Filterdoek en onderlaag

Om de onderlaag te kunnen onderzoeken wordt het geotextiel vanuit het midden kruisgewijs ingesneden en de vier punten naar de zijkanten opengelapt, zodat de onderlaag vrij komt te liggen, zie Figuur 3.7 rechts.

Het type materiaal van de onderlaag wordt benoemd. In de traditionele opbouw is de onderlaag van klei. Als inderdaad klei wordt aangetroffen kan de laagdikte worden onderzocht met een gutsboor.

In het onderhavige onderzoek was er sprake van een onderlaag waarbij op zijn minst een deel bestond uit alternatieve bouwstoffen: granulaire materialen. Deze granulaire materialen dienen een brede gradering te hebben zodat zij een relatief ondoorlatende laag kunnen vormen. De fijne fractie van de sortering dient in voldoende mate aanwezig te zijn om de poriën in het korrelskelet van de grovere fractie op te vullen.

In het geval van de alternatieve bouwstoffen, verdienen de onderzijde van het geotextiel en de bovenzijde van de onderlaag direct onder het geotextiel extra aandacht. Vastgesteld moet worden of tegen de onderzijde van het geotextiel zich een koek van fijn, slibachtig materiaal bevindt. Dit is relevant omdat dit erop duidt dat:

- Het geotextiel dichtslaat/dichtgeslagen is.
- Het materiaal van de onderlaag degradeert en/of ontmengt.

Het moet ook worden gesignaleerd als het oppervlak van de onderlaag relatief open is, omdat de fijnste fractie ontbreekt, terwijl iets dieper in de onderlaag de onderlaag veel dichter is. Als dat het geval is, dan duidt dat op uitspoelen van de fijnste fractie. Dat hoeft niet meteen te worden toegeschreven aan degradatie van het materiaal. Het kan ook komen doordat de onderlaag was blootgesteld aan regen of golven voordat het geotextiel werd aangebracht: een erfenis van de aanleg van de constructie. Veelal is contractueel vastgelegd dat de in de onderlaag aangebrachte bouwstoffen moeten zijn afgedekt met een geotextiel voordat het volgende getij eroverheen komt. Maar de uitvoeringspraktijk is soms weerbarstig.

Omdat ook de laagdikte, een eventuele gelaagdheid van de onderlaag en de doorlatendheid van de onderlaag moet worden vastgesteld moet tot geruime diepte onder het geotextiel informatie worden verzameld.

In het onderhavige onderzoek bestond (het bovenste deel van) de onderlaag uit alternatieve bouwstoffen. Aangezien die min of meer verkit (hydraulisch) zouden moeten zijn, is met een grote kolomboor telkens getracht een kern te boren uit de onderlaag en aldus materiaalmonsters te nemen (zie Figuur 3.10 links), en aldus de onderzijde van de onderlaag te bereiken. Of er op deze manier werkelijk een boorgat kan worden gemaakt, is afhankelijk van de samenhang in het materiaal. Op een enkele locatie in dit onderzoek, waar sprake was van een vrij grof loskorrelig materiaal, bleek de kernboor niet bruikbaar. In dat geval is met een riversideboor in een mantelbuis (casing) toch een gat in de onderlaag gemaakt, zie Figuur 3.8.



Figuur 3.8 Boren in onsamenhangend materiaal door gebruik te maken van een mantelbuis (casing)

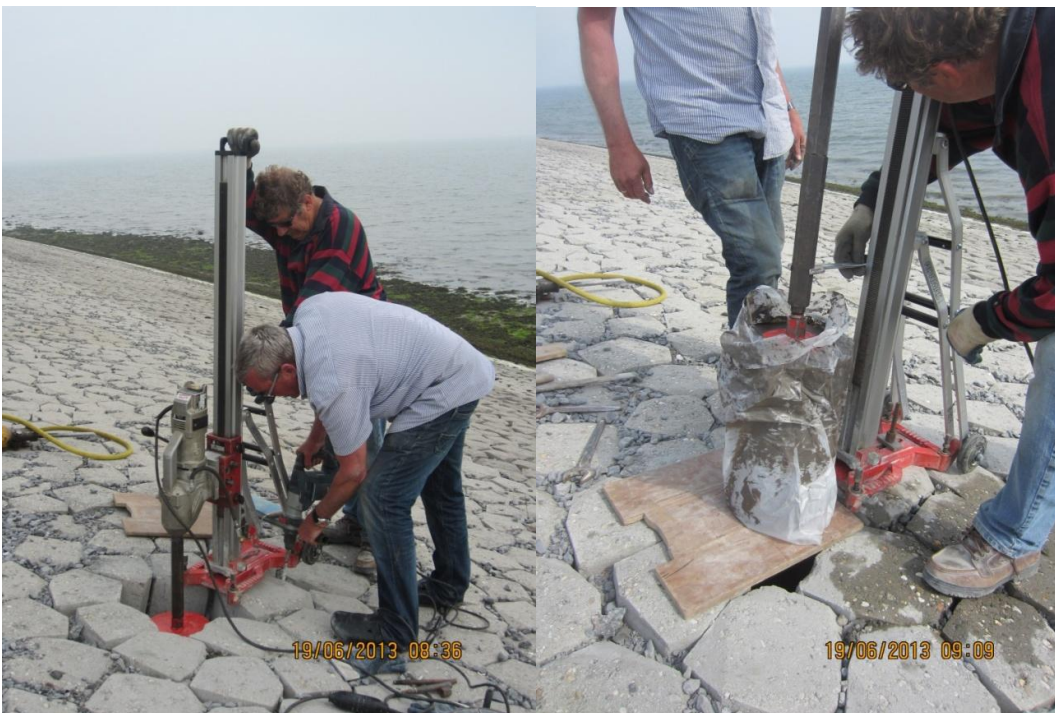
Tijdens het boren met een kernboor moet de boor worden gekoeld met water. Maar tegen de tijd dat de huls van de boor vrijwel geheel is gevuld, is het verstandig de toevoer van koelwater wat te verminderen. Als de boor vervolgens wordt opgetrokken, dan blijft de geboorde kern in de boorhuls kleven en kan de kern met de huls uit het gat omhoog worden getrokken. Als er teveel water aanwezig is, dan is het risico veel groter dat het monster uit de boorhuls terug in het gat valt. Om te voorkomen dat op het allerlaatst er een monster verloren gaat, wordt er, zodra de huls boven het oppervlak van de zetting uit is, een plank over het gat geschoven, zie Figuur 3.10 rechts.



Figuur 3.9 Edelmanboor voor klei (links) en riversideboor (rechts)

Aangezien de huls van een diamant-kernboor een beperkte lengte heeft, kan de onderlaag normaliter niet in één keer worden doorboord. De huls moet verschillende malen worden gelegd. Als de gatwand instabiel wordt, dan kan een plastic buis als casing worden gebruikt. Dan moet uiteraard wel verder worden geboord met een kernboor van een kleinere diameter. Het lukte nooit om de onderzijde van de onderlaag met de boor te bereiken. De boring tot op de ondergrond is in die gevallen voortgezet door een casing te plaatsen en het karwei met een Edelmanboor dan wel met een riversideboor, zie Figuur 3.9, af te maken. Zodra schoon zand of klei wordt aangeboord, dan is kennelijk de onderzijde van de laag alternatieve bouwstoffen bereikt. Echter, als er klei wordt aangetroffen onder de alternatieve bouwstoffen, dan moet verder worden geboord. Mogelijk is de laag van alternatieve bouwstoffen aangebracht op een oude onderlaag van klei. De alternatieve bouwstoffen en klei vormen dan samen de onderlaag van de huidige constructie. Het is echter ook mogelijk dat de onderlaag direct op een oude kleikern ligt. Ook dat is een waardevol gegeven bij de beoordeling van de

stabiliteit van de steenzetting en de waterkering. In klei aangetroffen onder alternatieve bouwstoffen moet minimaal worden doorgeboord tot een diepte van 2,0 m – Maaiveld. Overigens kan de bodemopbouw als er klei of andere grondsoorten wordt aangetroffen met een veel lichtere Edelmanboor, of mogelijk zelfs met een gutsboor, worden vastgesteld.



Figuur 3.10 Installeren van de kolom voor de diamant-kern-boor (links) en het opvangen van een monster uit de huls van de \varnothing 0,2m kern-boor (rechts)

Laag op het talud kan toestroming van (grond)water de waarnemingen beperken. Vuilwater kan worden verwijderd met een pulsboor of een waterstofzuiger; voor schoon grondwater kan een klokpompje behulpzaam zijn.

Als bij een breekpunt nabij de teen van het talud een duidelijke gelaagdheid in de onderliggende kleilaag wordt aangetroffen, dan duidt dit erop dat de oorspronkelijke zate is aangeboord.

Aldus wordt de totale dikte van de onderlaag en voor zover van toepassing de gelaagdheid bepaald.

3.5 Doorlatendheidsmeting

Om de doorlatendheid van de onderlaag te bepalen kan in een droog boorgat een infiltratiemeting worden uitgevoerd (falling head test). Daartoe is in het onderhavige onderzoek in een ca. 0,5 m diep boorgat in de onderlaag een plastic pijp geplaatst, zie Figuur 3.11 rechts.

De wanden van het boorgat waren volledig versmeerd met slurry bestaande uit koelwater en boorslijpsel, zie Figuur 3.11 links. De doorlatendheid van die wanden is dus niet representatief voor de doorlatendheid van de onderlaag. Daarom is voor de infiltratiemeting gebruik gemaakt van een plastic pijp die zo goed mogelijk in de bodem van het boorgat is geslagen. Ook op de bodem van het boorgat kan wat slurry terecht gekomen zijn. Die is zo goed mogelijk verwijderd. De pijp is gevuld met water. Met een drukopnemer die op de

bodem van de pijp is gehangen, is vervolgens het verloop van de waterstand als functie van de tijd geregistreerd. Bij nadere beschouwing van de meetresultaten, zie paragraaf 5.3, blijken er diverse kanttekeningen te plaatsen bij deze wijze van meten.



Figuur 3.11 Slurry op wanden boorgat en deel van de bodem (links); Plastic pijp op bodem van boorgat geplaatst ter voorbereiding op de falling head test (rechts)

Als het boorgat laag op het talud wordt gemaakt, dan is de kans groot dat er water toestroomt naar het boorgat. Dan kan door het water af te pompen en daarbij het debiet wat toestroomt te meten, een indicatie van de doorlatendheid worden gekregen. Het debiet is de hoeveelheid water per tijdseenheid. Dit kan eenvoudig worden vastgesteld door na verloop van tijd, als zich een stationaire situatie heeft ingesteld, te bepalen hoe snel de pomp een emmer vult.

3.6 Reparatie bekleding

Om de schade die een dergelijk onderzoek naar de onderlaag aanbrengt aan de bekleding te herstellen, zijn achtereenvolgens de volgende handelingen verricht:

- Het geboorde gat onder het geotextiel is opgevuld met een droog mengsel van zwelkleikorrels (Mikolit 300), fijn grind en cement.
- Het geotextiel is weer dichtgeklapt.
- Het geotextiel is afgedekt met een stuk nieuw geotextiel dat juist in het gat in de toplaag past, zie Figuur 3.12. De kwaliteit van het geotextiel is vergelijkbaar met het originele geotextiel. Bij het plaatsen is ervoor gezorgd dat beide geotextielen direct op elkaar lagen: (filter)materiaal tussen beide doeken kan leiden tot een lekweg die ongewenst materiaaltransport vanuit de onderlaag mogelijk maakt.
- Het filter is aangevuld met een overeenkomstige sortering.
- De uitgenomen zetsteen is herplaatst.
- In geval van een zuilenzetting zijn de voegen van de herplaatste zetsteen volledig aangevuld met een geschikte sortering inwasmateriaal.



Figuur 3.12 Links: boorgat opgevuld met mengsel van klei, fijn grind en cement. Rechts: een nieuw stuk geotextiel wordt aangebracht over het originele, inmiddels weer dichte geklapte geotextiel

4 Bevindingen veldonderzoek

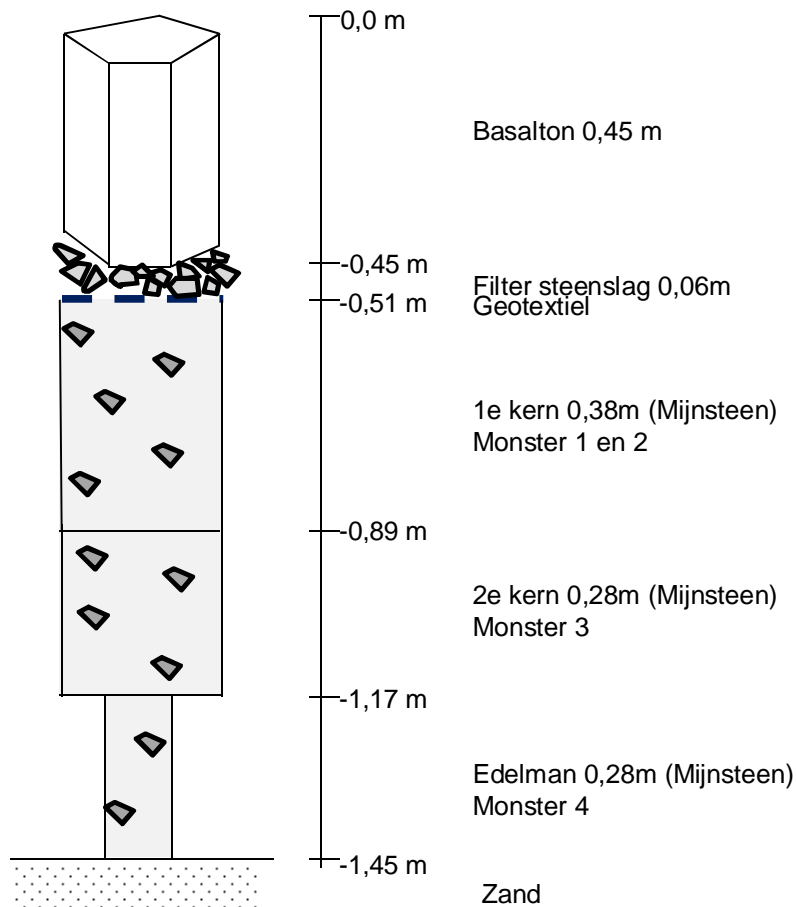
In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de constructieopbouw die op de verschillende punten is aangetroffen. Per gemaakt gat (locatie) is een paragraaf opgenomen met de gegevens. De metingen op genomen monsters en de doorlatendheidsmetingen in het veld worden in hoofdstuk 5 behandeld.

4.1 Locatie 1, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1387

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 19 juni 2013.

Coördinaten: X = 61363.63; Y = 391559.60; Z = NAP + 4,50 m (bovenkant Basaltonzuil).

Kernboor buiten \varnothing 250 mm, inwendig \varnothing 240 mm.



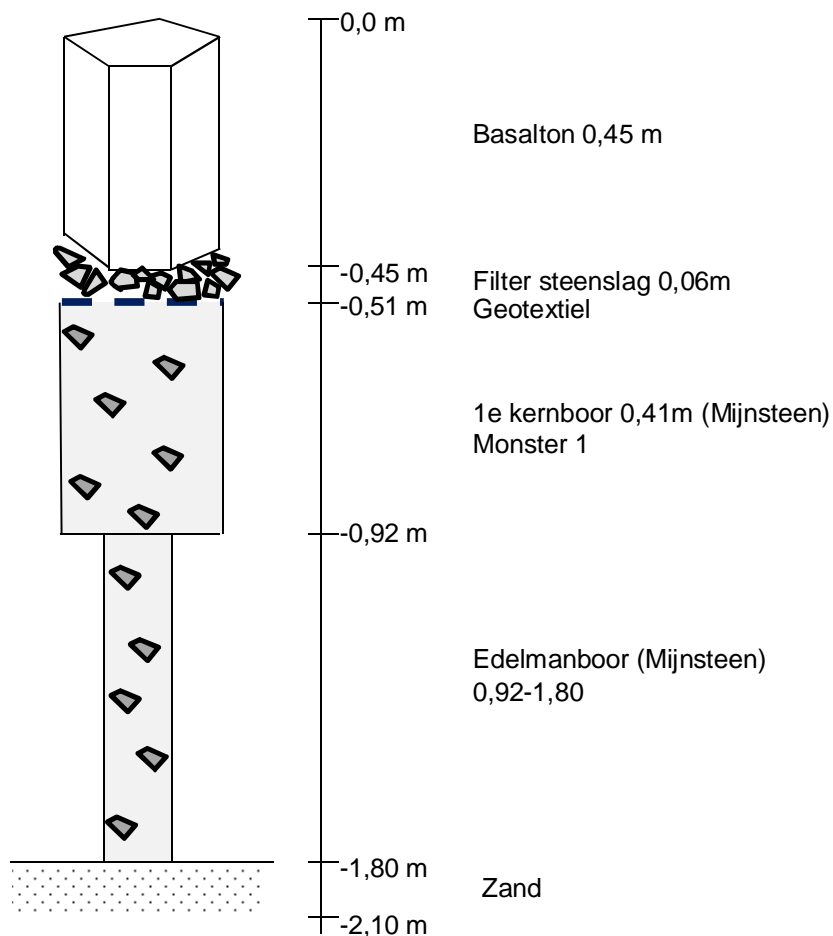
Figuur 4.1 Opbouw van de constructie op locatie 1

4.2 Locatie 2, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1387

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 26 juni 2013.

Coördinaten: X = 61368.14; Y = 391563.468; Z = NAP + 3,00 m (bovenkant Basaltonzuil)

Kernboor buiten \varnothing 250 mm inwendig \varnothing 240 mm



Figuur 4.2 Opbouw van de constructie op locatie 2

Bijzonderheden:

Het bekledingselement is uit de zetting genomen op 19 juni 2013. Het gat, ruim boven het niveau van hoogwater, is ter voorkoming van vervuiling of vandalisme afgedekt met een triplex deksel.

Het veldonderzoek zelf is uitgevoerd op 26 juni 2013. De laatste herstelwerkzaamheden vonden plaats op 27 juni 2013.

Op het ca. 0,5 m diepe geboorde gat in de mijnsteen onderlaag is een infiltratietest uitgevoerd. Daarbij is een pvc pijp \varnothing 240mm inwendig gebruikt, zie Figuur 3.11 rechts. Voorafgaande aan de proef is het gat iets opgeschoond: de boorslurry van de bodem is verwijderd en de bodem is iets los gemaakt. De slurry zou bij infiltratie de bodem kunnen laten dichtslaan en aldus een vertekend beeld opleveren voor de doorlatendheid van de onderlaag.

De infiltratie diepte is ca. 1,00m – bovenkant basalt. Voor de test zijn de divers met nummer M9231(Baro) en M9224 (waterdruk) gebruikt. Nabij de bodem van het boorgat is de ruimte tussen de wand van het boorgat en de buis zo goed mogelijk afgedicht met kleipoeder (bentoniet) en cement. De meetresultaten en analyse van de gegevens worden behandeld in paragraaf 5.3.



Figuur 4.3 DWP9, locatie 2, tijdelijke afdekking weer verwijderd

Na de falling head test is verder geboord in de mijnsteen met een Edelmanboor. Nadat de ondergrond van zand was aangeboord, is in dit gat een peilbuis van 4,00 m lengte met een filter van 1,00 m lengte geïnstalleerd. Het hart van het filter staat op - 0,50 m NAP. Bij het herstel van de bekleding is het gat in de toplaag rond de peilbuis aangevuld met beton, zie Figuur 4.4.



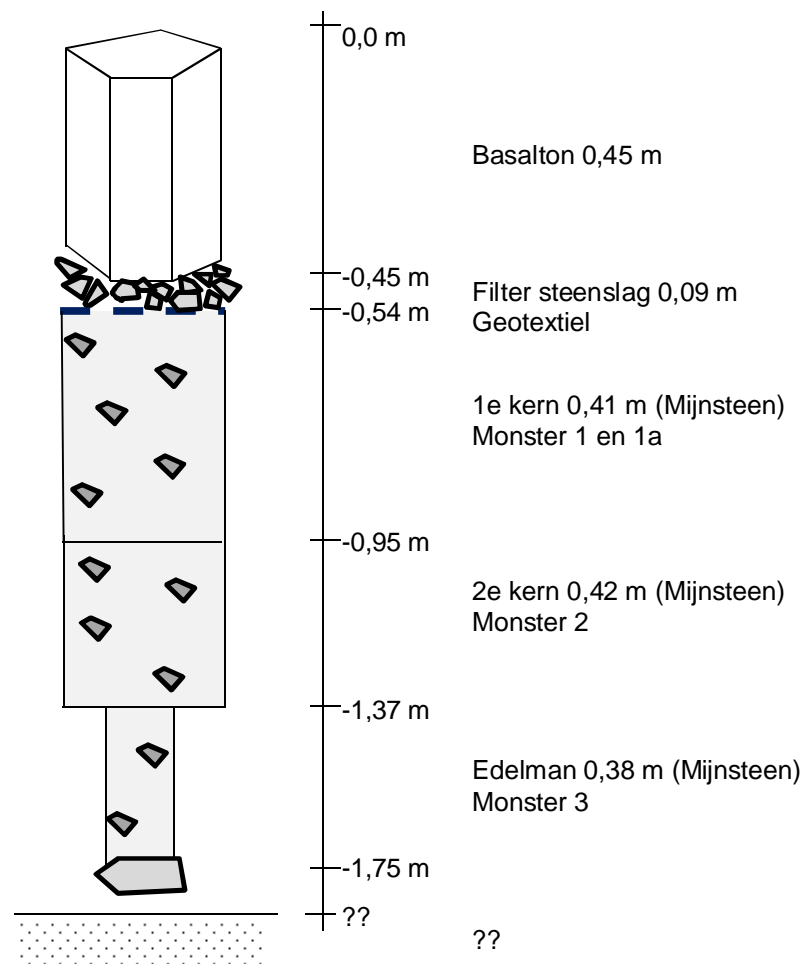
Figuur 4.4 Situatie voor DWP9 loc 2 na onderzoek: peilbuis geïnstalleerd, de verwijderde zuil is vervangen door ter plaatse gestort beton

4.3 Locatie 3, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1387

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 26 juni 2013.

