

SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding

Fase 4B Predictie Vechtdijk

Andre van Hoven
Gijs Hoffmans
Henk Verheij
Gert Jan Akkerman
Jentsje van der Meer

1201541-000

Titel
SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Waterdienst	1201541-000	1201541-000-GEO-0023	47

Trefwoorden
Golfverslag, gras, erosie, golfverslagsimulator, infiltratie, onverzadigde stroming

Samenvatting

In het kader van SBW (Sterkte en Belastingen Waterkeringen) wordt onderzoek verricht naar de sterkte van grasbekledingen op de kruin en het binnentalud bij golfverslag. Hoofddoel van dit onderzoek is het verbeteren van toetsregels voor het VTV 2011. Het onderzoek bestaat uit cycli rondom grootschalige destructieve proeven op bestaande dijken. In het kader van onderhavige Fase 4B Predictie Vechtdijk, is een predictie gemaakt van erosie van gras, erosie rondom objecten, erosie bij de overgang tussen talud en horizontaal en infiltratie. Er is gekozen voor de Vechtdijk als proeflocatie, omdat deze dijk een zeer hoog zandhalte heeft. De verwachting is dat op het talud geen erosieschade zal optreden en dat de erosiediepte rondom de te beproeven boom beperkt blijft tot 0,8 m. Infiltratie zal optreden en leiden tot een hydrostatisch drukverloop onder het talud tot hoogte van circa 2,5 m boven het binnendijks maaiveld. Onderaan het talud zal de waterdruk zelfs hoger worden dan hydrostatisch. Micro-instabiliteit wordt, ondanks het zandige talud en het ultredende verhang, niet verwacht. Hiervoor zijn de taluds te flauw.

Referenties

Projectplan - Golfverslag en Sterkte Grasbekleding d.d. 10 augustus 2007

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mei. 2010	Andre van Hoven		Jan Blinde		Harm Aantjes	
2	Juni 2010	Gijs Hoffmans		Bas Hofland			
		Henk Verheij					
		Gert Jan Akkerman					
		Jentsje van der Meer					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Kader en projectopzet	1
1.2 Onderzoekslocatie Vechtdijk hoog zandgehalte	2
1.3 Leeswijzer	3
2 Hydraulische parameters	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Afleiding cumulatieve belastingen voor verschillende condities	5
2.3 Discussie	7
2.4 Voorbeeld	7
3 Erosie	9
3.1 Erosiemechanismen	9
3.2 Uitgangspunten predictie	12
3.3 Predictie	13
3.3.1 Slijterosie	14
3.3.2 Losscheuren	15
3.3.3 Erosie oprit / teentalud	17
3.3.4 Erosie rond boom	18
4 Infiltratie	21
4.1 Infiltratietijd	21
4.2 Infiltratieberekening eenvoudig	22
4.2.1 Interpretatie infiltratietesten	22
4.2.2 Predictie eenvoudige methode	23
4.3 Infiltratieberekening Van Genuchten model	26
4.3.1 Dijkopbouw en materiaaleigenschappen	26
4.3.2 Begin- en randvoorwaarden voor de infiltratieberekening	29
4.3.3 Resultaten PlaxFlow	31
4.3.4 Predictie PlaxFlow	37
5 Micro-instabiliteit	39
5.1 Formules micro-instabiliteit Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies	39
5.1.1 Uitspoelen	39
5.1.2 Afschuiven	40
5.1.3 Conclusie op basis van de formules TRWG	41
5.2 Transportformule benadering erosieproces micro-instabiliteit	41
6 Conclusies en aanbevelingen	43
6.1 Conclusies	43
6.1.1 Hydraulische parameters	43
6.1.2 Erosie	43
6.1.3 Infiltratie	43
6.1.4 Micro-instabiliteit	44
6.2 Aanbevelingen	44
6.2.1 Hydraulische parameters	44
6.2.2 Erosie	45

6.2.3	Infiltratie	45
6.2.4	Micro-instabiliteit	45

Bijlage(n)

Bijlage A	Grondonderzoek	1
Bijlage B	Relatie verzadiging – potentiaal en relatieve	doorlatendheid 1

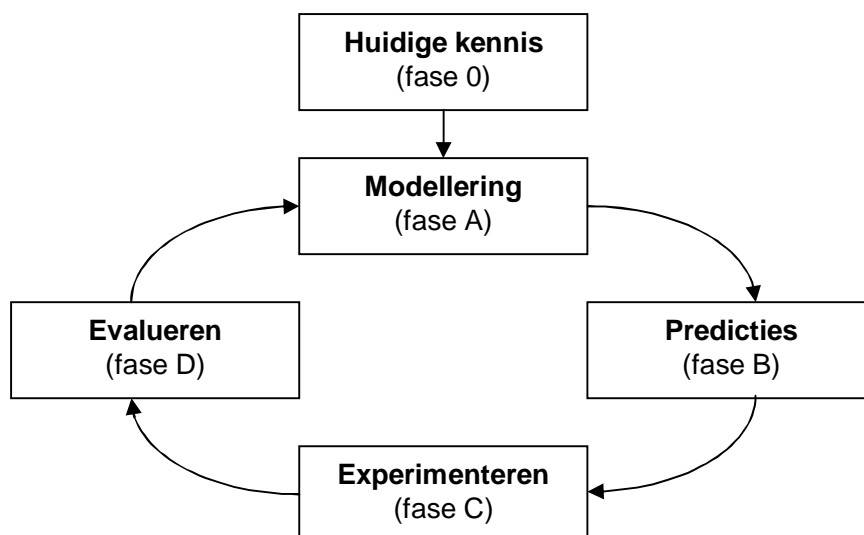
1 Inleiding

1.1 Kader en projectopzet

Het project Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding is een onderdeel van het Rijkswaterstaatproject Sterkte en Belastingen Waterkeren (SBW). Het doel van dit project is het in kaart brengen van het bezwijkmechanisme van een grasbekleding bij golfoverslag en het afleiden van praktische toets- en ontwerpformules. Het project is beschreven in het Projectplan - Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding d.d. 10 augustus 2007. De resultaten van het onderzoek moeten uiteindelijk worden verwerkt in drie eindproducten: een Technische Rapport, een voorstel voor toetsregels voor het VTV 2011 en een doorkijk naar 2012 – 2016. Het voorstel voor de toetsregels zal worden geleverd aan het WTI (Wettelijk Toetsinstrumentarium) dat de toetsregels zal verwerken in het VTV.

Voor onderzoek naar de erosiebestendigheid van grastaluds bij golfoverslag wordt gebruik gemaakt van grootschalige proeven op bestaande dijken. Met behulp van de golfoverslagsimulator wordt een stormsituatie gesimuleerd, waarbij golfoverslag optreedt tot een gemiddeld overslagdebiet van 75 l/s per m. De gesimuleerde condities zijn veel zwaarder dan waarop dijken zijn ontworpen. De golfoverslag kan erosie van de grasmat veroorzaken.

Het eindproduct van het project, de bouwsteen ten behoeve van het VTV 2011, wordt vervaardigd middels een cyclisch proces. De grondgedachte hiervan is het KOLB-principe (zie Figuur 1.1 en <http://www.thesis.nl/kolb>).



Figuur 1.1 Kolb cyclus

Per proeflocatie wordt deze cyclus doorlopen. Na evaluatie van proeven (fase D) worden aanbevelingen gedaan voor modellering of modelaanpassingen (fase A) ten behoeve van de volgende proeflocatie. Hiermee wordt direct de ontwikkelde kennis c.q. inzichten ten behoeve van de volgende proeflocatie ingebracht. Iedere fase wordt afgesloten met een rapportage (tussenproduct).

Deze rapportage bevat Fase 4B - Predictie Vechtdijk. Eerder heeft in Fase 4A de modelontwikkeling plaatsgevonden. Met deze modellen is een predictie gemaakt van erosie

en infiltratie op de proeflocatie Vechtdijk, een volledige zanddijk. Erosie van een grasbekleding op zand is nog een witte vlek in het huidige VTV2006. Met de onderzoeks cyclus rondom de Vechtdijk zal deze witte vlek nader worden ingevuld voor het VTV2011. Meer specifieke informatie over, en doelen van de proeven op de locatie Vechtdijk, worden gegeven in paragraaf 1.2.

De aanstaande proeven op de Vechtdijk maken deel uit van een serie proeven. Met alle proeven tesamen wordt geprobeerd een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van de mechanismen die spelen bij verschillende types grasbekledingen. Eerder zijn proeven uitgevoerd op dijken in:

Groningen, Delfzijl - Golfoverslagproef op gras, op versterkt gras en op kale klei.

Friesland, Boonweg - Golfoverslagproef op vier stroken die gedurende 15 jaar op verschillende manieren zijn beheerd en een afschuifproef.

Zeeland, St. Philipsland - Golfoverslagproef op gras, relatief stijl talud.

Zeeland, Kattendijke - Golfoverslagproef op grastalud, met mestinjector beschadigd grastalud, open steenasfalt en op elastocoast.

Afsluitdijk – Golfoverslag op gras, gras met een klinkerbestrating onderaan het talud en langs een taludtrap en een afschuifproef.

1.2 Onderzoekslocatie Vechtdijk hoog zandgehalte

De locatie Vechtdijk is uitgekozen vanwege het hoge zandgehalte van 90% in de bekleding. Voor dijken met een zandgehalte hoger dan 70% is momenteel geen toetsmethode ten aanzien van het mechanisme erosie. De invloed van een hoog zandgehalte op erosie van een grasbekleding is het hoofddoel van deze onderzoeks cyclus. Invullen van deze witte vlek zal leiden tot minder dijken zonder een eindoordeel.

Door het hoge zandgehalte kan de grond mogelijk snel tussen de wortels van het gras uitspoelen, waardoor de bekleding snel faalt. Volgens de erosiemodellen voor het taludoppervlak zou de invloed van het zandgehalte echter heel klein zijn en is de erosiebestendigheid hoofdzakelijk afhankelijk van de doorworteling. Hoe dit mechanisme precies werkt zal op de Vechtdijk worden bekeken.

Verder zal bij het beproeven van de Vechtdijk de invloed van een boom en van een wegoevergang worden meegenomen. Bij de eerdere proeven is al een begin gemaakt met onderzoek naar het effect van verstoringen in het talud en naar de invloed van de overgang van talud naar horizontaal. Dit zal bij de Vechtdijk worden uitgebreid. Het beproeven van een range van discontinuïteiten en objecten zal moeten leiden tot een afbakening van wat wel en niet kan worden toegelaten op een grasbekleding.

Tenslotte zal een proef worden uitgevoerd met een lager en een hoger golfregime. Naast de invloed op erosie zal het ook invloed hebben op de tijd dat er een wateraanbod op het talud aanwezig is en dus hoeveel water er kan infiltreren.

De exacte locatie op de Vechtdijk staat in Figuur 1.2.



Figuur 1.2 Proeflocatie Vechtdijk (foto Google Earth)

- Strook 1 – buitentalud wegovergang
- Strook 2 – binnentalud boom
- Strook HM – meting hydraulische parameters
- Strook 3 – laag golf regime

- Strook 4 (optioneel) – hoog golf regime

1.3 Leeswijzer

Het rapport is verdeeld in 5 hoofdstukken. Hoofdstuk 2 bevat de modelontwikkeling ten aanzien van de hydraulische parameters, hoofdstuk 3 graserosie, 4 infiltratie en 5 micro-instabiliteit. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen voor de volgende Fase 4C Proefuitvoering Vechtdijk.

2 Hydraulische parameters

2.1 Inleiding

In fase 4A (Deltares, 2010b) zijn twee belastingparameters beschouwd: (1) het gewogen maximale momentane debiet $q_{mm, \text{gewogen}}$ met een bijbehorende effectieve tijd t_{eff} , en (2) de cumulatieve stroomsnelheid $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ met u de optredende stroomsnelheid en u_c de kritieke stroomsnelheid. De analyse was aanleiding te concluderen dat de cumulatieve stroomsnelheid de meest veelbelovende belastingparameter is, omdat deze een groter onderscheidend vermogen lijkt te hebben, minder bewerkelijk is, en de belastingduur nauwelijks een rol lijkt te spelen. Deze constatering vragen echter nog wel nadere verificatie.

Op dit moment wordt echter uitgegaan van de belastingmaat volgens de cumulatieve stroomsnelheid en deze methode wordt verder uitgewerkt voor de proeven op de Vechtdijk. Met de resulterende getallen kan na elke proef direct gekeken worden of het moment van schade consistent is met een vorige proef. Bovendien kunnen de verschillende hydraulische regimes met elkaar worden vergeleken.

In hoofdstuk 3 komt de predictie van de erosie aan de orde. De cumulatieve belastingmaat $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ zal daarbij niet worden gebruikt, omdat deze nog niet is geverifieerd en omdat tot op heden de ontwikkelde modellen voor de predictie van erosie nog niet zijn geschreven in deze belastingmaat. Aanbevolen wordt dit bij de evaluatie van de proeven uit te voeren.

2.2 Afleiding cumulatieve belastingen voor verschillende condities

De significante golfhoogtes die gebruikt gaan worden bij de proeven, en die hier dus uitgewerkt worden, zijn: $H_s = 1$ m en 2 m en optioneel 3 m en de gemiddelde overslagdebieten zijn 0,1; 1; 5; 10; 30; 50 en 75 l/s per m. Voor deze condities is de cumulatieve belastingmaat $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ bepaald.

In het fase 4A rapport is voor de kritieke snelheid $u_c = 5$ m/s aangehouden, wat overeenkomt met een kritiek overslagvolume $V_c = 1$ m³ per m. Deze waarde wordt ook hierna aangehouden. De relatie voor de snelheid, gegeven een overslaand volume (voor de golfoverslagsimulator) is:

$$u = 2.53\sqrt{V} + 2.5 \quad (2.1)$$

waarin: u = stroomsnelheid (m/s) en V = overslagvolume (m³).

In feite is de snelheid u een belastingparameter en behoort een kritieke snelheid u_c tot de sterktekant. Deze kritieke snelheid kan dan ook afhangen van bijvoorbeeld de kwaliteit van de graszode of onderliggende kleilaag. Daarom worden hier cumulatieve belastingen uitgerekend voor verschillende kritieke snelheden, of eigenlijk kritieke overslagvolumes waarbij een zekere kritieke snelheid hoort.

De term Σu_c^2 is afhankelijk van het aantal overslaande volumes dat een snelheid geeft die groter is dan de kritieke snelheid. En dit aantal varieert als u_c varieert. De juiste definitie van de cumulatieve belasting is dan ook:

$\Sigma(u^2 - u_c^2)$, voor overslagvolumes waarbij $u > u_c$.

Om een totaalbeeld van de cumulatieve belasting te geven, voor elk hydraulisch regime en elk gemiddeld overslagdebiet, zijn verschillende kritieke overslagvolumes aangehouden. Er is steeds gekozen voor een verdubbeling van het kritiek overslagvolume, met bijbehorende snelheid:

$V_c = 0 \text{ m}^3 \text{ per m}$	$u_c = 0 \text{ m/s}$
$V_c = 0.25 \text{ m}^3 \text{ per m}$	$u_c = 3.77 \text{ m/s}$
$V_c = 0.5 \text{ m}^3 \text{ per m}$	$u_c = 4.29 \text{ m/s}$
$V_c = 1 \text{ m}^3 \text{ per m}$	$u_c = 5.03 \text{ m/s}$
$V_c = 2 \text{ m}^3 \text{ per m}$	$u_c = 6.08 \text{ m/s}$

Met de gegeven hydraulische regimes, gemiddelde overslagdebieten en kritieke overslagvolumes, die tijdens de testen uitgevoerd worden, en de daarop gebaseerde toe te passen overslagvolumes, zijn de cumulatieve belastingen $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ bepaald. Hierbij is uitgegaan van een proefduur van 6 uur. Tabel 2.1 geeft alle waarden.

duur uur	gemiddeld overslagdebiet l/s per m	$\Sigma (u^2 - u_c^2)$ bij $H_s = 1 \text{ m}$				
		$V_c=0 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=0.25 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=0.5 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=1 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=2 \text{ m}^3/\text{m}$
6	0.1	319	0	0	0	0
6	1	2950	10	0	0	0
6	5	11644	158	17	0	0
6	10	17997	542	98	4	0
6	30	32280	3327	1137	202	5
6	50	41853	7167	3121	834	70
6	75	50886	14966	6438	2236	327

duur uur	gemiddeld overslagdebiet l/s per m	$\Sigma (u^2 - u_c^2)$ bij $H_s = 2 \text{ m}$				
		$V_c=0 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=0.25 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=0.5 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=1 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=2 \text{ m}^3/\text{m}$
6	0.1	119	13	4	0	0
6	1	1338	111	35	3	0
6	5	5921	652	255	54	0
6	10	10220	1484	664	181	12
6	30	22168	5474	3078	1238	234
6	50	30982	9904	6180	2944	776
6	75	40129	16556	10484	5622	1834

duur uur	gemiddeld overslagdebiet l/s per m	$\Sigma (u^2 - u_c^2)$ bij $H_s = 3 \text{ m}$				
		$V_c=0 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=0.25 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=0.5 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=1 \text{ m}^3/\text{m}$	$V_c=2 \text{ m}^3/\text{m}$
6	0.1	63	21	13	5	0
6	1	814	184	101	36	3
6	5	3924	935	536	220	38
6	10	7133	1952	1189	541	124
6	30	17152	6311	4316	2377	812
6	50	25089	10829	7855	4748	1925
6	75	33584	16999	14985	8157	3787

Tabel 2.1 Cumulatieve belastingen (m^2/s^2) bij verschillende hydraulische regimes, gemiddelde overslagdebieten en verschillende kritieke overslagvolumes; De waarden gelden voor een enkele proef (dus niet cumulatief) en voor een duur van 6 uur.

Bedacht moet worden dat de golfoverslagsimulator ook bij kleine overslagvolumes nog een behoorlijke snelheid geeft. Zie ook formule 2.1 waarbij alle volumes minimaal een snelheid

van 2,5 m/s krijgen. Dit komt omdat de klep van de simulator meer dan 1 m boven het talud staat en elk volume over deze afstand naar beneden valt en dus een behoorlijke snelheid krijgt. Echter, de volumes zijn maar erg klein en de laagdikten ook. De feitelijke belasting is dan ook maar erg klein.

Bij werkelijke golfoverslag speelt dit niet. Alleen bij de proeven met de golfoverslagsimulator. Bij het ontwerp van de simulator werd ervan uit gegaan dat deze kleine volumes er niet echt toe doen en dat in ieder geval op een iets conservatieve manier werd getest. Met een cumulatieve belasting, waarbij geen of een klein kritiek volume wordt aangehouden, kan dit wel eens tot ongewenste effecten leiden.

2.3 Discussie

Het vermoeden bestaat dat een zwaarder hydraulisch regime, bijvoorbeeld $H_s = 3$ m, bij hetzelfde gemiddelde overslagdebiet, een zwaardere cumulatieve belasting zou moeten geven dan een lichter hydraulisch regime. Minder, maar grotere overslagvolumes, worden dan zwaarder beoordeeld dan meer, maar kleinere overslagvolumes.

Dat beeld komt niet altijd uit tabel 2.1. Het is bij geen kritiek overslagvolume, dus als alle belastingen meetellen, juist omgekeerd. De cumulatieve belastingen voor $H_s = 1$ m is groter dan die voor $H_s = 2$ m en nog groter voor $H_s = 3$ m (zie de derde kolom in tabel 2.1 onder $V_c = 0$ m³ per m). Dit komt waarschijnlijk doordat ook hele kleine volumes al een snelheid van 2,5 m/s of meer krijgen. Hele kleine overslagvolumes, die bij een laag hydraulisch regime veel voorkomen, zorgen dus voor een grote cumulatief belasting.

Bovenstaande geeft eigenlijk al aan dat een cumulatieve belasting, waarbij alle overslaande volumes meetellen, niet direct een goed onderscheidend vermogen geeft wat betreft het hydraulisch regime. Ook bij $V_c = 0,25$ m³ per m is er nog niet een groot onderscheidend vermogen, zeker niet voor het overslagdebiet van 75 l/s per m (vergelijk de onderste getallen in de vierde kolom van tabel 2.1). Pas bij $V_c = 0,5$ m³ per m en meer komt er onderscheid in de cumulatieve belasting voor verschillende hydraulische belastingen.

2.4 Voorbeeld

Tabel 2.1 is de basis om voor elke uitgevoerde proef de totale cumulatieve belasting uit te rekenen. Het is immers mogelijk om de cumulatieve belastingen van elke overslagconditie op te tellen en ook kan deze belasting worden bepaald als de laatste proef op een bepaald moment wordt gestopt, zonder de 6 uur vol te maken.

Stel dat voor de lichtste hydraulische conditie van $H_s = 1$ m de 5 l/s per m proef niet wordt uitgevoerd, maar alle andere wel en dat bij 30 l/s per m na 4,5 uur schade ontstaat. Wat is dan de cumulatieve belasting bij aanname dat het kritieke overslagvolume 0,5 m³ per m is, omdat bij deze waarde voldoende onderscheidend vermogen is geconstateerd (Deltares, 2010b) ?

De getallen in de vijfde kolom van de bovenste deeltabel van tabel 2.1 zijn de basis. De twee kleinste overslagdebieten van 0,1 en 1 l/s per m geven geen belasting. De 5 l/s per m proef werd niet uitgevoerd, dus het gaat om de cumulatieve belastingen van $\Sigma(u^2 - u_c^2) = 98$ en 1137 m²/s² voor 10 en 30 l/s per m. Na 4,5 uur geeft de 30 l/s per m proef een cumulatieve belasting van $\Sigma(u^2 - u_c^2) = 4,5/6 \times 1137 = 853$ m²/s². Met de 10 l/s per m proef voorafgaand, wordt de cumulatieve belasting op moment van schade $\Sigma(u^2 - u_c^2) = 853 + 98 = 951$ m²/s².

Tabel 2.1 is daarmee een mogelijke versie voor een tabel voor de belastingen om een predictie voor schade te maken, maar zoals eerder opgemerkt in de inleiding is de methode nog niet gebruikt, omdat deze nog niet is geverifieerd en omdat tot op heden de ontwikkelde

modellen voor de predictie van erosie nog niet zijn geschreven in deze belastingmaat. Bovendien is ook uitgegaan van een kritieke stroomsnelheid die mogelijk te laag is. Aanbevolen wordt de methode in fase 4D te evalueren.

3 Erosie

3.1 Erosiemechanismen

Op grond van de situatie op de Vechtdijk worden de volgende mechanismen onderscheiden:

- A) Slijterosie: eroderen van de toplaag waarna een gat op een zwakke plek in de graszode ontstaat (kuilvorming);
- B) abrupt of geleidelijk lokaal losscheuren van een laagdikte van 5 à 10 cm van de grasbekleding (opbolmechanisme bij abrupt losscheuren);
- C) ontstaan van lokale ontgrondingskuilen bij oneffenheden of overgangen naar een horizontaal deel zoals bij de teen van het binnentalud en opritten;
- D) erosie rondom een NWO, in dit geval een boom.

Na het optreden van de mechanismen kunnen vervolgmecanismen optreden:

- geleidelijk eroderen van de grasmat in benedenstroomse richting (geulvorming);
- uitbreiding van de erosiekuil in bovenstroomse richting ("head-cut erosion").

Om de verschillende mechanismen te verduidelijken worden hieronder voorbeelden gegeven. Foto 3.1 toont een zode waar initiële gaten ontstaan als gevolg van slijterosie.



Foto 3.1 Graszode met zwakke plekken

Losscheuren kan geleidelijk, maar ook abrupt. Foto 3.2 loont een voorbeeld van geleidelijk afscheuren; overigens na het aanbrengen van een initiële beschadiging.

Een voorbeeld van abrupt losscheuren wordt getoond in Foto 3.3. Rechts onder is een duidelijk opbollende graszode waar te nemen. Hoger op het talud is een gat te zien waar de zode door abrupt losscheuren kort daarvoor is verdwenen.

Schade bij een overgang van het talud naar een horizontale deel zoals bij een oprit of bij de overgang bij teen talud wordt getoond op Foto 3.4.



Foto 3.2 Geleidelijk losscheuren



Foto 3.3 Abrupt losscheuren ("opbolmechanisme")



Foto 3.4 Ontgraving bij teen talud

De Foto's 3.5 en 3.6 tonen de erosie rondom NWO's. Bij een paaltje (Foto 3.5) is deze zeer beperkt, maar bij een taludtrap (Foto 3.6) kan de erosie aanzienlijk zijn.



Foto 3.5 Ontgraving rondom een paaltje



Foto 3.6 Erosie naast een taludtrap en verdwenen traptreden

Als de zode eenmaal is verdwenen zal de onderliggende kleilaag eroderen. Dit is op Foto 3.7 te zien. Deze vervolgschade treedt op in de vorm van headcut –erosie in opwaartse richting en geulvorming in neerwaartse richting.



Foto 3.7 Headcut erosie en geulvorming nadat de zode is verdwenen

Uiteindelijk zal ook de onderliggende kleilaag doorbreken en de zandkern worden aangetast. Foto 3.8 geeft een beeld van de grote schade die dan in zeer korte tijd optreedt.



Foto 3.8 Erosie zandkern nadat zode en kleilaag zijn verdwenen

3.2 Uitgangspunten predictie

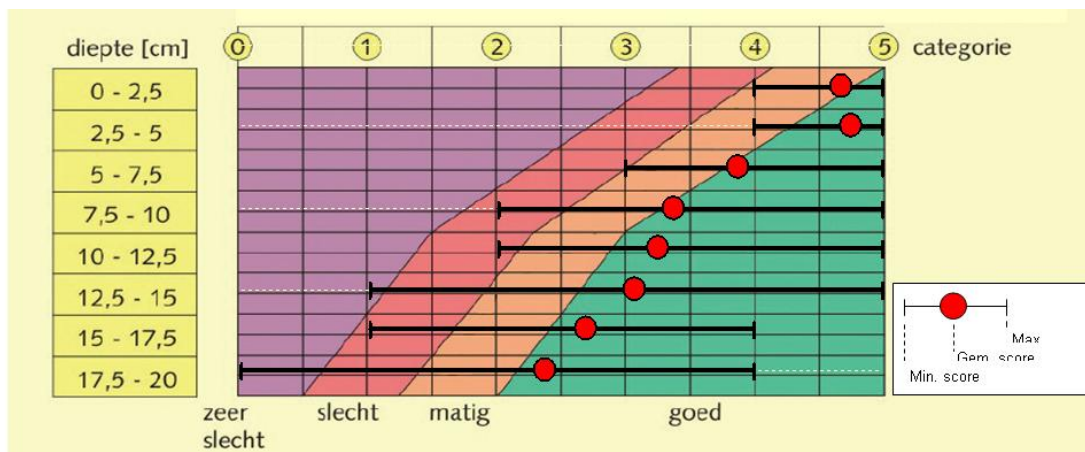
Voor de onderzoekslocatie en het dijkprofiel wordt verwezen naar paragraaf 1.2 en hoofdstuk 4.

De taludhellingen bedragen bij benadering: binnentalud 1:5 en buitentalud 1:4. De overgang van het talud naar de berm bij teen talud is concaaf. In één vak is een oprit bestaande uit zware doorgroeiëstenen. Op de kruin liggen ook doorgroeiëstenen.

Kruin, taluds en bermen bij de teen zijn bekleed met een zandige toplaag (ca. 90% zand) begroeid met gras.

Het gras wordt beheerd conform normaal regulier beheer. Per proefvak zijn een aantal boringen uitgevoerd om de hoeveelheid wortels te bepalen. Figuur 3.1 geeft de gemiddelde score voor de doorworteling voor alle proefvakken. Op basis daarvan wordt uitgegaan van een score "goed". Dit betekent dat er in de bovenste laag van de zode 45.000 à 60.000 wortels per m² aanwezig zijn en er sprake is van een goede kwaliteit gras.

Behalve het aantal wortels zijn ook andere gegevens van de graszode verzameld, zoals de bedekkingsgraad. Informatie hierover is op dit moment niet beschikbaar en zal bij de evaluatie van de proeven verder aan de orde komen.



Figuur 3.1 Gemiddelde score doorworteling voor 4 proefvakken in januari 2010

Op dit moment is geen gedetailleerde informatie beschikbaar over de eigenschappen van de grond anders dan vermeld in paragraaf 4.3. De toplaag bestaat uit grond met een zandpercentage van ongeveer 90%. Er is sprake van verkittening (cementatie) als gevolg van de aanwezigheid van de graswortels. Op basis van het voorgaande is daarom uitgegaan van grond met een waarde voor de sterkte van $\sigma_{0,g} = 7,5 \text{ kN/m}^2$. Tabel 3.1 geeft overigens een aantal algemene kenmerken voor graszoden zoals in Nederland aanwezig.