Coördinaten: X = 61372.185; Y = 391567.721; Z = NAP + 1,32 m (bovenkant Basaltonzuil)

Kernboor buiten \varnothing 250 mm inwendig \varnothing 240 mm.



Figuur 4.5 Opbouw van de constructie op locatie 3

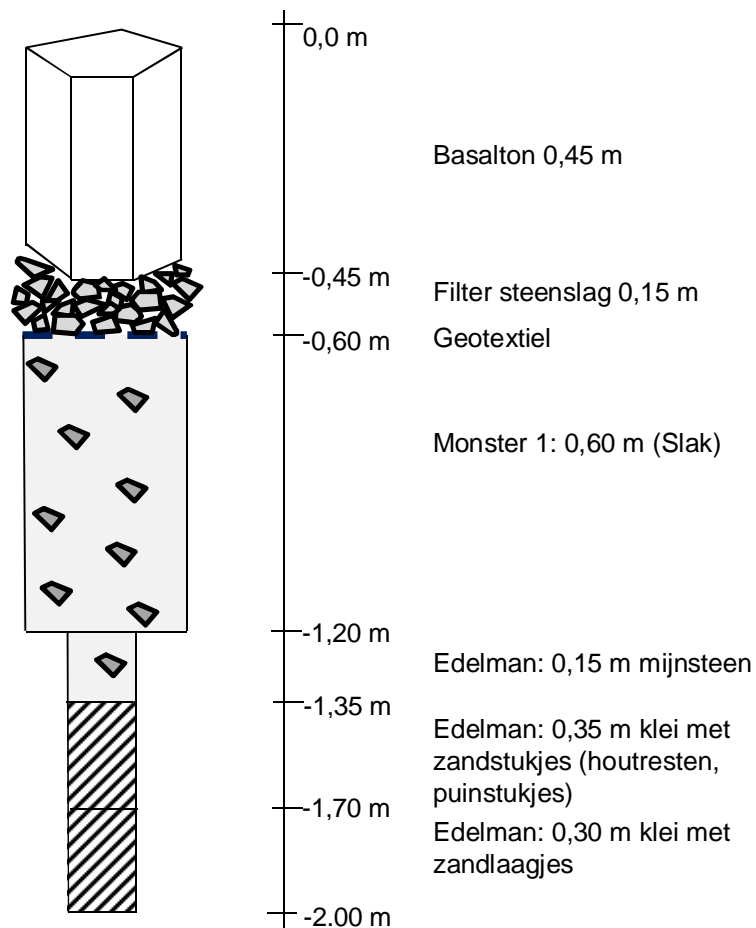
Het geboorde gat loopt vol met water uit de dijk. Op 1,70 m - bovenkant basalton is de boring vastgelopen op een grote steen.

4.4 Locatie 4, Polder de breede watering bewesten Yerseke, dijkpaal 1393

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 27 juni 2013.

Coördinaten: X = 60866.072; Y = 391895.610; Z = NAP + 1,32 m (bovenkant Basaltonzuil)

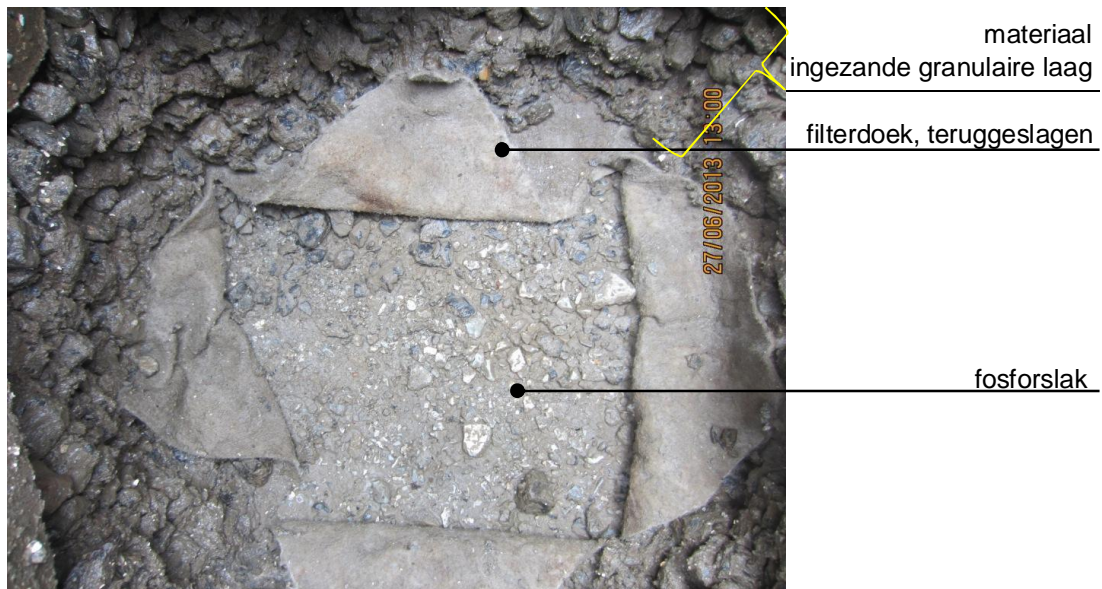
Kernboor buiten \varnothing 250 mm inwendig \varnothing 240 mm.



Figuur 4.6 Opbouw van de constructie op locatie 4

Bijzonderheden

De fosforslak was niet verkit, het was loskorrelig materiaal. Er is geprobeerd een kern van \varnothing 250mm te boren maar dat is niet gelukt. Er is een monster meegenomen naar het laboratorium in Delft.



Figuur 4.7 Onderlaag van niet-gebonden forfor slak is zichtbaar doordat geotextiel is opgelegd op locatie 4



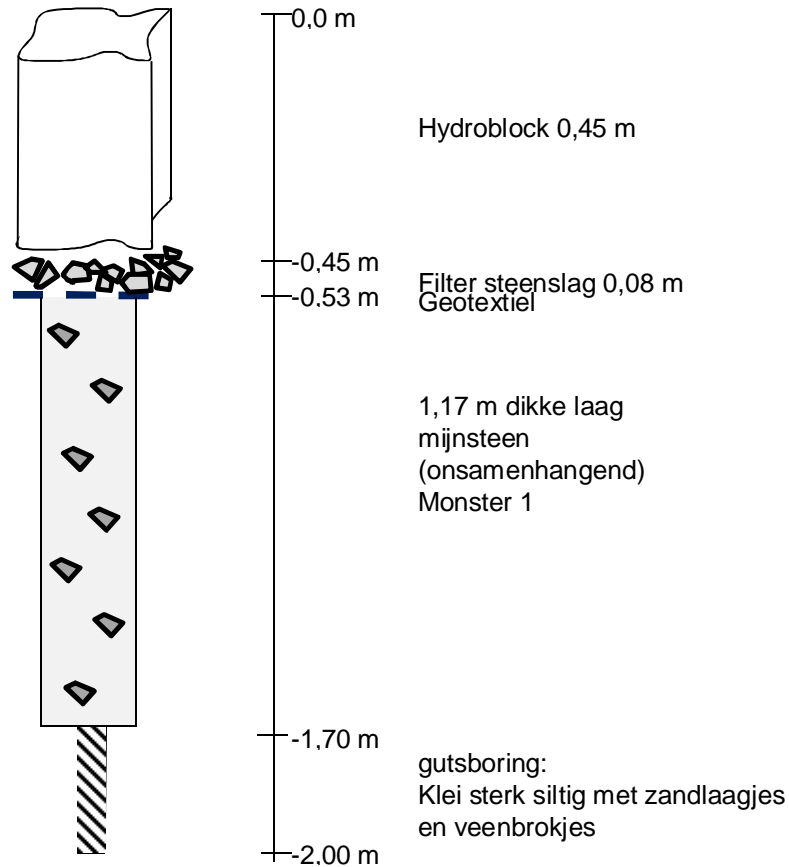
Figuur 4.8 Locatie 4: klei met zandstukjes, houtresten, puinstukjes

4.5 Locatie 5, Schouwenpolder, dijkpaal 104

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 28 juni 2013.

Coördinaten: X = 47161.083; Y = 411592.512; Z = NAP + 1.66 m (bovenkant zuil)

Kernboor: buitendiameter 200 mm, inwendig 190 mm.



Figuur 4.9 Opbouw van de constructie op locatie 5

De mijnsteen is zeer onsamenhangend, waardoor een kernboring niet mogelijk was. Het monster is genomen met een riversideboor (handboor) van Eijkelkamp.



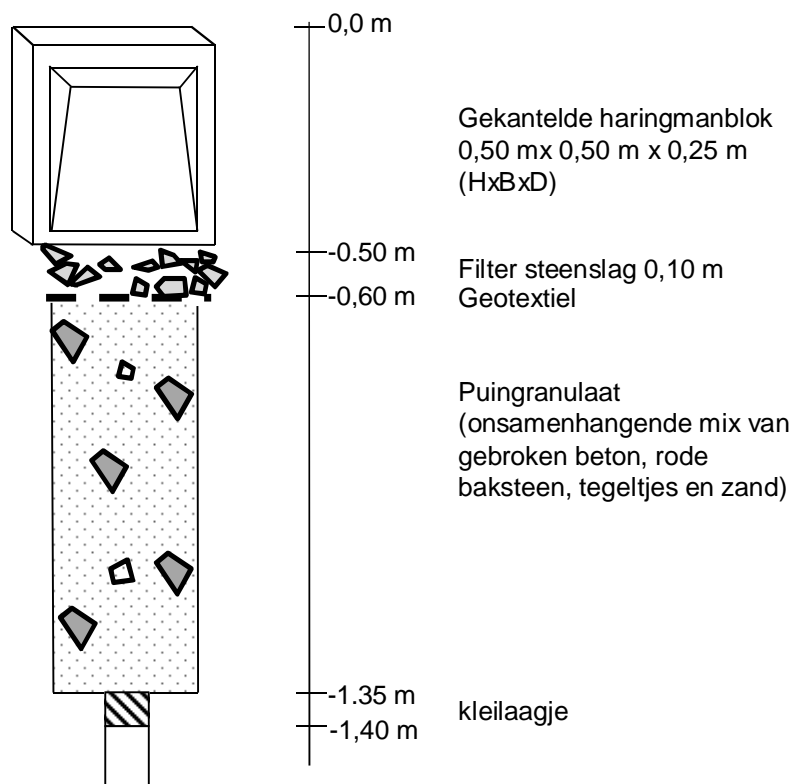
Figuur 4.10 Locatie 5: mijnsteen, niet samenhangend

4.6 Locatie 6, Biezelingsche Ham dijkpaal 32.8

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 12 september 2013.

Coördinaten: X=53540.7; Y=385650.10; Z = NAP + 1,40 m (bovenkant Haringman blok)

Kernboor: buitendiameter 200 mm, inwendig 190 mm



Figuur 4.11 Opbouw van de constructie op locatie 6

De boring eindigt met een kleilaagje met daaronder waarschijnlijk zand, dit viel namelijk uit de boor.



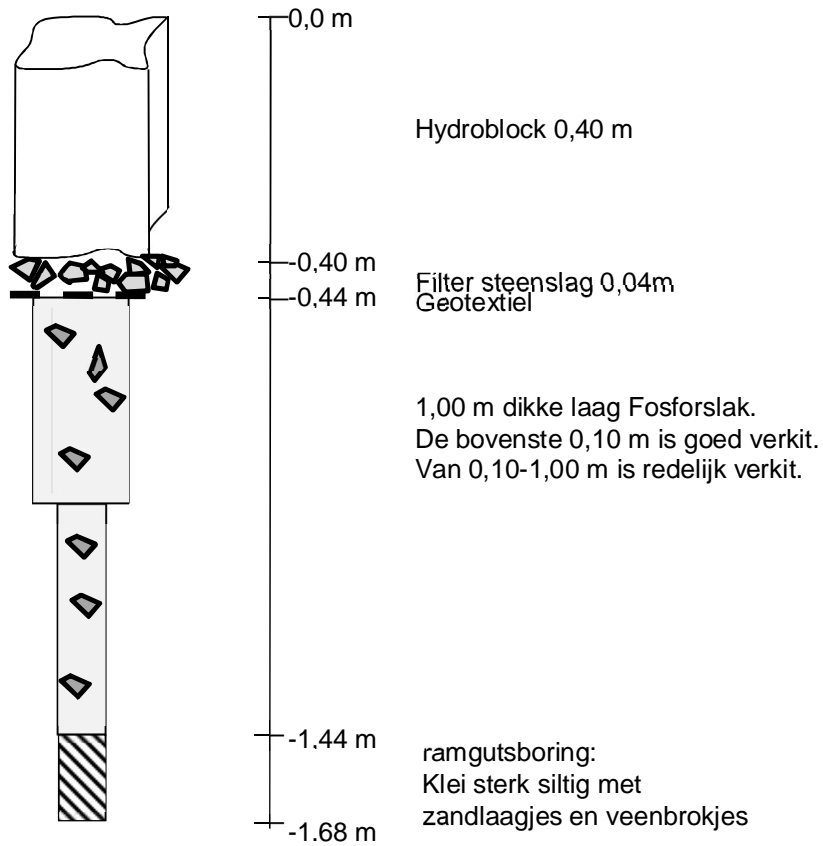
Figuur 4.12 Puingranulaat afkomstig van locatie 6 (maatverdeling in cm's)

4.7 Locatie 7, Willem-Anna polder dijkpaal 30.95

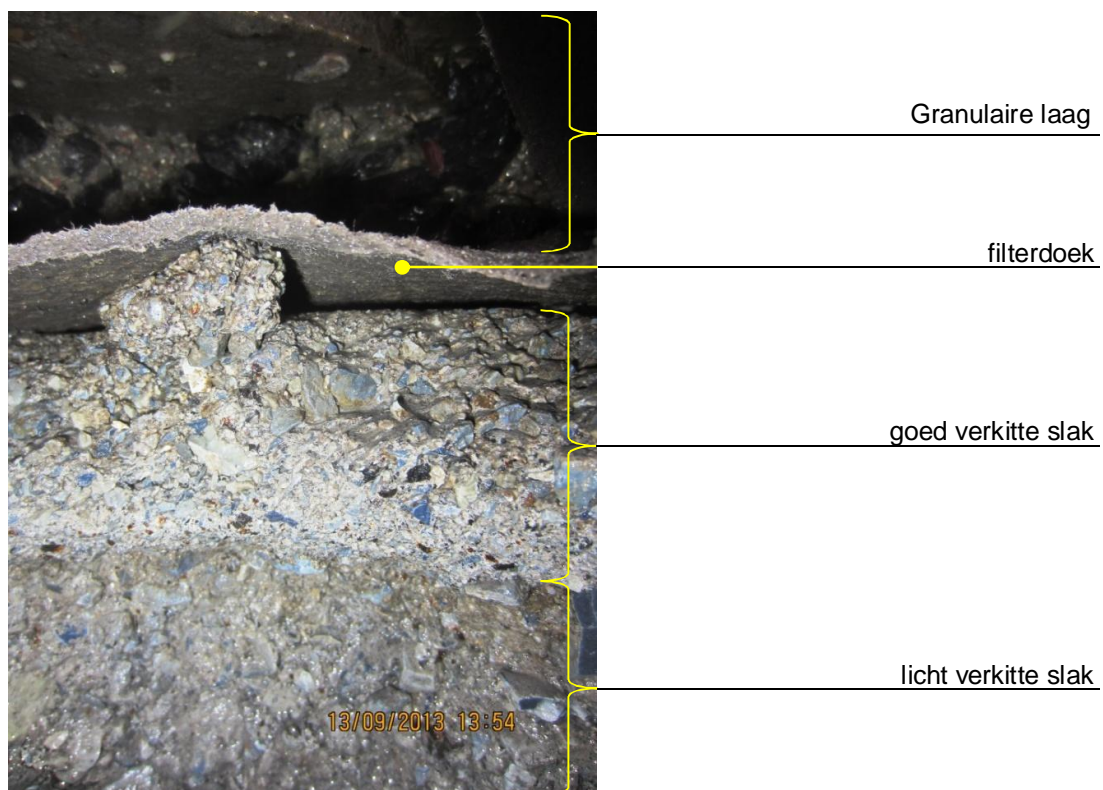
Het veldonderzoek is uitgevoerd op 13 september 2013.

Coördinaten: X = 55103.48; Y = 386155.23; Z = NAP + 1,25 m (bovenkant steen)

Kernboor: buitendiameter 200 mm, inwendig 190 mm.



Figuur 4.13 Opbouw van de constructie op locatie 7



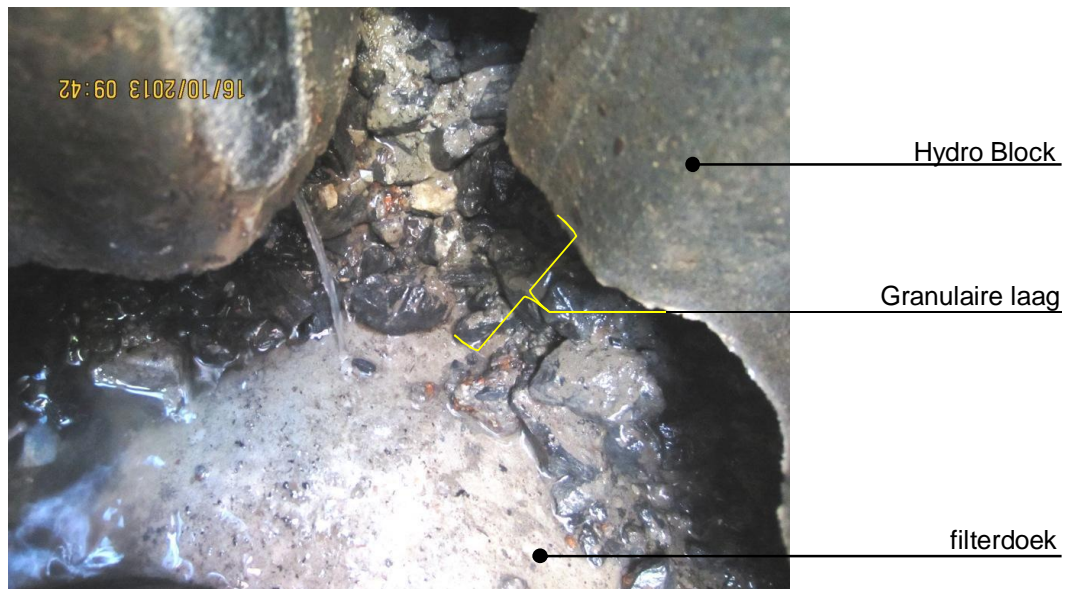
Figuur 4.14 Foto genomen vanuit het boorgat in de verkitte slak

4.8 Locatie 8, Vierbannenpolder dijkpaal 274+70

Het veldonderzoek is uitgevoerd op 16 oktober 2013.

Coördinaten: X = 55428.67; Y = 405022.3; Z = NAP + 0.923 m (bovenkant Hydroblock)

Nadat de zuil uit de zetting is genomen, bleek bij het wegpompen van het water uit het gat en het wegnemen van het filtermateriaal dat het filterdoek bol stond. Uit een klein gat gemaakt in het doek bleef continu een straaltje water van meerdere centimeters hoog spuiten. Het water in het gat van het gelichte blok stroomde vooral door het filterdoek vanuit de onderlaag toe. Dat duidt erop dat de ingezande filter- en toplaag minder doorlatend waren dan de onderlaag.

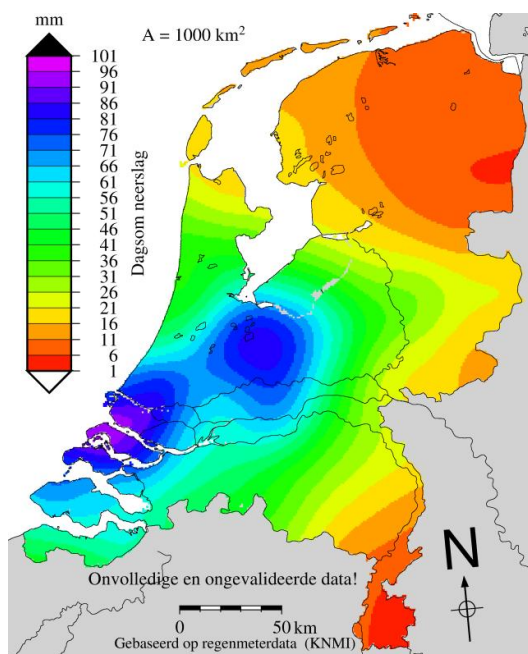


Figuur 4.15 Straaltje water wat door het vrijgegraven, opbollende filterdoek omhoog spuit

Door met een stootijzer door het doek te prikken is gecheckt of de onderlaag stevig aanvoelde. Aangezien dat het geval bleek, was er geen risico op ongecontroleerd uitspoelen van materiaal uit de onderlaag. Het onderzoek is daarom voortgezet volgens de gebruikelijke procedure.

In verband met de overdruk vanuit de onderlaag is vermeldenswaardig dat het weekend voorafgaand aan het veldonderzoek er extreem veel neerslag is gevallen. Op de zuidpunt van Schouwen-Duiveland, waar de onderzoekslocatie zich bevindt, bedroeg de neerslagsom ca. 75 mm in 24 uur, zie Figuur 4.16. Volgens de neerslagstatistieken is ca. 55 mm in 24 uur een gebeurtenis met een overschrijdingsfrequentie van eens in de 30 jaar.

Overigens bleek het water wat uit de onderlaag opwelde op deze locatie zilt.

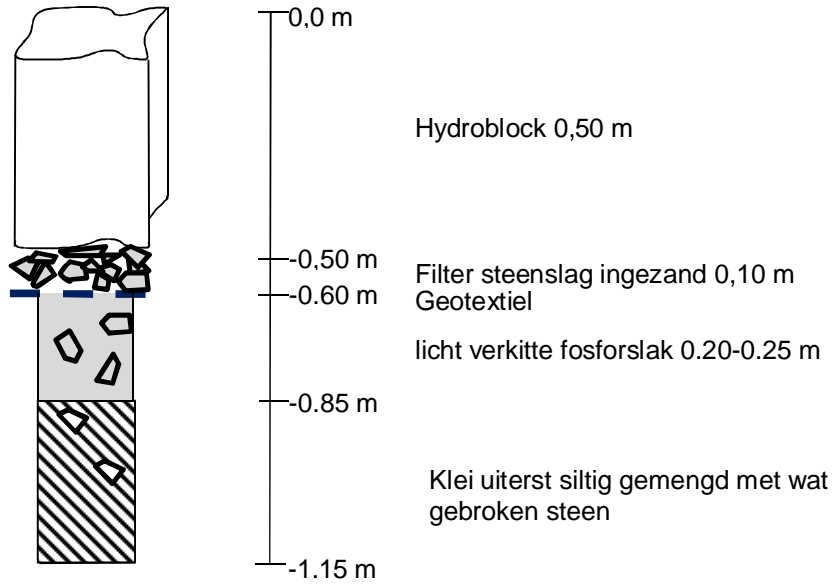


Figuur 4.16 Neerslag (24-uursom) tussen zaterdagavond en zondagavond, gebaseerd op gegevens van de KNMI-neerslagstations (zoals gepubliceerd op de KNMI-site op 15 oktober 2013)

De slak van de onderlaag was in lichte mate verkit: de wand van het boorgat bleef prima staan, maar steentjes uit de wand waren met de hand zonder noemenswaardige kracht weg te nemen. De slak kwam als los materiaal uit de boorhuls, zie Figuur 4.17. Het feit dat in de siltige laag onder de slak ook nog een enkele verdwaalde slak voorkomt geeft aan dat bij aanleg deze laag van de bekleding ten minste deels vergraven is geweest.



Figuur 4.17 Inhoud van de boorhuls uitgelegd op een plank, merk op dat de slak in losse korrels uiteen is gevallen door het boren; in het siltige deel van het monster, links achter, zijn nog enkele korrels slak zichtbaar



Figuur 4.18 Opbouw van de constructie op locatie 8

5 Laboratorium onderzoek en analyse veldmetingen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het onderzoek wat is uitgevoerd op de bij het veldwerk verzamelde monsters. Het waarom van de proeven en de resultaten komen aan bod. Vervolgens worden de doorlatendheden vergeleken met de waarnemingen in het veld.

5.1 Doorlatendheidsproeven

Aangezien de doorlatendheid van de onderlaag relevant kan zijn voor de stabiliteit van de steenzetting, zijn een aantal doorlatendheidsproeven uitgevoerd op monsters die vanuit het veld naar het laboratorium zijn gebracht. Het merendeel van de monsters was onvoldoende samenhangend om als “ongeroerd” te kunnen worden gekwalificeerd. Enkele monsters waren redelijk als één klomp uit de huls van de kernboor gekomen en strak ingetaped naar het laboratorium gebracht. Maar zelfs bij die monsters deed zich het dilemma voor dat de diameter van het monster niet overeenkwam met dat wat nodig is voor de doorlatendheidsmeting. Dat betekent dat uit het “ongeroerde” monster zo goed en zo kwaad als dat ging een passend monster is genomen. Hierbij is uiteraard wel enige verstoring van de opbouw opgetreden. De pakking van dit monster wordt desalniettemin als “ongeroerd” aangeduid. Door de lichte verstoring wordt verwacht dat de gemeten doorlatendheid niet wezenlijk groter is dan de doorlatendheid in-situ onder de bekleding.

Voor enkele van de loskorrelige monsters, zowel mijnsteen als slak, zijn de grenzen van de doorlatendheid verkend. Dit is gedaan door uit het verzamelde materiaal een tweetal monsters van de juiste diameter op te bouwen: een los gepakt monster en een dicht gepakt monster. De aldus verkregen doorlatendheden leveren een boven- en een ondergrens voor de doorlatendheid die het materiaal in-situ zal hebben gehad.

De resultaten van de doorlatendheidsproeven zijn samengevat in Tabel 5.1. Foto's van de beproefde monsters zijn per locatie opgenomen in Bijlage A.

Locatie nr.	Materiaal	Monster nr.	Conditie pakking van het monster	Doorlatendheid k [m/s]
1	mijnsteen	M2-1	optimaal verdicht	$3 \cdot 10^{-10}$
1	mijnsteen	M2-2	los gepakt	$9 \cdot 10^{-6}$
2	mijnsteen	5A-1	los gepakt	$2 \cdot 10^{-5}$
2	mijnsteen	5A-2	goed verdicht	$4 \cdot 10^{-6}$
3	mijnsteen	7A-1	“ongeroerd”	$4 \cdot 10^{-10}$
3	mijnsteen	8A-1	“ongeroerd”	$1 \cdot 10^{-9}$
3	mijnsteen	11	“ongeroerd”	$3 \cdot 10^{-8}$
4	slak, ongebonden	1A-1	los gepakt	$2 \cdot 10^{-5}$
4	slak, ongebonden	1A-2	goed verdicht	$4 \cdot 10^{-7}$
5	mijnsteen	4A-1	los gepakt	$3 \cdot 10^{-5}$
5	mijnsteen	4A-2	goed verdicht	$5 \cdot 10^{-6}$
7	slak, gebonden	9	“ongeroerd”	$8 \cdot 10^{-6}$

Tabel 5.1 In het laboratorium bepaalde doorlatendheden met behulp van het triaxiaalapparaat

Van locatie 6, waar de onderlaag uit puingranulaat bestond, is geen doorlatendheid bepaald. De fijne fractie van het ongebonden puingranulaat was dusdanig (grof) zandig dat de doorlatendheid verdicht of onverdicht altijd in de buurt van de doorlatendheid van zand moest uitkomen. De geschatte doorlatendheid is daar 10^{-3} à 10^{-4} m/s.

Als de resultaten van de doorlatendheidsmetingen worden bekeken dan vallen een aantal zaken op:

- De doorlatendheden van mijnsteen kunnen zeer sterk afhankelijk zijn van de dichtheid van de pakking. Een voorbeeld daarvan vormen de resultaten voor het monster verkregen op locatie 1. In dat geval is het verschil in doorlatendheid tussen de losse en de optimale pakking maar liefst een factor 30.000. Als het materiaal echter slecht verdichtbaar is doordat er relatief weinig fijn materiaal in het mengsel aanwezig is en de grove fractie relatief uniform is, dan is de invloed van de pakking veel geringer. Een voorbeeld daarvan laten de resultaten voor het monster verkregen van locatie 2 zien. In dat geval is het verschil in doorlatendheid slechts een factor 5.
- Op grond van het uiterlijk van de beproefde monsters, zie Bijlage A, is al een redelijke inschatting van de doorlatendheid te maken. Als het oppervlak dicht toont (locatie 3 en locatie 1 monster M2-1), dan is de doorlatendheid ook gering. Een beduidend grotere doorlatendheid wordt gevonden als het zijvlak van het monster grofkorrelig is, als was het monster vooral opgebouwd uit vrij grof zand (locatie 7, zie Figuur A.6). Als het monster wel een fractie fijner dan zand bevat, maar onvoldoende, dan resteren er bij verdichting grote (doorgaande) poriën (locatie 5 monster 4A-2 goed verdicht). Ook dan ligt de doorlatendheid in de range die voor zand geldt.
- Op grond van deze beperkte set metingen lijkt het erop dat met mijnsteen goede, relatief ondoorlatende onderlagen zijn te realiseren, mits het mengsel voldoende breed is gegradeerd, waarbij voldoende fijn materiaal een vereiste is. Opgemerkt wordt dat aan die laatste voorwaarde bij locatie 5 monster 4A-2 niet lijkt te worden voldaan.
- Een (plaatselijk) goede binding in de fosforslak is geen garantie voor een geringe doorlatendheid (locatie 7, monster 9).
- Als de pakking in het veld niet al best is, vergelijkbaar met de los gepakte monsters in het laboratorium, mag worden verwacht dat de doorlatendheid van de bemonsterde materialen in het veld in dezelfde orde is als die van zand $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

5.2 Representatieve korreldiameter

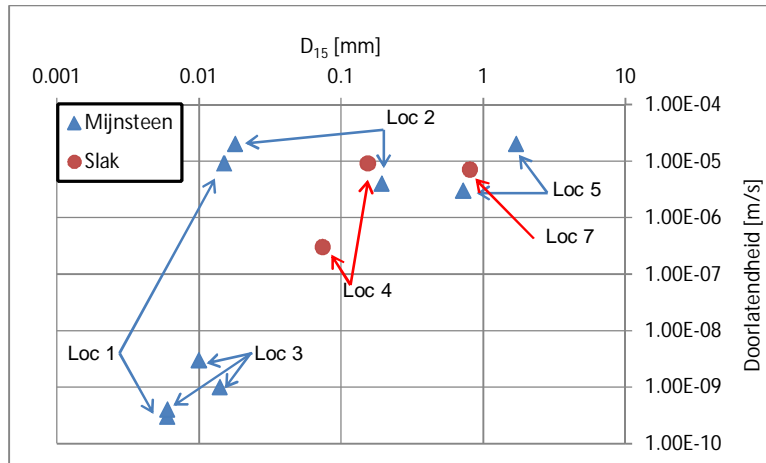
Van de monsters waar de doorlatendheid van is bepaald in het laboratorium, zijn ook de korrelverdelingen bepaald. Deze korrelverdelingen zijn opgenomen in bijlage C.

Gezien de sortering die volgens bestek op de verschillende locaties moet zijn toegepast (0-40 mm) lijkt de grootste korrel die is aangetroffen wellicht iets aan de kleine kant. Dat is echter niet verwonderlijk als wordt bedacht dat het hier gaat om materiaal waarvan monsters zijn samengesteld voor de doorlatendheidsproeven, waarbij de monsterdiameter in het doorlatendheidsapparaat slechts 70 mm was. De ongeroerde monsters zijn op maat geboord, waardoor de grofste stenen mogelijk kleiner zijn gezaagd. Voor de kunstmatig opgebouwde monsters zal nooit de grootste steen uit de sortering worden gebruikt. Rond een relatief grote steen is het vrijwel onmogelijk een representatief monster op te bouwen en als het al lukt om de rest van het monster aan te laten sluiten om een dergelijke grote steen, dan zal deze steen de doorlatendheid van het monster onevenredig sterk beïnvloeden.

Doordat een grootste steen niet past binnen de doorlatendheidsproeven kunnen de korrelverdelingen een marginale verschuiving naar de kleinere fracties te zien geven ten opzichte van de in het veld aanwezige materialen.

Voor granulaire materialen wordt verondersteld dat er bij goed gegradeerde mengsels een correlatie is tussen de doorlatendheid enerzijds en de karakteristieke korreldiameter D_{15} anderzijds. Aangezien de onderzochte sorteringen inderdaad breed gegradeerd blijken te zijn, wordt verder alleen gekeken naar de korreldiameter D_{15} . Figuur 5.1 toont de doorlatendheid [m/s] op log-schaal van de verschillende monsters. Op de horizontale as is de

logaritme van de D_{15} [mm] weergegeven. In deze figuur is een uitsplitsing gemaakt naar type materiaal: slak of mijnsteen. Ook zijn de locatienummers waar de monsters zijn genomen in de figuur aangegeven.



Figuur 5.1 In het laboratorium bepaalde doorlatendheid als functie van de karakteristieke korreldiameter D_{15} uitgesplitst naar materiaaltypen

De bepaalde karakteristieke korreldiameters zijn uiteraard afhankelijk van de wijze van de monsternamen. Als het genomen monster niet representatief is voor de betreffende laag, dan is de zeefkromme dat ook niet. Monsternamen laag op het talud is uitermate lastig, omdat het gat in de bekleding zich vult met (grond)water. Zeker als het monster niet in een kernboor wordt opgesloten, is uitspoeling van een deel van de fijne fractie niet ondenkbeeldig. Een andere mogelijke foutenbron betreft een toename van de fijne fractie als gevolg van het met behulp van een boor nemen van de monsters. Bij het boorproces zal immers altijd een deel van het monster worden vergruisd.

Om na te gaan in hoeverre de meetpunten hierdoor wezenlijk beïnvloed kunnen zijn, worden alle meetpunten even nagelopen.

De eerste twee sets mijnsteenmonsters die beschikbaar kwamen betreffen locatie 1 en 2. Dit betreft monsters die afkomstig zijn uit materiaal wat vrij hoog op het talud verkregen is uit de kernboor. Van uitspoelen van de fijne fractie kan hier dus geen sprake zijn, hoogstens is er iets meer fijne fractie als gevolg van vergruizen door het boren.

De derde set mijnsteenmonsters betreft locatie 3, genomen aan de teen van de dijk. De monsters zijn in dit geval "ongeroude" monsters die verkregen zijn door kernboring. Ook voor deze drie monsters geldt dus dat er hoogstens een lichte overmaat aan fijne fractie zal zijn.

De laatste set mijnsteenmonsters zijn afkomstig van locatie 5. De mijnsteen was op deze locatie niet samenhangend waardoor een kernboring niet mogelijk was. De monsters zijn genomen met een riversideboor. Gezien de ligging van dit breekpunt in de getijzone is verlies van een deel van de fijne fractie niet uit te sluiten.

Als gekeken wordt naar de D_{15} van de verschillende mijnsteen monsters, dan valt op dat voor locatie 2 de beide monsters een factor 10 verschillen terwijl de twee monsters wel uit materiaal uit dezelfde monsterzak zijn opgebouwd. Locatie 1 en 3, op dezelfde raai als locatie 2 maar wat hoger en wat lager op het talud, laten per locatie een wat kleinere spreiding zien.

Van de monsters slak is het monster van locatie 4 genomen met een kernboor. Die D_{15} -waarden zijn dus redelijk betrouwbaar.

Het monster van locatie 7 betrof een geval apart. Het was een goed verkit monster, zodat in ieder geval de doorlatendheid betrouwbaar moet zijn. De zeefkromme van dit monster, zie Figuur C.12 laat heel weinig fijn materiaal zien. Dit gebonden monster is uiteraard verkrumeld voor het zeven. Theoretisch is het mogelijk dat ondanks het verkrumelen de fijnste fracties (aan de grovere fracties) gebonden zijn gebleven en dat daardoor de zeefkromme vrijwel geen fijn materiaal te zien geeft. Als echter het monster wordt bekeken, zie Figuur A.6, dan is in één oogopslag duidelijk dat in dit monster werkelijk vrijwel geen fijn materiaal in zit. Op grond van die waarneming wordt de zeefkromme van dit monster en dus ook de D_{15} toch als realistisch meegenomen in de verdere analyse.

Al met al moet worden geconcludeerd dat alleen de gerapporteerde D_{15} -waarden van locatie 5 wellicht iets hoger zijn, dan die in het veld.

5.3 Analyse veldmetingen doorlatendheid

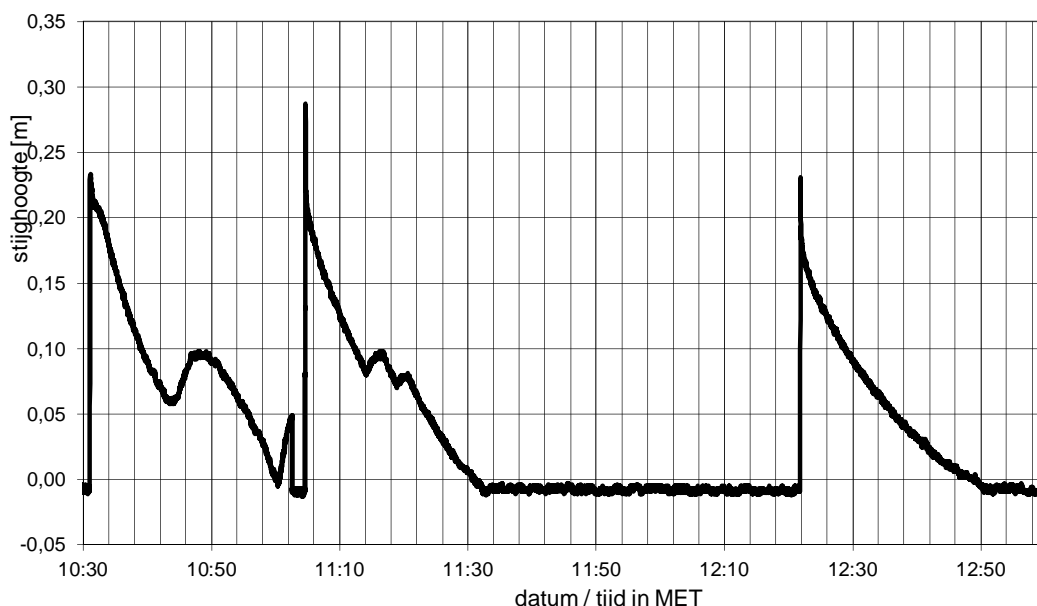
In het veld zijn twee doorlatendheidsmetingen uitgevoerd. Allereerst is in de mijnsteenlaag op locatie 2 op 26 juni een falling-head test uitgevoerd. Ten tweede is op locatie 7 een elementaire pompproof uitgevoerd.

Falling-head test locatie 2

In een falling head test wordt een grote stijghoogte aangebracht op een infiltratievlak door water toe te voegen in een stijgbuis. Vervolgens wordt het verloop van de stijghoogte in de buis gemonitord. Uit dat verloop kan de doorlatendheid worden herleid.

De registratie van de drukopnemer, die gebruikt is in de falling head test op locatie 2 (De brede watering bewesten Yerseke), is weergegeven in Figuur 5.2.

Het infiltratievlak in deze proef lag op ongeveer NAP + 2 m, grofweg 0,5 m diep in de daar ca. 1,3 m dikke mijnsteenlaag. De buitenwaterstand bereikte bij de meetpaal nabij Stavenisse een maximale waterstand van NAP+1,74 om 5.40 uur in de ochtend op de dag van de meting. Op grond van die gegevens wordt aangenomen dat het infiltratiepunt ruim boven de grondwaterstand in de dijk ligt. Voorafgaande aan de meting was het boorgat dan ook droog, er is geen grondwater in het boorgat aangetroffen.



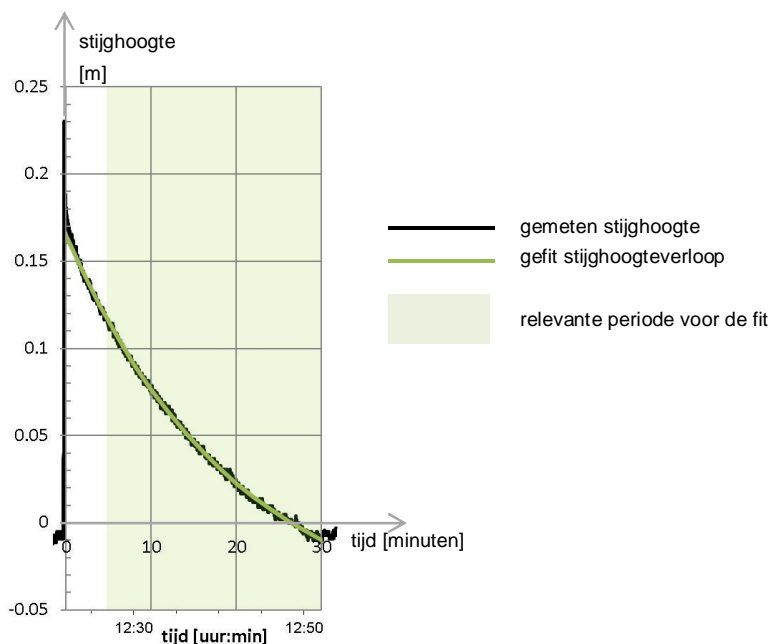
Figuur 5.2 Registratie van de stijghoogte (waterstand) in de pijp als functie van de tijd

Het meetsignaal, zie Figuur 5.2, laat drie hoge, scherpe pieken zien: de momenten waarop de standpijp is gevuld met een emmer water. Daarnaast laat de dalende kromme ook nog een aantal lokale maxima zien. Op die momenten is water gegoten in het boorgat naast de standpijp. Dit leert ons dat de afdichting aan de onderzijde van de standpijp onvoldoende was. Het is niet reëel te veronderstellen dat infiltratie alleen via het oppervlak recht onder de standpijp heeft plaatsgevonden. Uit de tijd die verstrijkt vanaf het vullen van het boorgat naast de standpijp tot er weer een asymptotisch-dalend waterstandsverloop wordt bereikt, kan worden afgeleid dat binnen enkele minuten na het vullen van de standpijp de waterstand in de standpijp gelijk is aan die in de rest van het boorgat.