No./A	d_r	A_r/A	Kwaliteit gras	U_c	t_r	$\sigma_{0,g}$	Z_{min}	$\sigma_{s,min}$
(m^2)	(mm)	(%)	(VTV)	(m/s)	(kN/m^2)	(kN/m^2)	(mm)	(kN/m^2)
15000	0,13	0,02	slecht	2,9	20000	4,0	90	11,2
30000	0,13	0,04	matig	4,1	20000	8,0	159	41,7
45000	0,13	0,06	goed	5,0	20000	11,9	200	91,3
60000	0,13	0,08	uitstekend	5,8	20000	15,9	229	160

No. = A_r/A_1 root waarin A_1 root = $\frac{1}{4}\pi d_r^2$ en $d_r = 0,13 \text{ mm}$; $\sigma_{0,g} = t_r(A_r/A)$ (waarin $t_r = 20 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$)

Tabel 3.1 Sterktegegevens ($d_r = 0,13 \text{ mm}$)

De hydraulische condities zijn verschillend per overslaande golf. Voor elk overslagdebiet is het aantal en de volumes van de overslaande golven verschillend. In hoofdstuk 2 zijn de cumulatieve belastingen $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ voor verschillende hydraulische regimes, gemiddelde overslagdebieten en kritieke overslagvolumes, gegeven. Deze cumulatieve belastingen kunnen voor de erosiemechanismen worden gebruikt, maar dat is niet gedaan. Reden hiervoor is dat de predictiemodellen op dit moment nog niet zijn geschreven als functie van de cumulatieve belasting, en de cumulatieve belastingmaat nog niet is geverifieerd. Er is daarom gekozen voor de eerdere werkwijze om voor een bepaald volume een laagdikte, een optredende stroomsnelheid en een tijdsduur aan te nemen. De uiteindelijke erosie volgt door sommatie van de erosie voor iedere afzonderlijke golf.

Aanbevolen wordt de huidige predictiemodellen bruikbaar te maken voor de cumulatieve belasting.

3.3 Predictie

In deze paragraaf wordt de verwachte erosie voorspeld voor de te testen proefvakken voor een golfregime met een significante golfhoogte van $H_s = 2 \text{ m}$. Voor de andere golfregimes met golfhoogten van 1 en 3 m is geen predictie gemaakt. Voor een golfregime van 1 m is de reden dat geen schade wordt verwacht, terwijl een golfhoogte van 3 m optioneel is.

Predicties van te verwachten schades zijn gemaakt voor:

- Op de taluds (slijterisatie en losscheuren);
- Op de overgangen van talud naar oprit en naar horizontale berm bij teen talud;
- Rondom een boom.

Voor details van de gebruikte modellen wordt verwezen naar het Fase 4A rapport Modelaanpassingen Vecht (Deltares, 2010b). Wel zullen de relevante formules worden gepresenteerd.

3.3.1 Slijterosie

De relevante formule voor slijterosie luidt:

$$y_m = \frac{\sum_{i=1}^n (0,7\alpha U_m - U_c)^2 t_m}{E_{soil}} \quad (3.1)$$

met $E_{soil} = 6,15 \cdot 10^4 \frac{U_c^2}{\sqrt{gd_a}}$ (3.2)

waarin:

- y_m maximale ontgrondingsdiepte (m);
- U_m representatieve dieptegemiddelde snelheid bij golfoverslag (m/s);
- U_c kritische dieptegemiddelde snelheid (m/s);
- t_m representatieve duur van de golf (s).
- α (= $1,5 + 5r_0$) turbulentie constante (-);
- r_0 relatieve dieptegemiddelde turbulentie intensiteit (-);
- E_{soil} erosieparameter (m/s);
- n aantal golven (-);
- d_a = 0,004 m.

Het uitgangspunt voor falen door slijterosie is een optredende erosie van $d_{ref} = 10$ cm; erosie van minder dan 10 cm leidt dus niet tot falen (Deltares, 2010a). De waarde van 10 cm is conservatief en hangt samen met de diepte in de zode waar het aantal wortels significant afneemt.

De predicties zijn gemaakt met $U_c = 6$ m/s voor een talud 1:5 en uitgaande van een worteldiameter van 0,13 mm (zie ook Tabel 3.1). Verder zijn voor laagdikte en stroomsnelheden waarden gebaseerd op de metingen op de Afsluitdijk (Deltares, 2010a). Opgemerkt wordt dat er ook andere manieren zijn om waarden voor U_c te bepalen (zie formule 3.4 in paragraaf 3.3.2), maar in dit specifieke geval van slijterosie geeft dit geen significante verschillen.

De berekende erosie per overslagdebiet en de resulterende cumulatieve erosie is gepresenteerd in Tabel 3.2. De totale erosie is orde 3 cm en dat is minder dan de zodedikte van 10 cm. Op basis daarvan wordt geconcludeerd dat het mechanisme slijterosie niet tot falen zal leiden. Uiteraard zullen wel de zanddeeltjes in de top van de zode uitspoelen.

0.1 ?/s/m

n0 of wave	?m (wave)	?m (total)	h	U _m	t _m	S	C	r ₀	E _{soil}	U _c	term	sum term	
3	50	150	0,040	2,80	1,5	0,20	31	0,121	1500000	6	2,11	3,51E-06	1,05E-05
3	175	525	0,100	3,04	2,0	0,20	21	0,176	1500000	6	2,38	1,16E-06	3,48E-06
2	375	750	0,120	3,55	2,5	0,20	23	0,165	1500000	6	2,33	7,89E-08	1,58E-07
1	750	750	0,160	4,16	3,2	0,20	23	0,163	1500000	6	2,31	1,17E-06	1,17E-06
0,10													

1,534E-05

1 ?/s/m

n0 of wave	?m (wave)	?m (total)	h	U _m	t _m	S	C	r ₀	E _{soil}	U _c	term	sum term	
68	50	3400	0,040	2,80	1,5	0,20	31	0,121	1500000	6	2,11	3,51E-06	2,39E-04
31	175	5425	0,100	3,04	2,0	0,20	21	0,176	1500000	6	2,38	1,16E-06	3,59E-05
18	375	6750	0,120	3,55	2,5	0,20	23	0,165	1500000	6	2,33	7,89E-08	1,42E-06
8	750	6000	0,160	4,16	3,2	0,20	23	0,163	1500000	6	2,31	1,17E-06	9,37E-06
1	1500	1500	0,200	5,17	4,1	0,20	26	0,147	1500000	6	2,23	1,18E-05	1,18E-05
1,07													

2,972E-04

10 ?/s/m

n0 of wave	?m (wave)	?m (total)	h	U _m	t _m	S	C	r ₀	E _{soil}	U _c	term	sum term	
261	50	13050	0,040	2,80	1,5	0,20	31	0,121	1500000	6	2,11	3,51E-06	9,16E-04
212	175	37100	0,100	3,04	2,0	0,20	21	0,176	1500000	6	2,38	1,16E-06	2,46E-04
150	375	56250	0,120	3,55	2,5	0,20	23	0,165	1500000	6	2,33	7,89E-08	1,18E-05
92	750	69000	0,160	4,16	3,2	0,20	23	0,163	1500000	6	2,31	1,17E-06	1,08E-04
31	1500	46500	0,200	5,17	4,1	0,20	26	0,147	1500000	6	2,23	1,18E-05	3,67E-04
3	2500	7500	0,250	6,18	5,1	0,20	28	0,137	1500000	6	2,19	4,06E-05	1,22E-04
10,62													

1,770E-03

30 ?/s/m

n0 of wave	?m (wave)	?m (total)	h	U _m	t _m	S	C	r ₀	E _{soil}	U _c	term	sum term	
537	175	93975	0,100	3,04	2,0	0,20	21	0,176	1500000	6	2,38	1,16E-06	6,22E-04
318	375	119250	0,120	3,55	2,5	0,20	23	0,165	1500000	6	2,33	7,89E-08	2,51E-05
258	750	193500	0,160	4,16	3,2	0,20	23	0,163	1500000	6	2,31	1,17E-06	3,02E-04
129	1500	193500	0,200	5,17	4,1	0,20	26	0,147	1500000	6	2,23	1,18E-05	1,53E-03
27	2500	67500	0,250	6,18	5,1	0,20	28	0,137	1500000	6	2,19	4,06E-05	1,10E-03
6	3500	21000	0,300	6,96	5,9	0,20	28	0,133	1500000	6	2,17	8,17E-05	4,90E-04
31,89													

4,063E-03

50 ?/s/m

n0 of wave	?m (wave)	?m (total)	h	U _m	t _m	S	C	r ₀	E _{soil}	U _c	term	sum term	
834	375	312750	0,120	3,55	2,5	0,20	23	0,165	1500000	6	2,33	7,89E-08	6,58E-05
372	750	279000	0,160	4,16	3,2	0,20	23	0,163	1500000	6	2,31	1,17E-06	4,36E-04
234	1500	351000	0,200	5,17	4,1	0,20	26	0,147	1500000	6	2,23	1,18E-05	2,77E-03
57	2500	142500	0,250	6,18	5,1	0,20	28	0,137	1500000	6	2,19	4,06E-05	2,31E-03
18	3500	63000	0,300	6,96	5,9	0,20	28	0,133	1500000	6	2,17	8,17E-05	1,47E-03
6	4500	27000	0,340	7,60	6,5	0,20	29	0,130	1500000	6	2,15	1,28E-04	7,69E-04
3	5250	15750	0,370	8,15	7,0	0,20	30	0,126	1500000	6	2,13	1,77E-04	5,32E-04
55,14													

8,357E-03

75 ?/s/m

n0 of wave	?m (wave)	?m (total)	h	U _m	t _m	S	C	r ₀	E _{soil}	U _c	term	sum term	
699	375	262125	0,120	3,55	2,5	0,20	23	0,165	1500000	6	2,33	7,89E-08	5,52E-05
474	750	355500	0,160	4,16	3,2	0,20	23	0,163	1500000	6	2,31	1,17E-06	5,55E-04
342	1500	513000	0,200	5,17	4,1	0,20	26	0,147	1500000	6	2,23	1,18E-05	4,05E-03
108	2500	270000	0,250	6,18	5,1	0,20	28	0,137	1500000	6	2,19	4,06E-05	4,38E-03
39	3500	136500	0,300	6,96	5,9	0,20	28	0,133	1500000	6	2,17	8,17E-05	3,19E-03
6	4500	27000	0,340	7,60	6,5	0,20	29	0,130	1500000	6	2,15	1,28E-04	7,69E-04
18	5250	94500	0,370	8,15	7,0	0,20	30	0,126	1500000	6	2,13	1,77E-04	3,19E-03
76,79													

1,619E-02

0,031 3,0694E-02

Tabel 3.2 Predictie van de cumulatieve graserosie voor de Vecht voor verschillende Golfoverslaggebieden

3.3.2 Losscheuren

Twee mechanismen moeten worden onderscheiden:

1. vermoeiing, en
2. abrupt losscheuren.

Vermoeiing kan worden bepaald met:

$$U_{0,c} = K_{v,u} U_c \quad \text{met} \quad K_{v,u} = \frac{1}{1,5 + 5r_{0,c}} \left(\sqrt{\frac{\alpha_{soil} \lambda_{ref}}{t \sqrt{gd_a}}} + 1 \right) \quad (3.3)$$

waarin:

α_{soil} empirische constante (m²/s); $\alpha_{soil} = 6,15 \cdot 10^{-6}$ m²/s;

λ_{ref} lengteschaal (m);
 $r_{0,c}$ relatieve dieptegemiddelde turbulentie intensiteit (-);
 t belastingduur

De lengteschaal λ_{ref} wordt gelijk gesteld aan de zodedikte van 0,1 m. Door substitutie van karakteristieke waarden kan Figuur 3.2 worden samengesteld.

Aangezien de effectieve belastingduur t in de orde van maximaal 1 uur is kan voor $U_c = 5$ m/s worden geconcludeerd dat losscheuren door vermoeiing niet zal optreden. De werkelijke U_c is waarschijnlijk zelfs nog hoger.

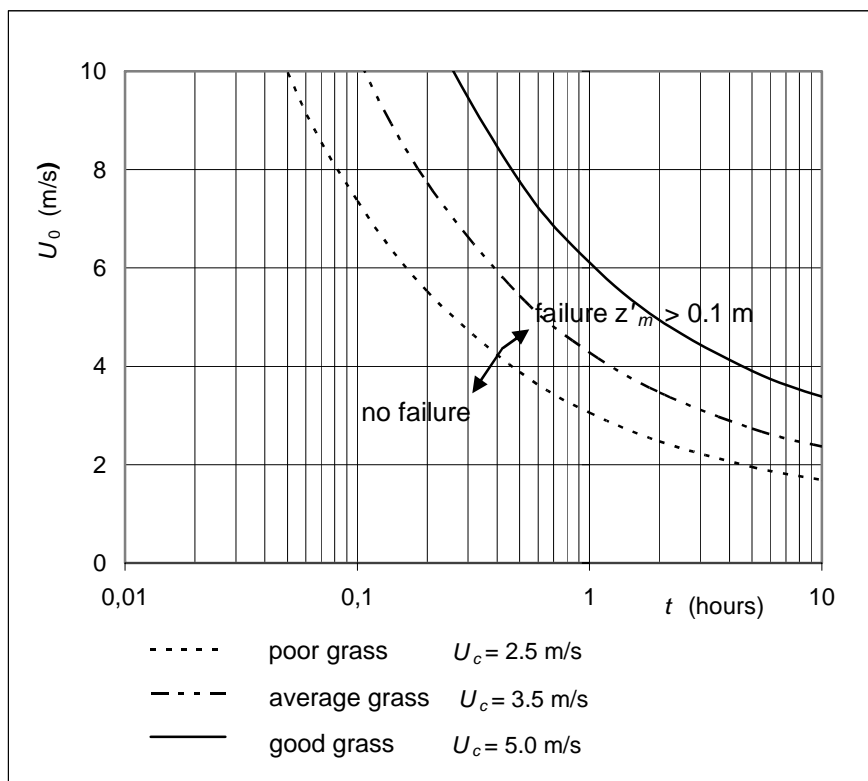


Fig. 3.2 Voorbeeld van vermoeiingsmodel op basis van toelaatbare snelheden

Abrupt losscheuren kan worden onderzocht met het turf-element model. Basis daarvoor is de formule:

$$U_c = r_{0,c}^{-1} \sqrt{3,4 \Psi_c \sigma_{0,grass,c} \cos \theta / \rho} \text{ met } \sigma_{0,grass,c} = \sigma_{r,c} \left(\frac{A_r}{A} \right)_0 \quad (3.4)$$

waarin:

- A_r (= $No \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi (d)^2$) worteloppervlak (m^2)
- A (= $\frac{1}{4} \cdot \pi (d_{boot})^2$) standaardoppervlak volgens VTV-2006
- g (= $9,81 \text{ m/s}^2$) valversnelling
- $r_{0,c}$ (= 0,17) kritische dieptegemiddelde relatieve turbulentie intensiteit (-)
- U_c kritische dieptegemiddelde snelheid (m/s)
- θ (= 30°) hoek tussen wortel en verticaal
- ρ (= 1000 kg/m^3) dichtheid van het water (kg/m^3)
- $\sigma_{r,c}$ (= $20 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$) kritische trekspanning van wortels (N/m^2)
- $\sigma_{0,grass,c}$ kritische grassterkte nabij het maaiveld (N/m^2)
- Ψ_c kritische Shieldsparameter (-)

Figuur 3.3 toont de berekeningsresultaten: de kritieke dieptegemiddelde snelheid varieert van 4,5 m/s (voor overgang van zeer slecht naar slecht gras) tot 8,0 m/s (voor overgang van matig tot goed gras) voor $\Psi_c = 0,04$. Voor de Vecht met een goede kwaliteit gras betekent dit een kritieke sterkte van ongeveer 8 m/s. De conclusie is daarom dat abrupt losscheuren niet zal optreden.

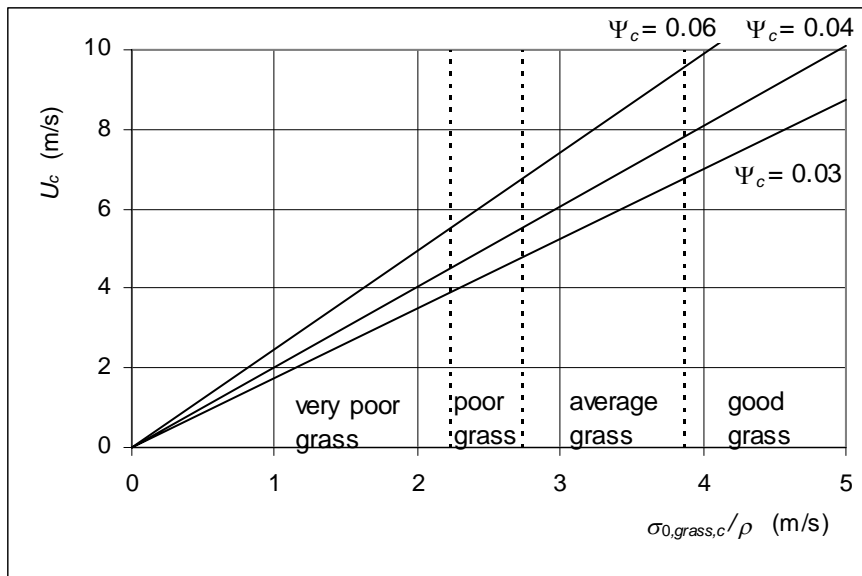


Fig. 3.3 Kritieke dieptegemiddelde snelheid als functie van de grassterkte

Opgemerkt wordt dat indien de grasmat over een aanzienlijk stuk is losgescheurd aansluitend de onderliggende grond zeer snel zal kunnen eroderen. De predictie hiervan is niet gegeven omdat falen van de grasmat niet wordt verwacht.

3.3.3 Erosie oprit / teentalud

De evenwichtsdiepte van de ontgrondingskuil op de overgang naar een oprit of bij teen talud kan worden voorspeld met de formules volgens:

- Hoffmans; en
- Stein.

De formule van Hoffmans luidt:

$$y_{m,e} + h_t = U_{DL} \sqrt{\sin(S) \frac{q U_m}{g}} \quad \text{met} \quad U_{DL} = \frac{23}{\left(U_c \left(\frac{\Delta}{\nu g} \right)^{1/3} \right)^{1/2}} \quad (3.5)$$

en de formule van Stein:

$$y_{m,e} = \frac{C_d^2 C_f \rho_w U_m^2 h_t}{\tau_c} \sin S \quad (3.6)$$

waarin:

$y_{m,e}$ maximale ontgrondingsdiepte in de evenwichtsfase (m);

U_c	kritieke maximale dieptegemiddelde snelheid (m/s);
U_{DL}	karacteristieke dimensieloze parameter voor grondsterkte (-);
g	gravitatieconstante (m/s^2);
h_t	waterdiepte van overslaande stroming (m);
U_m	maximale dieptegemiddelde snelheid van overslaande stroming (m/s);
q	($=h_t U_0$) instantaan overslagdebiet ($m^3/s/m$);
S	helling van het binnentalud (-);
Δ	relatieve dichtheid (-);
ν	kinematische viscositeit (m^2/s).
C_d	diffusieconstante (-);
C_f	wrijvingsconstante (-);
ρ_w	soortelijk gewicht water (kg/m^3);
τ_c	kritische grondsterkte (N/m^2);

Substitutie van $U_c = 5$ m/s, $U_m = 7,25$ m/s, $h_t = 0,4$ m, een talud 1:5, $\tau_c = 7,5$ kN/m², $C_d = 3,6$ en $C_f = 0,05$ (Deltares, 2010b) geeft als resultaten voor de te verwachten ontgrondingsdiepte:

- Hoffmans formule: 0,4 à 0,6 m
- Stein formule: 0,3 m

Naast bovengenoemde methoden is er ook de methode Valk voor de predictie van de ontgrondingsdiepte als functie van de tijd. Met deze methode is in het kader van de proeven aan de Vecht geen predictie gemaakt vanwege het bewerkelijke karakter van de methode. De methode zal bij de evaluatie wel worden meegenomen.

3.3.4 Erosie rond boom

Er zijn twee benaderingen mogelijk:

1. naar analogie met ontgrondingen rond brugpijlers, en
2. op basis van het turf-element model.

Een predictie volgens de eerste methode maakt gebruik van de formules:

$$\frac{y_{m,e}}{b} = 2,0 \quad \text{voor } b/h \ll 1 \quad (3.7)$$

of

$$\frac{y_{m,e}}{h_0} = 1,9 \quad \text{voor } b/h \cong 1 \quad (3.8)$$

waarin:

$y_{m,e}$	ontgrondingsdiepte (m)
b	doorsnede boom (m)
h	waterdiepte (m)

De doorsnede van de boom is ongeveer 0,4 m, terwijl de waterdiepte maximaal in de orde van 0,4 m is. De waterdiepte is maatgevend en dus is vgl.(3.8) van toepassing en dat leidt tot een verwachte maximale ontgrondingsdiepte van $y_{m,e} \approx 0,7$ à 0,8 m.

De benadering op basis van het turf-element model maakt gebruik van de modellering voor slijterosie (zie paragraaf 3.3.1), maar met een verhoogde belasting (turbulentie en

stroomcontractie) geïnduceerd door de boom (algemener: een NWO). Het is nog een zeer voorlopig model en daarom is geen predictie gepresenteerd. Op basis van eerste indicaties zou de conclusie zijn dat er geen erosie zal optreden, en dat is niet wat wordt verwacht.

4 Infiltratie

In het navolgende hoofdstuk wordt een predictie gemaakt van de infiltratie tijdens de golfoverslagproeven op de Vechtdijk. De infiltratie leidt tot een waterspanningsopbouw in en onder de bekleding. Deze verhoging van de waterspanningen kan leiden tot instabiliteit van de bekleding. Infiltratie is dus geen faalmechanisme op zich, maar een proces dat kan leiden tot een faalmechanisme.

4.1 Infiltratietijd

In de rapportage van Fase 4A Modelontwikkeling Vechtdijk is de methode gepresenteerd waarmee kan worden bepaald hoeveel procent van de tijd het talud nat is gedurende een storm en dus hoe lang er infiltratie optreedt. De methode geeft de infiltratietijd voor elke willekeurige combinatie van golfhoogte, periode, geometrie van het buitentalud en gemiddeld overslagdebiet. Bij de Vechtdijk zullen twee golfcondities worden gebruikt ($H_s=1$ m en $H_s=2$ m), optioneel is een derde met $H_s=3$ m. De golfgegevens staan in Tabel 4.1.

Buitentalud $\cot\alpha = 4$; tijdsduur $t = 6$ uur			
	Golfhoogte H_s		
	1 m	2 m	3 m
Piekperiode T_p (s)	4.0	5.7	6.9
Gemiddelde period T_m (s)	3.3	4.7	5.8
Aantal golven N_w	6545	4596	3724
2%-golfoploop $Ru_{2\%}$ (m)	1.99	3.98	5.94

Tabel 4.1 *Hydraulische condities voor de golfoverslagsimulatie op de Vechtdijk*

Voor elk van de golfhoogtes is berekend hoeveel procent van de tijd het talud nat is. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is hoelang een golfvolume het talud nat houdt na het passeren van het golfvront. Uit eerdere proeven is gebleken dat dit 20-40 seconden is. Voor het talud op de Vechtdijk is uitgegaan van 40 seconden, vanwege de flauwe taludhelling van circa 1:5.

De berekende percentages van de stormduur dat het talud nat is staan in Tabel 4.2.

q (l/s per m)	$H_s=1$ m		$H_s=2$ m		$H_s=3$ m	
0,1	8,5%	00:30	1,6%	00:05	0,6%	00:02
1	62%	03:43	22%	01:19	10%	00:36
5	97%	05:49	67%	04:01	48%	02:52
10	100%	06:00	85%	05:06	70%	04:12
30	100%	06:00	98%	05:52	94%	05:38
50	100%	06:00	100%	06:00	98%	05:52
75	100%	06:00	100%	06:00	99%	05:56

Tabel 4.2 *Percentage van de tijd dat het talud nat is gedurende een storm (6 uur) voor verschillende significante golfhoogtes en gemiddelde overslagdebieten q (l/s per m)*

Indien het modelmatig mogelijk is kan er voor worden gekozen om de infiltratietijd gespreid over de stormduur aan te nemen. In de (model)praktijk zal dit zeer moeilijk zijn. De hiermee behaalde nauwkeurigheid zal waarschijnlijk niet significant zijn ten opzichte van andere modelonzekerheden, zoals de schematisatie van de ondergrond en de parameterkeuze. Door de infiltratietijd aaneengesloten te veronderstellen wordt de modellering sterk vereenvoudigd en wordt tevens uitgegaan van het meest ongunstige geval voor de ontwikkeling van waterspanningen.

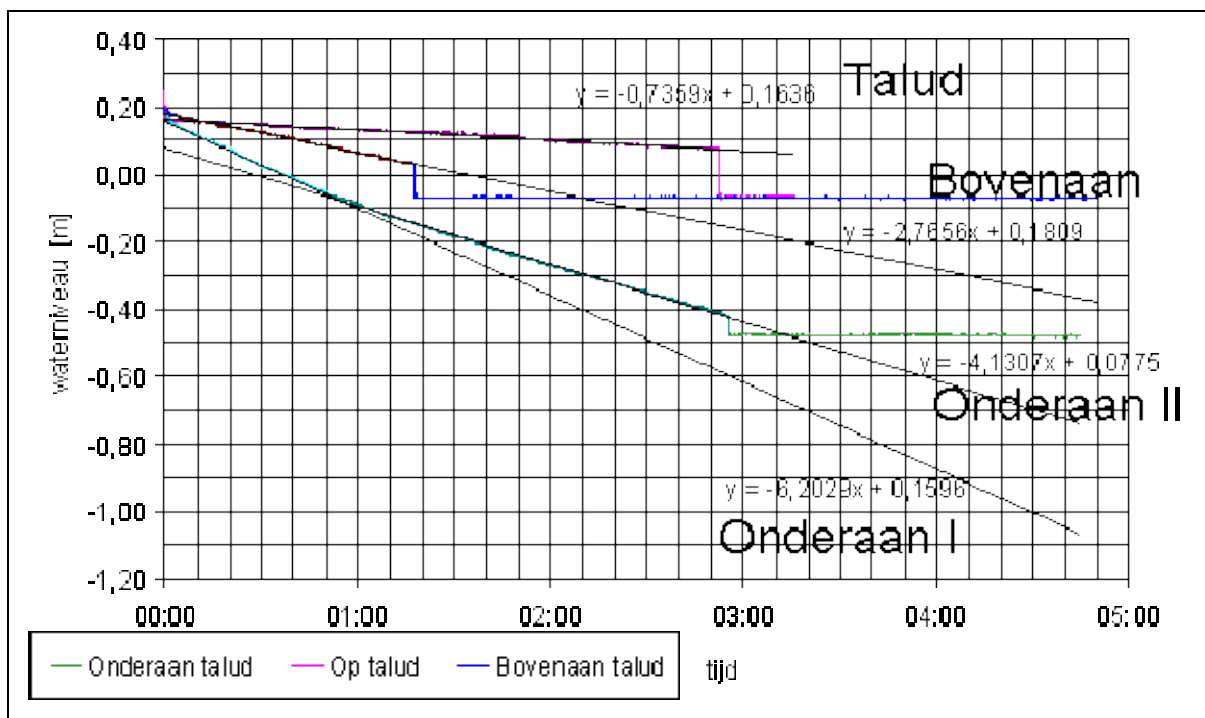
4.2 Infiltratieberekening eenvoudig

In fase 4A is een methode gepresenteerd waarmee op eenvoudige wijze infiltratie kan worden beoordeeld. De basis hiervan is de interpretatie van infiltratietesten in het veld en de tijd dat infiltratie kan optreden. De eenvoudige berekening bestaat uit 2 stappen:

- 1 interpretatie van de infiltratietesten, leidend tot schatting van de infiltratiecapaciteit en de frontsnelheid van het infiltratiefront (paragraaf 4.2.1)
- 2 predictie van de potentiële drukopbouw in de dijk (paragraaf 4.2.2).