Er zal dus niet alleen infiltratie hebben plaatsgevonden via de bodem van de standpijp. De volledige bodem van het boorgat zal zijn benut en mogelijk is ook door de wand van het boorgat nog water afgestroomd. In dat laatste geval is het oppervlak waar de infiltratie plaatsvindt afhankelijk van de waterstand. Significante afstroming via de wanden is echter minder waarschijnlijk omdat de wanden sterk versmeerd waren met de boorslurry, zie Figuur 3.11 links. Bij de interpretatie van de proef is verondersteld dat 5 minuten na vullen van de pijp de gemeten waterstand overeenkomt met die in het volledige boorgat en dat alleen afstroming heeft plaatsgevonden via de bodem van het boorgat.

Voor de bepaling van de doorlatendheid van de onderlaag is alleen gebruik gemaakt van de laatste vervallijn en dan alleen het gedeelte vanaf 5 minuten na het vullen. Oftewel, de registratie is gebruikt van 12 uur 27 min tot 12 uur 51 min, zie Figuur 5.3.

Een fit van de vervallijn leert dat de doorlatendheid grofweg 10^{-4} m/s is. Dit blijkt zelfs nog wat doorlatender dan de metingen aan de los gepakte monsters van locatie 1 en 2, waarvan het merendeel orde 10^{-5} m/s was. De verschillende methoden van het bepalen van de doorlatendheid lijken dus niet tot overeenkomstige waarden te komen. Uiteraard heeft het resultaat van de in-situ test vooral betrekking op het materiaal onder de bodem van het boorgat, terwijl de laboratoriumtest voor locatie 2 is uitgevoerd op materiaal wat afkomstig is uit de kern die het betreffende boorgat heeft gemaakt. Het beproefde materiaal is dus niet hetzelfde.



Figuur 5.3 Meetsignaal falling head infiltratiemeting met gefitte vervallijn

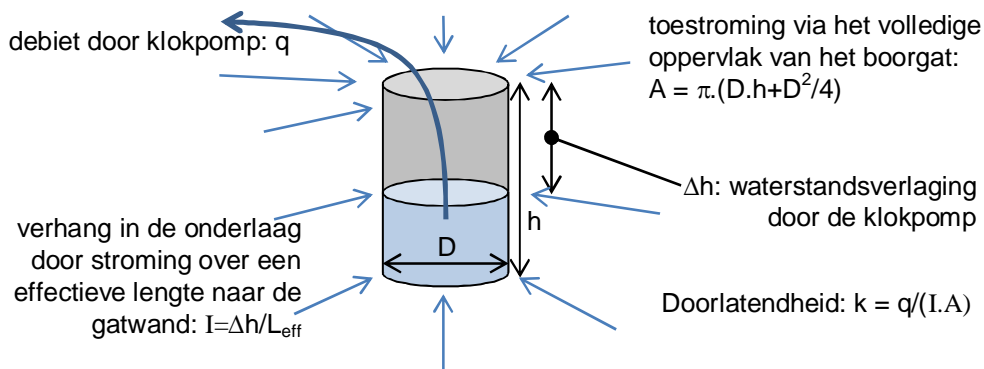
Verder heeft het boren geleid tot vergruizing van materiaal wat zich ter plaatse van de passerende snijtanden op de boorhuls bevond. Een deel van dat vergruisde materiaal zal zich in het genomen monster hebben bevonden. En meer fijn materiaal in een monster leidt in principe tot een geringere doorlatendheid. Naast het feit dat het om materiaal gaat wat zich op een andere hoogte in de laag bevond zou de vergruizing kwalitatief een verklaring kunnen vormen voor de wat lagere doorlatendheden in de laboratoriumproeven.

Elementaire pompproef locatie 7

Op locatie 7 (Willem-Annapolder) lag het breekgat relatief laag op het talud (NAP + 1,25 m) zodat de bodem van het boorgat onder de grondwaterstand lag en het boorgat zich met water vulde. Daar is een kleine klokpomp (volgens specificaties max: 90 l/s) in het boorgat gehangen en is getracht het gat droog te pompen. Het grondwater bleek al vrij snel even hard toe te stromen als de pomp het water uitsloeg: de waterspiegel in het boorgat zakte niet verder. Alhoewel het pompdebiet en het verval naar het gat toe slechts bij benadering bekend zijn, kan hieruit toch globaal een doorlatendheid k worden afgeschat: in de range van $5 \cdot 10^{-3}$ tot 10^{-4} m/s.

Overigens is geconstateerd dat het water in het boorgat zeer helder eruit zag en niet zilt proefde. Het is dus uittredend grondwater wat wordt gevoed door de freatische lijn in de dijk: geïnfiltrerd regenwater, geen zout Westerschelde water.

Deze in het veld bepaalde doorlatendheid kan worden vergeleken met de doorlatendheid zoals deze in het laboratorium is bepaald. Van de verkitte bovenste zone van de onderlaag (monster nr.9) is namelijk ook een doorlatendheid bepaald: $k = 8 \cdot 10^{-6}$ m/s. Geconcludeerd moet worden dat het verkitte bovenste deel van de onderlaag toch twee of meer ordes ondoorlatender is dan de daaronder gelegen fosforslak. Ook de constatering dat het water in het boorgat zoet was, wijst erop dat het zilte buitenwater onder invloed van het getij niet ver doordringt in de onderlaag. Verondersteld mag worden dat de volledig ingezande filterlaag beduidend ondoorlatender is dan het onderste deel van de onderlaag. Overigens is ter plaatse van het boorgat onder de onderlaag een grondslag (klei uiterst siltig) aangetroffen die zeker niet doorlatender zal zijn dan die bepaald is voor de verkitte bovenste zone van de onderlaag. De toestroming naar het boorgat vindt kennelijk vooral plaats door de onderlaag zelf. Op deze locatie vormt de onderlaag van fosforslakken dus een watervoerende laag.



Figuur 5.4 Relevante parameters bij interpretatie van de evenwichtsbalans bij leegpompen boorgat

5.4 Discussie gemeten doorlatendheden

Met behulp van verschillende technieken is een doorlatendheid van het materiaal van de onderlaag bepaald: in-situ met een falling head test en een elementaire pompproef, op het oog aan de hand van de genomen monsters en in een laboratoriumopstelling.

Het resultaat van de uitgevoerde falling head-test die gebruik maakte van een plastic standpijp bleek in feite betrekking te hebben op het volledige boorgat: de afdichting tussen de standpijp en de ondergrond bleek niet betrouwbaar. Omdat een dergelijke afdichting bij dit type grofkorrelig materiaal niet goed is op te lossen kan bij de uitvoering van zo'n proef de standpijp beter achterwege worden gelaten. De test is (locatie 2) ruim boven de grondwaterspiegel uitgevoerd. Er is in dit geval dus sprake van vrije afstroming naar een lager gelegen grondwaterspiegel.

Nabij de teen van het talud zal een boorgat tot onder de grondwaterspiegel reiken. Omdat het niveau van de grondwaterstand niet bekend is, levert dat een extra onzekerheid op ten aanzien van het verval wat optreedt vanuit de standpijp danwel het boorgat naar de omgeving. Per saldo kan de standpijp bij eventuele doorlatendheidsmetingen achterwege blijven, maar uiteraard moet wel een casing worden toegepast als dat nodig is om het boorgat open te houden.

Geconcludeerd moet worden dat de in-situ metingen van de doorlatendheid grotere doorlatendheden hebben opgeleverd dan de metingen aan monsters genomen op dezelfde locaties.

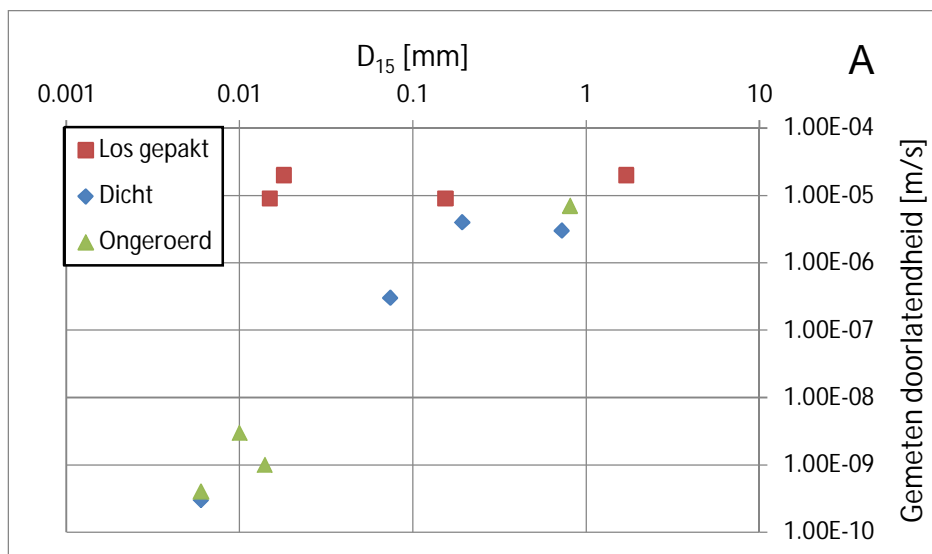
Alhoewel het uitgevoerde onderzoek slechts een steekproef betreft, lijken de doorlatendheidsmetingen erop te wijzen dat de onderlaag in het werk niet altijd goed verdicht is, danwel een zodanige gradering had dat een ondoorlatende laag hiermee niet kon worden gerealiseerd. In dat opzicht vormen de aangetroffen onderlagen zelden een gelijkwaardig substituuat voor een kleilaag.

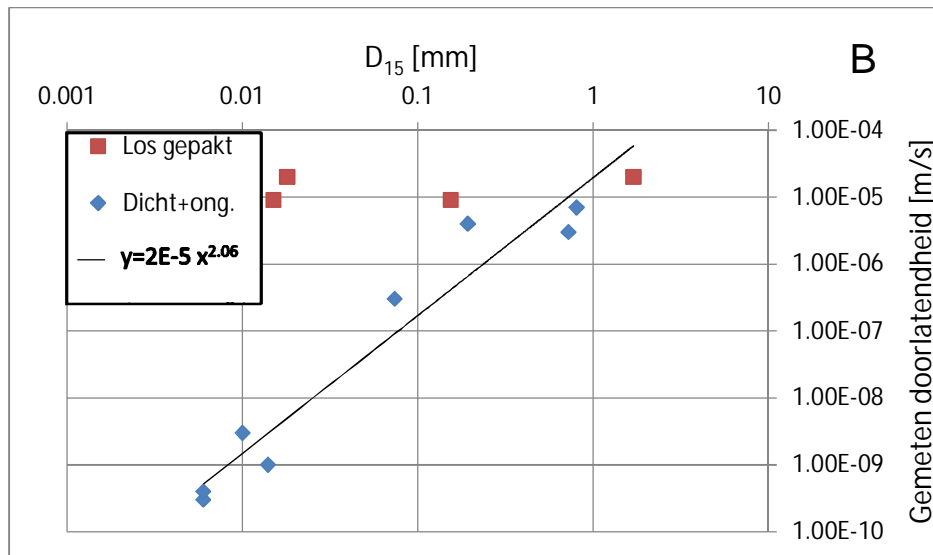
Uiteraard zal van geval tot geval moeten worden beoordeeld in hoeverre een hogere doorlatendheid van de onderlaag kan leiden tot een constructie die niet aan de eisen voldoet.

5.5 Gemeten doorlatendheden versus representatieve korreldiameter

In Figuur 5.5 wordt de trend in de doorlatendheid [m/s] als functie van de karakteristieke korreldiameter D_{15} [mm] (beide op logaritmische schaal) zichtbaar gemaakt. In Figuur 5.5A zijn de losgepakte monsters, de dichtgepakte monsters en de “ongeroerde monsters” apart zichtbaar gemaakt. Het blijkt dat de los gepakte monsters alle vier grofweg dezelfde doorlatendheid laten zien: $2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Merk op dat het hier gaat om drie monsters mijnsteen, maar ook een monster fosforslak, zie Figuur 5.1.

In Figuur 5.5B zijn de verdichte monsters en de ongeroerde monsters voor een trendanalyse tot dezelfde steekproef gerekend. De doorlatendheid van deze monsters kan grofweg worden beschreven met $k = 2 \cdot 10^{-5} \cdot (D_{15})^2$.





Figuur 5.5 Gemeten doorlatendheid als functie van de karakteristieke korreldiameter D_{15} , uitgesplitst naar type opbouw van het monster. A: meetdata uitgesplitst in "ongeroerd", dicht gepakt en los gepakt; B: meetdata uitgesplitst in los gepakt enerzijds en anderzijds "ongeroerd" en dicht gepakt. Die laatste combinatie is voorzien van een regressielijn

Dit onderzoek heeft slechts een zeer beperkte dataset opgeleverd op grond waarvan geen harde conclusies kunnen worden getrokken. Het lijkt er echter op dat de los gepakte monsters van de onderhavige sortering ongeacht de D_{15} een doorlatendheid in de orde van $2 \cdot 10^{-5}$ m/s opleveren. Om in goed verdichte toestand een doorlatendheid te verkrijgen die wezenlijk ondoorlatender is dan die van zand lijkt een D_{15} in de orde van 0,01 mm noodzakelijk. Aan die voorwaarde werd in lang niet alle onderzochte gevallen voldaan.

5.6 Gemeten doorlatendheden versus doorlatendheid berekend met Steentoets

Als de onderlaag relatief doorlatend is, kan deze als tweede filterlaag in Steentoets worden ingevoerd, teneinde de consequenties voor de stabiliteit van de toplaag te beoordelen. De doorlatendheid van een granulaire laag wordt in Steentoets berekend op basis van de representatieve korreldiameter D_{15} en de porositeit n [Klein Breteler 2013]:

$$a_f = 160 \frac{v(1-n)^2}{gn^3 D_{15}^2} \quad (5.1)$$

$$b_f = \frac{2,2}{gn^2 D_{15}} \quad (5.2)$$

$$k = \frac{-a_f + \sqrt{a_f^2 + 1,2 \cdot b_f}}{0,6 \cdot b_f} \quad (5.3)$$

Waarin:

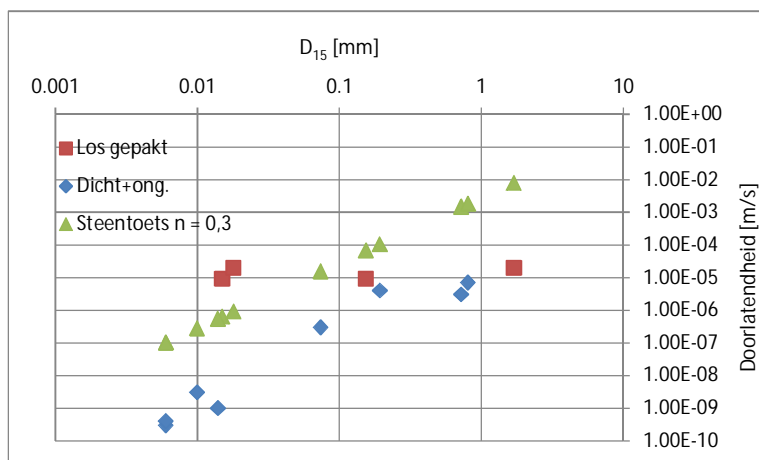
a_f	lineaire weerstandsterm van het filter [s/m]
b_f	kwadratische weerstandsterm van het filter [s ² /m ²]
n	porositeit van het filtermateriaal [-]

- g versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
- D_{15} representatieve korreldiameter [m]
- ν $1,2 \cdot 10^{-6} m^2/s$ (kinematische viscositeit van water)
- k gelineariseerde doorlatendheid van het filter [m/s]

Default-waarden voor de porositeit worden voor verschillende granulaire materialen gegeven in het tabblad *info* van Steentoets, zie Tabel 5.2. Als met de defaultwaarde 0,3 voor mijnsteen (breed gegradeerd) de doorlatendheid van de onderlaag wordt berekend uitgaande van de D_{15} bepaald uit de korrelverdelingen, dan worden de resultaten verkregen zoals weergegeven in Figuur 5.6. In die figuur staan steeds twee punten boven elkaar, een gemeten doorlatendheid en een berekende doorlatendheid. Het blijkt dat in de meeste gevallen de berekening met een defaultwaarde van 0,3 een veilige (want grote) doorlatendheid oplevert.

Code	Omschrijving	porositeit
st	Steenslag	0.4
my	Mijnsteen (breed gegradeerd)	0.3
ge	geotextiel	nvt
gr	Grind	0.4
vl	Vlijlaag (mits het minstens 2 lagen zijn en in goede staat)	nvt
sl	slakken	0.4
pu	Puin	0.4
kl	Klei	nvt
as	zandasfalt	nvt

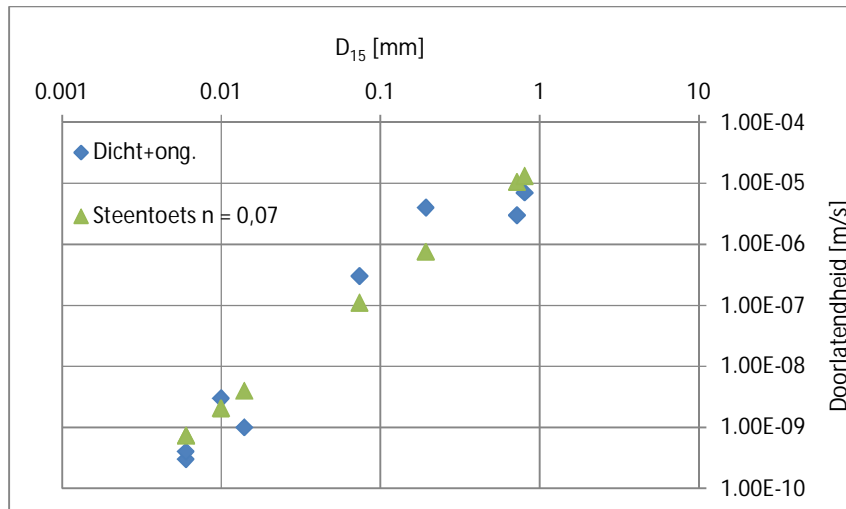
Tabel 5.2 Defaultwaarden voor de porositeit van verschillende lagen toegepast onder een toplaag volgens het tabblad *info* van Steentoets2010



Figuur 5.6 Doorlatendheid zoals gemeten in het laboratorium (“Los gepakt” en “Dicht en ongeroerd”) en berekend met formules 5.1 t/m 5.3 uitgaande van $n = 0,3$ (“Steentoets $n = 0,3$ ”)

De twee gevallen waar de gemeten doorlatendheid van de losgepakte monsters een grotere doorlatendheid oplevert dan de berekening, betreffen locatie 1 en 2. De gemeten doorlatendheid op de los gepakte monsters bleek daar grofweg een factor 20 groter dan volgens de berekening met een defaultwaarde. Om de doorlatendheid die in het laboratorium is gemeten, te reproduceren moet $n = 0,55$ (loc 1, M2-2) respectievelijk $n = 0,59$ (loc 2, 5A-1) worden gehanteerd.

De trend in de doorlatendheid van de goed verdichte, danwel ongestoorde monsters wordt goed beschreven als een porositeit van 0,07 wordt gehanteerd, zie Figuur 5.7. Een beperkte porositeit is aannemelijk als wordt bedacht dat bij een goed verdicht, breed gegradeerd mengsel de poriën tussen de grove fractie worden opgevuld door de fijne fractie. Als zowel de grove fractie als de fijne fractie een porositeit van 0,3 heeft, dan krijgt de perfecte mix van beide een porositeit van $0,3 \cdot 0,3 = 0,09$. De teruggerekende waarde 0,07 is dus wel erg klein.



Figuur 5.7 Doorlatendheid zoals gemeten in het laboratorium ("Los gepakt" en "Dicht en ongeroerd") en berekend met formules (5.1) tot (5.3) uitgaande van $n = 0,07$ (Steentoets $n = 0,07$)

Als op basis van deze beperkte meetset conclusies moeten worden getrokken, dan blijkt dat de doorlatendheid van de goed verdichte granulaire lagen zich goed door de in Steentoets geïmplementeerde formules laat beschrijven door te rekenen met een vaste waarde voor de porositeit. Rekenen met de gebruikelijke defaultwaarde voor de porositeit 0,3 blijkt specifiek voor gevallen met een kleine D_{15} niet tot veilige waarden voor de doorlatendheid te leiden: de doorlatendheid $2 \cdot 10^{-5}$ voor de losgepakte monsters is groter dan volgens de formules. Gezien de extreme waarden voor de porositeit die nodig zijn om de doorlatendheden van de verschillende monsters te verklaren, lijkt de invloed van de porositeit in de gebruikte formules wat aan de kleine kant.

6 Analyse stabiliteit in geval van granulaire onderlagen

Op basis van de meetresultaten is nagegaan wat het toepassen van granulaire lagen met de gemeten parameters voor consequenties kan hebben voor de veiligheid van de steenzetting. Daarbij is als volgt te werk gegaan. Voor een aantal cases zijn Steentoetsberekeningen uitgevoerd waarbij consequenties voor de mechanismen 'toplaagstabiliteit' en 'afschuiving' zijn onderzocht.

Voor de cases is uitgegaan van een tweetal toplagen met duidelijk verschillende leklengte: een zuilenzetting en een zetting van gekantelde blokken. Onder deze toplagen is een bijbehorende filterlaag van granulair materiaal aangenomen. Hieronder zijn een drietal onderlagen mogelijk:

0. Kleilaag;
1. Mijnsteen conform standaard eigenschappen;
2. Granulaire laag met ongunstige gemeten doorlatendheid.

De invloed van de onderlaag wordt voor het mechanisme toplaagstabiliteit inzichtelijk gemaakt door voor de zes combinaties (2 maal top- en filterlaag enerzijds en 3 maal onderlaag anderzijds) de golfhoogte te bepalen waarbij de toplaag nog juist stabiel is.

Voor het mechanisme afschuiving is voor de zes cases de dikte van de onderlaag bepaald waarbij de afschuiving nog juist goed scoort.

6.1 Eigenschappen voorbeeldconstructies

Hieronder volgt een opsomming van de eigenschappen van de cases die in de berekeningen zijn gebruikt.

Algemene kenmerken:

- Loodrechte golfaanval.
- Golfsteilheid = 0,03.
- Taludhelling 1 : 3,5.
- Maatgevend hoogwater (Toetspeil danwel ontwerppeil): NAP +3,0 m.
- Zetting bekleedt het volledige talud, van teen (NAP – 5m) tot maatgevend hoogwater.
- Horizontaal voorland (= niet relevant, omdat de teen zo diep ligt).
- De dijk heeft een zandkern.
- Soortelijke massa (zee)water: $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ (Watersysteem kust).
- De golfhoogte is niet afhankelijk van de waterstand.

Specifieke kenmerken van de verschillende lagen:

- Toplaag A: zuilen
 - toplaagdikte: $D = 0,35 \text{ m}$.
 - beton: $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$.
 - open oppervlak: $\Omega = 13\%$.
 - inwasmateriaal: $D_{15} = 6 \text{ mm}$.
 - porositeit inwasmateriaal: $n_f = 0,7$.
 - goed geklemd.
- Filterlaag A, te combineren met de toplaag van zuilen (= bovenste filterlaag in de berekening):
 - Steenslag.
 - laagdikte: $b_{f1} = 0,1 \text{ m}$.
 - korreldiameter: $D_{15f1} = 15 \text{ mm}$.

- porositeit: $n_{f1} = 0,35$ (defaultwaarde genoemd in tabblad *info* is 0,4; deze waarde is overeenkomstig [Kaste, 2013]).
- Toplaag B: gekantelde blokken:
 - top laagdikte: $D = 0,5$ m.
 - elementbreedte: $B = 0,25$ m.
 - elementlengte: $L = 0,5$ m.
 - beton: $\rho = 2300$ kg/m³.
 - spleetbreedte (stootvoeg = langsvoeg): $s = 2,5$ mm.
- Filterlaag B, te combineren met de toplaag van gekantelde blokken (=bovenste filterlaag in de berekening):
 - Steenslag.
 - laagdikte: $b_{f1} = 0,1$ m.
 - korreldiameter: $D_{15f1} = 5,2$ mm.
 - porositeit: $n_{f1} = 0,35$.
- Geotextiel: Aan het mechanisme materiaaltransport is geen aandacht besteed, dus het geotextiel is niet relevant.

Er zijn drie verschillende “onderlagen” van granulair materiaal in de berekeningen gebruikt, die in de berekeningen telkens zijn ingevoerd als 2^e filterlaag, waarbij de laagdikte b_{f2} in alle gevallen gelijk was aan 1,0 m. De overige parameters zijn hieronder gegeven. Merk op dat de waarden van de porositeit niet echt reële waarden betreffen, deze zijn slechts gekozen om verschillende doorlatendheden van de betreffende laag te realiseren:

- 2^e Filterlaag 1: dicht gepakt granulair materiaal:
 - korreldiameter: $D_{15f2} = 1,7$ mm (grootste aangetroffen waarde).
 - porositeit: $n_{f2} = 0,3$ (=defaultwaarde genoemd in tabblad *info*).
- 2^e Filterlaag 2: los gepakt granulair materiaal, k volgens de laboratoriummetingen:
 - korreldiameter: $D_{15f2} = 0,5$ mm.
 - porositeit: $n_{f2} = 0,108$ (=waarde waarbij de gelineariseerde doorlatendheid van deze laag uitkomt op $1 \cdot 10^{-5}$).
- 2^e Filterlaag 3: los gepakt granulair materiaal, k volgens de veldmetingen:
 - korreldiameter: $D_{15f2} = 0,5$ mm.
 - porositeit: $n_{f2} = 0,175$ (=waarde waarbij de gelineariseerde doorlatendheid van deze laag uitkomt op $1 \cdot 10^{-4}$).
- 2^e Filterlaag 4: los gepakt granulair materiaal, zeer forse doorlatendheid:
 - korreldiameter: $D_{15f2} = 0,5$ mm.
 - porositeit: $n_{f2} = 0,328$ (=waarde waarbij de gelineariseerde doorlatendheid van deze laag uitkomt op $1 \cdot 10^{-3}$).

Daaronder is in alle cases een onderlaag van klei gebruikt. Als er geen “onderlaag” van granulair materiaal aanwezig is in de berekening, dan is de onderlaag van klei 1,5 m dik. Is er wel een “onderlaag” van granulair materiaal, dan is de onderlaag van klei slechts 0,5 m dik. Zo is in alle berekeningen de laagdikte van filter en onderlagen dezelfde.

6.2 Resultaten toplaagstabiliteit

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van Steentoets2010 versie 1.14 (november 2013). Het tabblad Toetsing is hierbij gebruikt: er is dus geen veiligheidsfactor in de berekening opgenomen.

De toplaagstabiliteit van de zuilenzettingen blijkt niet te worden beïnvloed door het inwisselen van 1,0 meter klei van de onderlaag voor een tweede filterlaag van granulair materiaal. Door de tussenresultaten te raadplegen is geconstateerd dat de leklengte van de steenzetting wel

iets wordt beïnvloedt. Maar per saldo is de golfhoogte waarbij de toplaag instabiel wordt steeds dezelfde. Uit de meldingen uit het rekenproces blijkt dat de stabiliteit met klemming wordt begrensd. Daarom zijn dezelfde berekeningen, maar dan zonder klemming uitgevoerd. Zoals mocht worden verwacht, blijkt het effect wat Filterlaag 1 heeft op de leklengte als er niet wordt gerekend met klemming te leiden tot een lagere toelaatbare golfhoogte: 1,47 m voor Filterlaag 1 tegen 1,59 m voor alleen een kleilaag of Filterlaag 2. Op de gebruikelijke wijze rekening houden met de doorlatendheid van de onderlaag (op basis van de D_{15} en de standaard porositeit) is de stabiliteit dus 7,5% lager. Als echter wordt gerekend met de doorlatendheid die in het laboratorium is gemeten ($k = 2 \cdot 10^{-5}$) dan is de toplaagstabiliteit hetzelfde als bij een ondoorlatende kleilaag. Als wordt gerekend met een doorlatendheid $k = 1 \cdot 10^{-4}$, de waarde die uit de infiltratiemeting (falling head test) is gevonden, dan reduceert dat de toelaatbare golfhoogte met 1 cm ten opzichte van de berekening zonder 2^e filterlaag maar met een 1,5 m dikke onderlaag van klei.

Als naar de uitkomsten voor de gekantelde blokken wordt gekeken, dan is een vergelijkbare trend te zien als voor de slecht geklemde zuilenzetting, alleen net iets extremer. De zetting met de 2^e Filterlaag 1 kan slechts een 21% lagere golfhoogte verdragen als deze wordt beoordeeld op basis van de toplaagstabiliteit. Een onderlaag met een 2^e filter laag met een doorlatendheid van $2 \cdot 10^{-5}$ is niet significant ongunstiger voor de toplaagstabiliteit in vergelijking met een onderlaag van klei. Een doorlatendheid van $1 \cdot 10^{-4}$ levert een 2 cm lagere toelaatbare golfhoogte op.

Dat de resultaten voor de zetting van gekantelde betonblokken wat verder uiteenlopen dan voor de zuilenzetting is logisch. De doorlatendheid van de granulaire uitvulling onder de zetting van gekantelde betonblokken is minder doorlatend dan die van de zuilenzetting. Daarom levert de toevoeging van dezelfde doorlatende onderlaag bij de zetting van gekantelde blokken een grotere bijdrage aan de hydraulische capaciteit van de filterlagen ($\Sigma b_f \cdot k$) dan bij zuilenzetting. Oftewel de verandering is voor zuilenzetting relatief gezien het minst.

Toplaag	1e + 2e Filterlaag	Onderlaag	Golfhoogte	Overschot afschuiving
Toplaag A: geklemd	A	1,5 m klei	2,50	1,23
Toplaag A: geklemd	A + 1 ($k = 8 \cdot 10^{-3}$)	0,5 m klei	2,50	1,23
Toplaag A: geklemd	A + 2 ($k = 2 \cdot 10^{-5}$)	0,5 m klei	2,50	1,23
Toplaag A: ongeklemd	A	1,5 m klei	1,59	1,55
Toplaag A: ongeklemd	A + 1 ($k = 8 \cdot 10^{-3}$)	0,5 m klei	1,47	1,59
Toplaag A: ongeklemd	A + 2 ($k = 2 \cdot 10^{-5}$)	0,5 m klei	1,59	1,55
Toplaag A: ongeklemd	A + 3 ($k = 1 \cdot 10^{-4}$)	0,5 m klei	1,58	1,55
Toplaag A: ongeklemd	A + 4 ($k = 1 \cdot 10^{-3}$)	0,5 m klei	1,56	1,56
Toplaag B: ongeklemd	B	1,5 m klei	2,34	1,41
Toplaag B: ongeklemd	B + 1 ($k = 8 \cdot 10^{-3}$)	0,5 m klei	1,84	1,58
Toplaag B: ongeklemd	B + 2 ($k = 2 \cdot 10^{-5}$)	0,5 m klei	2,34	1,41
Toplaag B: ongeklemd	B + 3 ($k = 1 \cdot 10^{-4}$)	0,5 m klei	2,32	1,42
Toplaag B: ongeklemd	B + 4 ($k = 1 \cdot 10^{-3}$)	0,5 m klei	2,21	1,46

Tabel 6.1 Kritieke golfhoogte en overschot afschuiving berekend met Steentoets voor de verschillende cases

De verkennende berekeningen tonen aan dat het vervangen van een deel van de kleilaag door een niet goed verdichte breed gegradeerde granulaire laag (mijnsteen of fosforslakken) zoals bij dit onderzoek op enkele plekken is aangetroffen onder zettingen, volgens de gebruikelijke ontwerpmethodologie zou moeten leiden tot het aanpassen van het ontwerp op toplaagstabiliteit. Als echter bij de beoordeling rekening wordt gehouden met de werkelijk aangetroffen doorlatendheid, dan blijkt de invloed van een onderlaag met een doorlatendheid

van 10^{-4} m/s op de toplaagstabiliteit verwaarloosbaar. Als de doorlatendheid van de granulaire onderlaag echter orde 10^{-3} m/s of groter is, dan is de reductie in sterkte voor de ongekleemde blokken significant.

6.3 Resultaten afschuiving

De in paragraaf 6.1 beschreven cases zijn met Steentoets 2010 (versie 1.14) ook beoordeeld voor het mechanisme afschuiving. Daarvoor is gebruik gemaakt van dezelfde berekeningen als voor de toplaagstabiliteit, oftewel voor de verschillende varianten is de golfhoogte afgeregeld op de sterkte van de toplaag, zie Tabel 6.1. In de laatste kolom van deze tabel wordt het klei/filter-dikte overschot gepresenteerd. Indirect geeft deze parameter het oordeel met betrekking tot afschuiving: als de parameterwaarde negatief is, dan is het oordeel negatief.

In de berekende overschotten zie je alleen de toelaatbare golfhoogte terug. Het vervangen met een 1 meter dikke filterlaag ten opzichte van de 0-variant met alleen een kleilaag, levert hetzelfde kleilaag-overschot; alleen de 12 cm lagere bezwijkgolfhoogte bij de zuilenzetting leidt tot een 8 cm hoger overschot in verband met afschuiving.

In deze Steentoetsberekeningen is de granulaire onderlaag echter ingevoerd als tweede filterlaag. Dat is terecht zolang het afschuifvlak onder de kleilaag ligt. Als echter de granulaire onderlaag weinig tot geen samenhang heeft, dan is dat niet vanzelfsprekend. Nu bestaat er geen kant en klare oplossing voor de beoordeling op afschuiving van een zetting op filter op een relatief doorlatende onderlaag. Maar als het daadwerkelijk om ongebonden materiaal gaat met een doorlatendheid als die van zand, dan is het logisch om de constructie ook te berekenen volgens de formules als lag hij op zand: het afschuifvlak kan immers ook in de granulaire onderlaag optreden. Dit betekent dat de sterkte van de bekleding voor die berekening slechts bestaat uit het gewicht van de toplaag en van de granulaire uitvulling (eerste filterlaag). De (sterkte-)parameters die in deze formules voor zand worden gebruikt moeten uiteraard dan wel in overeenstemming met die van de daadwerkelijk aanwezige granulaire laag worden gekozen.

De achtergrond en formules voor huidige berekening van de afschuiving van een steenzetting op zand, staan gegeven in het TR steenzettingen, deel Achtergronden, paragraaf 4.2 [TAW 2003]. De beoordeling is gebaseerd op de volgende formule:

$$\Delta D + (1 - n_f) \Delta_f b_f > d_s - 2,8 \cdot (1 - n_z) \Delta_z \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right) \sqrt{\frac{T_p k}{n_z W_L}} \quad (6.1)$$

Met:

$$d_s = \min \left(0,11 \cdot H_s \left(\frac{1,56 \cdot T_p^2 \cdot \tan(\alpha)}{H_s} \right)^{0,8}; 1,5 H_s \right) \quad (6.2)$$

$$k = \frac{g n_f^3 D_{15}^2}{160 \nu (1 - n_f)^2} \quad (6.3)$$

Waarin:

D	dikte van de toplaag [m]
Δ	relatieve dichtheid van de toplaagelementen [-]
b_f	dikte van de filterlaag [m]
n_z	porositeit van het zand [-]
Δ_z	relatieve dichtheid van de zandkorrels [-]
W_L	luchtgehalte in het zand [-]
n_f	porositeit van het filter [-]
Δ_f	relatieve dichtheid van de filterkorrels [-]

ϕ	interne wrijvingshoek in het zand [°]
T_p	golfperiode [s]
k	doorlatendheid van het zand [m/s]
D_{15}	representatieve korreldiameter filterlaag [m]
ν	viscositeit van water [m ² /s]
α	taludhelling [°]

Voor diverse parameters in deze formules worden in de beoordeling conform Steentoets standaard waarden gebruikt:

$$\begin{aligned}n_z &= 0,4 \\ \Delta_z &= 1,65 \\ W_L &= 0,1 \\ (1 - n_f)\Delta_f &= 1 \\ \phi &= 40^\circ\end{aligned}$$

Voor het berekenen van de stabiliteit van een zetting op een granulaire laag ligt het voor de hand om niet al deze parameters één op één over te nemen. Bij de uitwerking wordt uitgegaan van:

$$\begin{aligned}\Delta_z &= 1,65 \\ W_L &= 0,1 \\ (1 - n_f)\Delta_f &= 1\end{aligned}$$

Daarmee kan vergelijking (6.1) worden herschreven tot:

$$\Delta D + b_f > d_s - 14,6 \cdot (1 - n_z) \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right) \sqrt{\frac{T_p k}{n_z}} \quad (6.4)$$

Bij de uitwerking van de formules zoals deze in Steentoets zijn geïmplementeerd voor de steenzetting op een ondergrond van zand is voor de hoek van inwendige wrijving (ϕ) een enigszins optimistische standaard waarde van 40 graden (reëel als het zand goed is verdicht) aangehouden. Een niet granulaire onderlaag, bijvoorbeeld puingranulaat 0-40 mm, heeft echter een bredere gradering dan zand. Rekenen met een wat hogere hoek van inwendige wrijving ligt dan ook voor de hand. Evenzo zal ook de porositeit in geval van een brede gradering wat lager kunnen zijn. Daarom is de invloed van deze parameters verkend.

In *Tabel 6.2* zijn de uitkomsten voor verschillende cases verzameld. De laagdikten van top- en 1^e filterlaag zijn zoals gegeven in paragraaf 6.1 voor de cases zuilen en blokken; de hydraulische randvoorwaarden zijn de kritieke waarden die zijn bepaald in paragraaf 6.2 op basis van de toplaagstabiliteit (basisberekening).

constructie	n_z [-]	ϕ [°]	k [m/s]	tekort(-) / over(+) [m]
zuilen ongeklemd	0,4	40	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,24
zuilen ongeklemd	0,3	40	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,16
zuilen ongeklemd	0,4	45	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,22
zuilen ongeklemd	0,4	40	$1 \cdot 10^{-5}$	-0,39
zuilen ongeklemd	0,4	40	$1 \cdot 10^{-3}$	+0,24
zuilen ongeklemd*	0,4	40	$1,5 \cdot 10^{-3}$	+0,38
blokken	0,4	40	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,60
blokken	0,3	40	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,51
blokken	0,4	45	$1 \cdot 10^{-4}$	-0,58
blokken	0,4	40	$1 \cdot 10^{-5}$	-0,76
blokken	0,4	40	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,07
blokken*	0,4	40	$1,5 \cdot 10^{-3}$	+0,09

Tabel 6.2 Beoordeling van standaard steenzettingen op filter op afschuiving in de granulaire laag onder de filterlaag (* doorlatendheid op basis van $D_{15} = 0,4$ mm)

Het blijkt uit deze verkennende berekeningen dat een wat grotere hoek van inwendige wrijving voor het granulaire materiaal wel iets, maar niet genoeg bijdraagt aan de sterkte om de constructie stabiel te laten zijn. Een wat geringere porositeit, die verdedigbaar is in geval van een zeer brede gradering, draagt wat meer bij aan de sterkte. Verreweg de belangrijkste parameter voor de stabiliteit is de doorlatendheid: hoe doorlatender hoe beter.

Formule 5.3, waarvan de uitkomsten gegeven zijn in Tabel 6.2, is opgesteld uitgaande van de veronderstelling dat de doorlatendheid van de granulaire laag bekend is. In de formules geïmplementeerd in Steentoets, wordt de doorlatendheid van de granulaire laag echter berekend met behulp van formule 5.3. In Tabel 6.2 is ook een berekening opgenomen met $k = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die doorlatendheid is met behulp van formule 5.3 berekend uitgaande van een $D_{15} = 0,4$ mm. Evenals bij de berekening van de doorlatendheid van de granulaire laag als 2^e filterlaag, blijkt ook hier de berekening van de doorlatendheid op basis van de D_{15} , een relatief hoge doorlatendheid op te leveren. In tegenstelling tot het mechanisme toplaagstabiliteit, leidt voor het mechanisme afschuiving een hoge doorlatendheid van de granulaire (onder)laag tot een relatief stabiele constructie.

Als we ons beperken tot de in deze studie gemeten doorlatendheden dan blijkt de stabiliteit voor beide toplaagtypen op een granulaire onderlaag onvoldoende omdat er afschuiving in de granulaire laag op het zwaarst aangevallen punt op kan treden. Dat leidt dus tot een oordeel "geavanceerd".

Merk op dat als er onder de breed gegradeerde granulaire onderlaag nog een kleilaag aanwezig is, dan zal de freatische lijn in de granulaire onderlaag zich heel snel aanpassen aan de stilwaterlijn. Oftewel er mag niet op worden gerekend dat op de top van de storm de freatische lijn in de granulaire onderlaag lager is dan de buitenwaterstand.

Omdat in de rekenregels die de basis vormen voor de beoordeling op afschuiving van een zetting op een zandondergrond een zeer conservatieve waarde voor het luchtgehalte in de onderlaag is gehanteerd, is deze voor de case met gekantelde blokken (Toplaag B) gevarieerd. Daarbij is bepaald welke combinaties van luchtgehalte en doorlatendheid de grens van de stabiliteit beschrijven. Tabel 6.3 geeft een overzicht van de resultaten. Het blijkt dat als geringere luchtgehalten worden aangenomen voor het granulaire materiaal, dat de constructie dan stabiel is bij geringere doorlatendheden.