4.2.1 Interpretatie infiltratietesten

Er zijn drie infiltratietesten uitgevoerd op het binnentalud van de Vechtdijk. Eén test nabij de kruin van de dijk, één op het talud en één onderaan het talud. De testen zijn uitgevoerd door een stalen buis met een diameter van 0,4 m circa 0,4 m vertikaal in de dijk te drukken. Daarna zijn de buizen gevuld met water en is gemeten hoe snel het waterniveau in de buizen daalde. Het resultaat van de metingen staat in Figuur 4.1.



Figuur 4.1 Resultaten infiltratietesten (daling waterniveau tegen tijd) op drie plekken

Elke gekleurde lijn is één infiltratietest. De eerste twee testen (blauw – bovanaan talud en groen – onderaan talud) starten iets na 11:00. De test op het talud start circa 12:45 (roze). De metingen starten op een referentieniveau van 0, waarna de buis wordt gevuld. Vanaf dat

moment daalt het waterniveau. Door het dalende deel van de grafiek is een trendlijn getrokken, waarvan de formule in de grafiek is aangegeven (y = waterniveau in m en x is tijd in dagen). Voor de test onderaan het talud is onderscheid gemaakt in een eerste deel (eerste circa 45 min) en een tweede deel, omdat de dalende lijn later duidelijk minder steil wordt.

De testen geven direct de infiltratiecapaciteit van de dijk. De richtingscoëfficiënten van de trendlijnen geven de infiltratiecapaciteit in $\text{m}^3/\text{dag}/\text{m}^2$. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4.3.

Testlocatie	Infiltratiecapaciteit ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$)
Onderaan talud I	$0,8 \times 10^{-4}$
Onderaan talud II	$0,5 \times 10^{-4}$
Talud	$0,9 \times 10^{-5}$
Bovenaan talud	$3,2 \times 10^{-5}$
Gemiddeld	$0,4 \times 10^{-4}$

Tabel 4.3 Infiltratiecapaciteit uit infiltratietesten

De infiltratiecapaciteit is het grootst onderaan het talud tijdens de eerste 45 minuten van de test. Deze is circa 2x zo groot als de gemiddelde infiltratiecapaciteit. Het langzaamst gaat het op het talud zelf met ongeveer een factor 5 langzamer dan gemiddeld. De oorzaak van de verschillen kan zijn gelegen in lokale afwijkingen in de grond. Een aanwijzing hiervoor wordt teruggevonden in de handboringen die bij de infiltratieproeven zijn uitgevoerd, waarbij de bovenste grondlaag 'zand, zwak siltig, sterk humeus' iets dikker is op het talud en nabij de kruin dan bij de teen.

Voor de predictie van de waterspanningen is uitgegaan van de gemiddelde infiltratiecapaciteit van $0,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Een lokaal hoge infiltratiecapaciteit zal lokaal tot een snelle stijging van de waterdruk kunnen zorgen. Een lokaal hogere waterdruk zal echter in de dijk, door zijdelings afstromen, worden genivelleerd.

Opgemerkt wordt dat de gevonden waarden, net als bij eerdere proeven, in de range van 10^{-4} tot 10^{-5} m/s vallen. Deze waarden worden ook gegeven in het Technisch Rapport Klei voor Dijken, TAW 1996. Het feit dat het hier om een zanddijk gaat heeft kennelijk geen invloed op de infiltratiecapaciteit.

Het infiltratiefront zal met een snelheid (v) die gelijk is aan k/n de dijk in zakken. De schijnbare doorlatendheid k (m/s) volgt uit de formule $k = f \cdot h_0/t$, waarin h_0 (m) gedeeld door t (s) gelijk is aan de gemeten infiltratiecapaciteit. f (-) is een dimensieloze factor die volgt uit de porositeit n en het capillaire effect h_c en is in het algemeen gelijk aan 0,8. Met een infiltratiecapaciteit van $0,4 \times 10^{-4}$ volgt $k = 3,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ en met een porositeit van 0,39 (Bijlage A) volgt een snelheid van het infiltratiefront $v = 0,8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

4.2.2 Predictie eenvoudige methode

Het potentiële infiltratievolume dat gedurende een storm in het dijkprofiel stroomt (Tabel 4.4) volgt eenvoudig door vermenigvuldiging van de infiltratiecapaciteit met de infiltratietijd (Tabel 4.2). Voor de verzadiging van de grond hoeven alleen de poriën te worden gevuld, zodat voor de berekening van het grondvolume dat als gevolg van het infiltratievolume kan worden verzadigd, het infiltratie volume moet worden gedeeld door de porositeit (gemiddeld 0,39).

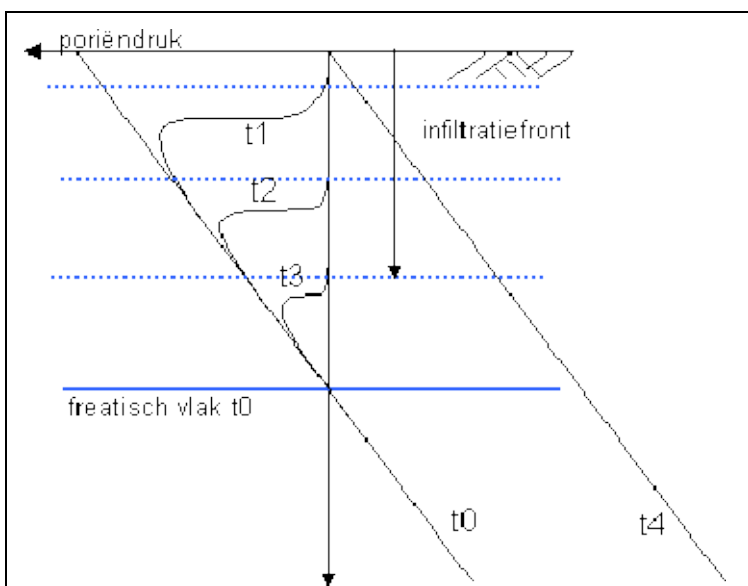
q (l/s per m)	Hs=1 m		Hs=2 m		Hs=3 m	
	Volume infiltratie (m ³ /m ²)	Volume verzadigd (m ³ /m ²)	Volume infiltratie (m ³ /m ²)	Volume verzadigd (m ³ /m ²)	Volume infiltratie (m ³ /m ²)	Volume verzadigd (m ³ /m ²)
0,1	0,07	0,19	0,01	0,03	0,00	0,01
1	0,55	1,42	0,20	0,50	0,09	0,23
5	0,87	2,22	0,60	1,54	0,43	1,10
10	0,89	2,29	0,76	1,95	0,63	1,61
30	0,89	2,29	0,87	2,24	0,84	2,15
50	0,89	2,29	0,89	2,29	0,87	2,24
75	0,89	2,29	0,89	2,29	0,88	2,27

Tabel 4.4 Volume water (m³/m² per storm van 6 uur) dat infiltreert en het volume grond dat hierdoor kan worden verzadigd (m³/m²) voor verschillende significante golfhoogtes en gemiddelde overslagdebieten q (l/s per m)

Gedurende een storm van 6 uur kan maximaal circa 2,3 m³ grond per m² dijk worden verzadigd. Dit betekent bijvoorbeeld dat indien al dit water is gezakt tot aan het freatische vlak, dit freatische vlak met 2,3 m kan stijgen (zonder afstroming in het horizontale vlak).

Tijdens infiltratie zal de druk onder de bekleding zich als volgt opbouwen (zie Figuur 4.2):

- 1 Voor passeren infiltratiefront is een zuigspanning aanwezig (spanning boven het initiële freatische vlak, gegeven door t0).
- 2 Achter het infiltratiefront, maar tijdens het proces van de verticale instroming in het talud, is de waterdruk 0 (zie spanningsverloop t1, t2 en t3).
- 3 Indien het infiltratiefront een minder doorlatende laag bereikt, of het freatische vlak, dan loopt de waterdruk op. De mate waarin is afhankelijk van de richting waarin de stroming zich ontwikkelt (zie t4, als het infiltratiefront het initiële freatische vlak raakt ontstaat de drukverdeling volgens t4).

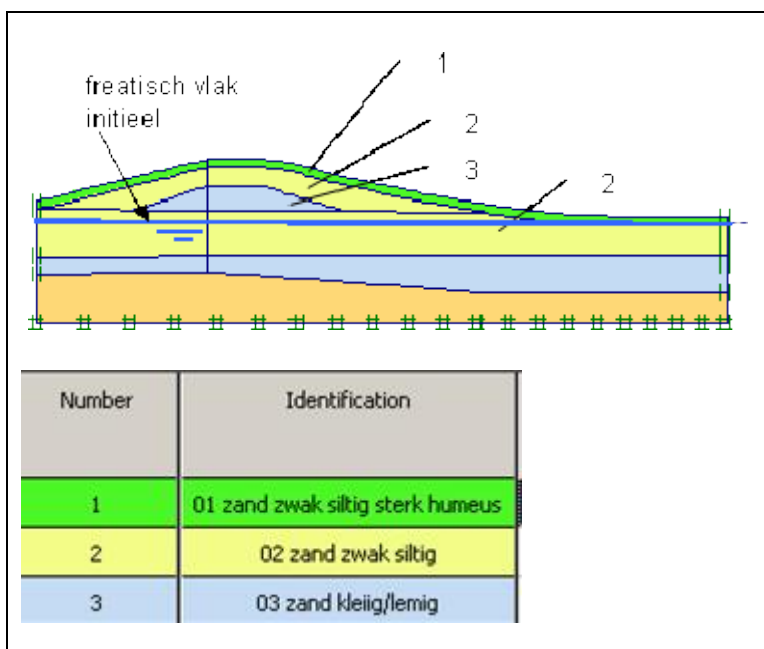


Figuur 4.2 Schematische weergave druk in de poriën tijdens infiltratie

Het freatisch vlak in de Vechtdijk ligt op circa 0,5 m onder het binnendijks maaiveld.

Een barrière in de grond wordt gevormd door het zand in de kern. Dit heeft een lagere doorlatendheid dan de zandlaag die tussen de humeuze toplaag en de kern ligt (zie de schematisatie van de grondopbouw in Figuur 4.3). Infiltratie in de kern zal wel optreden, maar de makkelijkste weg is in taludrichting via de laag (2). De diepte van de kern onder het maaiveld is 1,6 m.

De schematisatie van de grondopbouw is gebaseerd op grondonderzoek dat staat beschreven in paragraaf 4.3.



Figuur 4.3 Schematisatie ondergrond Vechtdijk

De ligging van het freatisch vlak en de barrière in de grond (Figuur 4.3) en de infiltratietijd en capaciteit (Tabel 4.4) leiden tot de volgende predictie van het verloop van de waterspanning:

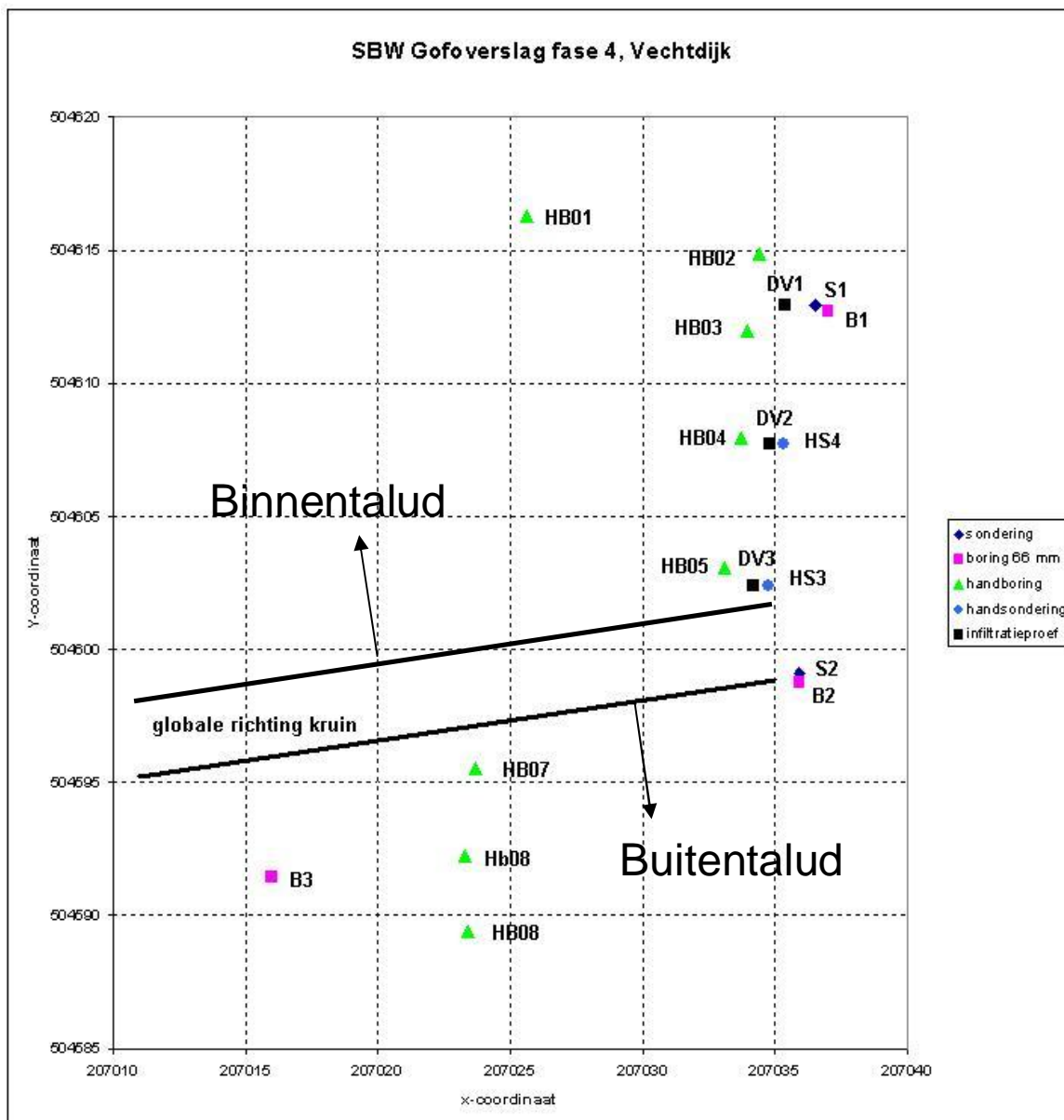
- **Teen van de dijk:**
De druk in de aanvankelijk onverzadigde zone tussen maaiveld en freatisch vlak gaat van negatief naar hydrostatisch voor:
 - $H_s=1$ m bij 1 l/s per m en meer
 - $H_s=2$ m bij 1 l/s per m en meer
 - $H_s=3$ m bij 5 l/s per m en meer
- **Talud:**
De druk in de aanvankelijk onverzadigde zone tussen maaiveld en de kern van de dijk gaat van negatief naar hydrostatisch voor:
 - $H_s=1$ m bij 5 l/s per m en meer
 - $H_s=2$ m bij 10 l/s per m en meer
 - $H_s=3$ m bij 10 l/s per m en meer

4.3 Infiltratieberekening Van Genuchten model

Net als bij eerdere predicties is ook voor de Vechtdijk een berekening gemaakt met het Van Genuchten stromingsmodel voor onverzadigde grond, zoals opgenomen in het Eindige Elementen Methode programma PlaxFlow. Met dit programma kan voor een dwarsprofiel (2-dimensionaal) infiltratie in een aanvankelijk onverzadigde dijk worden gemodelleerd.

4.3.1 Dijkopbouw en materiaaleigenschappen

De schematisatie van de dijkopbouw is gebaseerd op handboringen, Begemann boringen (66 mm) en sonderingen (Bijlage A). Een schematische plattegrond van het uitgevoerde veldwerk staat in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Schematische weergave situatie grondonderzoek (HB=Handboring; S=sondering; B=Begemannboring 66 mm; DV=infiltratieproef)

Het grondonderzoek (Figuur 4.4) heeft geleid tot de schematisatie zoals aangegeven in Figuur 4.3. Hierin zijn de volgende lagen te onderscheiden:

- Laag 1: toplaag circa 0,3 m dik, zand zwak tot matig siltig, zandgehalte 87% tot 93%, korrels verkit in wortelzone
 Laag 2: zand zwak siltig met grindstukjes, d_{50} circa 250 μm
 Laag 3: kernmateriaal, zand matig siltig, d_{50} circa 190 μm

De doorlatendheidseigenschappen van de geschematiseerde grondlagen zijn gebaseerd op doorlatendheidsproeven in het laboratorium en veldinfiltratieproeven. De resultaten van de veldinfiltratieproeven zijn eerder beschreven in 4.2.1. De resultaten van de doorlatendheidsproeven staan in Tabel 4.5.

Boring	diepte tov m.v.		Grondbeschrijving	Falling head test	Constant head test		
	van	tot		k (m/s)	n (-)	k (m/s)	
B01	1A	-0,02	-0,05	Klei, zwak siltig, matig humeus, (Teelaarde)	4,3E-06		
	1B	-0,17	-0,42	Zand, zwak siltig		38,5	3,6E-04
						36,1	2,6E-04
						34,7	2,1E-04
	1D	-0,46	-0,5	Zand, zwak siltig			
	2A	-0,82	-1,12	Zand, matig siltig		45,1	6,4E-05
						43,1	4,2E-05
						41	3,8E-05
	3A	-1,83	-2,13	Zand, zwak siltig		41,7	5,5E-05
						39,2	4,1E-05
B02						37,5	3,4E-05
	3C	-2,33	-2,63	Zand, zwak siltig, zwak grindig		36,8	4,7E-04
						34,1	2,9E-04
						33	2,5E-04
	5A	-0,03	-0,07	Zand, matig siltig, enkel grindstuk.	8,9E-08		
	5C	-0,25	-0,55	Zand, zwak siltig		41,1	1,5E-04
						38,3	1,0E-04
						37,3	7,7E-05
	6A	-1,09	-1,13	Zand, matig siltig, met ijzeroer.	7,6E-07		
	6B	-1,43	-1,47	Zand, matig siltig, met ijzeroer.	3,5E-08		
B03	7E	-1,9	-1,95	Zand, matig siltig, met ijzeroer.	2,7E-07		
	7A	-2,1	-2,35	Zand, matig siltig		46,3	3,3E-05
						45,4	3,3E-05
						44	2,9E-05
	7C	-2,39	-2,43	Zand, matig siltig			
	7D	-2,5	-2,55	Zand, matig siltig, met ijzeroer.	4,3E-07		
9B	-0,15	-0,2	Zand, matig siltig, zwak humeus	1,5E-06			

Tabel 4.5 Doorlatendheid k (m/s) van diverse grondmonsters, bepaald in het laboratorium met de falling head methode en constant head methode.

Op de toplaag (circa 0-0,3 m onder maaiveld) zijn drie monsters beproefd met de Falling head methode (monsters 1A, 5A en 9B). De gemiddelde doorlatendheid die hieruit volgt is 2×10^{-6} m/s. Dit is een factor 10 minder doorlatend dan volgt uit de veldinfiltratieproeven ($3,2 \times 10^{-5}$ m/s, zie paragraaf 4.2.1). Zeer waarschijnlijk was de falling head proefmethode, achteraf gezien, niet geschikt voor het bepalen van de doorlatendheid van deze grond. De falling head test is gebruikelijk voor cohesieve grond met een doorlatendheid van 10^{-7} m/s en minder. Bij een te hoge doorlatendheid zakt de waterlaag op het monster te snel is de meting niet goed uit te voeren. De grond is met deze methode beproefd, vanwege het cohesieve uiterlijk van de monsters bij het uitleggen van de boring.

De laboratoriumbepaling van de doorlatendheid van het zand onder de toplaag, laag 2 in Figuur 4.3, is uitgevoerd met de constant head methode. Gemiddeld geeft dit een waarde van $1,4 \times 10^{-4}$ m/s.

Het materiaal uit de kern van de dijk, laag 3 in Figuur 4.3, is bepaald met de falling head methode. Ook deze grond leek bij het uitleggen van de boring cohesief, waardoor voor deze proefmethode is gekozen. Er wordt echter een gemiddelde doorlatendheid gevonden van $0,4 \times 10^{-6}$ m/s, wat een factor 10 hoger is dan wat volgens de falling head methode goed kan worden bepaald.

De gemiddelde resultaten van de laboratoriumproeven hebben als startpunt gediend voor het narekenen, met het Van Genuchten model in PlaxFlow, van het gemiddelde resultaat van de veld infiltratieproeven. In dit model is de gelaagdheid van de grond aangehouden zoals is gevonden in de uitgevoerde grondboringen (Figuur 4.3). Om tot een goed resultaat te komen was het nodig om de doorlatendheden van de verschillende grondlagen als volgt aan te passen in het PlaxFlow model:

Laag 1 (toplaag) $2,4 \times 10^{-5}$ m/s

Laag 2 (zand) $2,4 \times 10^{-4}$ m/s

Laag 3 (kern) $4,1 \times 10^{-5}$ m/s

Met name de doorlatendheid van de toplaag en de kern zijn naar boven bijgesteld om de veld infiltratieproeven te kunnen narekenen. De globale verhouding tussen doorlatendheden is wel behouden.

Voor de porositeit n (-) van de toplaag is 6% aangehouden. Dit betreft alleen het volume van de macroporiën. Er wordt vanuit gegaan dat de stroming door de toplaag hoofdzakelijk door de macroporiën plaats vindt. De porositeit van laag 2 en 3 is bepaald in het laboratorium en komen overeen met gebruikelijke waarden voor zand (Tabel 4.6).

De benodigde Van Genuchten parameters zijn ontleend aan de database van PlaxFlow (Tabel 4.6). In deze database kan met behulp van een korrelverdeling (Bijlage A) een schatting worden gemaakt van de verschillende parameters die de het onverzadigde stromingsgedrag beïnvloeden. Deze parameters leggen de verhouding vast tussen verzadiging S (-), zuigspanning en relatieve doorlatendheid (Bijlage B).

Laag	n (-)	S _{res} (-)	S _{sat} (-)	g _n (-)	g _a (1/m)	g _l (-)
1 – toplaag	0,06	0,0736	1	2,37	1,35	-0,65
2 – zand	0,37	0,0620	1	1,38	3,83	1,25
3 - kern	0,43	0,0233	1	1,25	0,83	-0,59

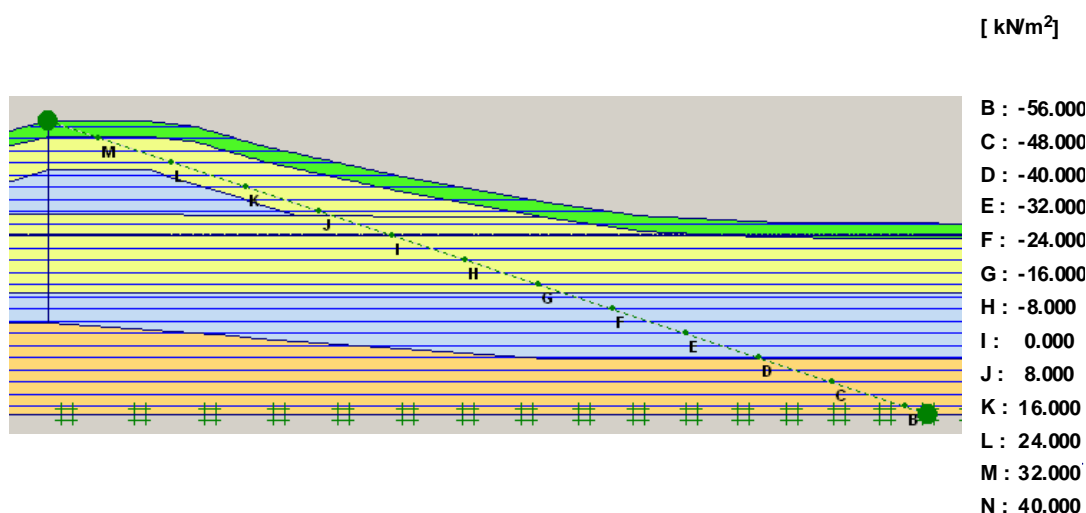
Tabel 4.6 Van Genuchten parameters voor onverzadigde stroming

De parameter S_{res} (-), de residuele verzadiging, is de verzadiging die altijd aanwezig blijft, ondanks heel hoge zuigspanningen. De parameter S_{sat} (-), is de verzadiging bij een poriënspanning van nul of groter. In het geval dat luchtbelletjes aanwezig blijven in de poriën, dan is deze waarde kleiner dan 1. Er was voor de Vechtdijk geen aanleiding om voor deze waarde kleiner dan 1 te kiezen. De overige parameters leggen de vorm van de curves vast (Bijlage B).

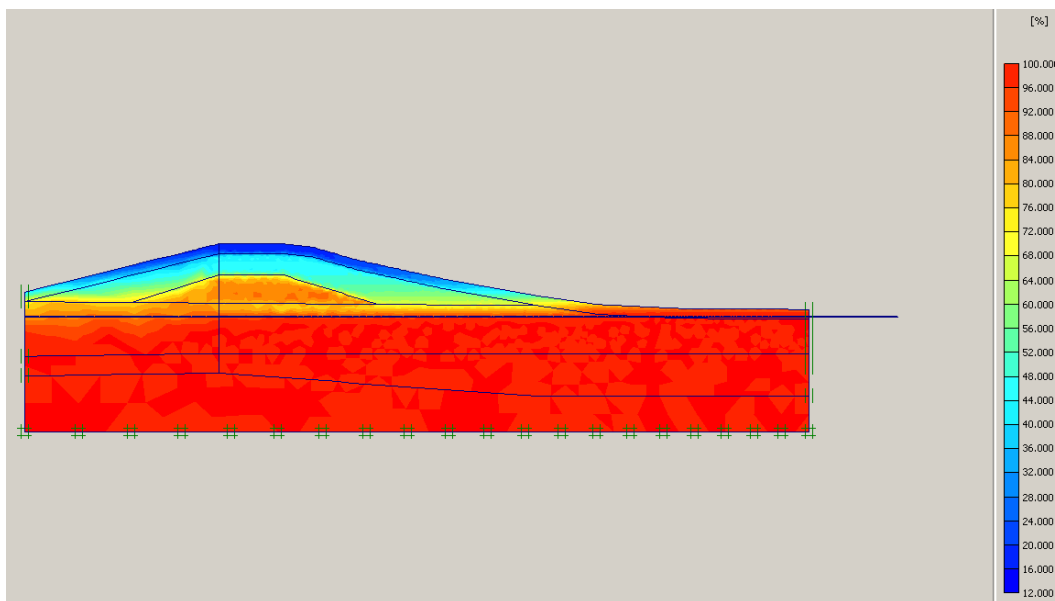
4.3.2 Begin- en randvoorwaarden voor de infiltratieberekening

De beginvoorwaarde is gegenereerd uitgaande van een grondwaterstand van NAP – 0,15 m, welke is aangetroffen tijdens het uitvoeren van het grondonderzoek. Deze grondwaterstand ligt in de range van de waterstand in de Vecht. Er dus geen groot verhang binnen of buitenwaarts over de waterkering onder dagelijkse omstandigheden.

Het drukverloop in de geometrie volgt uit de ligging van het freatisch vlak en is omgekeerd hydrostatisch. Op bijvoorbeeld 1 m boven het freatisch vlak is de zuigspanning gelijk aan 1 meter waterkolom (-10 kPa). Bij deze spanningsverdeling hoort een verzadigingsgraad, volgens de relaties in bijlage B (Figuur 4.5).



Waterspanning (kPa) (druk is negatief)



Verzadiging (%)

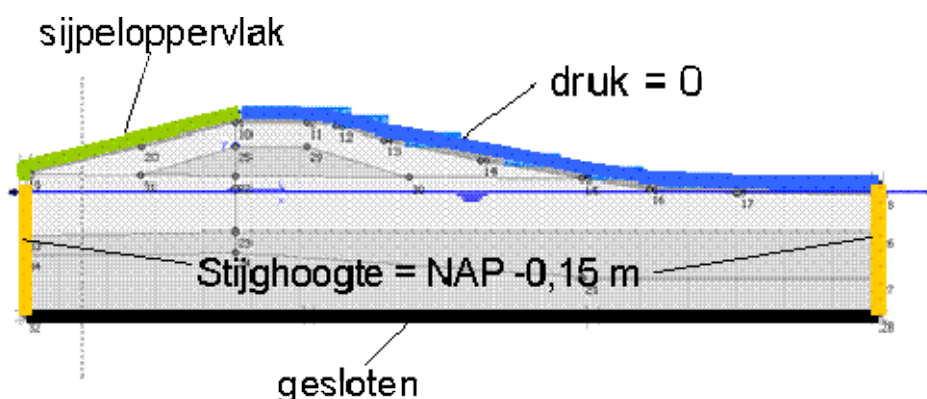
Figuur 4.5 Beginvoorwaarde waterspanning (kPa) en verzadiging (%)

Golfoverslag wordt gemodelleerd met een zogenaamde druk=0 rand. Dit wil zeggen dat op deze rand een onbeperkt wateraanbod aanwezig is bij een druk van 0 kPa, ofwel een heel dun waterlaagje dat onbeperkt wordt aangevuld. In fase 2B is al aangetoond dat de dikte van het waterlaagje, binnen de grenzen van wat bij de golfoverslagproeven aanwezig is, geen grote invloed heeft op de ontwikkeling van de waterspanningen in de dijk en de infiltratiecapaciteit.

De druk = 0 rand is gemodelleerd vanaf de buitenkruinlijn tot aan de binnendijkse begrenzing van de modelgeometrie. In werkelijkheid ligt hier een laag gelegen achterland, zonder teensloot voor de afvoer. Het water verzamelt zich hier en dit achterland zal continu nat/drassig zijn na aanvang van de proeven.

Omdat het modelleren van individuele golfoverslaggebeurtenissen nauwelijks mogelijk is met het gebruikte model PlaxFlow, is er voor gekozen om de tijd dat het talud nat is als gevolg van overslagvolumes (Tabel 4.2) aan elkaar te modelleren. Dit leidt tot een iets te hoge schatting van de waterspanningen.

De randvoorwaarden bij de PlaxFlow berekening staan in Figuur 4.6.



Figuur 4.6 Weergave randvoorwaarden

4.3.3 Resultaten PlaxFlow

Met de bovengenoemde parameters, begin- en randvoorwaarden is een berekening gemaakt van de waterspanningsopbouw als gevolg van infiltratie. Er is één berekening gemaakt van de ontwikkeling van de waterspanningen in de dijk als gevolg van voortdurende infiltratie tot een duur van 6 uur. Hiermee kunnen alle predicties worden gegeven voor de combinaties van overslagdebiet q (l/s per m) en H_s (m) in Tabel 4.2 (herhaald in Tabel 4.7), omdat elk van de combinaties een infiltratietijd geeft van 0 tot 6 uur.

Bijvoorbeeld: bij een overslagdebiet van 5 l/s per m en een golfhoogte van 2 m is de infiltratietijd 4:01 volgens Tabel 4.7. De berekende waterspanningen op dit moment in de PlaxFlow berekening, geeft de predictie voor deze stormcondities. Een uur later in de berekening (5:06) volgt de predictie van de waterspanningen indien het overslagdebiet 10 l/s per m was geweest in plaats van 5 l/s per m.

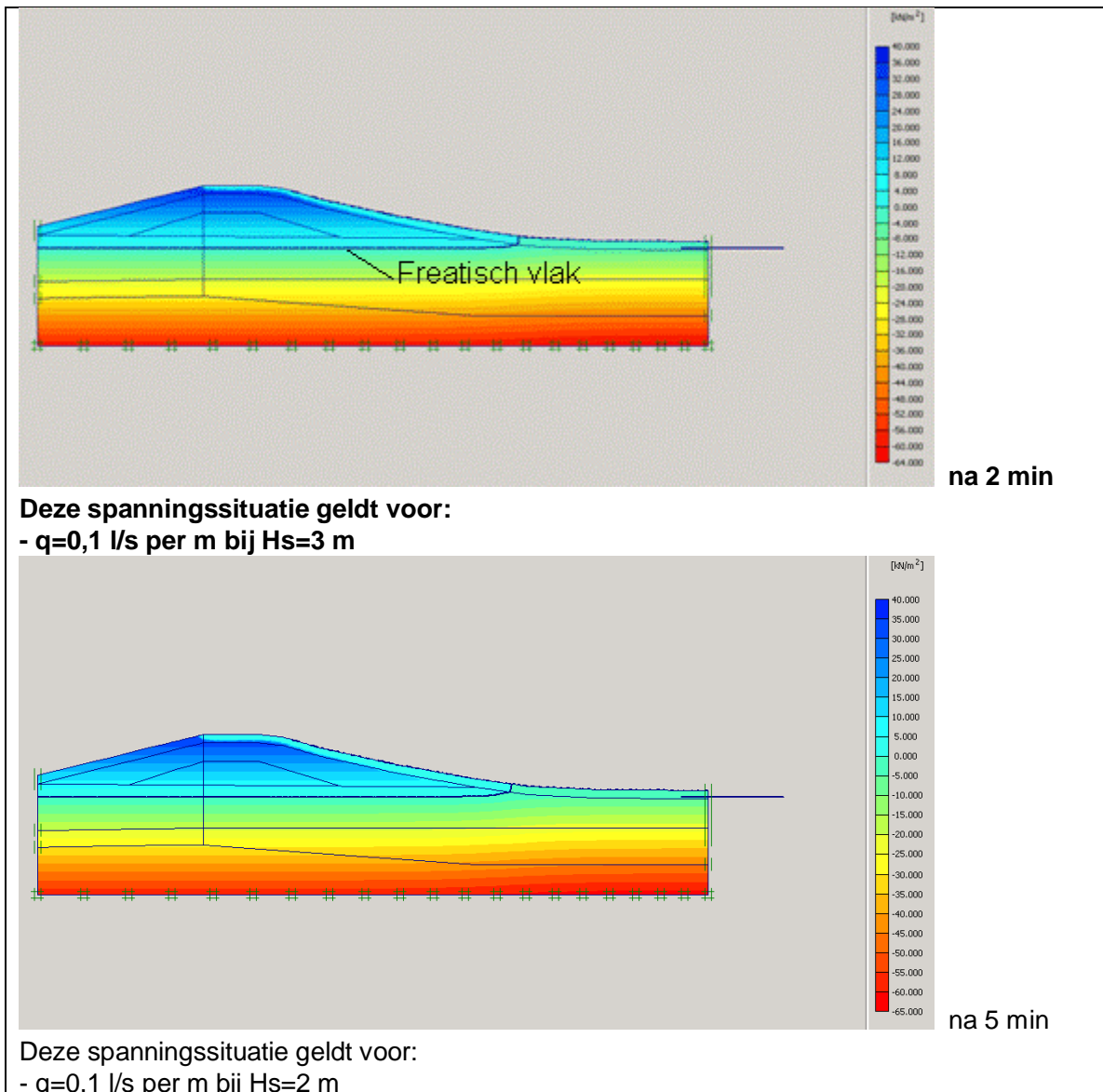
q (l/s per m)	$H_s=1$ m	$H_s=2$ m	$H_s=3$ m
0,1	00:30	00:05	00:02
1	03:43	01:19	00:36
5	05:49	04:01	02:52
10	06:00	05:06	04:12
30	06:00	05:52	05:38
50	06:00	06:00	05:52
75	06:00	06:00	05:56

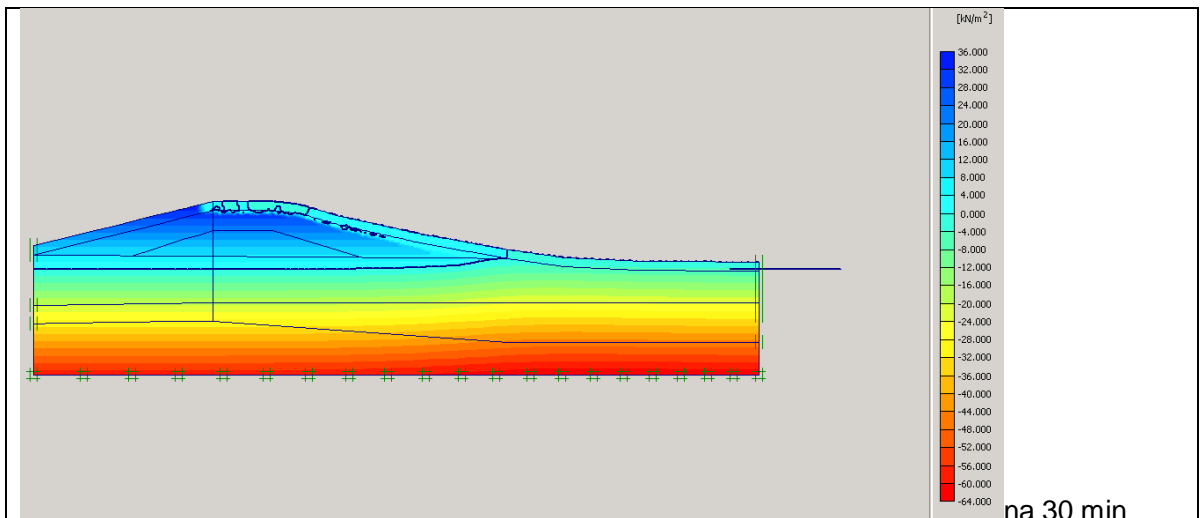
Tabel 4.7 Infiltratietijden bij een stormduur van 6 uur voor verschillende combinaties van overslagdebiet q (l/s per m) en golfhoogte H_s (m)

De waterspanningen uit de berekening worden op twee manieren inzichtelijk gemaakt.

- 1 2D beeld van de opbouw van de waterspanning. Hierin is ook de ontwikkeling van het freatisch vlak (vlak met druk = 0 kPa) te volgen (Figuur 4.7). De ligging van het freatisch vlak is aangegeven met een donkere (blauwe) lijn in de geometrie. Op het tijdstip 0:02 is met tekst aangegeven om welke lijn het gaat. Deze lijn markeert de grens tussen zuigspanning (verzadiging <1) en drukspanning (verzadiging =1).
- 2 Waterspanningsopbouw in een vertikaal in het talud. Hierin is te zien hoe de druk zich ontwikkelt van zuigspanning naar drukspanning en of de

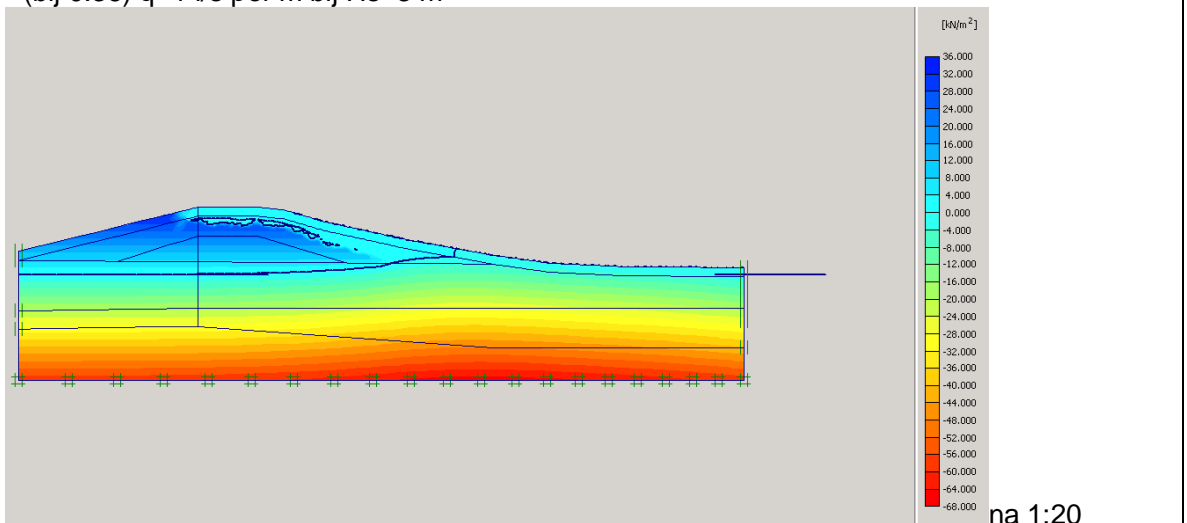
conditie van parallelle of uittredende grondwaterstroming wordt bereikt (Figuur 4.8).





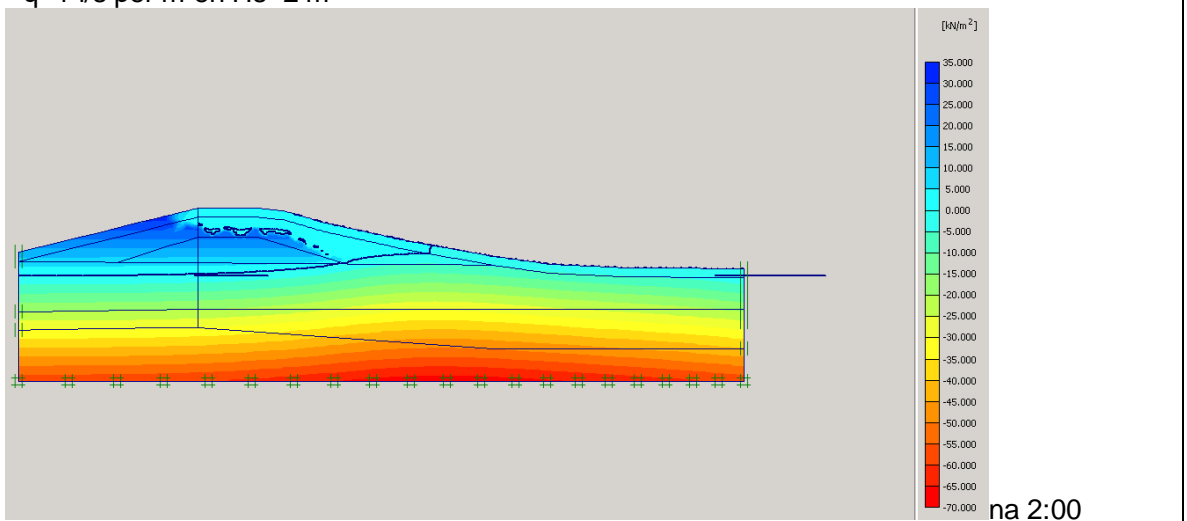
Deze spanningssituatie geldt voor:

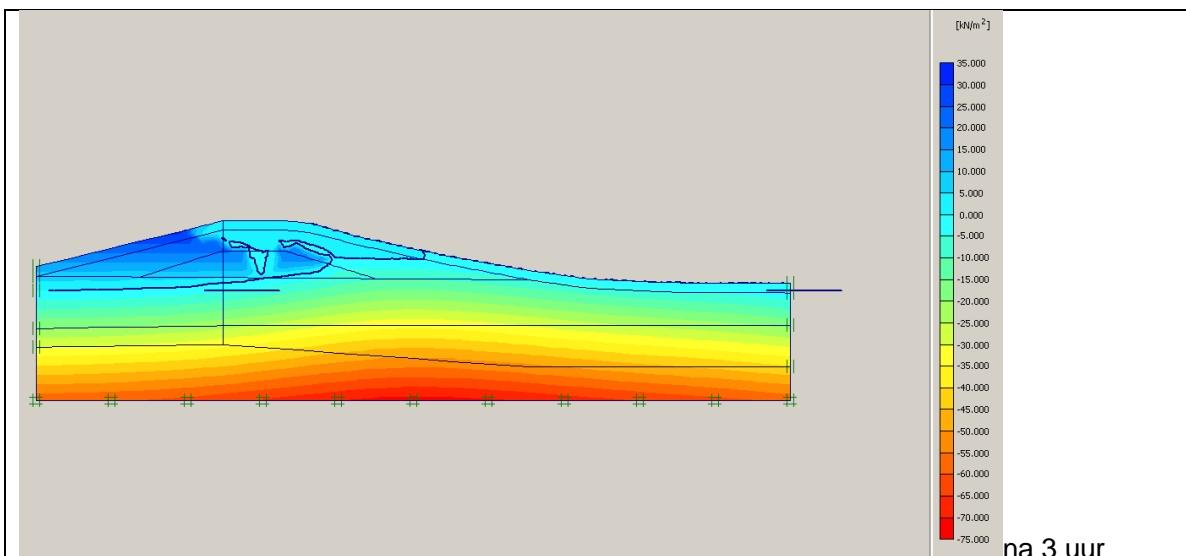
- $q=0,1$ l/s per m bij $H_s=1$ m en
- (bij 0:36) $q=1$ l/s per m bij $H_s=3$ m



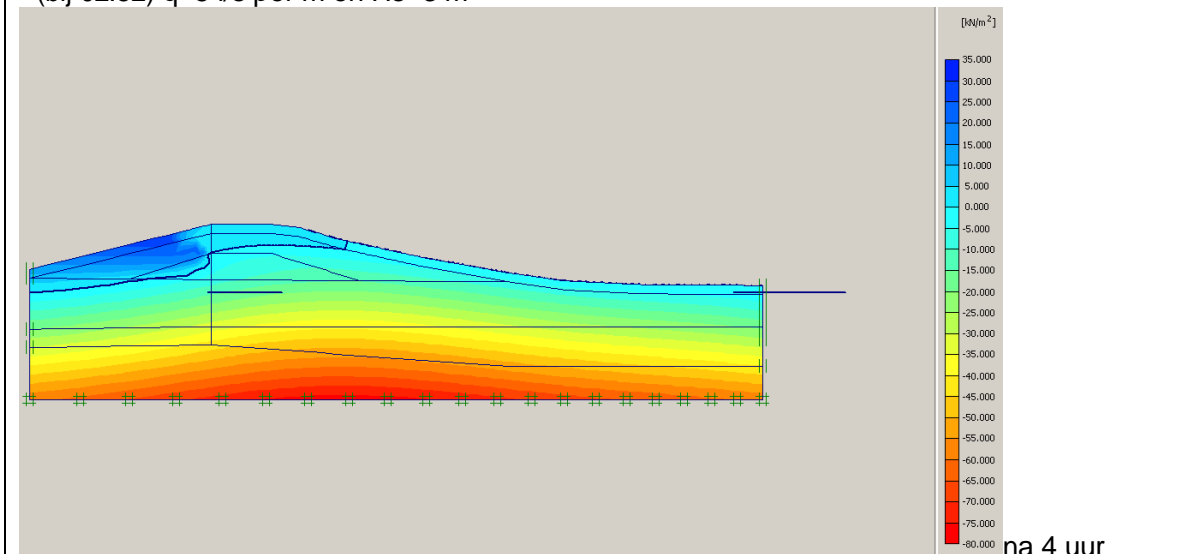
Deze spanningssituatie geldt voor:

- $q=1$ l/s per m en $H_s=2$ m

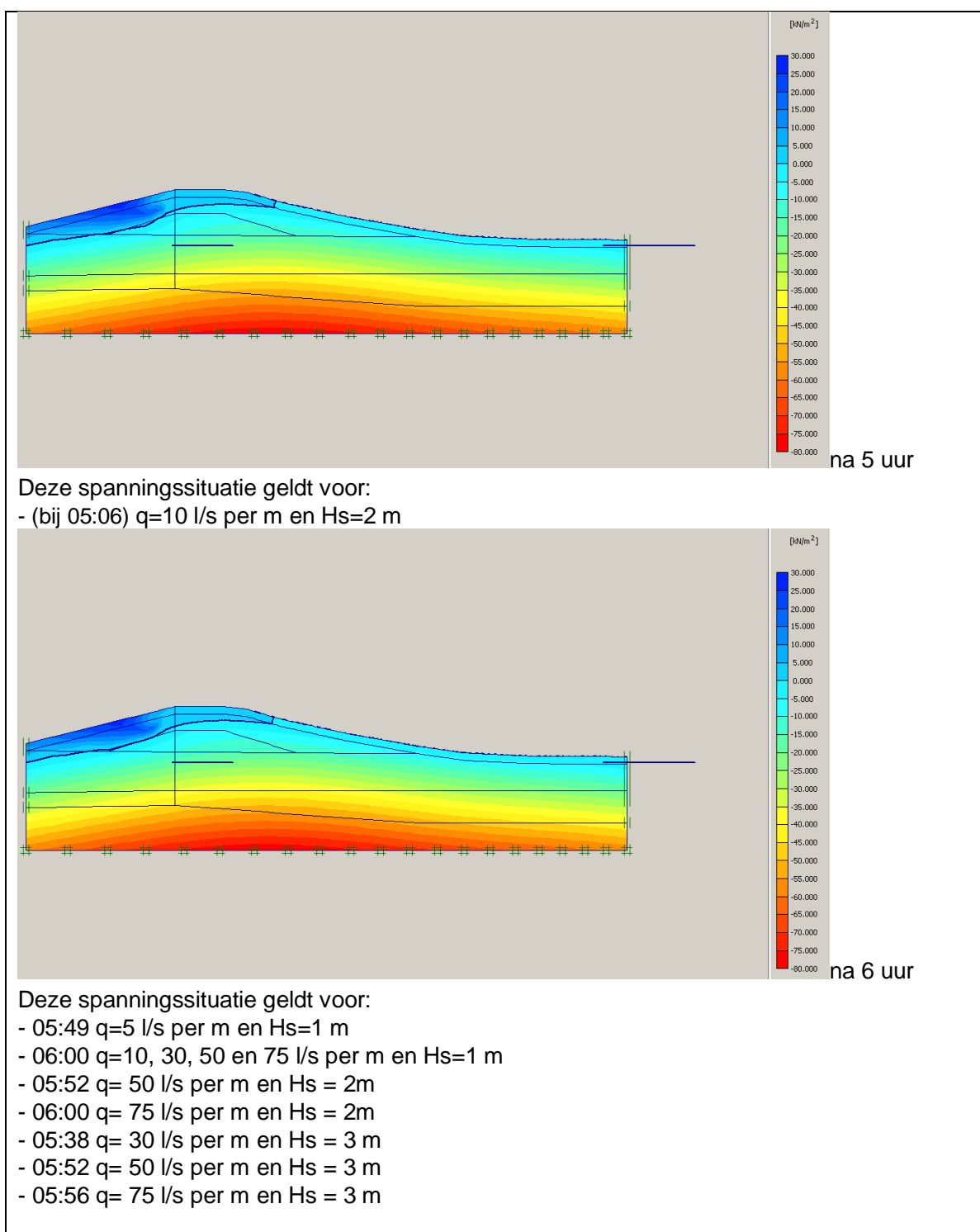




Deze spanningssituatie geldt voor:
 - (bij 02:52) $q=5$ l/s per m en $H_s=3$ m



Deze spanningssituatie geldt voor:
 - (bij 04:01) $q=5$ l/s per m en $H_s=2$ m
 - (bij 04:12) $q=10$ l/s per m en $H_s=3$ m

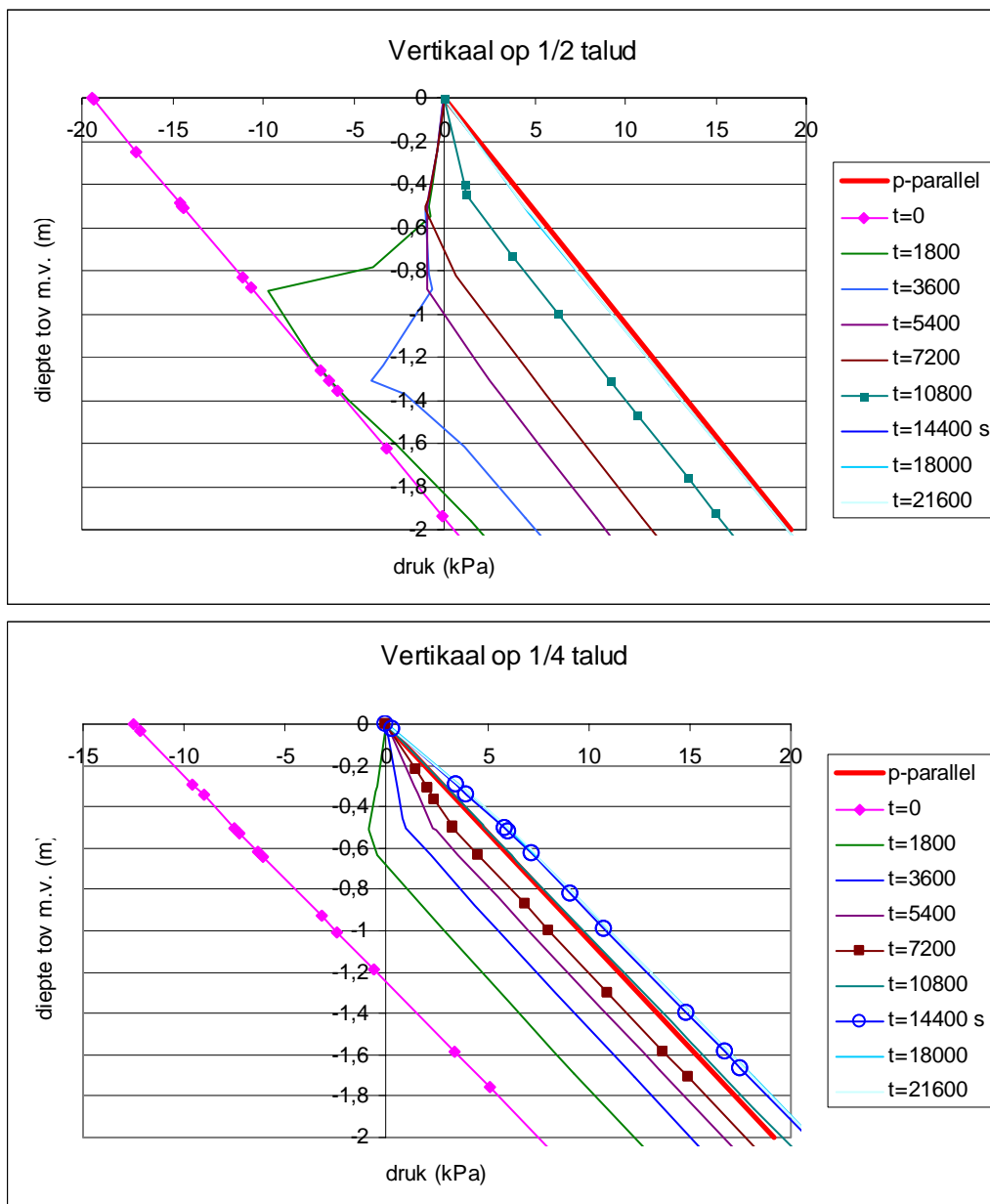


Figuur 4.7 2D waterspanningsopbouw als gevolg van continue infiltratie op verschillende momenten

Het 2D beeld laat zien dat het freatisch vlak (druk = 0 vlak) vanuit de teen de dijk in trekt. Het talud stroomt gedurende 6 uur vol tot en hoogte van circa NAP +2,5 m, wat ongeveer 0,5 m boven het kernniveau is.

De buitenwaarts gelegen rand houdt de waterdruk aan de buitenzijde van de dijk (links) kunstmatig laag. Hier had de rand verder gekozen moeten worden, of had een sijnoppervlak moeten zijn. Echter voor de spanningsopbouw onder het binnentalud heeft dit slechts zeer weinig invloed.

De drukopbouw onder het talud ten opzicht van de drukopbouw die hoort bij een parallelle stroming is inzichtelijk gemaakt door voor twee verticalen de druk op verschillende tijdstippen uit te zetten tegen de diepte onder maaiveld (Figuur 4.8). Vertikaal 1 staat op circa de helft van de taludhoogte en vertikaal 2 op een kwart van de taludhoogte, vanaf de teen gezien. In vertikaal 1, halverwege het talud, ligt het freatisch vlak initieel ongeveer 1,95 m onder het maaiveld. In vertikaal 2, op ¼ van het talud is dat circa 1,25 m.



Figuur 4.8 Waterspanningsopbouw in een vertikaal als gevolg van continue infiltratie op verschillende momenten

Initieel is de zuigspanning te zien boven het oorspronkelijke freatisch vlak (roze lijn met ruitjes). Het verschil in deze lijn tussen de verticalen, wordt veroorzaakt door de verschillende hoogtes van het maaiveld boven het initiële freatische vlak. Voor de vertikaal op de helft van het talud is dit 1,95 m en voor de vertikaal op een kwart van het talud is dit 1,25 m.

In de grafiek is te zien dat op een kwart van het talud de waterspanning sneller oploopt en uiteindelijk ook hoger wordt. In de vertikaal op een kwart van het talud stijgt het freatisch vlak tussen 0,5 en 1 uur tot aan maaiveldniveau en wordt de druk overeenkomend met parallelle grondwaterstroming bereikt op $t=10800$ s (3 uur). Voor de vertikaal op de helft van het talud gebeurt dit respectievelijk na 3 uur en 4 uur.

De waterspanning onderin het talud wordt ook hoger dan hoger op het talud. De druk wordt zelfs hoger dan de waarde die hoort bij parallelle stroming. Dit duidt op een uittrekkende grondwaterstroming.

Het eerder en hoger oplopen van de waterspanningen ter plaatse van de teen is overigens in lijn met eerdere berekeningen voor andere proeflocaties.