Luchtgehalte W [-]	Doorlatendheid k [m/s]
0,1 = standaard waarde	$1,2 \cdot 10^{-3}$
0,05	$6 \cdot 10^{-4}$
0,01	$1,2 \cdot 10^{-4}$
0,008	$1 \cdot 10^{-4}$

Tabel 6.3 Combinaties van luchtgehalte en doorlatendheid die nog juist tot een beoordeling stabiel leiden voor de case met de gekantelde blokken

Een betere schatting voor representatieve waarden voor het luchtgehalte en de hoek van inwendige wrijving voor de in de praktijk toegepaste puingranulaat-sorteringen zou moeten worden gebaseerd op resultaten van materiaalproeven.

Mochten betere schattingen voor representatieve waarden niet leiden tot voldoende veilige constructies, dan is het altijd nog een optie om in een proefopstelling op ware schaal te testen of afschuiven van een dergelijk type constructieopbouw daadwerkelijk optreedt als herhaaldelijk de waterstand binnen enkele seconden aanzienlijk wordt verlaagd.

Op grond van berekeningen voor een aantal voorbeeldconstructies met de formules die normaliter voor een bekleding op zand worden toegepast, wordt geconcludeerd dat vervangen van een onderlaag van klei door een ongebonden granulaire laag met de doorlatendheid van zand moet leiden tot het herzien van het ontwerp op afschuiving. Dat de bekleding voldoet volgens die afschuifregels blijkt geen vanzelfsprekendheid.

7 Conclusies en aanbevelingen

Ten aanzien van het verzamelen van gegevens met betrekking tot de onderlaag kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In veel gevallen bleek het mogelijk om de volledige opbouw van een steenzetting tot op de oorspronkelijke grondslag in kaart te brengen via een gat in de toplaag dat verkregen is door het lichten van slechts een enkele zetsteen.
- Bij een Basaltonzetting kan het beste het grootste element van de standaard set uit de zetting worden genomen om het onderzoek te doen.
- Het is mogelijk dat een toplaagelement dusdanig geklemd is dat het kapot moet worden gemaakt met een jekker. Herstel van de toplaag na afloop van het onderzoek kan dan plaatsvinden door of een nieuw element van dezelfde afmetingen en soortelijk gewicht te plaatsen of door in het gat beton te storten.
- Door gebruik te maken van een kernboor kunnen bij goed gebonden granulaire lagen redelijk ongeroerde materiaalmonsters uit de onderlaag worden genomen. In het puingranulaat, waarbij binding niet is aangetroffen, bleek monsternamen op deze wijze onmogelijk.
- Afhankelijk van de samenhang in de onderlaag zal de boorgatwand instabiliteit vertonen. Als dieper wordt geboord in onvoldoende samenhangend materiaal moet een casing (plastic buis) in het boorgat worden geplaatst om het boorgat open te houden. Met een kernboor van een kleinere diameter of met andere hulpmiddelen kan vervolgens tot grotere diepte worden bemonsterd. Overige handzame gereedschappen om de laagdikte van onderlagen te bepalen: riversideboor, Edelman-boor, guts (voor klei) en ramguts.



Figuur 7.1 Inbrengen ramguts

- De onderzijde van de onderlaag is niet altijd goed traceerbaar. En wel om de volgende redenen: laag op het talud kan bij een goede doorlatendheid van de onderlaag door de toestroming van water het boorgat instabiel worden. Een casing toepassen maakt dat dieper kan worden geboord, maar een grote steen in de onderlaag kan dan mogelijk niet worden gepasseerd. Bedacht moet worden dat resten van oude constructies (voorlandbestorting, perkoenpalen) niet altijd even zorgvuldig zijn opgeruimd bij het opbouwen van een nieuwe taludbekleding. De bestekstekening schetst slechts het ideaalbeeld.
- Volledig herstel van de bekleding kan binnen ca. 6 uur na aanvang van het onderzoek op de betreffende locatie. Aldus is het tot op een niveau van NAP mogelijk om de constructiegegevens op deze manier in te winnen. Wel moet worden geconstateerd dat laag op het talud door de aanwezigheid van grondwater in het boorgat, de mogelijkheden om nauwkeurige waarnemingen te doen worden beperkt. Gelaagdheid in de onderlaag en de mate van binding kunnen bijvoorbeeld alleen worden vastgesteld aan de hand van het geroerde materiaal wat uit het boorgat omhoog wordt gebracht. Inspectie (foto's maken) van de wand van het boorgat is bij toestroom van (grond)water onmogelijk.
- Het bleek mogelijk om alle gegevens van de constructie en onderlaag te verzamelen door slechts één steen uit de toplaag te lichten, maar het is een lastige klus om de onderlaag te bemonsteren door de top- en filterlaag heen. Veel eenvoudiger is het om gegevens tijdens de aanleg te verzamelen, net voordat de filter- en toplaag worden aangebracht. Op dat moment kunnen de laagdikte dan wel de gelaagdheid van de onderlaag worden vastgesteld. Daarnaast is ook een eerste meting van de doorlatendheid en de mate van verkitting leerzaam. Uiteraard kunnen in de aanlegfase geen gegevens worden verkregen over veranderingen van de constructie-eigenschappen die in de loop van langere tijd zouden kunnen optreden. Degradatie van het materiaal van de onderlaag en dichtslaan van het geotextiel zijn processen die zich pas in de loop van meerdere jaren en vele getijwisselingen kunnen manifesteren.
- Geconstateerd is dat in de getijzone de mijnsteen onder de dijkbekleding van de polder 'De breede watering bewesten Yerseke' veel ondoorlatender was dan hoger op het talud. Verondersteld wordt dat de ligging in de getijzone hierbij een rol speelt. Mogelijk komt dit doordat verdichting van de mijnsteen onder optimaler vochtcondities heeft plaatsgevonden als gevolg van de voorafgaande passage van een hoogwater.
- De doorlatendheid van de onderlaag kan in grote lijnen al in het veld worden beoordeeld. Daarbij geeft één van de volgende waarnemingen veelal uitsluitend of we te maken hebben met een doorlatendheid als die van klei, of een als die van fijn zand, of zelfs nog doorlatender:
 - Materiaal van de onderlaag wat tot een klomp met een dicht oppervlak is verkneed heeft nabij dat oppervlak een doorlatendheid die ordes kleiner is dan die van fijn zand.
 - Van een geboorde kern van gebonden materiaal kan de doorlatendheid worden bepaald door (in een kuiltje) op het oppervlak wat water te gieten. Zijgt het water snel het monster in als was het zand dan is de doorlatendheid ordes groter dan die van klei. Maar blijft het op het oppervlak staan als was het klei, dan is de doorlatendheid ook in de orde van die van klei.
 - Hoog op het talud, boven de grondwaterstand, kan eenzelfde waarneming, maar dan op een wat grotere schaal, worden gedaan door een emmer water in het boorgat te gieten en de snelheid van wegzijgen waar te nemen.
 - Laag op het talud kan vlotte toestroming van (grond)water uit de boorgatwand naar het boorgat een goede indicatie zijn voor een doorlatende onderlaag. Als het

boorgat niet met een klokpompje is droog te trekken, dan is de doorlatendheid groter of gelijk aan die van zand.

Ten aanzien van de alternatieve materialen toegepast als onderlaag kan het volgende worden geconcludeerd:

- Materiaal waarvan een klomp met een dicht oppervlak kan worden gekneed, is in principe geschikt om te verwerken tot een ondoorlatende onderlaag. Merk op dat het vochtgehalte van het materiaal bij de verwerking (zowel bij het kneden van een klomp als bij de daadwerkelijke verdichting van de onderlaag) bepalend is voor het te bereiken resultaat. Een adequate verdichting is echter wel noodzakelijk voor het bereiken van een redelijk ondoorlatende onderlaag.
- De alternatieve materialen die gebruikt zijn als onderlaag bij steenzettingen worden vaak toegepast als funderingsmateriaal voor wegconstructies. Toepassen van deze materialen verbetert de toegankelijkheid van het talud in de getijzone voor zwaar materieel in de uitvoeringsfase. In een wegfunderingslaag is een overmaat aan fijn materiaal niet wenselijk omdat de poriën in het korrelskelet dan volledig of zelfs overvuld raken. De draagkracht neemt dan af doordat de geringe doorlatendheid leidt tot een lagere ongedraineerde sterkte. Om een relatief ondoorlatende onderlaag te verkrijgen is een voldoende hoeveelheid fijn materiaal echter wel noodzakelijk. Graderingen die zijn geoptimaliseerd om te fungeren als funderingsmateriaal voor wegconstructies zijn eigenlijk dus per definitie ongeschikt om een ondoorlatende onderlaag voor een steenzetting te creëren.

Verkennde berekeningen met Steentoets2010 van een aantal voorbeeldconstructies hebben tot de volgende conclusies ten aanzien van de stabiliteit geleid:

- Uit de Steentoetsberekeningen blijkt dat de relatief grote doorlatendheid van verschillende "onderlagen", zoals deze zijn aangetroffen, voor de toplaagstabiliteit van geklemde zuilenzettingen geen invloed heeft als de stabiliteit wordt bepaald door het criterium van de maximale toplaagstabiliteit. Voor gekantelde betonblokken, en zuilen waarvoor de stabiliteit niet begrensd wordt door de maximum stabiliteit volgens Steentoets (zoals zuilen met wat dikkere filterlaag dan in het voorbeeld is doorgerekend) kunnen de aangetroffen materialen volgens de ontwerpberekening wel flinke consequenties hebben voor de toplaagstabiliteit. Echter, als met de daadwerkelijk in het veld aangetroffen doorlatendheid wordt gerekend, dan blijkt er vrijwel geen invloed meer te zijn.
- Voor het mechanisme afschuiving blijkt voor een tweetal standaard cases het vervangen van een kleilaag door een ongebonden granulaire laag (puingranulaat) tot onvoldoende sterkte te kunnen leiden. Bij de berekening van deze cases is gebruik gemaakt van de formules die ook de basis vormen voor de beoordeling op afschuiving van een steenzetting op zand. Of voor de onderzochte dijklocaties ook daadwerkelijk sprake is van onvoldoende sterkte, zal moeten worden vastgesteld met voor die constructies specifieke constructiegegevens en randvoorwaarden.

Aanbevolen wordt om de constructies waarbij (ungebonden) puingranulaat als onderlaag is toegepast, allereerst te controleren op afschuiving door gebruik te maken van de rekenregels als was de bekleding direct op zand aangelegd. Teneinde de berekening te kunnen baseren op zo goed mogelijke materiaalparameters wordt aanbevolen voor de gebruikte sorteringen resultaten van materiaalproeven te verzamelen. Het gaat daarbij om de eigenschappen doorlatendheid, maximum luchtgehalte in natte toestand en hoek van inwendige wrijving.

Als deze berekeningen aantonen dat deze constructies, ondanks de (conservatieve) aanname dat er geen cohesie is, stabiel zijn, dan is het niet relevant of het materiaal van de onderlaag

wel of niet gebonden is. Veldonderzoek naar de eventuele sterkte van het materiaal in de onderlaag kan dan achterwege blijven. Als de constructie volgens deze methodiek niet stabiel is, is aanvullend onderzoek noodzakelijk.

A Foto's monsters doorlatendheidsmetingen



Figuur A.1 Locatie 1: Mijnsteen (M2-1, optimaal verdicht: $3 \cdot 10^{-10}$ m/s; M2-2, losse pakking: $1 \cdot 10^{-5}$ m/s)



Figuur A.2 Locatie 2: Mijnssteen (5A-1, losse pakking: $3 \cdot 10^{-5}$ m/s; 5A-2, goed verdicht: $7 \cdot 10^{-6}$ m/s)



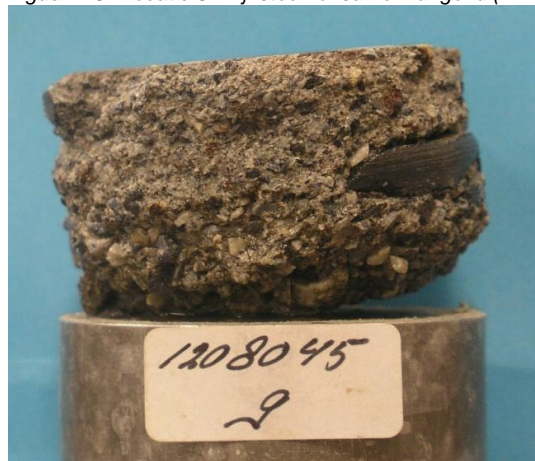
Figuur A.3 Locatie 3: Mijnsteen, 3 maal "ongeroerde" monsters van verschillende dieptes ($1 \cdot 10^{-9}$ m/s; $1 \cdot 10^{-9}$ m/s; $3 \cdot 10^{-8}$ m/s)



Figuur A.4 Locatie 4: Slak (1A-1, losse pakking: $2 \cdot 10^{-6}$ m/s; 1A-2, dichte pakking: $4 \cdot 10^{-7}$ m/s)



Figuur A.5 Locatie 5: Mijnsteen onsamenvastend (4A-1, losse pakking: $3 \cdot 10^{-5}$; 4A-2, goed verdicht: $5 \cdot 10^{-6}$)



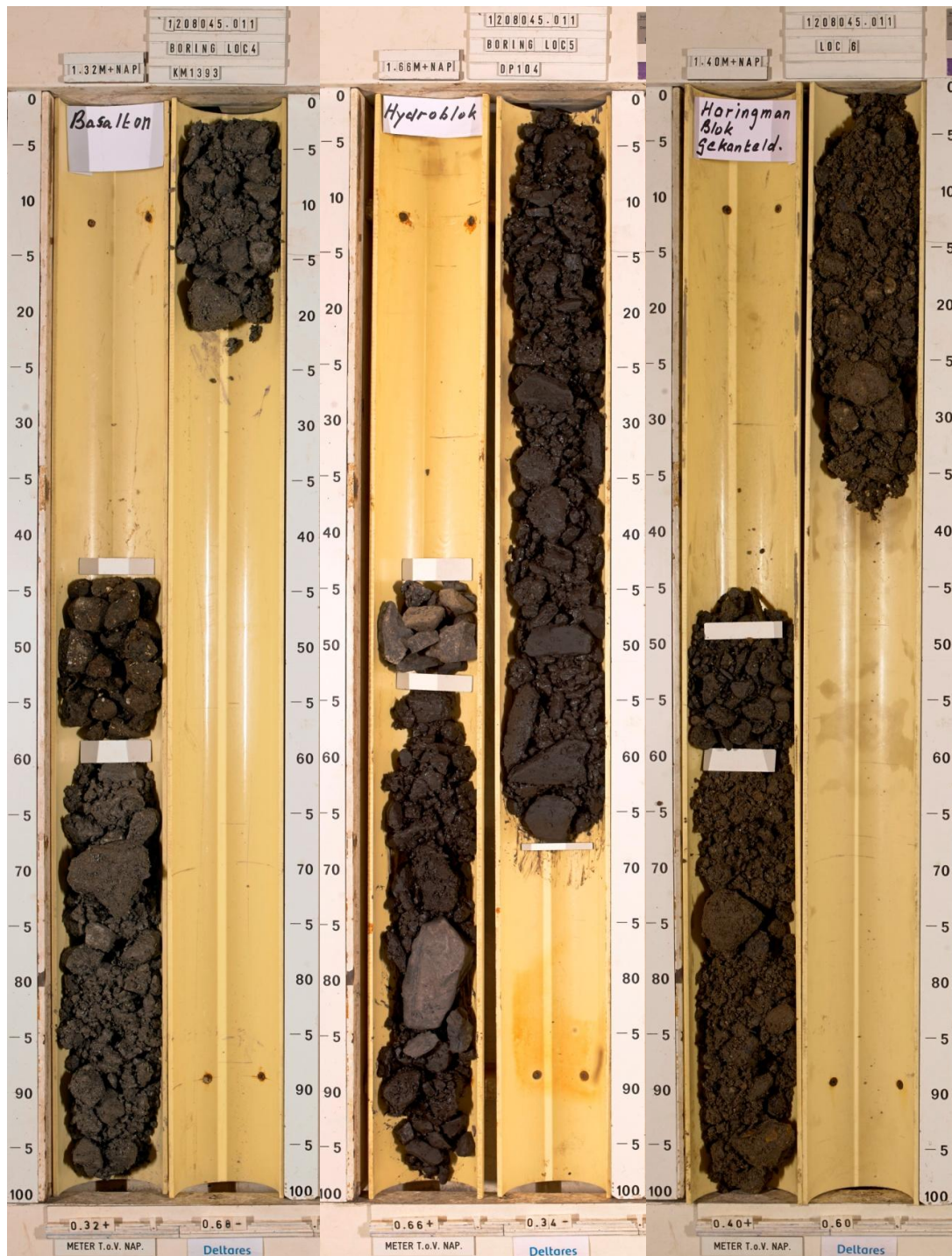
Figuur A.6 Locatie 7: Slak, verkitte top van onderlaag: (9, ongeroerd: $8 \cdot 10^{-6}$ m/s)

B Foto's uitgelegde materialen

Van de bemonsterde lagen (filterlaag en onderlaag) zijn materialen in vier of vijf zakken per boring naar het laboratorium overgebracht. Om een indruk te geven van de aangetroffen materialen is een beperkte hoeveelheid van deze materialen in de juiste volgorde gelegd, als betrof het een continue boring. Vergelijk ook de overeenkomstige boorbeschrijvingen in hoofdstuk 4.



Figuur B.1 Overzicht aangetroffen materialen op locatie 1 (links), 2 (midden) en 3 (rechts)



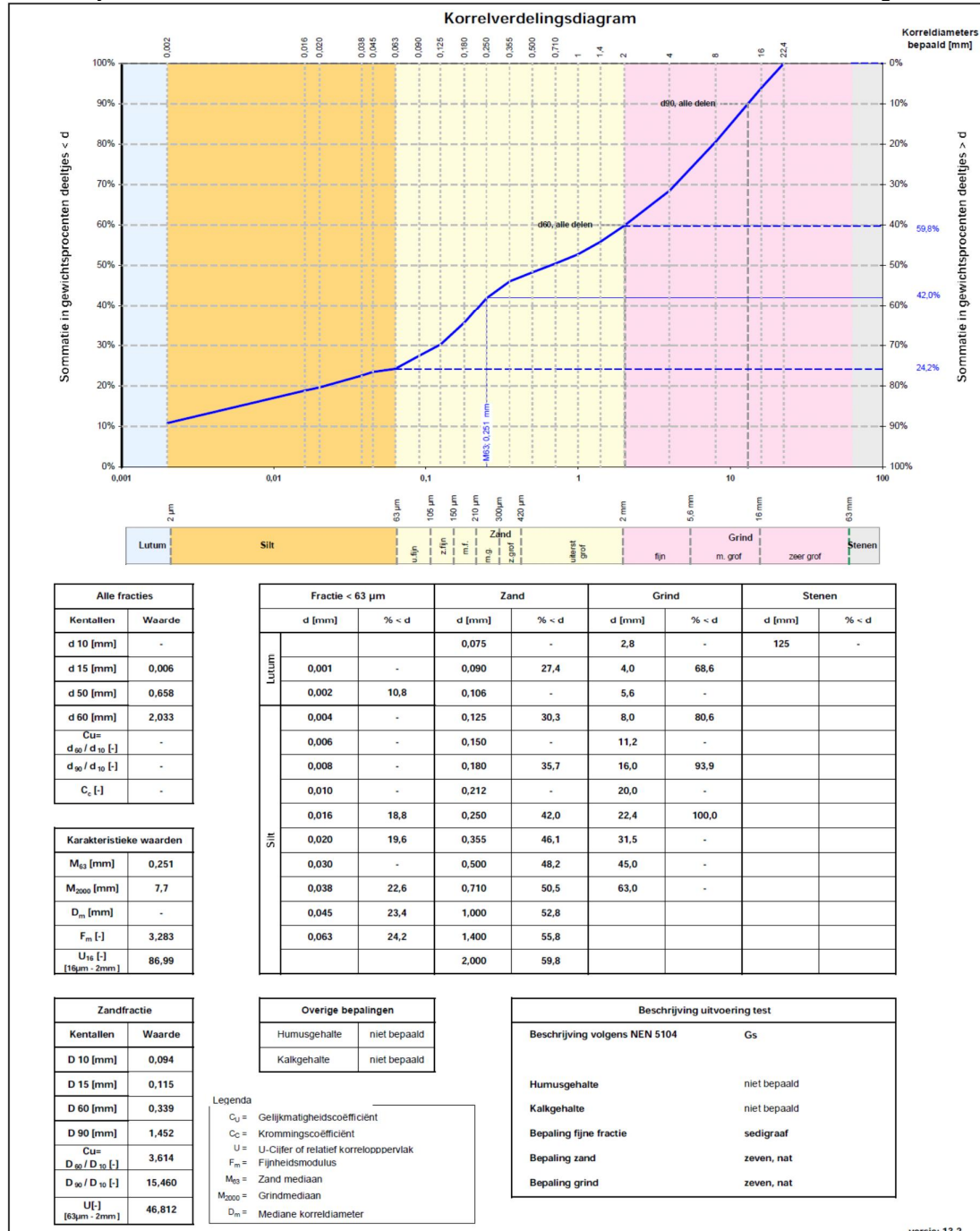
Figuur B.2 Overzicht aangetroffen materialen op locatie 4 (links), 5 (midden) en 6 (rechts)