4.3.4 Predictie PlaxFlow

De PlaxFlow resultaten leiden tot de volgende predictie van de waterspanningen:

- Teen van de dijk:
De druk in de aanvankelijk onverzadigde zone tussen maaiveld en freatisch vlak gaat van negatief naar hydrostatisch na 3 uur. Voor de verschillende combinaties van q en H_s is dit:
 - $H_s=1$ m bij 1 l/s per m en meer
 - $H_s=2$ m bij 5 l/s per m en meer (*bij 1 l/s per m voor de eenvoudige methode*)
 - $H_s=3$ m bij 5 l/s per m en meer
- Talud:
De druk in de aanvankelijk onverzadigde zone tussen maaiveld en freatisch vlak gaat van negatief naar hydrostatisch na 4 uur. Voor de verschillende combinaties van q en H_s is dit:
 - $H_s=1$ m bij 5 l/s per m en meer
 - $H_s=2$ m bij 5 l/s per m en meer (*bij 10 l/s per m voor de eenvoudige methode*)
 - $H_s=3$ m bij 10 l/s per m en meer

De predictie met PlaxFlow geeft een veel gedetailleerder beeld van de verwachte ontwikkeling van de waterspanningen in de dijk dan de eenvoudige methode. Globaal gezien komt de predictie echter redelijk goed overeen met de eenvoudige methode.

5 Micro-instabiliteit

Onderzoek naar het mechanisme micro-instabiliteit is geen doel van de golfoverslagproeven. De proeven zijn ook niet ingericht met als doel dit mechanisme te onderzoeken. Het mechanisme kan echter optreden vanwege het feit dat de Vechtdijk een zanddijk is, die als gevolg van de overslagproeven verzadigd kan raken. Bij een verzadiging van de dijk kan een uittredend verhang ontstaan dat zandkorrels kan uitspoelen en kan laten afschuiven. In het draaiboek voor de proeven (Fase 4C) is, mede op verzoek van de dijkbeheerder, een beoordeling op micro-instabiliteit opgenomen als onderdeel van de risico-inschatting van de golfoverslagproeven.

Het mechanisme kan optreden, en vooral ook zichtbaar worden, indien de golfoverslagproef, tijdelijk, stopt. Tijdens de golfoverslagproeven zal het geweld van de overslaande golven eventuele micro-instabiliteit maskeren. Micro-instabiliteit kan echter zorgen voor verdere aantasting van het profiel, zonder dat er nog water over de kruin van de dijk stroomt. Het is het water dat gedurende de proef in de dijk is geïnfiltreerd dat de aandrijvende kracht vormt van dit mechanisme.

De modelontwikkeling (Fase 4A) en predictie worden gepresenteerd, omdat het later nuttig kan zijn voor verder onderzoek naar dit mechanisme en voor het onderzoek naar reststerkte.

5.1 Formules micro-instabiliteit Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies

In Fase 4A Modelontwikkeling zijn formules gepresenteerd voor de beoordeling van micro-instabiliteit bij zandtaluds. Twee mechanismen dienen te worden gecontroleerd, uitspoelen en afschuiven.

5.1.1 Uitspoelen

Voor het **uitspoelen** van zand geldt de formule:

$$\tan \alpha \leq \sqrt{\frac{\rho_g - \rho_w}{\rho_w \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,p}}} \quad (5.1)$$

Waarin:

$\tan \alpha$	tangens van de taludhelling (-)
ρ_g	soortelijke massa van de verzadigde grond (kg/m^3)
ρ_w	soortelijke massa van het water (kg/m^3)
γ_n	schadefactor (-)
γ_d	modelfactor (-)
	(aanbevolen door TRWG om voor $\gamma_d \cdot \gamma_n$ de waarde 2 aan te houden)
$\gamma_{m,p}$	materiaalfactor op de soortelijke massa (aanbevolen door TRWG =1)

Met deze formule wordt een kritische taludhelling berekend uitgaande van het loodrechte evenwicht van de korrels op het taludoppervlak, bij een grondwaterstroming horizontaal het talud uit.

Voor de Vechtdijk zijn de volgende parameters bepaald:

Parameters	Waarde	Opmerkingen
ρ_g	1950 kg/m ³	Zie Bijlage A
ρ_w	1000 kg/m ³	-
γ_n	1	Geen veiligheid in predictie
γ_d	1	Geen veiligheid in predictie
$\gamma_{m,\phi}$	1	Geen veiligheid in predictie

Tabel 5.1 Parameters Vechtdijk mechanisme uitspoelen

Met de waarden uit Tabel 5.1 wordt een kritische taludhelling berekend van circa 1:1. Omdat de taludhelling van de Vechtdijk veel flauwer is zal dit mechanisme hier niet optreden.

5.1.2 Afschuiven

Voor het **afschuiven** van een laag korrels geldt de formule:

$$\tan \phi \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{m,\phi} \cdot \rho_g \cdot g \cdot \sin \alpha}{\rho_g \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{\rho_w \cdot g}{\cos \alpha}} \quad (5.2)$$

Waarin:

$\tan \phi$ tangens van de hoek van inwendige wrijving (-)

α taludhelling (°)

ρ_g soortelijke massa van de verzadigde grond (kg/m³)

ρ_w soortelijke massa van het water (kg/m³)

g zwaartekrachtversnelling (m/s²)

γ_n schadefactor (aanbevolen door TRWG =1,1)

γ_d modelfactor (aanbevolen door TRWG =1,1)
(aanbevolen door TRWG om voor $\gamma_d \cdot \gamma_n$ de waarde 2 aan te houden)

$\gamma_{m,\phi}$ materiaalfactor op de hoek van inwendige wrijving (aanbevolen door TRWG =1,1)

In deze formule wordt het parallelle evenwicht van de korrels langs het taludoppervlak beschouwd bij een grondwaterstroming horizontaal het talud uit. De formule berekend bij een gegeven taludhelling een kritische hoek van inwendige wrijving van het zand.

Voor de Vechtdijk zijn de volgende parameters bepaald:

Parameters	Waarde	Opmerkingen
ρ_g	1950 kg/m ³	Zie Bijlage A
ρ_w	1000 kg/m ³	Zoet water
$\tan \alpha$	1:5	Binnentalud
$\tan \alpha$	1:4	Buitentalud
γ_n	1	Geen veiligheid in predictie
γ_d	1	Geen veiligheid in predictie
$\gamma_{m,\phi}$	1	Geen veiligheid in predictie

Tabel 5.2 Parameters Vechtdijk mechanisme afschuiven

Met de waarden uit Tabel 5.2 wordt een kritische hoek van inwendige wrijving ϕ berekend van $28,8^\circ$ voor een taludhelling van 1:4 (buitentalud) en $23,2^\circ$ voor een helling 1:5 (binnentalud). Omdat de hoek van inwendige wrijving van het zand groter is dan 30 graden, wordt dit mechanisme niet verwacht.

5.1.3 Conclusie op basis van de formules TRWG

Het mechanisme microinstabiliteit wordt niet verwacht tijdens de golfoverslagproeven op de Vechtdijk. Hiervoor is de taludhelling te flauw.

Het mechanisme kan alleen optreden bij een taludversteiling, bijvoorbeeld door het optreden van een erosiekuil.

Overigens wordt opgemerkt dat indien de aanbevolen veiligheidsfactoren volgens het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies in rekening worden gebracht, micro-instabiliteit wel moet worden verwacht.

5.2 Transportformule benadering erosieproces micro-instabiliteit

Het begin van bewegen van korrels op het talud, onder invloed van een waterlaagje op het talud, taludhelling α en een verhang het talud uit i_\perp kan worden berekend met de aangepaste formule van White (De Groot 2008 uit Van der Wal 1991 en Van Rhee, 1987).

$$\theta_{crit} (White) = \alpha_w \eta \frac{\pi}{6} \tan \phi \left(\frac{\sin(\phi - \alpha)}{\sin \phi} + \frac{i_\perp}{(1 - n_0)\Delta} \right) \quad (5.3)$$

Waarin:

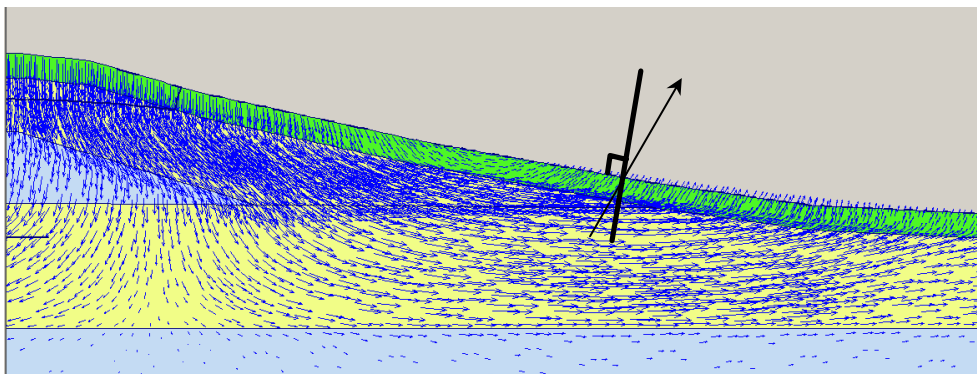
θ_{crit}	$\tau_{crit}/\rho_w g \Delta D_{50}$
τ_{crit}	kritische bodemschuifspanning (N/m^2)
Δ	relatieve dichtheid zandkorrels $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$
ρ_s	soortelijke massa korrels (2650 kg/m^3 voor kwarts)
ρ_w	soortelijke massa water
D_{50}	korreldiameter waarbij 50% van de massa van zandkorrels kleiner is
α_w	dimensieloze empirische parameter voor effect turbulentie
η	dimensieloze empirische parameter voor effect pakking zand
ϕ	hoek van inwendige wrijving
α	taludhelling
i_\perp	verhang in de richting loodrecht op het talud
n_0	porositeit

Voor de Vechtdijk zijn de volgende parameters bepaald:

Parameters	Waarde	Opmerkingen
ρ_s	2650 kg/m ³	Kwarts zand
ρ_w	1000 kg/m ³	Zoet water
D_{50}	199 μ m	Bijlage A – gem. monsters K13,14,15 en 16
$\alpha_w \cdot \eta$	0,35 (-)	(Van der Wal 1991)
ϕ	30°	Ervaringsgetal – rekenwaarde
α	14° en 11,3°	Buitentalud 1:4/ binnentalud 1:5
i_{\perp}	-0,42	Hoofdstuk 4
n_0	0,42	Bijlage A

Tabel 5.3 Parameters Vechtdijk mechanisme uitspoelen en erosie

Het uittredende verhang i_{\perp} is berekend in Hoofdstuk 4. In Figuur 5.1 staat de stroomdichting aangegeven ten opzichte van het talud na 6 uur infiltratie. Te zien is dat er een sterk buitenwaarts gerichte stroming wordt berekend. Het verhang is bepaald door het verschil in stijghoogte te nemen over de buitenste twee elementen onder het talud (in PlaxFlow), gedeeld door de afstand tussen deze punten.



Figuur 5.1 Stroombeeld ter plaatse van de teen van de dijk na 6 uur infiltratie

Met de waarden uit Tabel 5.3 en formule 5.3 wordt een θ_{crit} berekend van 0,02 (-) bij een taludhelling van 1:5, binnentalud, en 0,01 (-) bij een taludhelling van 1:4, buitentalud.

Hieruit volgt een kritische bodemschuifspanning τ_{crit} van 0,04 Pa en 0,07 Pa voor een helling van respectievelijk 1:4 en 1:5. Deze kritische bodemschuifspanning is zodanig klein dat zandtransport zal gaan optreden.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1 Hydraulische parameters

Op de Vechtdijk zullen conform de eerdere locaties bij de Boonweg, in Zeeland en op de Afsluitdijk vergelijkbare proeven worden uitgevoerd wat betreft hydraulische condities, met dien verstande:

- Een hydraulisch zeeregime met een significante golfhoogte van $H_s = 2$ m;
- Een rivierregime met een significante golfhoogte van $H_s = 1$ m; en
- Optioneel een hydraulisch zeeregime met een significante golfhoogte van $H_s = 3$ m.

Voor de verschillende condities is de cumulatieve belasting $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ bepaald. Deze maat biedt de mogelijkheid verschillende regimes met elkaar te vergelijken.

6.1.2 Erosie

Voor de Vechtdijk worden de volgende mechanismen onderscheiden:

- Slijterosie: eroderen van de toplaag waarna een gat op een zwakke plek in de graszode ontstaat (kuilvorming);
- abrupt of geleidelijk lokaal losscheuren van een laagdikte van 5 à 10 cm van de grasbekleding (opbolmechanisme bij abrupt losscheuren);
- ontstaan van lokale ontgrondingskuilen bij opritten of bij de overgang naar een horizontaal deel zoals bij de teen van het talud;
- erosie rondom een boom.

De verwachte erosie is voorspeld voor een golfregime met een significante golfhoogte van $H_s = 2$ m. Voor de andere golfregimes met golfhoogten van 1 m en 3 m is geen predictie gemaakt.

De verwachte erosie per mechanisme is:

- slijterosie: orde 3 cm; dat is minder dan de zodedikte van 10 cm en dus is de conclusie dat het mechanisme slijterosie niet optreedt.
- Losscheuren door vermoeiing en abrupt losscheuren zullen naar verwachting niet optreden.
- Ontgrondingskuilen bij de oprit of bij de overgang zullen een diepte kunnen bereiken van 0,3 à 0,6 m.
- Een ontgrondingskuil bij de boom zal een maximale diepte bereiken van 0,7 à 0,8 m.

6.1.3 Infiltratie

- Het feit dat de Vechtdijk een zanddijk is heeft geen invloed op de infiltratiecapaciteit van de dijk. Deze is van dezelfde orde van grootte als de kleidijk en zanddijk met kleibekledingen op eerdere proeflocaties.
- De eenvoudige methode voor het berekenen van de drukopbouw, en een berekening met PlaxFlow, leiden globaal tot dezelfde conclusie ten aanzien van het ontstaan van een ongunstige drukopbouw.
- De infiltratieduur is voor verschillende combinaties van gemiddeld overslagdebiet en significante golfhoogte berekend. Bij een lage golfhoogte wordt de tijd dat het talud 100% van de stormduur nat is al bij lage overslagdebieten bereikt (b.v.) $H_s = 1\text{ m}$ geeft bij 5 l/s per 'm al 97% van de tijd een nat talud terwijl bij een H_s van 3 m dit nog 48% is).
- Infiltratie gedurende 6 uur zal leiden tot volledige verzadiging van het talud en een drukopbouw boven 0 kPa tot een hoogte van circa 2/3 van het talud bij een infiltratieduur van 6 uur.
- Onderaan het talud zal de druk oplopen tot hoger dan die hoort bij een stroming parallel aan het talud.
- Een druk die hoort bij parallelle stroming wordt onderaan het talud bereikt na drie uur infiltratie.
- Halverwege het talud zal de druk maximaal gelijk zijn aan de druk die hoort bij een stroming parallel aan het talud.
- Een druk die hoort bij parallelle stroming wordt halverwege het talud bereikt na vier uur infiltratie.

6.1.4 Micro-instabiliteit

- Zonder de aanbevolen veiligheidsfactoren van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies wordt geen micro-instabiliteit verwacht. Het talud is hiervoor te flauw.
- Alleen bij versteiling van het talud, bijvoorbeeld door een erosiekuil, kan micro-instabiliteit optreden.
- Met de aanbevolen veiligheidsfactoren moet wel micro-instabiliteit worden verwacht.
- Indien wordt uitgegaan van de formules van White, aangepast voor taludhelling en uittredend verhang, dan wordt wel begin van bewegen verwacht, zelfs indien de debieten die over het talud stromen zeer gering zijn. Zeer gering wil in dit geval zeggen veel minder dan zelfs de kleinste overslagvolumes.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Hydraulische parameters

Voor de evaluatie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Verifiëren van de juistheid van de cumulatieve belasting $\Sigma(u^2 - u_c^2)$ als maat voor het karakteriseren van de hydraulische belasting.
- Nagaan of de gewogen maximale momentane debiet bruikbaar is als maat voor de hydraulische belasting.
- Bij gebleken geschiktheid van de cumulatieve belastingmaat omwerken van de eerdere predictiemethoden naar methoden met de term $\Sigma(u^2 - u_c^2)$.

6.2.2 Erosie

De volgende aanbevelingen voor de analyse van de uitgevoerde proeven worden gedaan:

- Hernieuwde validatie van de opgestelde modellen aan de hand van de waargenomen erosie.
- Verbeteren van de beide modellen voor losscheuren (vermoeiingsmodel en abrupt losscheuren model).
- Verbeteren van het turf-element model voor NWO's.
- Bij de analyse rekening houden met de andere belasting regimes met significante golfhoogten van 1 m en 3 m.

6.2.3 Infiltratie

- De tijd dat het talud wordt nat gehouden door één overslagvolume is belangrijk voor de bepaling van de tijd dat het talud nat is gedurende een hele storm. Aanbevolen wordt om dit te meten. Lage overslaggebieden lenen zich het beste voor een dergelijke metingen, omdat dan de tijd tussen overslagvolumes voldoende groot is voor het talud om droog te vallen.
- Het is voor de Vechtdijk, een zanddijk met een geringe taludhelling, interessant om de metingen te concentreren bij de teen van het talud. Ten eerste om de vordering van het freatisch vlak vanuit de teen de dijk in te volgen en ten tweede om bij het eventuele optreden van micro-instabiliteit informatie te hebben over het uittredende verhang.

6.2.4 Micro-instabiliteit

Micro-instabiliteit wordt niet verwacht op de Vechtdijk. De formules uit het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (zonder veiligheidsfactoren) laten een vrij ruime marge zien tot aan instabiliteit. De taludhelling is te flauw. Indien onverhoeds toch micro-instabiliteit wordt waargenomen, dan wordt aanbevolen het schadeprofiel op te nemen en in het kader van de evaluatie te kijken naar de mogelijke oorzaak.

Referenties

- Deltares 2009, SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding, Fase 3A Modelontwikkeling Afsluitdijk, kenmerk 1001189-015-GEO-0001, mei 2009.
- Deltares 2010a, SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding, Fase 3D Evaluatie Afsluitdijk, kenmerk 1200259-010-GEO-0017, februari 2010.
- Deltares 2010b, SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding, Fase 4A Modelontwikkeling Vecht, kenmerk 1201541-000-GEO-0021, juni 2010.
- Van Hoven, A., Barends, F.B.J., A Practical Approach for infiltration tests, Conference proceedings Frontiers in Shallow Subsurface Technology 2010, p. 55-58.
- Van Rhee C., A. Bezuijen 1992, Influence of seepage on stability of sandy slope, Journal of Geotechnical Eng., Vol. 118, No. 8, pp 1236-1240.
- De Groot, M.B., 2008, Micro-instabiliteit binnentalud zanddijk, GeoDelft / Delft Cluster rapportnummer 418020-0009 v01, maart 2008

Bijlage A Grondonderzoek

SBW-Golfoverslagproeven

Factual report grondonderzoek Vechtdijk




R.J. van Etten

Titel
SBW-Golfoverslagproeven

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Verkeer en Waterstaat Rijkswaterstaat Waterdienst	1201541-001	1201541-001-GEO-0002	24

Trefwoorden
Vechtdijk, grondonderzoek, overslagproeven

Samenvatting
Dit rapport bevat een overzicht van het uitgevoerde geotechnische grondonderzoek voorafgaand aan de SBW-golfoverslagproeven op de Vechtdijk ter hoogte van de Dijkzichtweg te Berkum (Zwolle). In de Bijlagen zijn de resultaten van het grondonderzoek en de laboratoriumproeven opgenomen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	jun. 2010	R.J.G. van Etten		E.H. van Waardenberg		Ir. L. Voogt	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Veldonderzoek	3
2.1 Piëzosonderingen	4
2.2 Begemannboringen	4
2.3 Handboringen	4
2.4 Doorlatendheidsmetingen	5
2.5 Handsonderingen	6
3 Laboratoriumonderzoek	7
3.1 Begemannboringen	7
3.2 Korrelverdelingen zandmonsters	7
3.3 Doorlatendheidsbepaling cohesieve grond	9
3.4 Doorlatendheidsbepaling zand	11
Bijlage(n)	
A Situatie grondonderzoek	A-1
B Sonderingen	B-1
C Handboringen	C-1
D Veld-doorlatendheidsmetingen	D-1
E Begemannboringen	E-1
F Laboratoriumresultaten	F-1
G Korrelverdelingen zand	G-1

Lijst van Tabellen

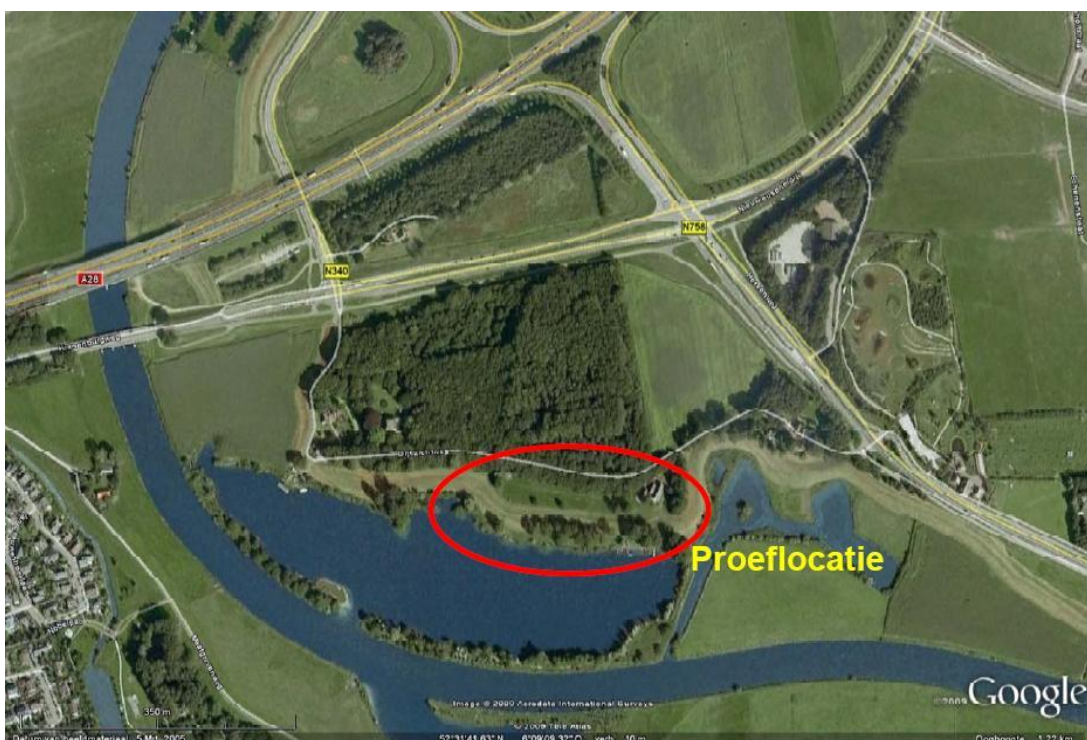
Tabel 2.1	Overzicht piëzosonderingen	4
Tabel 2.2	Overzicht Begemannboringen 66 mm	4
Tabel 2.3	Overzicht handboringen.	5
Tabel 2.4	Overzicht doorlatendheidsmetingen	6
Tabel 2.5	Overzicht handsonderingen.	6
Tabel 3.1	Overzicht Volumegewicht en watergehalte	7
Tabel 3.2	Overzicht korrelverdelingen zandmonsters	7
Tabel 3.3	Aanvullende korrelverdelingen monsters toplaag	9
Tabel 3.4	Resultaten waterdoorlatendheidsproeven cohesieve grond	11
Tabel 3.5	Resultaten waterdoorlatendheidsproeven zandmonsters	11

Lijst van Figuren

Figuur 1.1	Locatie overslagproeven Vechtdijk (Bron: maps.google.nl)	1
Figuur 2.1	Locaties proefvakken (Bron: Draaiboek Infram)	3
Figuur 2.2	Opstelling meting	6
Figuur 3.1	Opstelling verticale doorlatendheidsproef	9

1 Inleiding

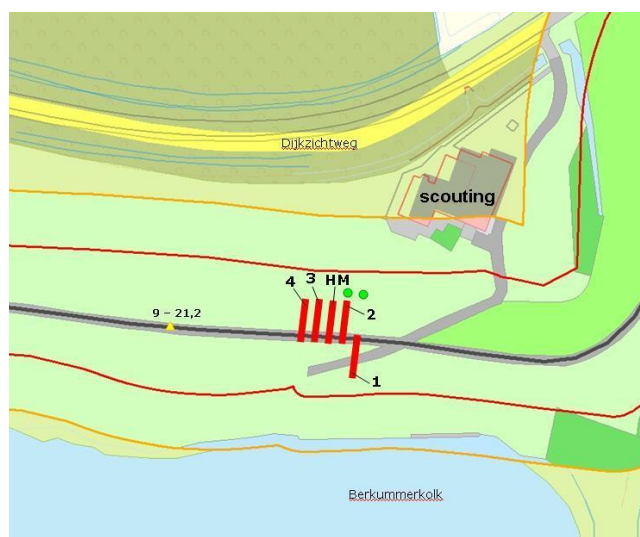
De Waterdienst van Rijkswaterstaat heeft Deltares in het kader van het SBW-project (Sterkte & Belasting Waterkeringen) opdracht gegeven voor het uitvoeren van golfoverslagproeven op de Vechtdijk ter hoogte van de Dijkzichtweg te Berkum (Zwolle). Het doel van deze proeven is de overslagbestendigheid van de grasmat op het binnentalud te bepalen. Voorafgaand aan de overslagproeven wordt een predictie gemaakt voor de erosie van de grasmat en de ontgronding aan de teen. Ook wordt een predictie gemaakt voor de opbouw van de waterspanningen in de dijk ten gevolge van infiltratie en voor afschuiving van de bekleding. Voor deze predictie is grond- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd, waarvan de resultaten in dit rapport zijn opgenomen. De locatie van de overslagproeven en het grondonderzoek is in Figuur 1.1 weergegeven.



Figuur 1.1 Locatie overslagproeven Vechtdijk (Bron: maps.google.nl)

2 Veldonderzoek

Voorafgaand aan het grondonderzoek is begin december 2009 een Klic-melding gedaan en een verkenning uitgevoerd. Deze verkenning is samen met Infram op 10 december 2009 uitgevoerd, waarbij de vakken voor de overslagproeven en de locaties waar het grondonderzoek kan worden uitgevoerd zijn bepaald. Hoewel de locaties van de overslagproeven nadien nog zijn gewijzigd, had dit geen gevolgen voor het uit te voeren grondonderzoek. In Figuur 2.1 zijn de vakken van de overslagproeven weergegeven, zoals opgenomen in het concept draaiboek van Infram. Proefvak 1 is gelegen op het buitentalud ter plaatse van een dijkovergang, proefvak 2 op het binnentalud ter plaats van een boom aan de teen en proefvak 3 ten westen hiervan. Tussen proefvak 2 en 3 ligt nog een proefvak (HM), waar tijdens een overslagproef hydraulische metingen worden uitgevoerd. Ten westen van proefvak 3 ligt proefvak 4, welke als optioneel wordt beschouwd.



Figuur 2.1 Locaties proefvakken (Bron: Draaiboek Infram)

Om te voorkomen dat tijdens het grondonderzoek de grasmat wordt beschadigd, wordt het grondonderzoek in het binnentalud aan de oostzijde van de overslagproeven uitgevoerd. Vanaf de dijkovergang op het binnentalud is dit vóór proefvak 2. Omdat ook een overslagproef op het buitentalud ter plaatse van de dijkovergang is gepland, wordt het grondonderzoek op geruime afstand hiervan aan de westzijde ervan uitgevoerd. De proefvakken hebben allen een breedte van 4 m, welke tijdens het uitvoeren van de proeven voorzien worden van geleidingswanden.

Het grondonderzoek is op 5 en 6 januari 2010 uitgevoerd en heeft bestaan uit twee piezosonderingen met waterspanningsmeting, drie Begemannboringen 66 mm voor ongeroerde monsternamen, acht handboringen, drie insitu doorlatendheidsproeven en twee handsonderingen. In de situatietekening (Bijlage A) zijn de locaties weergegeven waar welk onderzoek is uitgevoerd.

2.1 Piëzosonderingen

Bij de piëzosondering wordt tijdens het wegdrukken van de sondeerconus de waterspanning continu gemeten. Hiermee wordt een indruk verkregen van de goed en de minder goed doorlatende grondlagen. Silthoudende lagen en dunne kleilagen die aanwezig zijn in een zandige formatie, worden eveneens vastgesteld. Tijdens het wegdrukken van de sonde wordt de kracht op de conuspunt en de plaatselijke kleef gemeten. De kracht is een maat voor de mechanische weerstand. Op basis van de mechanische weerstand en de plaatselijke kleef kan vervolgens het wrijvingsgetal worden bepaald. De mechanische weerstand biedt de mogelijkheid onderscheid te maken tussen de stevigere grondlagen (zand) en de slappere grondlagen (klei en veen). Met het wrijvingsgetal kan bij slappe grondlagen vervolgens onderscheidt worden gemaakt tussen klei en veen.

De twee piëzosonderingen zijn uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 met een conus CKR10/1-324, welke is voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling. Eén sondering is op de dijkkruijn uitgevoerd en één aan de binnentee van de dijk. In Tabel 2.1 zijn van de sonderingen het nummer, de locatiegegevens en de diepte weergegeven. De resultaten van de piëzosonderingen zijn onder Bijlage B opgenomen.

Sondering	X- coördinaat	Y- coördinaat	Maaiveldhoogte	Diepte
CS1	207036,52 m	504612,91 m	NAP + 0,99 m	NAP - 9,00 m
CS2	207035,92 m	504599,12 m	NAP + 3,55 m	NAP - 6,50 m

Tabel 2.1 Overzicht piëzosonderingen

2.2 Begemannboringen

Voor het uitvoeren van laboratoriumproeven op grond dient men de beschikking te hebben over grondmonsters van de vereiste kwaliteit. Het systeem waarmee zo ongestoord mogelijke monsters kunnen worden genomen, is het continu-steekapparaat van Deltares, ontwikkeld door Begemann. De monsters die verkregen worden met het 66 mm steekapparaat zijn geschikt voor alle classificatie- en mechanische beproevingsmethoden (klasse 1, NEN 5119). Het continu-monster wordt tijdens het trekken van het steekapparaat in delen van 1 m afgesneden. De PVC monsterhouder wordt aan weerszijden met een dop afgesloten en staand vervoerd naar ons geotechnisch laboratorium in Delft.

Eén Begemannboring (BB1) is naast de sondering (CS1) laag op het binnentalud uitgevoerd, één Begemannboring (BB2) naast sondering (CS2) op de dijkkruijn en één Begemannboring (BB3) ongeveer halverwege het buitentalud van de dijk. In Tabel 2.2 zijn van de Begemannboringen het nummer, de locatiegegevens en de diepte weergegeven. De laboratoriumresultaten van de boorbeschrijvingen (BB1 t/m BB3) en de foto's van de boringen (BF1 t/m BF3) zijn opgenomen in de Bijlagen onder E.

Boring	X- coördinaat	Y- coördinaat	Maaiveldhoogte	Diepte
BB1	207037,01 m	504612,72 m	NAP + 1,07 m	NAP - 1,87 m
BB2	207035,94 m	504598,80 m	NAP + 3,50 m	NAP + 0,55 m
BB3	207016,00 m	504591,44 m	NAP + 2,00 m	NAP - 0,52 m

Tabel 2.2 Overzicht Begemannboringen 66 mm

2.3 Handboringen

Grondmonsters worden verkregen door het in de grond drukken van een halfronde guts van 1 m of 2 m lengte. Deze guts wordt een halve slag gedraaid waardoor het grondmonster wordt

losgesneden, en vervolgens getrokken. Het verkregen monster is wat betreft de laagopbouw onvermengd en wordt visueel geïnterpreteerd volgens NEN 5104.

Aan de binnentoe van de dijk is één handboring (HB1) uitgevoerd en verdeeld over het binnentalud nog eens vier handboringen (HB2 t/m HB5). In de handboringen aan de teen (HB1 en HB2) werd op een diepte van ongeveer NAP-0,55 m het grondwater aangetroffen. Opmerkelijk is dat in handboring HB3 welke tot een diepte van NAP-0,73 m is uitgevoerd geen grondwater werd aangetroffen. De geplande handboring (HB6) op de kruin is niet uitgevoerd. Hiervoor kan Begemannboring (BB2) worden geraadpleegd. De handboringen HB7 t/m HB9 zijn verdeeld over het buitentalud uitgevoerd. In de handboring HB9 werd op een diepte van ongeveer NAP+0,00 m eveneens grondwater aangetroffen. In Tabel 2.3 zijn van de handboringen het nummer, de locatiegegevens en de diepte weergegeven. De veldbeschrijvingen van de handboringen zijn opgenomen in de Bijlagen onder C.

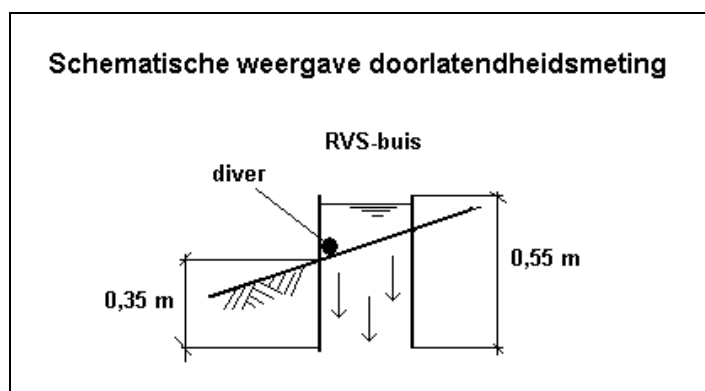
Boring	X- coördinaat	Y- coördinaat	Maaiveldhoogte	Diepte
HB1	207025,65 m	504616,27 m	NAP + 0,69 m	NAP - 1,06 m
HB2	207034,43 m	504614,87 m	NAP + 0,63 m	NAP - 1,12 m
HB3	207034,00 m	504611,98 m	NAP + 1,27 m	NAP - 0,73 m
HB4	207033,70 m	504607,91 m	NAP + 2,10 m	NAP + 0,10 m
HB5	207033,12 m	504603,05 m	NAP + 3,21 m	NAP + 1,21 m
HB7	207023,67 m	504595,55 m	NAP + 3,10 m	NAP + 1,10 m
HB8	207023,30 m	504592,26 m	NAP + 2,04 m	NAP + 0,04 m
HB9	207023,43 m	504589,40 m	NAP + 1,30 m	NAP - 0,45 m

Tabel 2.3 Overzicht handboringen.

2.4 Doorlatendheidsmetingen

Verdeeld over het binnentalud zijn aan de oostzijde van de geplande overslagproef nummer 2 drie insitu doorlatendheidsproeven uitgevoerd. Hiervoor zijn infiltratiebuizen met een diameter van 40 cm en een lengte van 0,55 m verticaal in de grond weggedrukt. Op deze locatie kon worden volstaan met een korte buis omdat zowel de toplaag als de dijk zelf voornamelijk uit zand bestaat. De buizen zijn tot een diepte van circa 35 cm beneden maaiveld in de grond gedrukt, gemeten aan de lage zijde van het talud. Omdat het talud bovenin steiler is dan onderin, varieert de afstand van de bovenkant van de buis tot aan het maaiveld aan de hoge zijde van het talud. Bij de infiltratiebuis geplaatst bovenin het talud bedroeg de afstand tussen bovenkant buis en het maaiveld aan de hoge zijde 8 cm, terwijl dit voor de infiltratiebuis beneden aan het talud 16 cm was. Op het laagste punt in de buis is een diver geplaatst, welke tijdens de meting de waterspanning registreerden met een meetinterval van 2 seconden. Voor de infiltratieproef zijn de buizen tot nagenoeg de bovenkant van de buis gevuld, waarna de daling in de tijd is gemeten. Bij dreigend droogvallen van het maaiveld is water bijgevuld en vindt er een nieuwe meting plaats. Afhankelijk van de infiltratiesnelheid is de proef één tot meerdere keren herhaald. In Figuur 2.2 is schematisch de opstelling van de proef weergegeven.

Infiltratieproef 1 (DV1) is beneden aan het talud uitgevoerd, infiltratieproef 2 (DV2) ongeveer halverwege het binnentalud en infiltratieproef 3 (DV3) is bovenin het talud uitgevoerd. In Tabel 2.4 staan de locatiegegevens van de infiltratiebuizen, evenals de diepte van de buis ten opzichte van het maaiveld aan de lage en hoge zijde van de buis. De waterstanddaling in de buis is tegen de tijd grafisch weergegeven in de Bijlagen onder D.



Figuur 2.2 Opstelling meting

Proef	X- coörd. [m]	Y- coörd. [m]	Maaiveld-hoogte	Diepte – MV Hoge zijde	Diepte – MV Lage zijde
DV1	207035,37	504612,95	NAP + 1,13 m	47 cm	34 cm
DV2	207034,87	504607,73	NAP + 2,11 m	42 cm	37 cm
DV3	207034,17	504602,40	NAP + 3,33 m	39 cm	35 cm

Tabel 2.4 Overzicht doorlatendheidsmetingen

2.5 Handsonderingen

Met een Penetrologger kunnen handsonderingen in de toplaag worden uitgevoerd. In hoofdlijnen bestaat het apparaat uit een krachtmeter, een sondeerstang en een conuspunt. Het handapparaat wordt met gelijkmatige snelheid in de grond gedrukt tot een diepte van 0,8 m beneden maaiveld. De weerstand die tijdens het wegdrukken door de conus wordt ondervonden en de bijbehorende diepte wordt door de Penetrologger gemeten en opgeslagen.

Naast de doorlatendheidsmetingen DV2 en DV3 zijn handsonderingen uitgevoerd. In Tabel 2.5 zijn de locatiegegevens en het nummer van de doorlatendheidsmeting opgenomen. De sondeerresultaten zelf zijn onder Bijlage B opgenomen. Voor de sondering naast de doorlatendheidsmeting 1 wordt verwezen naar de piëzosondering CS1.

Sondering	Infiltratiepr.	X- coördinaat	Y- coördinaat	Maaiveldhoogte
CHS3	DV3	207034,74	504602,37	NAP + 3,31 m
CHS4	DV2	207035,36	504607,70	NAP + 2,20 m

Tabel 2.5 Overzicht handsonderingen.

3 Laboratoriumonderzoek

Voor het laboratoriumonderzoek zijn 3 Begemannboringen 66 mm beschikbaar, waaruit monsters zijn geselecteerd voor het bepalen van de waterdoorlatendheid, de volumieke massa, het watergehalte en de korrelverdeling. Omdat de toplaag overwegend uit zandig materiaal bestaat zijn geen triaxiaalproeven, Direct Simple Shear proeven en kleikeuringen uitgevoerd.

3.1 Begemannboringen

De drie Begemannboringen zijn in het laboratorium van Deltares uitgelegd in lengtes van 1 meter. Uit de boringen zijn representatieve monsters geselecteerd en geprepareerd voor classificatieproeven en mechanische beproevingen. De resterende delen zijn overlans doorgesneden, gefotografeerd, gecodeerd en beschreven volgens NEN 5104 [1989]. De resultaten van de boorbeschrijvingen (BB1 t/m BB3) en de foto's van de boringen (BF1 t/m BF3) zijn opgenomen in de Bijlagen onder E. De op de foto's ontbrekende grond is gebruikt voor het uitvoeren van laboratoriumproeven op de ongeroerde monsters. Van twee monsters is het natte- en droge volumegewicht en het watergehalte bepaald. De resultaten hiervan zijn in onderstaande Tabel en in Tabel AA1 onder Bijlage F opgenomen.

Boring nummer	Proefstuk nummer	Diepte min maaiveld [m]	Grondbeschrijving volgens NEN5104	Y_n [kN/m ³]	Y_{dr} [kN/m ³]	W [% ds]
BB1	1D	0,46 - 0,50	Zand, zwak siltig	15,17	14,53	4,4
BB2	7C	2,39 - 2,43	Zand, matig siltig	17,14	15,68	9,3

Tabel 3.1 Overzicht Volumegewicht en watergehalte

3.2 Korrelverdelingen zandmonsters

Van zes ongeroerde zandmonsters is de korrelverdeling via droge zieving in het laboratorium van Deltares bepaald. Vier van de zes monsters zijn afkomstig uit boring 1 en de overige twee monsters uit boring 2. Een overzicht van de geselecteerd zandmonsters is in Tabel 3.2 opgenomen. Voor de korrelverdelingen zelf kan worden verwezen naar Bijlage G.

Boring nummer	Proefstuk nummer	Diepte min maaiveld [m]	Grondbeschrijving volgens NEN5104	Bijlage nummer proefresultaat
BB1	1C	0,42 - 0,46	Zand, zwak siltig, zwak grindig	K1C
BB1	2B	1,12 - 1,17	Zand, zwak siltig, zwak grindig	K2B
BB1	3B	2,13 - 2,18	Zand, zwak siltig	K3B
BB1	3D	2,64 - 2,69	Zand, zwak siltig, zwak grindig	K3D
BB2	5B	0,20 - 0,25	Zand, zwak siltig, zwak grindig	K5B
BB2	7B	2,35 - 2,39	Zand, zwak siltig, zwak grindig	K7B

Tabel 3.2 Overzicht korrelverdelingen zandmonsters

Op 3 maart 2010 zijn ter plaatse van de handboringen 3, 4, 5 en 7 nog aanvullende monsters van de toplaag genomen, zie Tabel 3.3. De korrelverdelingen hiervan zijn eveneens onder Bijlage G opgenomen. Het laboratoriumverslag AA2 is onder Bijlage F opgenomen.

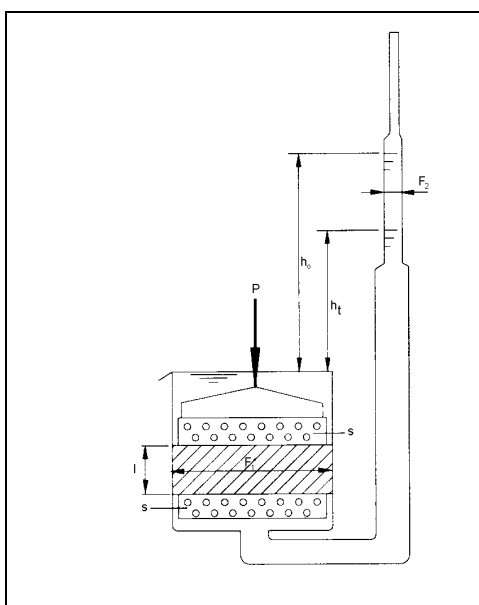
Boring nummer	Proefstuk nummer	Diepte min maaiveld [m]	Grondbeschrijving volgens NEN5104	Bijlage nummer proefresultaat
HB3	16	0,00 - 0,20	Zand, matig siltig	K16
HB4	15	0,00 - 0,20	Zand, matig siltig	K15
HB5	14	0,00 - 0,20	Zand, matig siltig	K14
HB7	13	0,00 - 0,20	Zand, matig siltig	K13

Tabel 3.3 Aanvullende korrelverdelingen monsters toplaag

3.3 Doorlatendheidsbepaling cohesieve grond

De doorlatendheid van grond is een belangrijke parameter om het vervormingsgedrag van de grond te voorspellen wanneer deze belast wordt. De Falling-Head doorlatendheidsproef wordt uitgevoerd om de doorlatendheid van cohesieve grond te bepalen (doorlatendheid van 10^{-5} - 10^{-10} m/sec). De proef kan bij meerdere verticale spanningen op hetzelfde monster worden uitgevoerd. De verticale doorlatendheid van samenhangende grond wordt gemeten in een aangepast samendrukkingsapparaat. Het monster in de cel heeft een diameter van 50 mm en een initiële hoogte van 21 mm. De gewenste verticale grondspanning (P) wordt door middel van gewichten op het monster aangebracht. De uitvoering is volgens NEN 5124 (2003).

Van het te beproeven monster is een beschrijving volgens NEN 5104 gemaakt en is het volumiek gewicht bepaald. Vervolgens is het monster opgesloten tussen twee poreuze stenen en vanonder naar boven doorgestroomd. Daarbij daalt het waterniveau in de stijgbuis. Met de voortdurend afnemende monsterhoogte zorgt dit voor een continu veranderend verhang. Omdat het monster van onder naar boven wordt doorgestroomd krijgen eventuele luchtbelletjes in het monster de gelegenheid om naar boven te ontwijken.



Figuur 3.1 Opstelling verticale doorlatendheidsproef

Vóór het doorstromen van de monsters is vanwege het aanbrengen van de verticale grondspanning eerst een consolidatieperiode in acht genomen.

Het eind van de consolidatieperiode wordt bepaald door de volgende criteria:

1. Een zetting < 20 µm/dag.
2. Geen waterabsorptie c.q. -uitpersing (gelijkblijvend waterniveau in de stijgbuis).

Na deze consolidatieperiode is water in de stijgbuis aangebracht tot een verhang van 40 cm en wordt de meting gestart. Bij de gewenste verticale spanning is een potentiaalverschil (h_0) aangebracht tussen onder- en bovenkant van het monster. Hierdoor wordt het water van onder naar boven door het monster geperst. Op regelmatige tijdstippen (t) wordt de daling (h_t) in de nauwe stijgbuis met schaalverdeling afgelezen. Op basis van de gemeten stijghoogtes kan met behulp van de wet van Darcy de verticale doorlatendheid (k_v) worden bepaald, volgens:

$$k_v = \frac{l * F_2}{1000 * F_1 * t} * \ln\left(\frac{h_0 - h_c}{h_t - h_c}\right) \quad [\text{m/s}]$$

Waarin:

l	=	hoogte monster [mm].
F_1	=	oppervlakte monster [mm ²].
F_2	=	oppervlakte stijgbuis [mm ²].
t	=	doorstoomtijd [s].
h_0	=	beginstand stijgbuis [mm].
h_t	=	eindstand stijgbuis [mm].
h_c	=	capillaire correctie [mm].

In totaal zijn op 7 monsters waterdoorlatendheidsproeven volgens de Falling-Head methode uitgevoerd. Op proefstuk BB1-1A is de proef bij een gelijke spanning herhaald. In de onderstaande Tabel is vermeld uit welke boring en van welke diepte het monster afkomstig is, evenals de grondbeschrijving en de doorlatendheid. Voor het laboratorium verslag wordt verwezen naar AA1 onder Bijlage F.

Boring nummer	Proefstuk nummer	Diepte min maaiveld [m]	Grondbeschrijving	Spanning [kPa]	Kv [m/s]
BB1	1A	0,02 - 0,05	Klei, zwak siltig, matig humeus	6,9	4,3E-06
BB1	1A	0,02 - 0,05	Klei, zwak siltig, matig humeus	6,9	4,1E-06
BB2	5A	0,03 - 0,07	Zand, matig siltig, enkel grindstuk	6,9	8,9E-08
BB2	6A	1,09 - 1,13	Zand, matig siltig, met ijzeroer	11,4	7,6E-07
BB2	6B	1,43 - 1,47	Zand, matig siltig, met ijzeroer	11,4	3,5E-08
BB2	7E	1,90 - 1,95	Zand, matig siltig, met ijzeroer	11,4	2,7E-07
BB2	7D	2,50 - 2,55	Zand, matig siltig, met ijzeroer	11,4	4,3E-07
BB3	9B	0,15 - 0,20	Zand, matig siltig, zwak humeus	6,9	1,5E-06

Tabel 3.4 Resultaten waterdoorlatendheidsproeven cohesieve grond

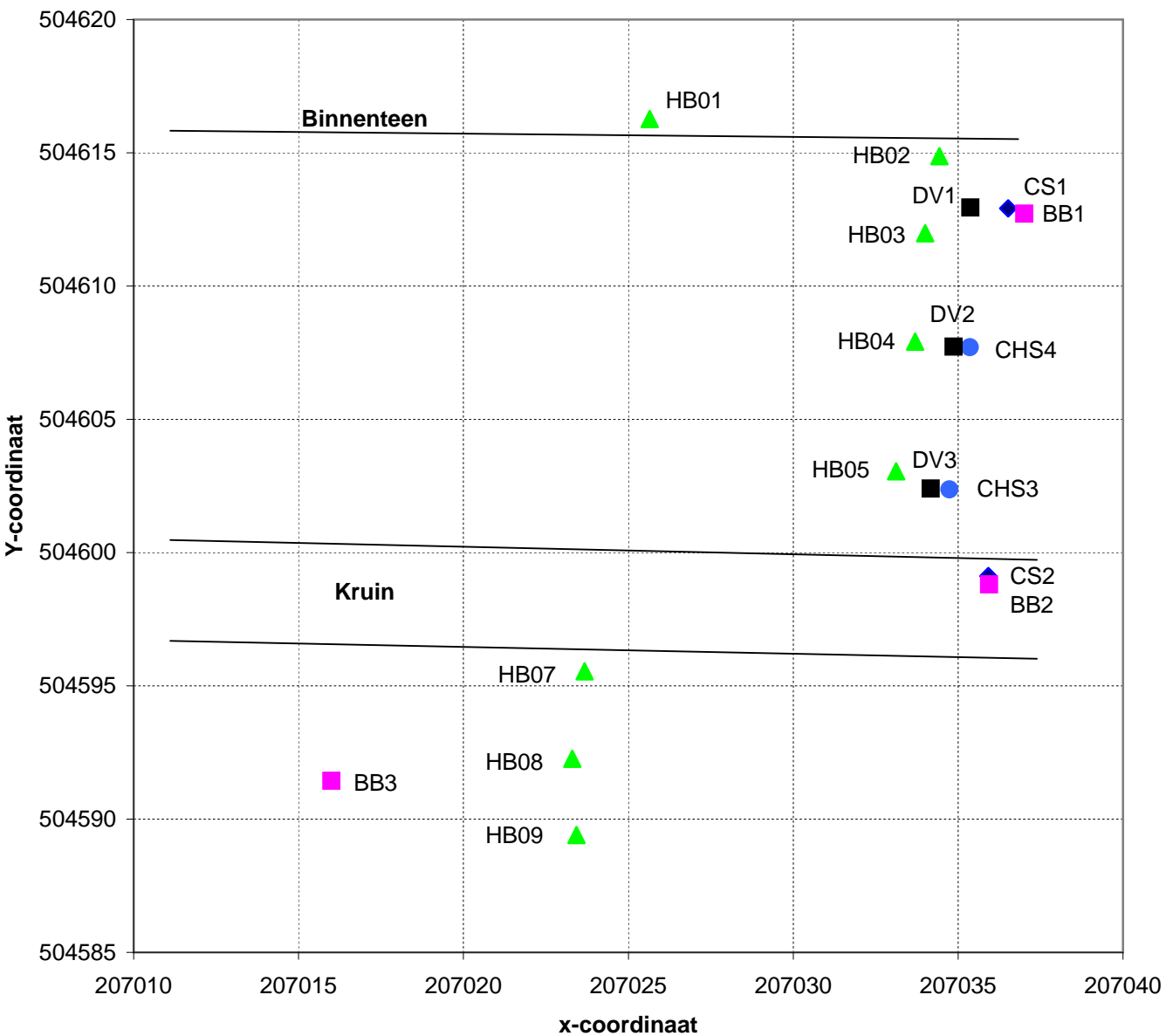
3.4 Doorlatendheidsbepaling zand

Voor het bepalen van de verticale doorlatendheid van zandmonsters welke over het algemeen goed waterdoorlatend zijn, wordt de Constant-Head methode gebruikt. Bij deze methode wordt de waterhoogte gedurende de proef gelijk gehouden en de hoeveelheid water dat door het monster stroomt en de tijd geregistreerd. Op 6 verschillende zandmonsters uit de boringen BB1 en BB2 is de doorlatendheid bij drie verschillende dichtheden bepaald. In onderstaande Tabel zijn de resultaten hiervan samen met het boor- en monsternummer weergegeven. In AA1 onder Bijlage F is het laboratoriumverslag opgenomen.

Boring nr.	Monster nr.	Diepte min maaiveld [m]	n [%]	Kv [m/s]	n [%]	Kv [m/s]	n [%]	Kv [m/s]
BB1	1B	0,17 - 0,42	39	3,6E-04	36	2,6E-04	35	2,1E-04
BB1	2A	0,82 - 1,12	45	6,4E-05	43	4,2E-05	41	3,8E-05
BB1	3A	1,83 - 2,13	42	5,5E-05	39	4,1E-05	38	3,4E-05
BB1	3C	2,33 - 2,63	37	4,7E-04	34	2,9E-04	33	2,5E-04
BB2	5C	0,25 - 0,55	41	1,5E-04	38	1,0E-04	37	7,7E-05
BB2	7A	2,10 - 2,35	46	3,3E-05	45	3,3E-05	44	2,9E-05

Tabel 3.5 Resultaten waterdoorlatendheidsproeven zandmonsters

A Situatie grondonderzoek



Deltares

Postbus 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

T +31 (0)15 269 35 00
F +31 (0)15 261 08 21

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
2010-03-30

get.
Et

SBW Gofoverslagproeven

opdrachtnummer
1201541/001

gez.