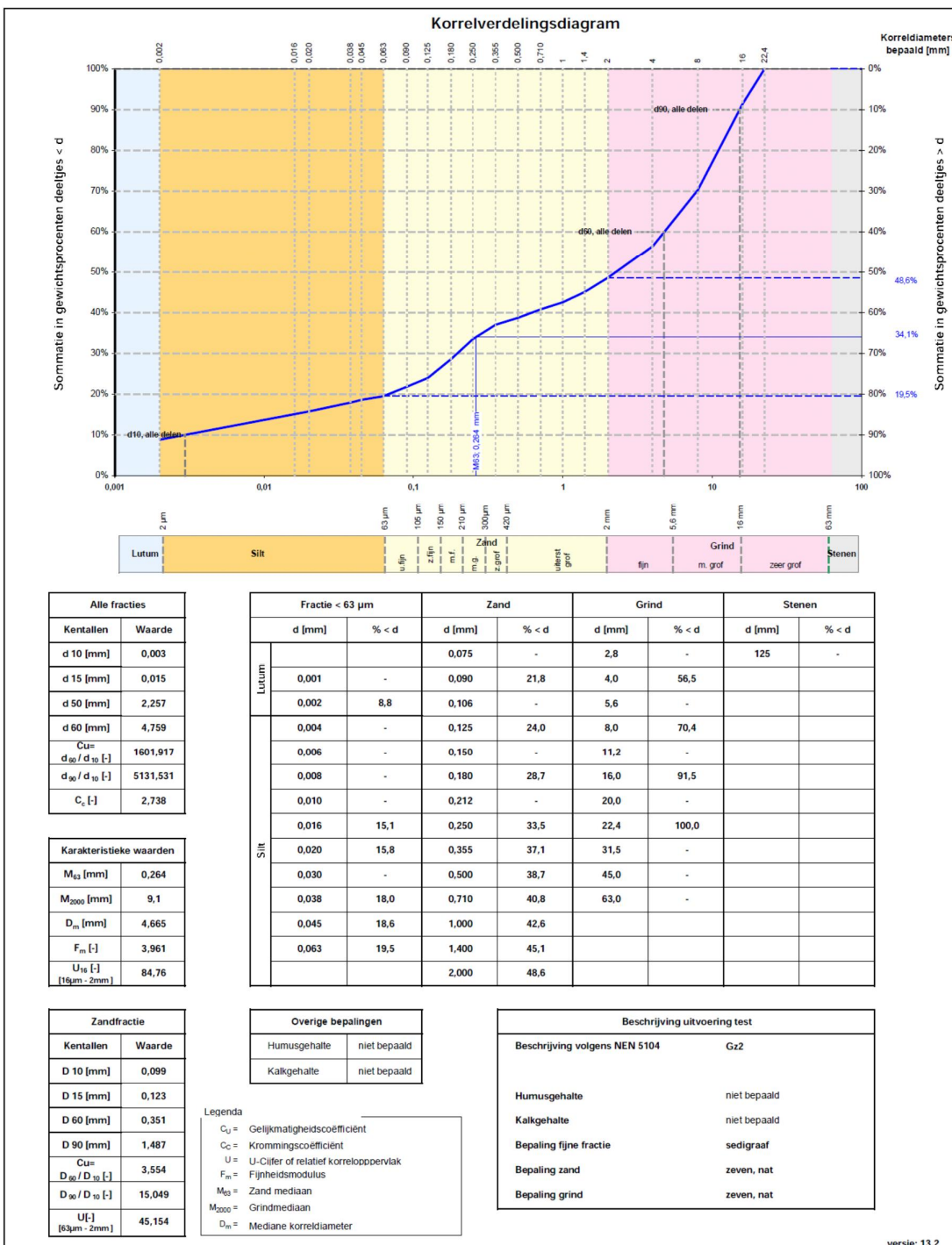
Figuur B.3 Overzicht aangetroffen materialen op locatie 7 (links) en 8 (rec)

C Korrelverdelingen

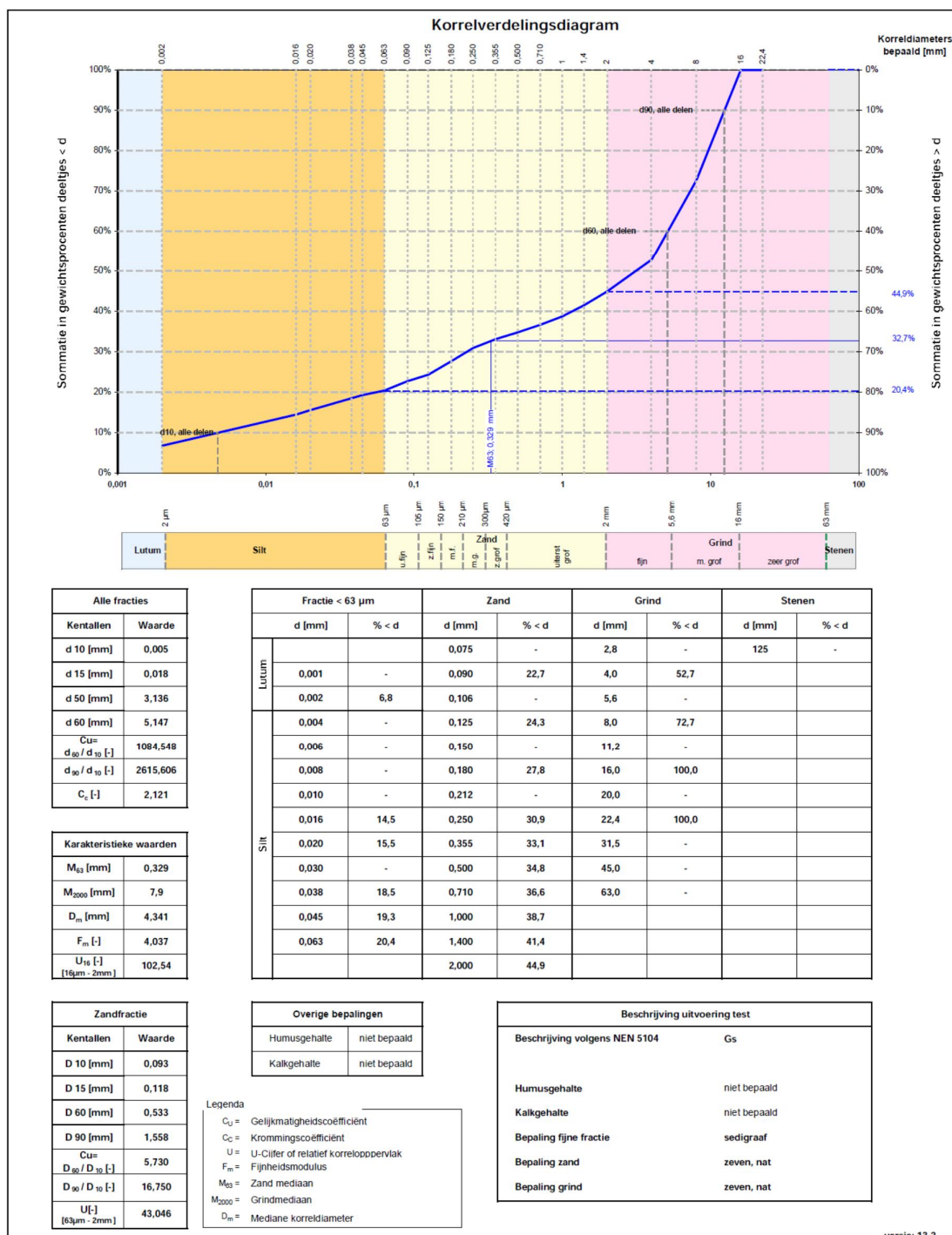
Van de monsters waarvan de doorlatendheid is bepaald is ook een korrelverdeling bepaald. Deze bijlage geeft de resultaten van de door Wiertsema & Partners (Tolbert) uitgevoerde zeefanalyses. De monsternrs. komen overeen met die van de doorlatendheidsmetingen.



Figuur C.1 Locatie 1, monsternr. M2-1

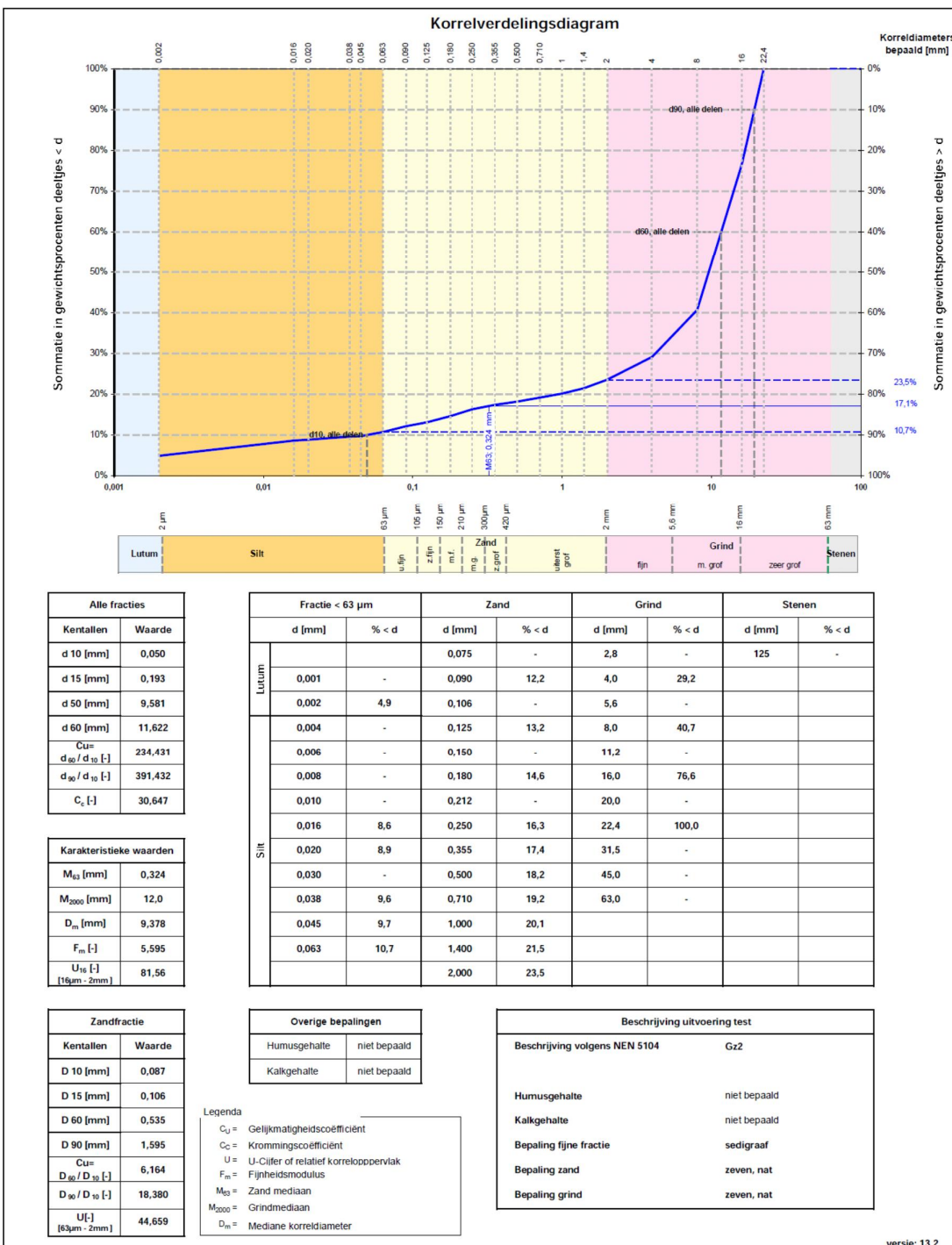


Figuur C.2 Locatie 1, monsternr. M2-2.

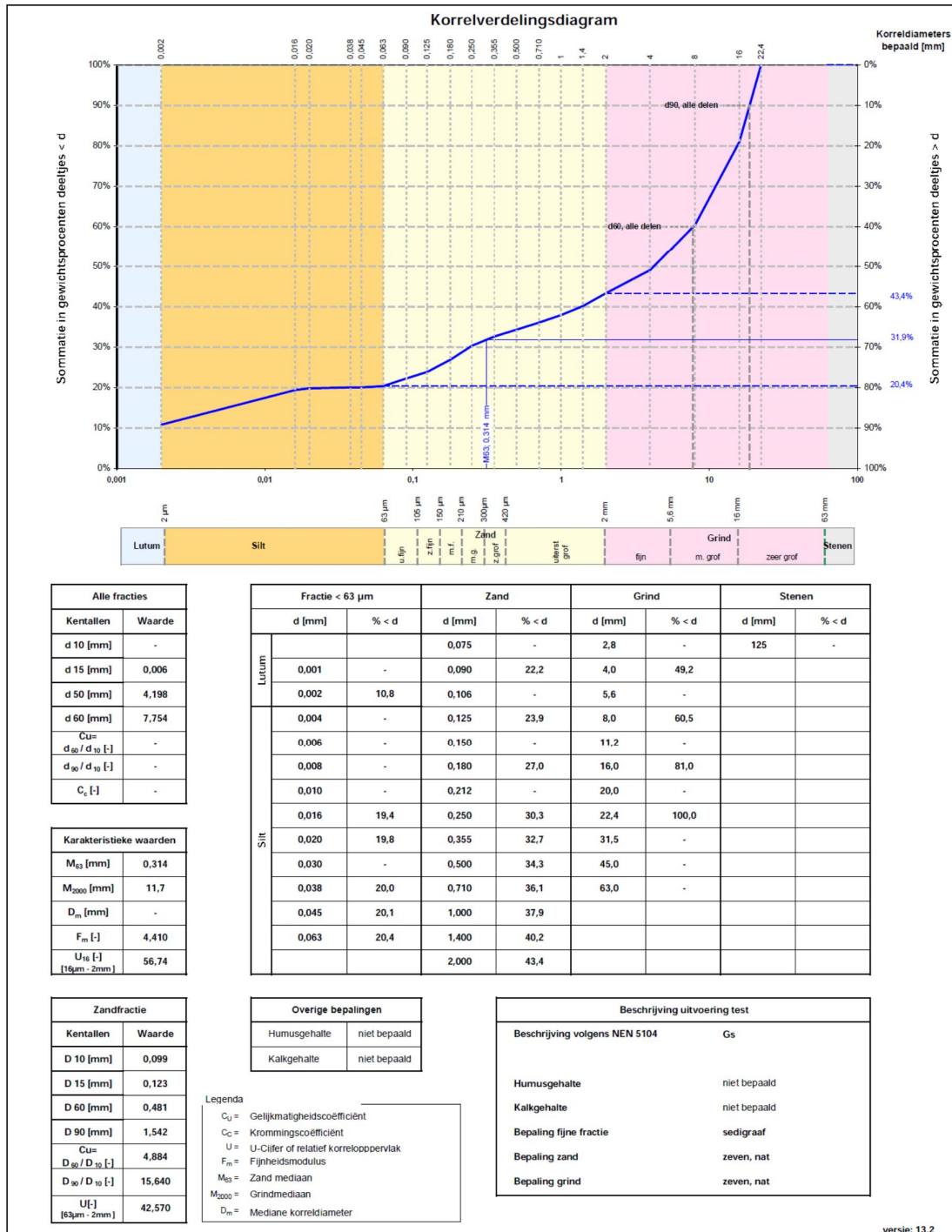


versie: 13.2

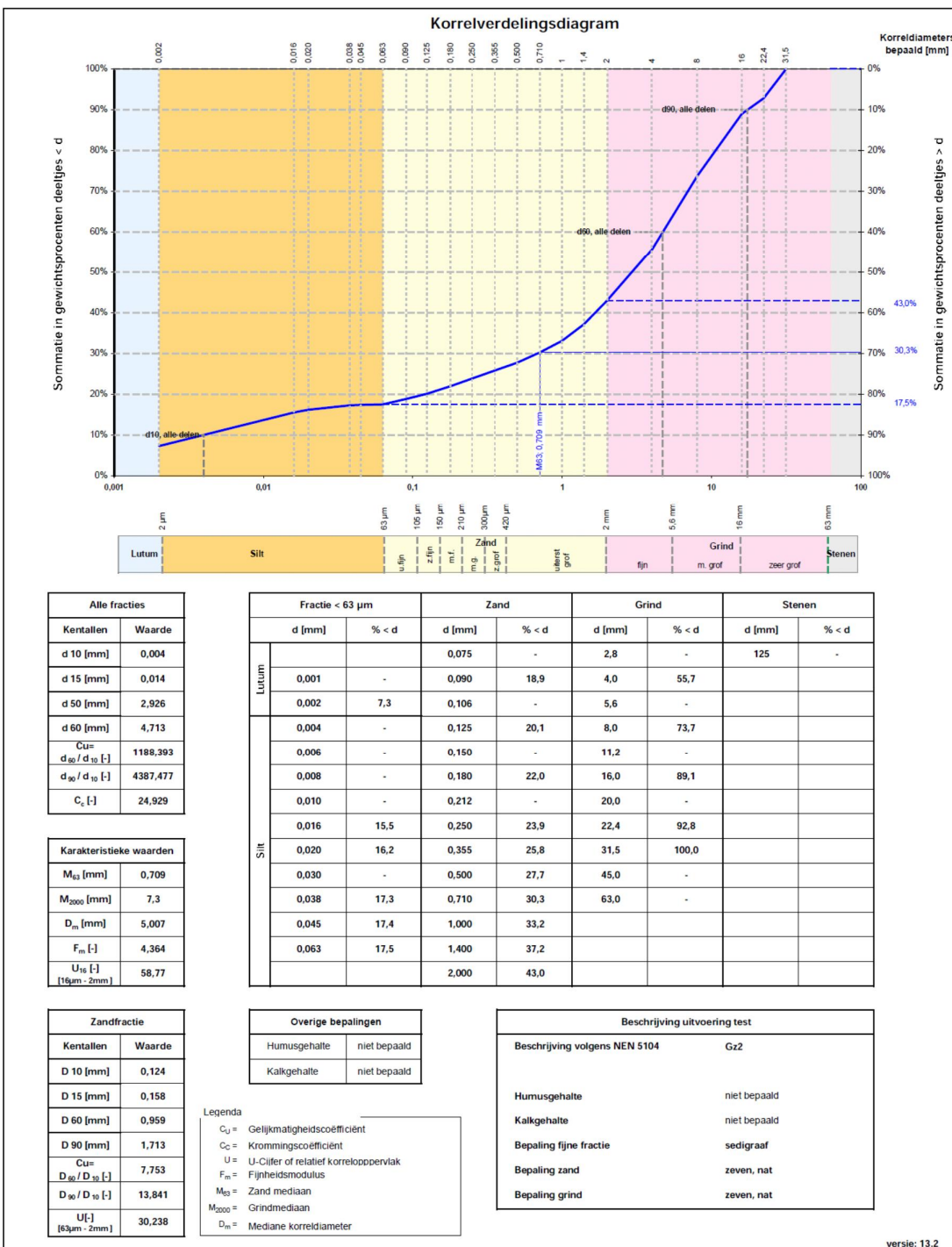
Figuur C.3 Locatie 2, monsternr. 5A-1



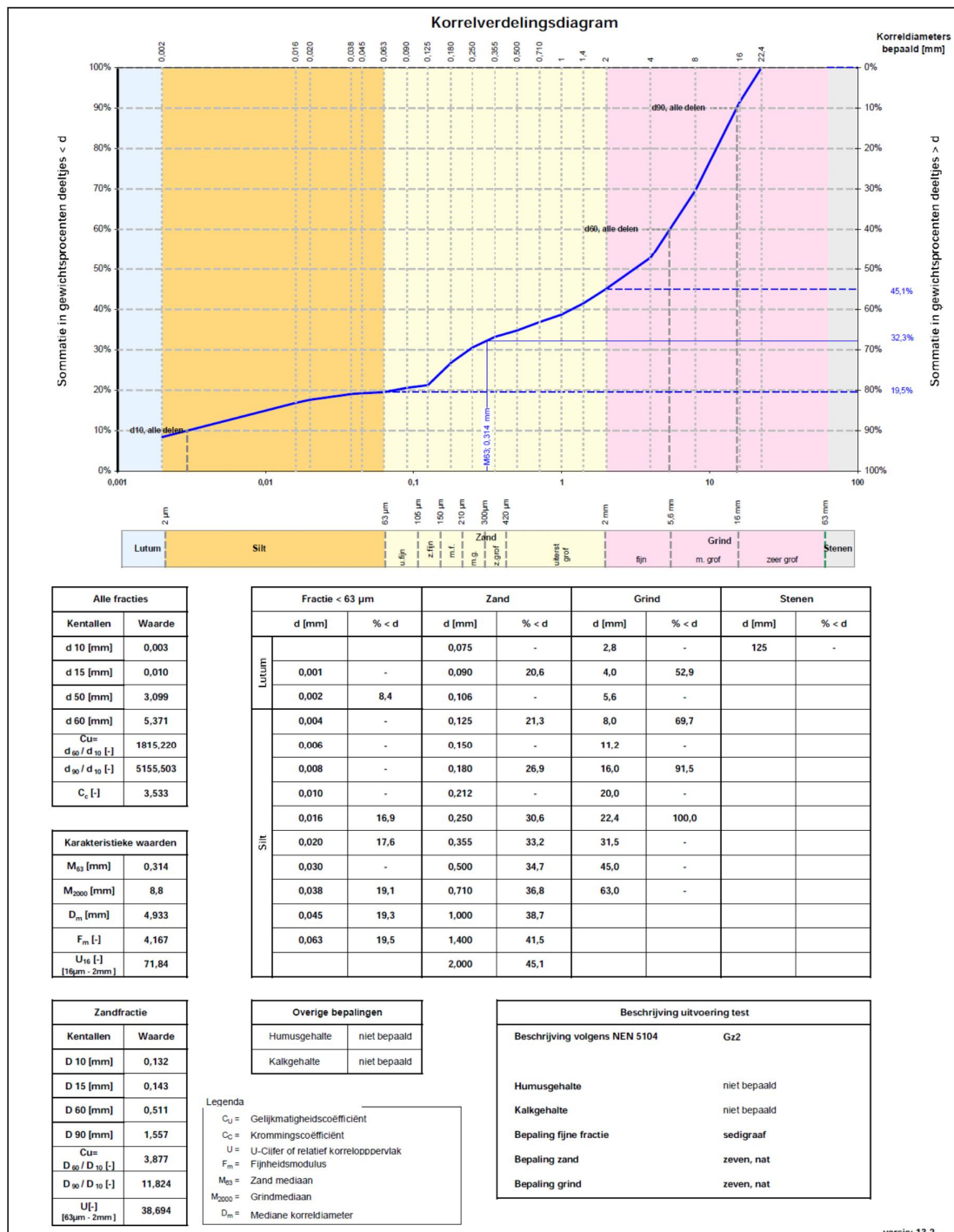
Figuur C.4 Locatie 2, monsternr. 5A-2



Figuur C.5 Locatie 3, monsternr. 7A-1

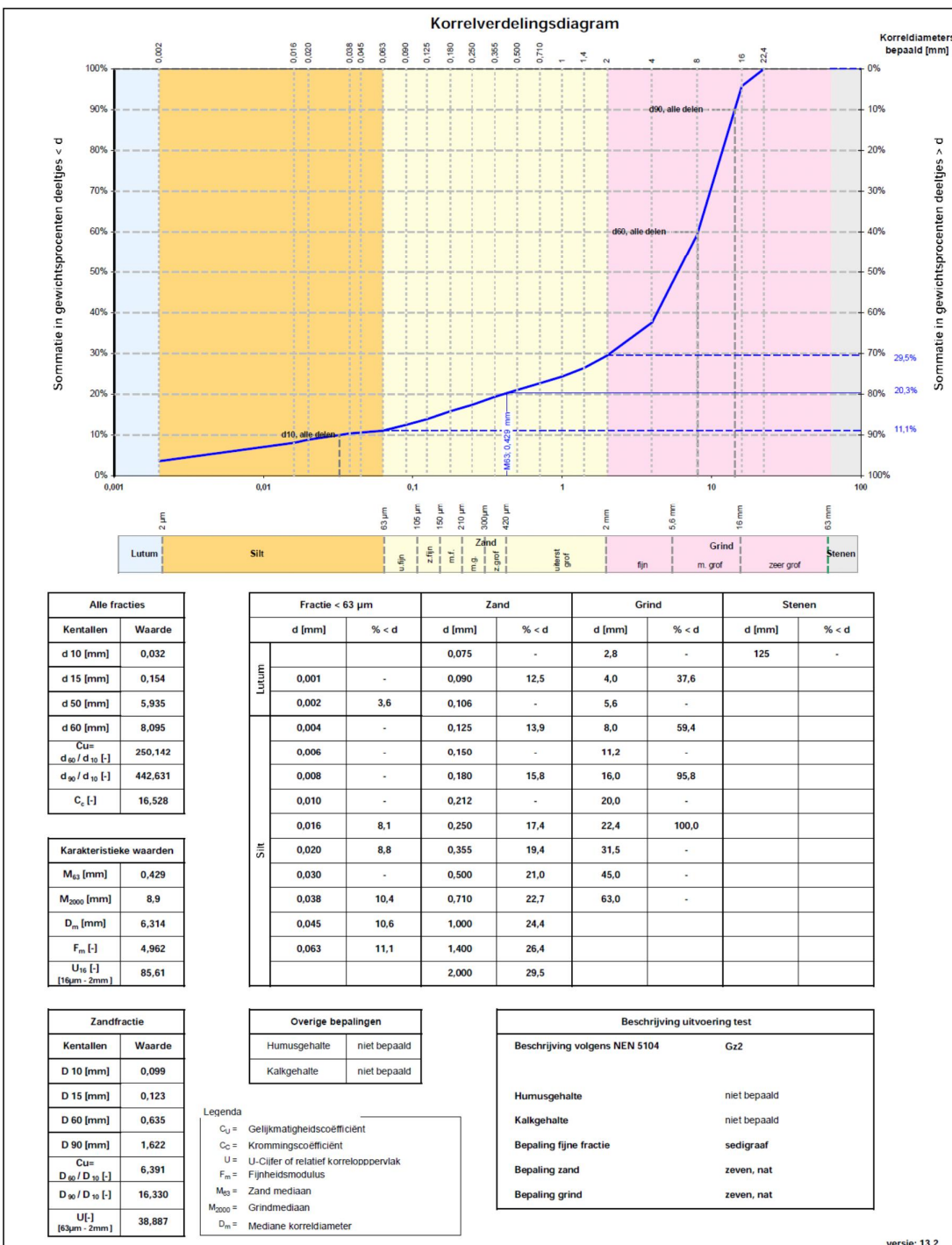


Figuur C.6 Locatie 3, monsternr. 8A-1

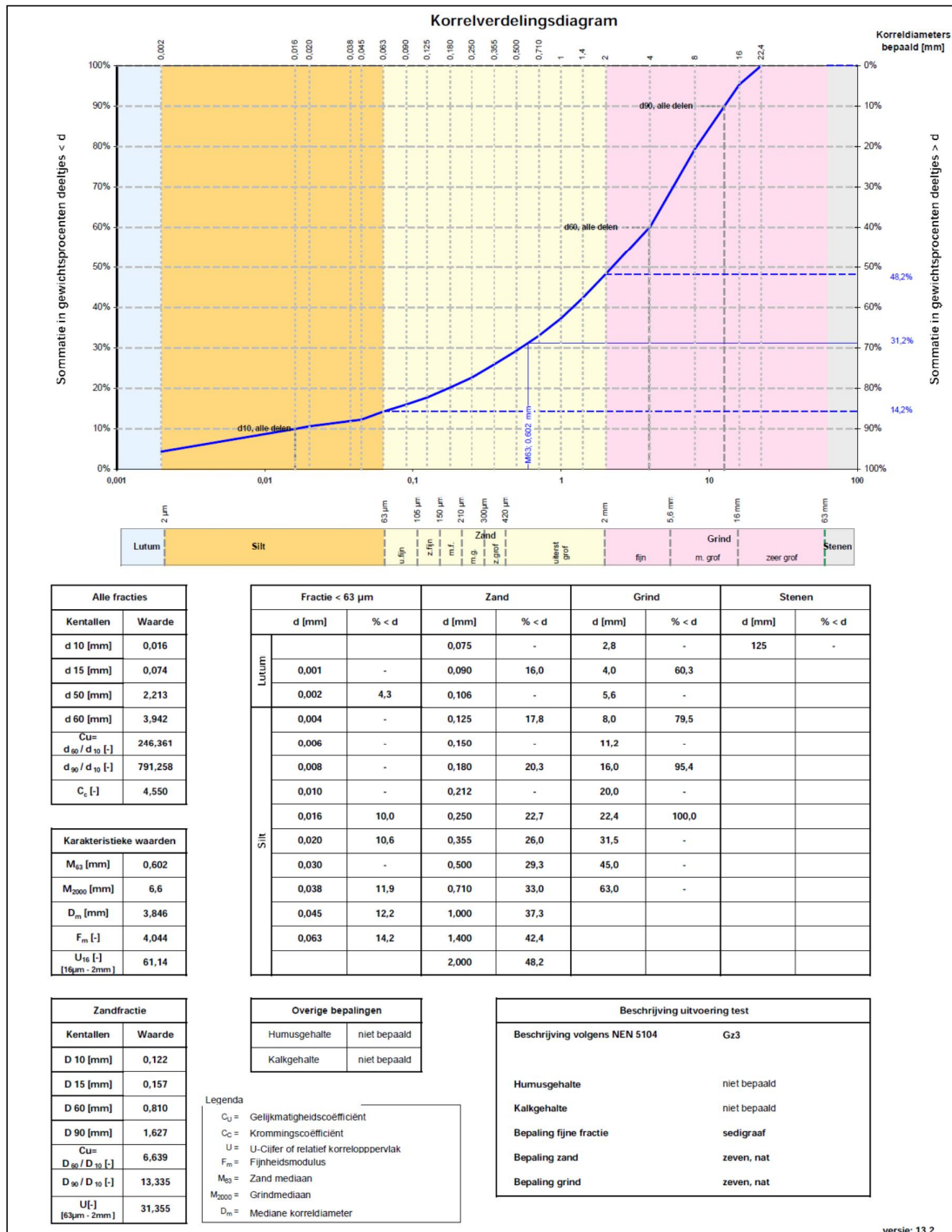


Figuur C.7 Locatie 3, monsternr. 11

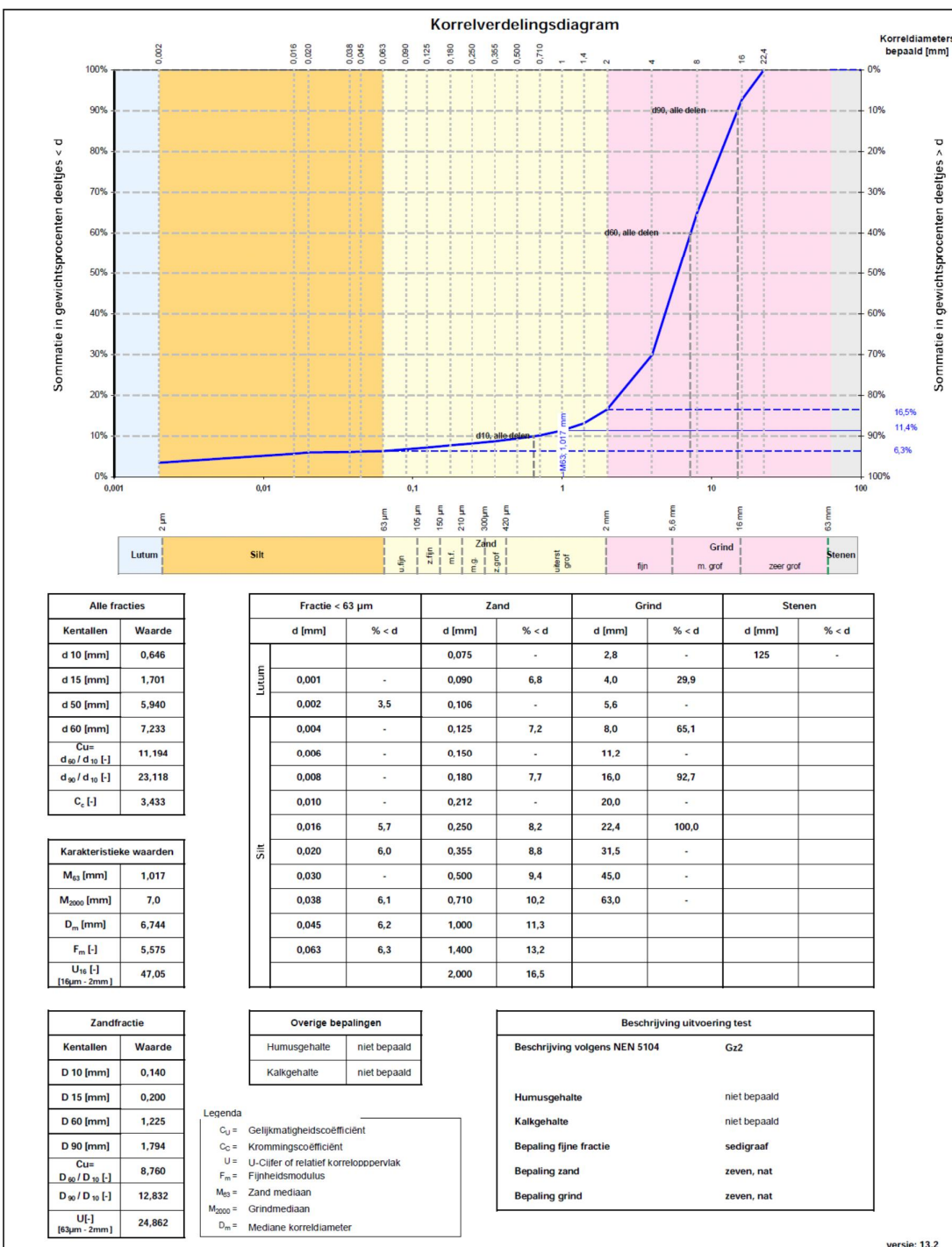
versie: 13.2



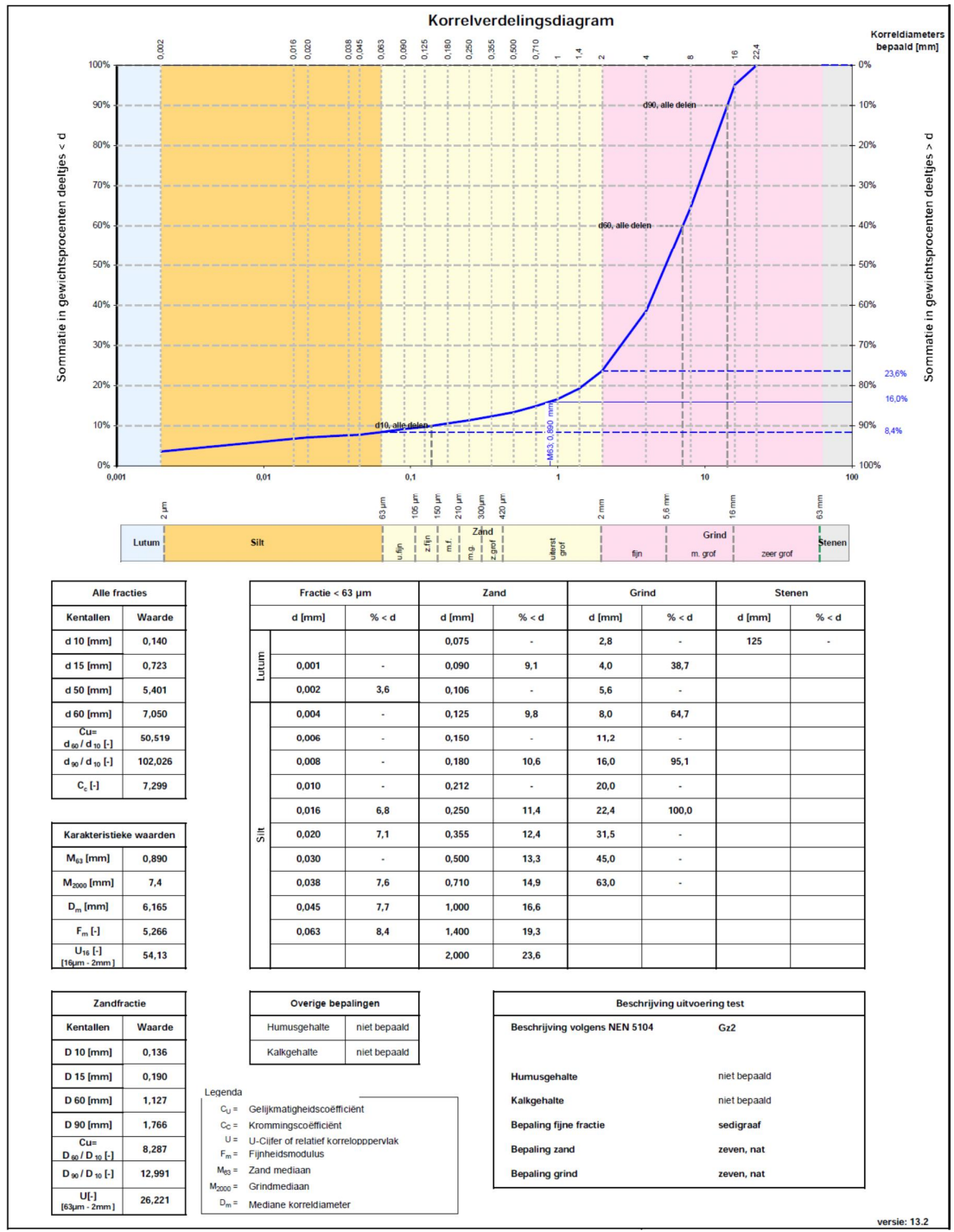
Figuur C.8 Locatie 4, monsternr. 1A-1



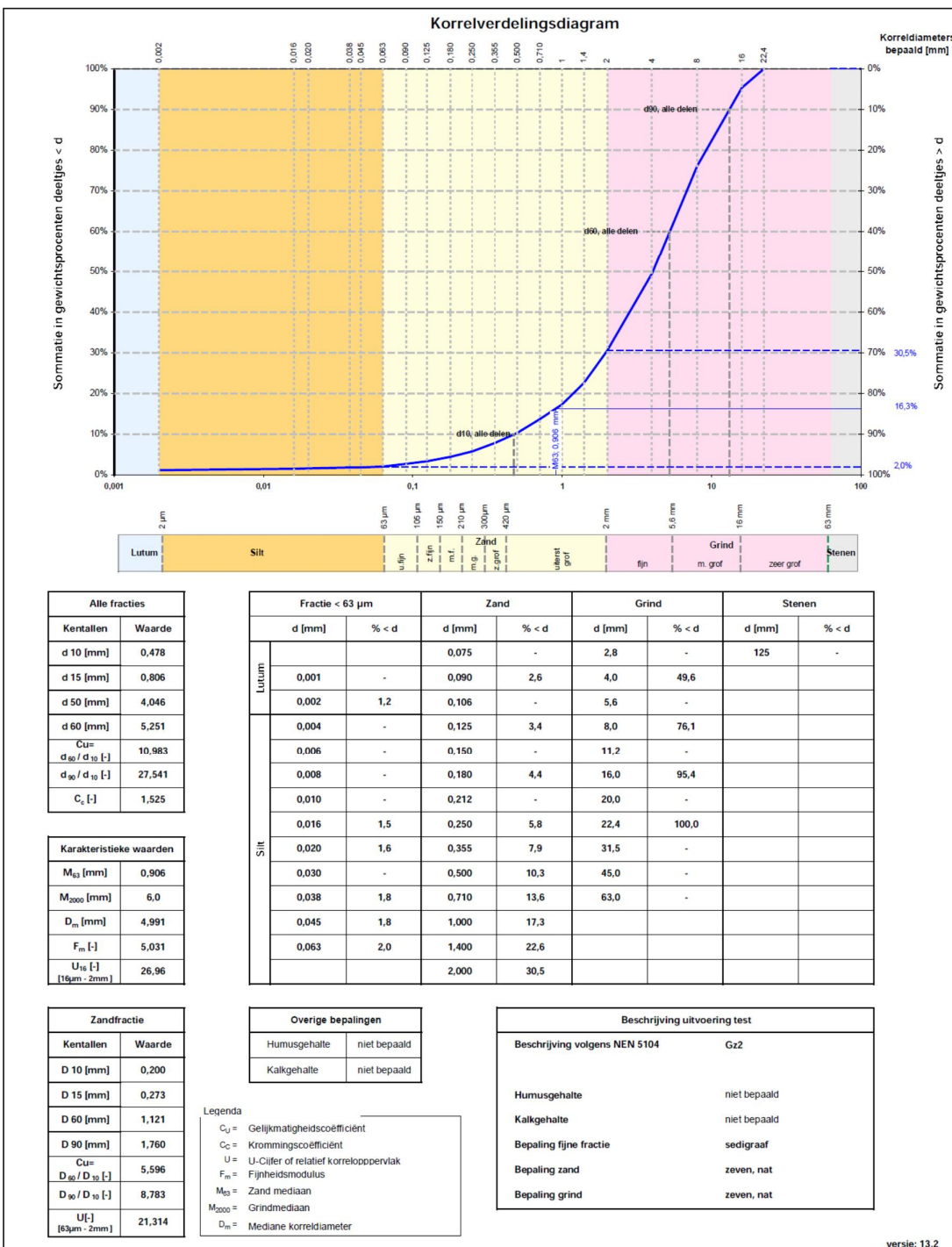
Figuur C.9 Locatie 4, monsternr. 1A-2.



Figuur C.10 Locatie 5, monsternr. 4A-1.



Figuur C.11 Locatie 5, monsternr. 4A-2.



Figuur C.12 Locatie 7 monsternr. 9.

Literatuur

`t Hart, 2013 *Het beoordelen van onderlagen van steenbekledingen* R. `t Hart, Deltares rapport 1206424-014, Delft, februari 2013.

Kaste, 2013 *Veiligheidsfactor voor ontwerpen met Steentoets2010 voor betonzuilen* Dorothea Kaste, M. Klein Breteler, Deltares rapport 1206424-010-HYE-0003, Delft, november 2013.

Klein Breteler, 2013 *Documentatie Steentoets2010, Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen (Versie 1.15/1.14)*, M. Klein Breteler, Deltares rapport 1208045-009, november 2013.

[TAW 2003] *Technisch Rapport Steenzettingen*, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, In 3 delen: Ontwerp, Toetsing en Achtergronden, (ISBN 90-369-5551-3), RWS-DWW-2003-097, december 2003