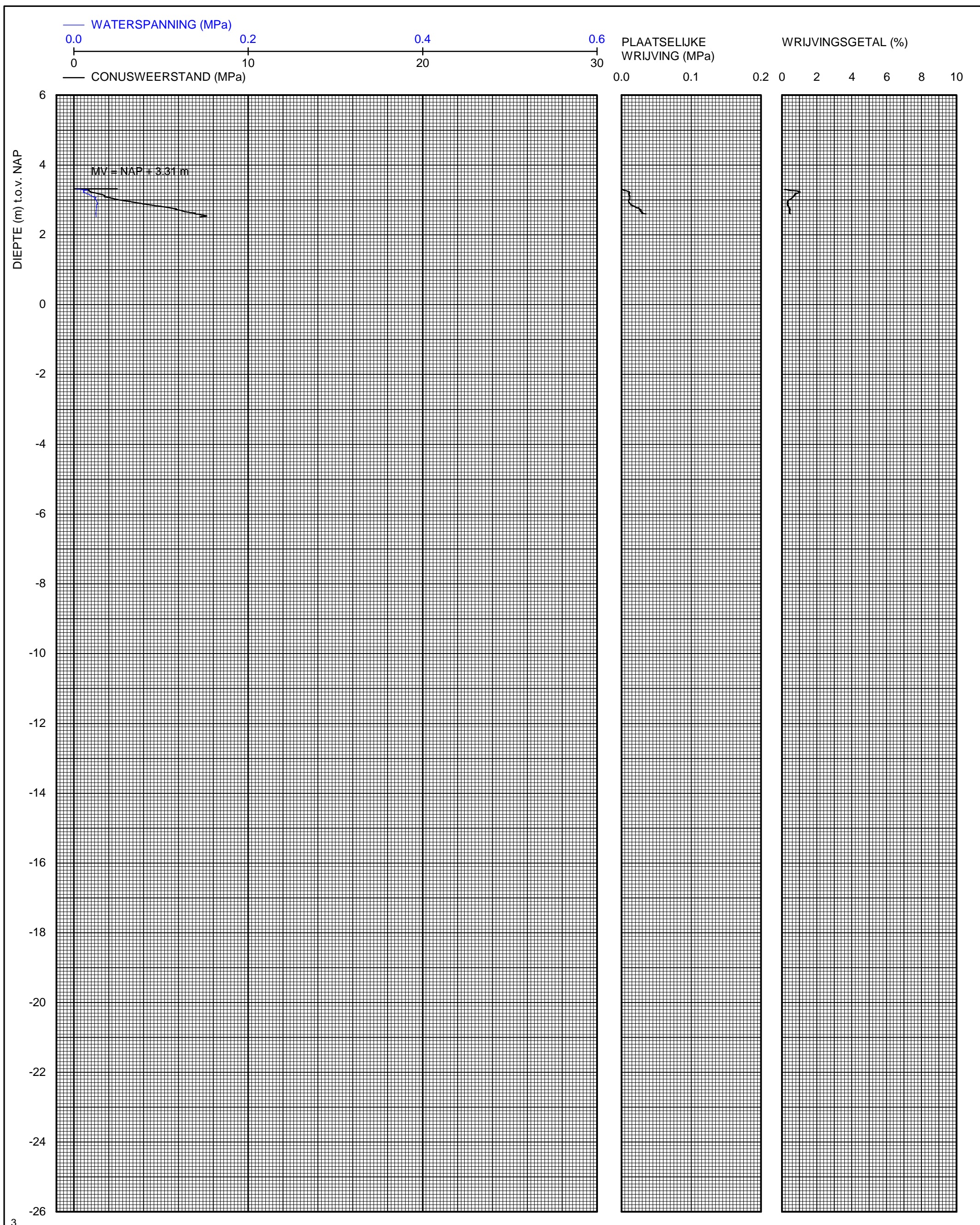
Grondonderzoek Vechtdijk - fase 4

Lokaties grondonderzoek

bijlage **A**

form.
A4

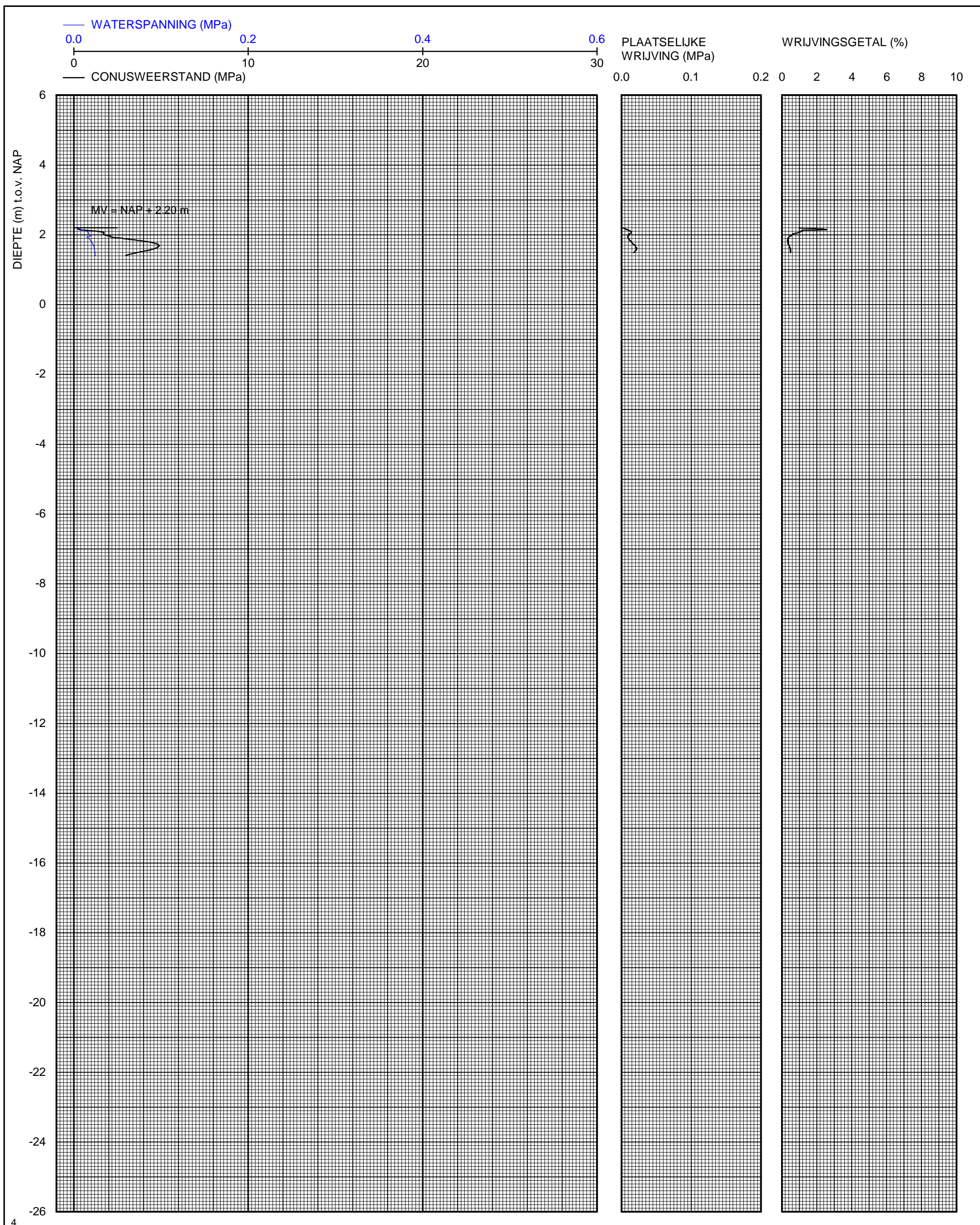
B Sonderingen



3

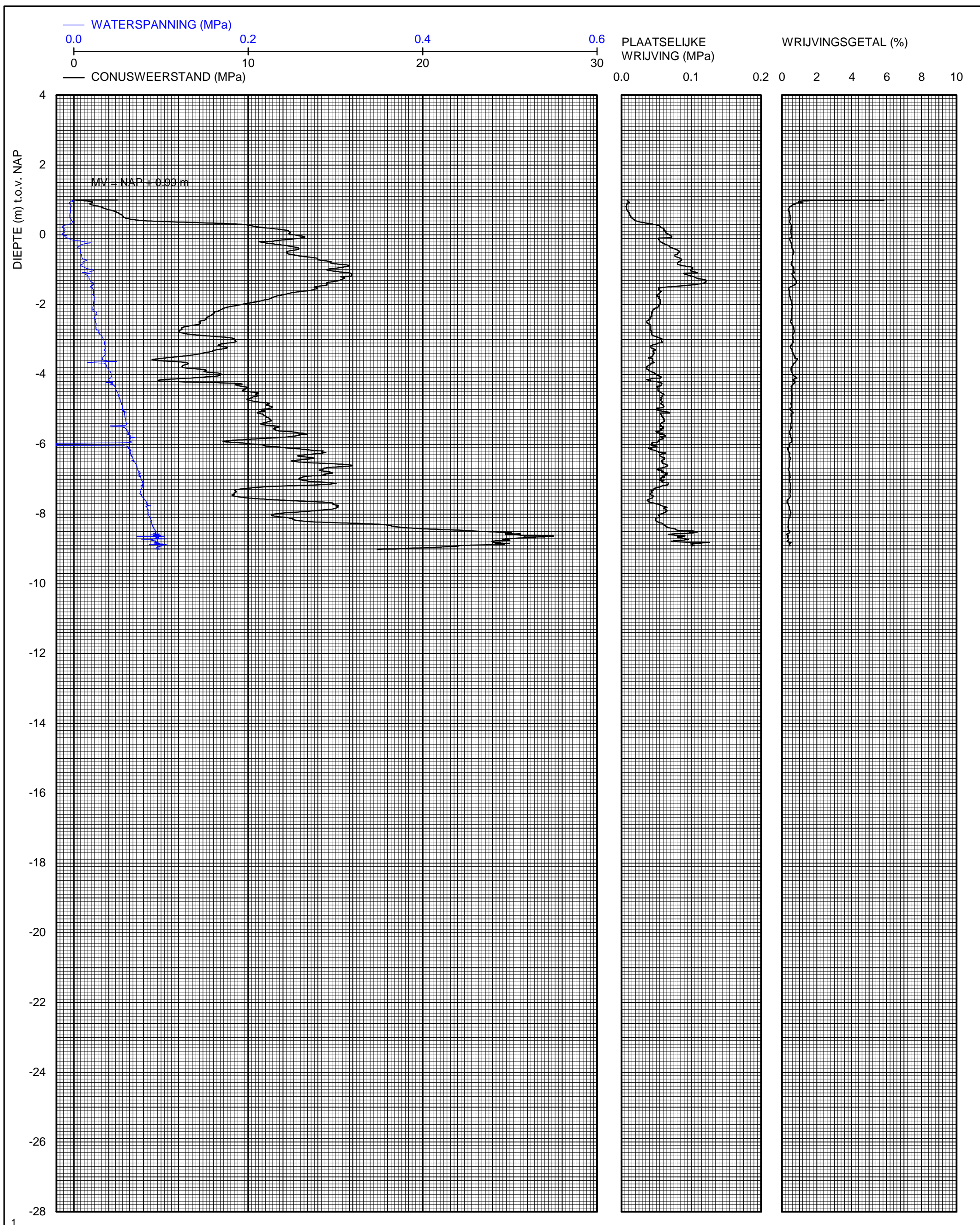
Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-324, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
		SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring SONDERING HS03	.-1201541/001 BIJL. CHS3	gez. form. A3	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 3.31 m X = 207034.74 m Y = 504602.37 m

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:43



Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-324, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
		SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring SONDERING HS04	.-1201541/001 BIJL. CHS4	gez. form. A3	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 2.20 m X = 207035.36 m Y = 504607.70 m

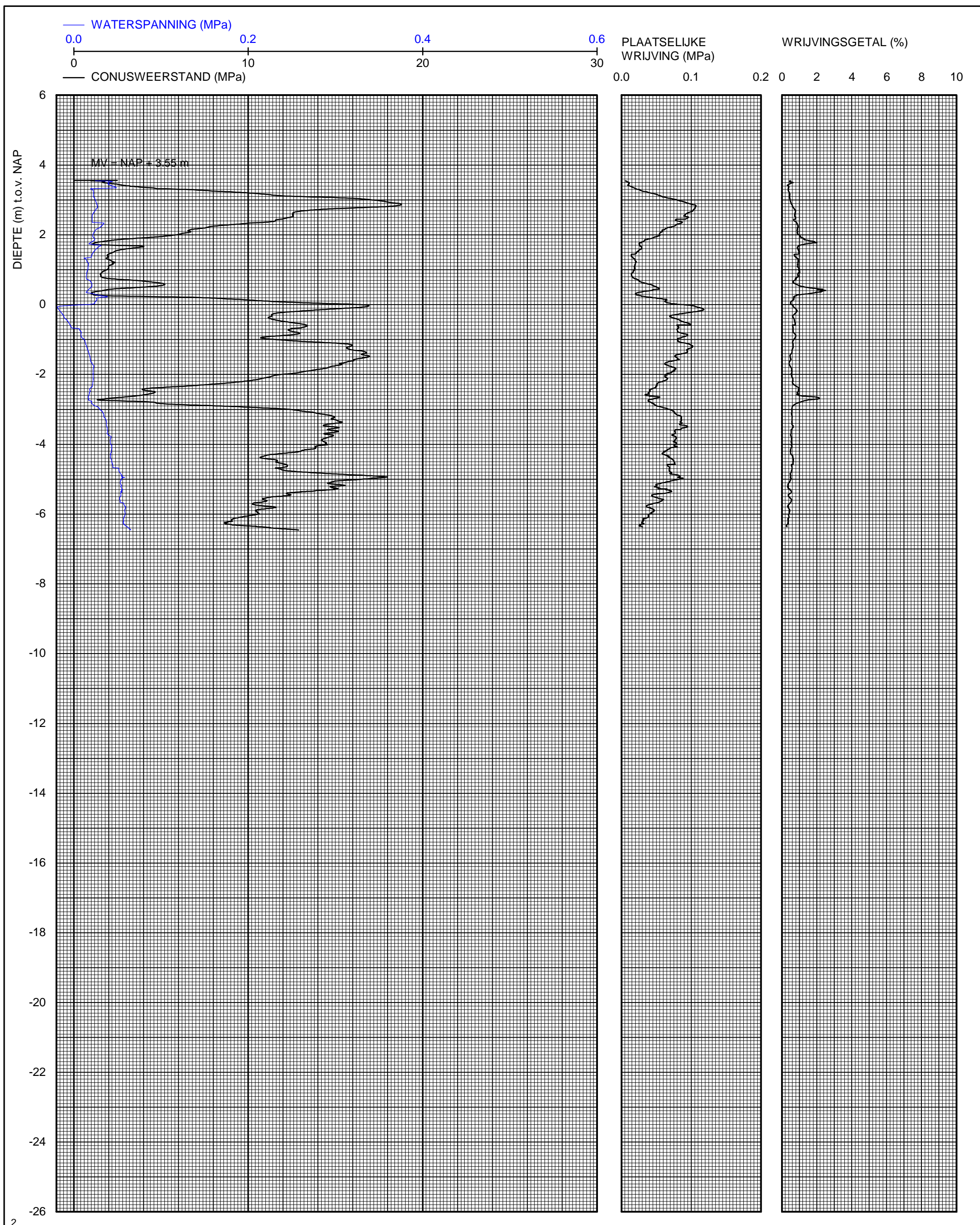
*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:44



1

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-324, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
		2010-01-05	Lws		
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring SONDERING S01		gez.	Geodetische bijzonderheden:		Meetbereiken: Conusweerstand: 50 MPa Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa Waterspanning: 1 MPa Conushelling: 350 mRad
		BIJL. CS1	form.	MV = NAP + 0.99 m X = 207036.52 m Y = 504612.91 m	
			A3		

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:43



2

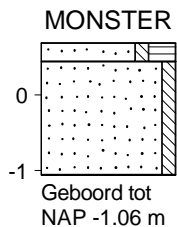
Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-324, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
		2010-01-05	Lws		
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring SONDERING S02		gez.	form.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 3.55 m X = 207035.92 m Y = 504599.12 m	
		.-1201541/001	A3		
		BIJL. CS2			

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:43

C Handboringen

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(0.69)



↓LAAG↓		DIEPTE NAP [m]	
		VAN	TOT
1	1	0.69	0.44
2	2	0.44	-1.06

BESCHRIJVING
 ZAND, zwak siltig, sterk humeus
 ZAND, zwak siltig
 Waterstand ca. MV -1.20 m
 Einde Boring HB01 (Veldbeschrijving)

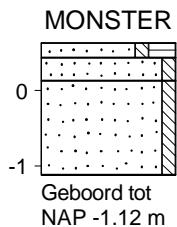
X = 207025.65 m Y = 504616.27 m (RD)

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Lws
	SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB01 (Veldbeschrijving)	BIJL. HB1	gez. form. A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:44

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(0.63)



↓ LAAG ↓		DIEPTE NAP [m]	
		VAN	TOT
1	1	0.63	0.43
2	2	0.43	0.13
3	3	0.13	-1.12

BESCHRIJVING
 ZAND, zwak siltig, sterk humeus
 ZAND, zwak siltig
 ZAND, zwak siltig
 Waterstand ca. MV -1.20 m
 Einde Boring HB02 (Veldbeschrijving)

X = 207034.43 m Y = 504614.87 m (RD)

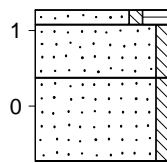
Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Lws
	SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB02 (Veldbeschrijving)	BIJL. HB2	gez. form. A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:44

DIEPTE (m) t.o.v. 1.27

MV
(1.27)

MONSTER



Geboord tot
1.27 -0.73 m

DIEPTE 1.27 [m]

↓LAAG↓	VAN	TOT	BESCHRIJVING
1	1.27	1.07	ZAND, zwak siltig, sterk humeus
2	1.07	0.37	ZAND, zwak siltig
3	0.37	-0.73	ZAND, zwak siltig

Einde Boring HB03 (Veldbeschrijving)

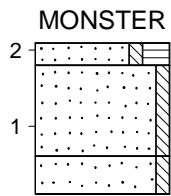
X = 207034.00 m Y = 504611.98 m (RD)

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Lws
	SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB03 (Veldbeschrijving)	BIJL. HB3	gez. form. A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:44

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(2.10)



Geboord tot
NAP 0.10 m

DIEPTE NAP [m]

↓LAAG↓

1 1

VAN

TOT

BESCHRIJVING

ZAND, zwak siltig, sterk humeus

2 2

1.80

0.60

ZAND, zwak siltig

3 3

0.60

0.10

ZAND, zwak siltig

Einde Boring HB04 (Veldbeschrijving)

X = 207033.70 m Y = 504607.91 m (RD)

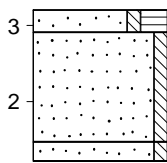
Deltares	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2010-01-05	Lws
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB04 (Veldbeschrijving)			.-1201541/1	gez.
			BIJL. HB4	form. A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-07 11:45

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(3.21)

MONSTER



Geboord tot
NAP 1.21 m

DIEPTE NAP [m]

↓LAAG↓

1 1

2 2

3 3

VAN 3.21

TOT 2.91

1.46

1.21

BESCHRIJVING

ZAND, zwak siltig, sterk humeus

ZAND, zwak siltig

ZAND, zwak siltig

Einde Boring HB05 (Veldbeschrijving)

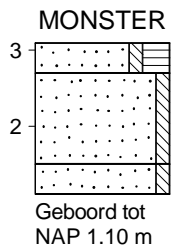
X = 207033.12 m Y = 504603.05 m (RD)

Deltares	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2010-01-05	Lws
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB05 (Veldbeschrijving)			.-1201541/1	gez.
			BIJL. HB5	form. A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-11 10:58

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(3.10)

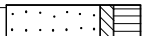
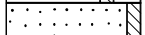



↓LAAG↓	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
	VAN	TOT	
1	3.10	2.70	ZAND, zwak siltig, sterk humeus
2	2.70	1.50	ZAND, zwak siltig
3	1.50	1.10	ZAND, zwak siltig

Einde Boring HB07 (Veldbeschrijving)

X = 207023.67 m Y = 504595.55 m (RD)

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Lws
	SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB07 (Veldbeschrijving)	BIJL. HB7	gez. form. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
			VAN	TOT	
2		1	2.04	1.59	ZAND, zwak siltig, sterk humeus
1		2	1.59	0.64	ZAND, zwak siltig
		3	0.64	0.04	ZAND, zwak siltig
Geboord tot NAP 0.04 m					Einde Boring HB08 (Veldbeschrijving)

X = 207023.30 m Y = 504592.26 m (RD)

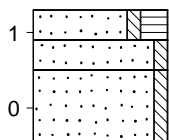
Deltares	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2010-01-05	Lws
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB08 (Veldbeschrijving)			gez.	
			.-1201541/1	
			form.	
			BIJL. HB8	A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-11 10:58

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(1.30)

MONSTER



Geboord tot
NAP -0.45 m

DIEPTE NAP [m]

↓LAAG↓

VAN TOT

BESCHRIJVING

LAAG	VAN	TOT	BESCHRIJVING
1	1.30	0.90	ZAND, zwak siltig, sterk humeus
2	0.90	0.50	ZAND, zwak siltig
3	0.50	-0.45	ZAND, zwak siltig Waterstand ca. MV -1.30 m

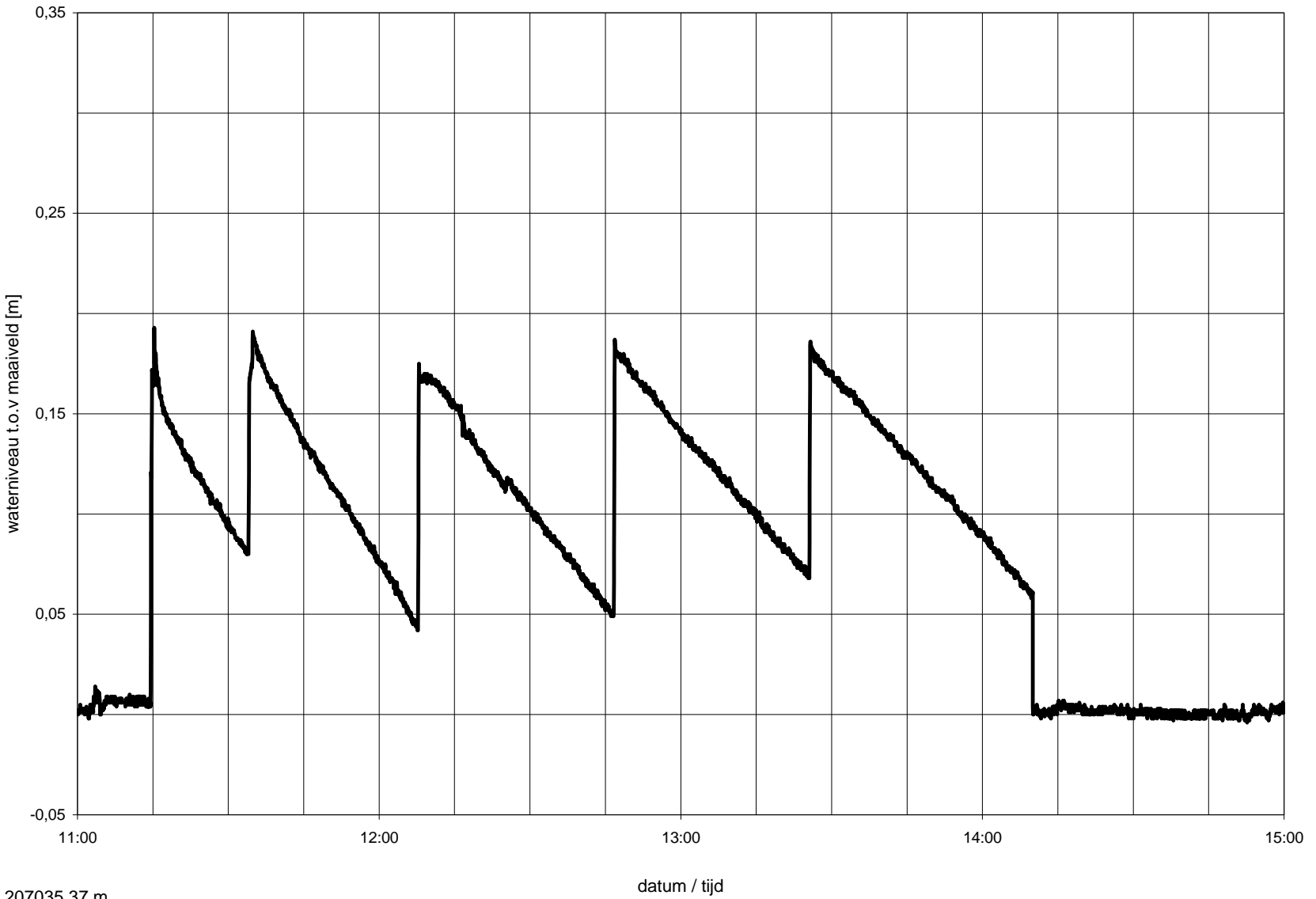
Einde Boring HB09 (Veldbeschrijving)

X = 207023.43 m Y = 504589.40 m (RD)

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-06	get. Lws
	SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Handboring HB09 (Veldbeschrijving)	BIJL. HB9	gez. form. A4

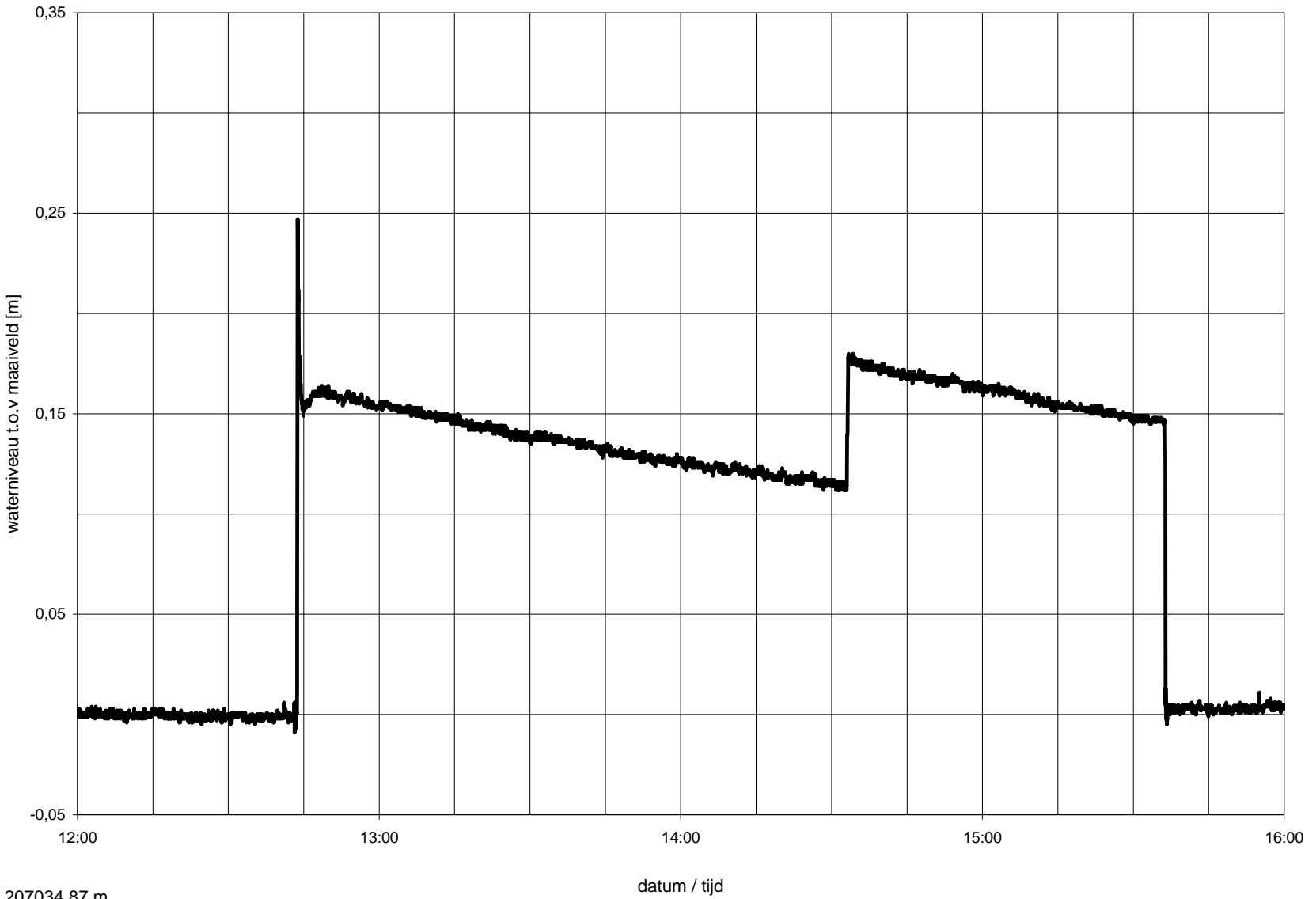
*) Vrijgegeven door Vin op 2010-01-11 10:59

D Veld-doorlatendheidsmetingen



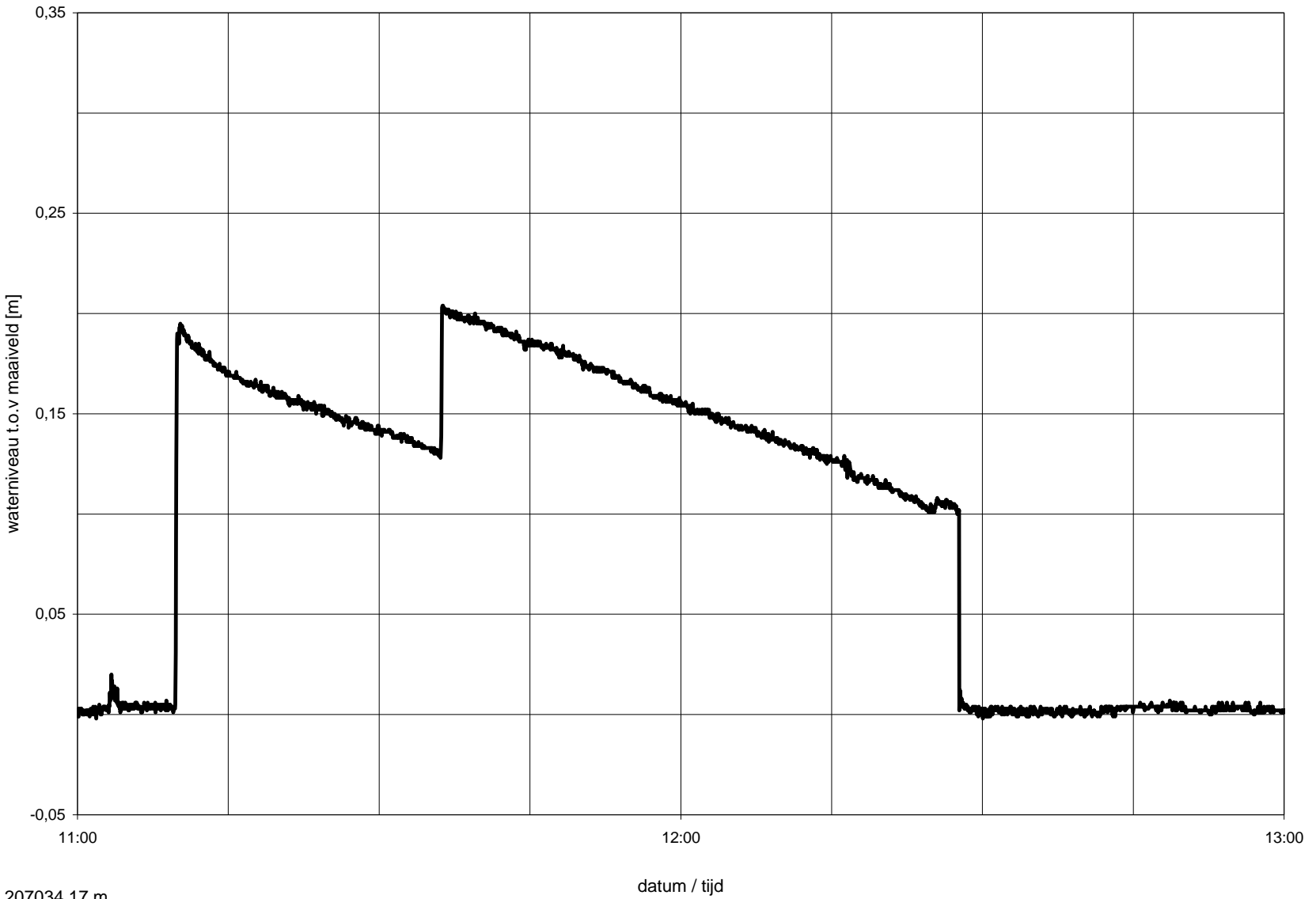
X = 207035,37 m
 Y = 504612,95 m
 MV = 1,13 m NAP

Deltares Postbus 177, 2600 MH, Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft T +31 (0)88 335 7200 F +31 (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum	Get.
	2010-01-05	Waar
SBW OVERSLAGPROEVEN VECHTDIJK, ZWOLLE IN-SITU GROTE DOORLATENDHEIDSPROEF 1	1201541,001	Gez.
	Eit	
	form.	A4
	Bijl. DV1	



X = 207034,87 m
 Y = 504607,73 m
 MV = 2,11 m NAP

Deltares Postbus 177, 2600 MH, Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft T +31 (0)88 335 7200 F +31 (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum	Gez.
	2010-01-05	Waar
SBW OVERSLAGPROEVEN VECHTDIJK, ZWOLLE IN-SITU GROTE DOORLATENDHEIDSPROEF 2	1201541,001	Gez.
		Eit
	Bijl. DV2	form.
		A4



X = 207034,17 m
 Y = 504602,40 m
 MV = 3,33 m NAP

Deltares Postbus 177, 2600 MH, Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft T +31 (0)88 335 7200 F +31 (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum	Get.
	2010-01-05	Waar
SBW OVERSLAGPROEVEN VECHTDIJK, ZWOLLE IN-SITU GROTE DOORLATENDHEIDSPROEF 3	1201541,001	Gez.
	Eit	form.
	Bijl. DV3	A4

E Begemannboringen

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
			VAN	TOT		
MV (1.07)		1	1.07	0.99	NIET BENOEMD Teelaarde, met wortelresten.	
		2				
		3	0.99	0.53	ZAND, zwak siltig ZM=0.250 mm	
		4				
		5				
		6	0.53	-0.13	ZAND, matig siltig Met sporen ijzeroer. ZM=0.150 mm	
		7				
		8				
	Geboord tot NAP -1.87 m	4	-0.13	-0.29	ZAND, zwak siltig Enkele grindstukjes. ZM=0.125 mm	
		5	-0.29	-0.70	ZAND, zwak siltig ZM=0.250 mm	
		6	-0.70	-1.16	ZAND, zwak siltig ZM=0.125 mm	
		7	-1.16	-1.23	ZAND, zwak siltig Enkel grindstukje. ZM=0.500 mm	
		8	-1.23	-1.87	ZAND, zwak siltig, zwak grindig ZM=0.350 mm	

Einde Boring B01 (Labbeschrijving)

X = 207037.01 m Y = 504612.72 m (RD)

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2010-01-05	Bjl
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Begemannboring 66 mm B01 (Labbeschrijving)		.-1201541/001	gez.
		BIJL. BB1	form. A4

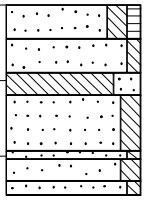
DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
			VAN	TOT		
MV (3.50) 3 2 1 Geboord tot NAP 0.55 m		1	1	3.50	3.40	ZAND, matig siltig, zwak humeus Met grindstuk en enkele sporen ijzeroer. ZM=0.210 mm
		2	2	3.40	2.85	ZAND, zwak siltig Enkele grindstukjes. ZM=0.250 mm
		3	3	2.85	0.67	ZAND, matig siltig Met sporen ijzeroer, enkele siltlaagjes en een enkele plantenrest. ZM=0.175 mm
		4	4	0.67	0.55	LEEM, sterk zandig Met ijzeroer.

Einde Boring B02 (Labbeschrijving)

X = 207035.94 m Y = 504598.80 m (RD)

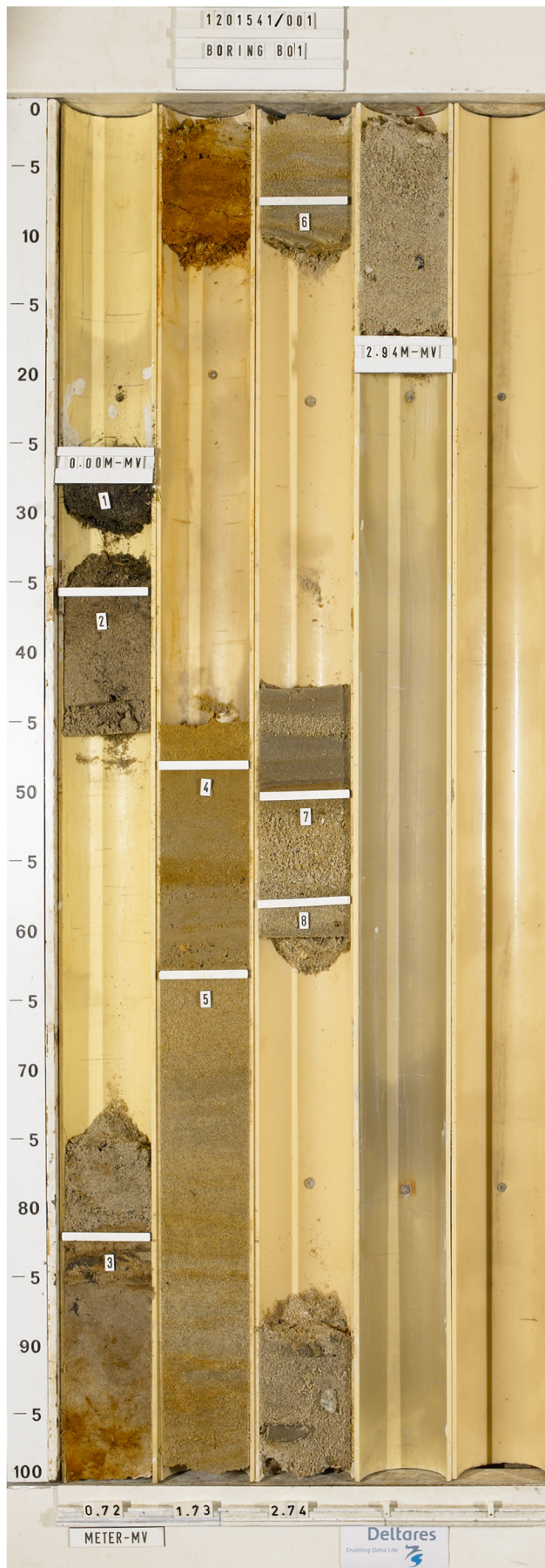
Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2010-01-05	get. Bjl
	SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring	CO-1201541/1	gez.
	Begemannboring 66 mm B02 (Labbeschrijving)	BIJL. BB2	form. A4

*) Vrijgegeven door Hsd op 2010-02-09 09:18

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
			VAN	TOT		
MV (2.00) 2 1 0 Geboord tot NAP -0.52 m		1	1	2.00	1.55	ZAND, matig siltig, zwak humeus ZM=0.150 mm
		2				
		3	2	1.55	1.10	ZAND, zwak siltig Met sporen ijzeroer. ZM=0.210 mm
		4				
		5	3	1.10	0.80	LEEM, sterk zandig Met veel ijzeroer.
		6	4	0.80	0.07	ZAND, matig siltig Met sporen ijzeroer. ZM=0.175 mm
		7	5	0.07	-0.04	ZAND, zwak siltig ZM=0.250 mm
		6	-0.04	-0.33	ZAND, matig siltig Met enkele siltlaagjes en enkele sporen ijzeroer. ZM=0.150 mm	
		7	-0.33	-0.52	ZAND, zwak siltig Enkele kleistukjes:2.35 m-MV. ZM=0.350 mm	
Einde Boring B03 (Labbeschrijving)						

X = 207016.00 m Y = 504591.44 m (RD)

Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2010-01-05	Bjl
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring Begemannboring 66 mm B03 (Labbeschrijving)		gez.	
		form.	A4
		BIJL. BB3	



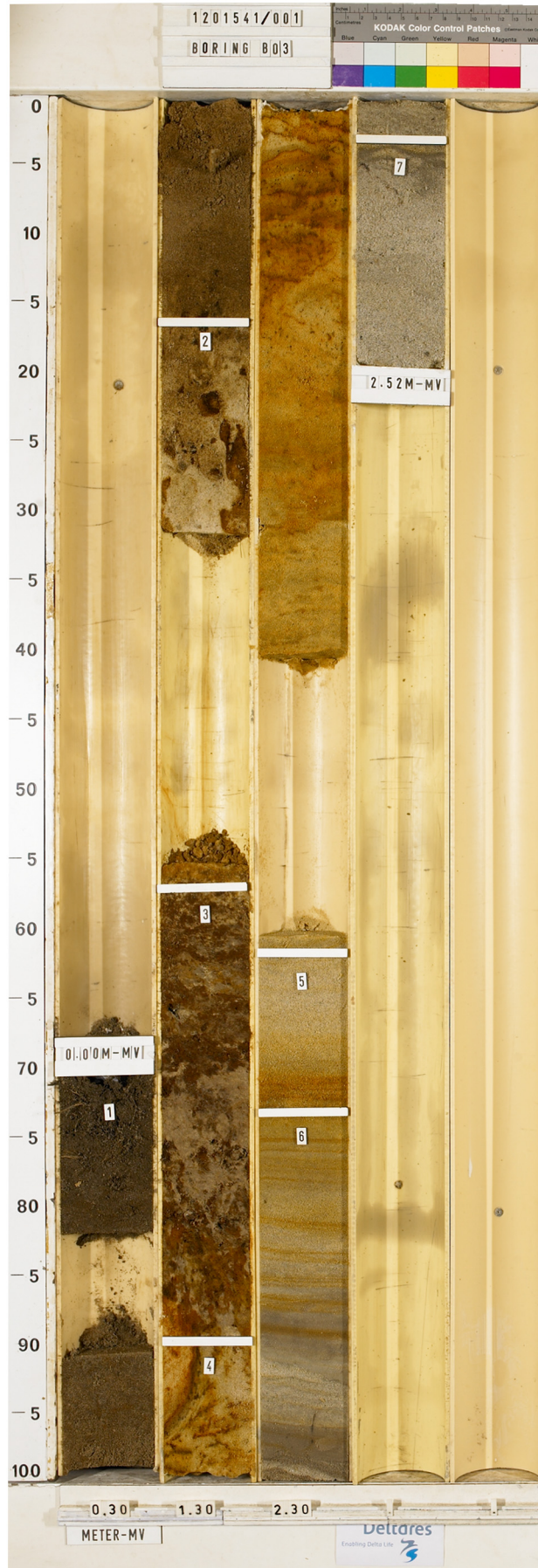
BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B01.psd
Deltares Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum		2010-01-28	get.	Mar
	SBW golfverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring		1201541/001		gez.
FOTO BORING B01		Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BF1	form. A4

*) Vrijgegeven door Hsd op 2010-02-09 09:21



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B02.psd
Deltares Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum 2010-01-28		get. Mar		
	SBW golfverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring FOTO BORING B02		1201541/001 gez. *)		
Type: Begemannboring 66 mm		BIJL. BF2		form. A4	

*) Vrijgegeven door Hsd op 2010-02-09 09:21



BESCHRIJVING: ZIE GETEKENDE VERSIE VAN BORING		Bestandnaam:	Gewijzigd:	Blad 1/1	File B03.psd
Deltares Postbus 177 2600 MH Delft, Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon (0)15 269 35 00 Telefax (0)15 261 08 21 www.deltares.nl info@deltares.nl		datum 2010-01-28		get. Mar	
SBW golfverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring		1201541/001		gez. *)	
FOTO BORING B03		Type: Begemannboring 66 mm		form. A4	

*) Vrijgegeven door Hsd op 2010-02-09 09:21

F Laboratoriumresultaten

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	Vol gew & Wat geh			Doorlatendheid (FH1)					Doorlatendheid (FH2)					Doorlatendheid (CH)	
		van [m - MV]	tot [m - MV]		γ_n [kN/m ³]	γ_{dr} [kN/m ³]	w [% ds]	spanning [kPa]	k [m/s]	var k [-]	var k<10% [kPa]	kwat. code	spanning [kPa]	k [m/s]	var k [-]	var k<10% [kPa]	kwat. code	n [%]	k [m/s]
B01	1A	-0.02	-0.05	Klei, zwak siltig, matig humeus, (Teelaarde), veel ..				6.9	4.3e-06	0.04	OK		6.9	4.1e-06	0.03	OK			
	1B	-0.17	-0.42	Zand, zwak siltig													38.5 ^D	3.6e-04 ^D	
																	36.1 ^D	2.6e-04 ^D	
																	34.7 ^D	2.1e-04 ^D	
	1D	-0.46	-0.50	Zand, zwak siltig	15.17 ^A	14.53 ^A	4.4 ^A												
	2A	-0.82	-1.12	Zand, matig siltig														45.1 ^D	6.4e-05 ^D
																		43.1 ^D	4.2e-05 ^D
																		41.0 ^D	3.8e-05 ^D
	3A	-1.83	-2.13	Zand, zwak siltig														41.7 ^D	5.5e-05 ^D
																		39.2 ^D	4.1e-05 ^D
B02	3C	-2.33	-2.63	Zand, zwak siltig, zwak grindig													37.5 ^D	3.4e-05 ^D	
																	36.8 ^D	4.7e-04 ^D	
																	34.1 ^D	2.9e-04 ^D	
																	33.0 ^D	2.5e-04 ^D	
	5A	-0.03	-0.07	Zand, matig siltig, enkel grindstuk.				6.9	8.9e-08	0.01	OK								
B03	5C	-0.25	-0.55	Zand, zwak siltig													41.1 ^D	1.5e-04 ^D	
																	38.3 ^D	1.0e-04 ^D	
																	37.3 ^D	7.7e-05 ^D	
	6A	-1.09	-1.13	Zand, matig siltig, met ijzeroer.				11.4	7.6e-07	0.01	OK								
	6B	-1.43	-1.47	Zand, matig siltig, met ijzeroer.				11.4	3.5e-08	0.01	OK								
	7E	-1.90	-1.95	Zand, matig siltig, met ijzeroer.				11.4	2.7e-07	0.02	OK								
	7A	-2.10	-2.35	Zand, matig siltig														46.3 ^D	3.3e-05 ^D
																		45.4 ^D	3.3e-05 ^D
	7C	-2.39	-2.43	Zand, matig siltig	17.14 ^A	15.68 ^A	9.3 ^A											44.0 ^D	2.9e-05 ^D
	7D	-2.50	-2.55	Zand, matig siltig, met ijzeroer.				11.4	4.3e-07	0.02	OK								
9B	-0.15	-0.20	Zand, matig siltig, zwak humeus, met plantenrest..				6.9	1.5e-06	0.01	OK									

A: Geaccrediteerd

D: n bepaald met $\rho_v = 26.0$ [kN/m³]

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2010-01-26

get.
Bjl

SBW golfverslag fase 4
Grondonderzoek en monitoring
TABLAB [blad 1/1]

project
1201541.001

gez.
*)

bijlage
AA1

form.
A3

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	Korrelverdeling						
		van [m – MV]	tot [m – MV]		2mm [% >]	63µm [% >]	16µm [% >]	2µm [% <]	M _g [mm]	M _z [µm]	d60/d10 [-]
HB3	16	0.00	-0.20	Zand, matig siltig		93.3	96.1	2.6		257	3.4
HB4	15	0.00	-0.20	Zand, matig siltig		87.9	92.7	4.4		185	3.9
HB5	14	0.00	-0.20	Zand, matig siltig		90.0	94.1	3.7		208	3.7
HB7	13	0.00	-0.20	Zand, matig siltig		88.7	93.7	3.3		186	3.6

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

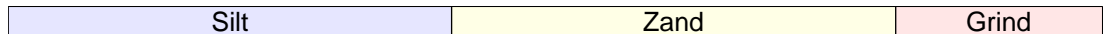
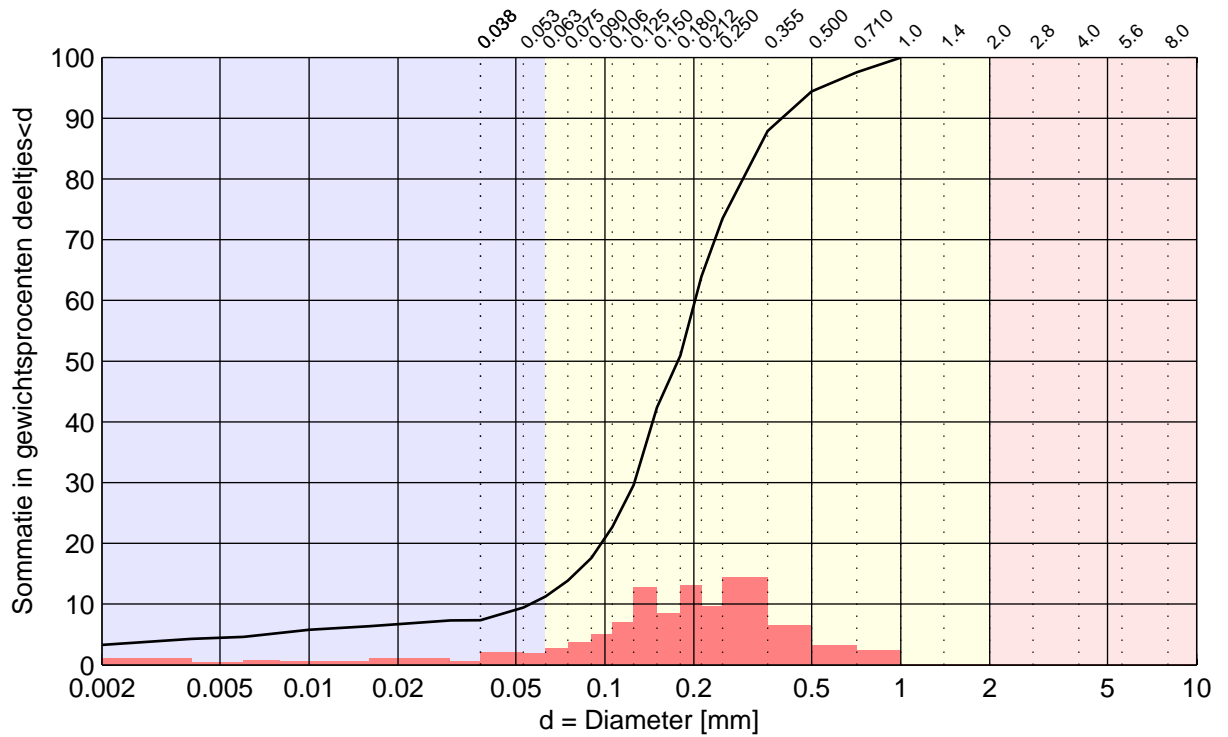
Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

SBW golfverslag fase 4
Grondonderzoek en monitoring
TABLAB [blad 1/1]

datum	2010-03-15	get.
project	1201541.001	Bjl
bijlage	AA2	gez.)
		form. A4

G Korrelverdelingen zand



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.056
d_{15} [mm]	0.079
d_{50} [mm]	0.177
d_{60} [mm]	0.202
d_{60}/d_{10} [-]	3.6
d_{90}/d_{10} [-]	7.1
C_c [-]	1.40
M_{63} [μm]	186
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.192
F_m [-]	1.03
U [-]	-

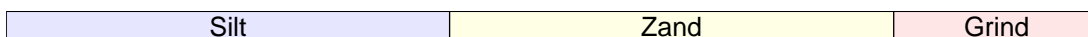
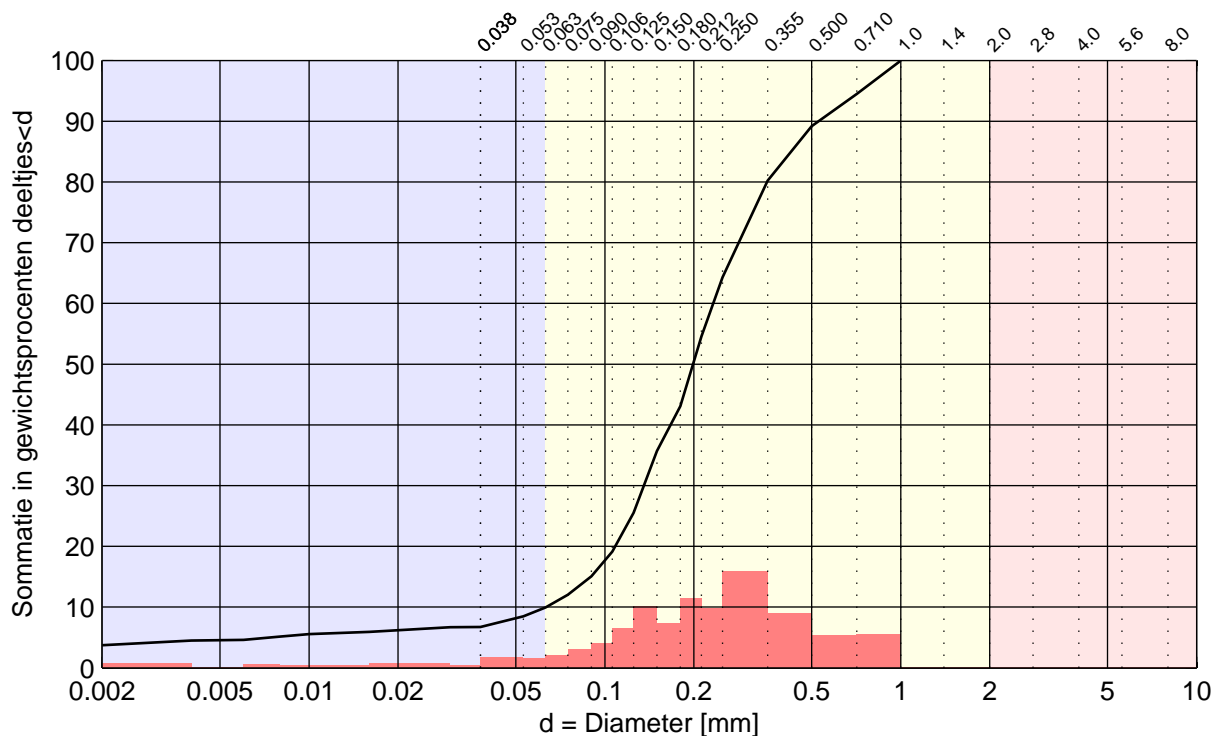
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	HB7	13	0 - -0.2

Fijne fractie		Zandzeving: 100.14 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	50.9	-	-
0.001	2.9	0.038	7.3	0.212	63.9	2.8	-
0.002	3.3	0.053	9.4	0.250	73.5	4.0	-
0.004	4.3	0.063	11.3	0.355	87.9	5.6	-
0.006	4.6	0.075	13.9	0.500	94.4	8.0	-
0.008	5.2	0.090	17.6	0.710	97.6	11.2	-
0.010	5.8	0.106	22.7	1.0	100.0	16.0	-
0.016	6.3	0.125	29.6	1.4	-	31.5	-
0.030	7.3	0.150	42.4	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, matig siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Graven
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	2010-03-12	Bjl
	project	gez.
SBW golfoverslag fase 4	1201541.001	*)
Grondonderzoek en monitoring	bijlage	form.
KORRELVERDELING	K13	A4



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.063
d_{15} [mm]	0.090
d_{50} [mm]	0.199
d_{60} [mm]	0.233
d_{60}/d_{10} [-]	3.7
d_{90}/d_{10} [-]	8.3
C_c [-]	1.25
M_{63} [μm]	208
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.230
F_m [-]	1.21
U [-]	-

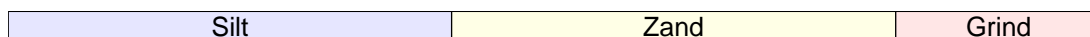
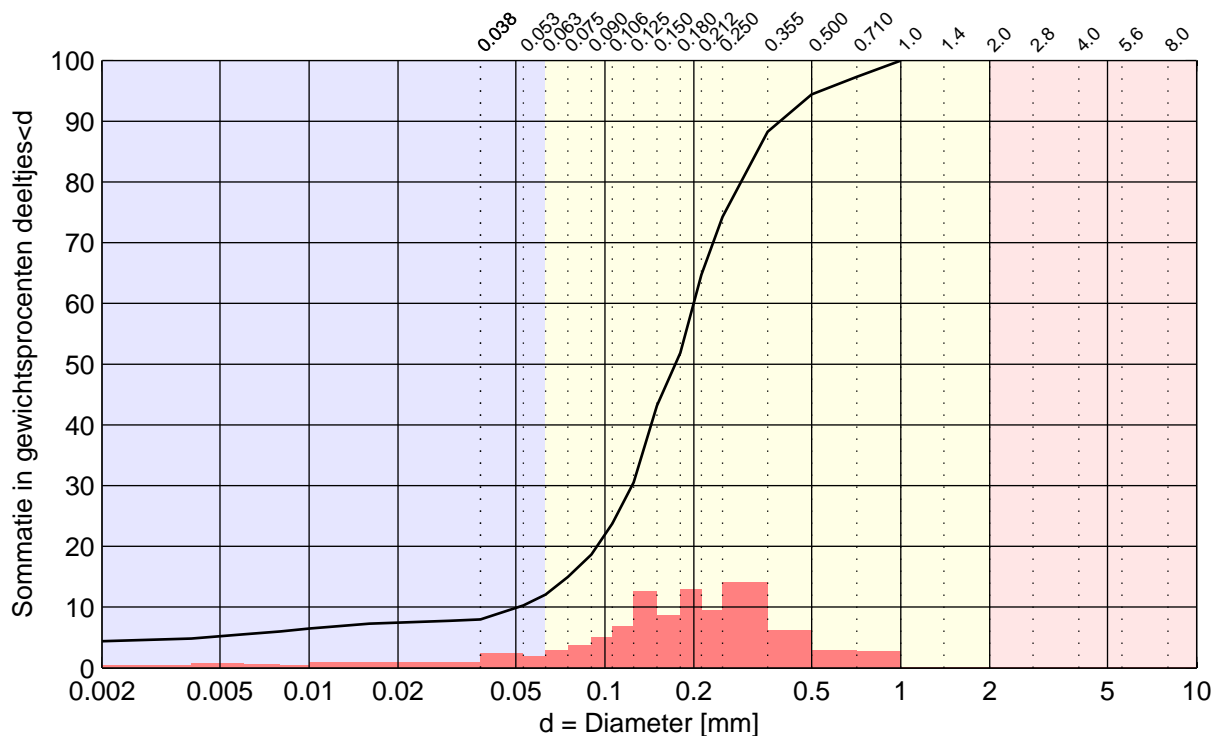
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	HB5	14	0 – -0.2

Fijne fractie		Zandzeving: 101.26 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	43.1	-	-
0.001	3.0	0.038	6.7	0.212	54.6	2.8	-
0.002	3.7	0.053	8.5	0.250	64.3	4.0	-
0.004	4.5	0.063	10.0	0.355	80.2	5.6	-
0.006	4.6	0.075	12.0	0.500	89.2	8.0	-
0.008	5.1	0.090	15.1	0.710	94.5	11.2	-
0.010	5.6	0.106	19.1	1.0	100.0	16.0	-
0.016	5.9	0.125	25.5	1.4	-	31.5	-
0.030	6.7	0.150	35.7	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Graven
 Mengmonster: nee

<b style="font-size: 2em;">Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-03-12	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K14	gez. *)
<b style="font-size: 1.2em;">SBW golfoverslag fase 4 <b style="font-size: 1.2em;">Grondonderzoek en monitoring <b style="font-size: 1.5em;">KORRELVERDELING	form.	A4	



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.051
d_{15} [mm]	0.075
d_{50} [mm]	0.173
d_{60} [mm]	0.200
d_{60}/d_{10} [-]	3.9
d_{90}/d_{10} [-]	7.6
C_c [-]	1.49
M_{63} [μm]	185
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.188
F_m [-]	1.01
U [-]	-

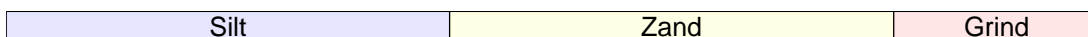
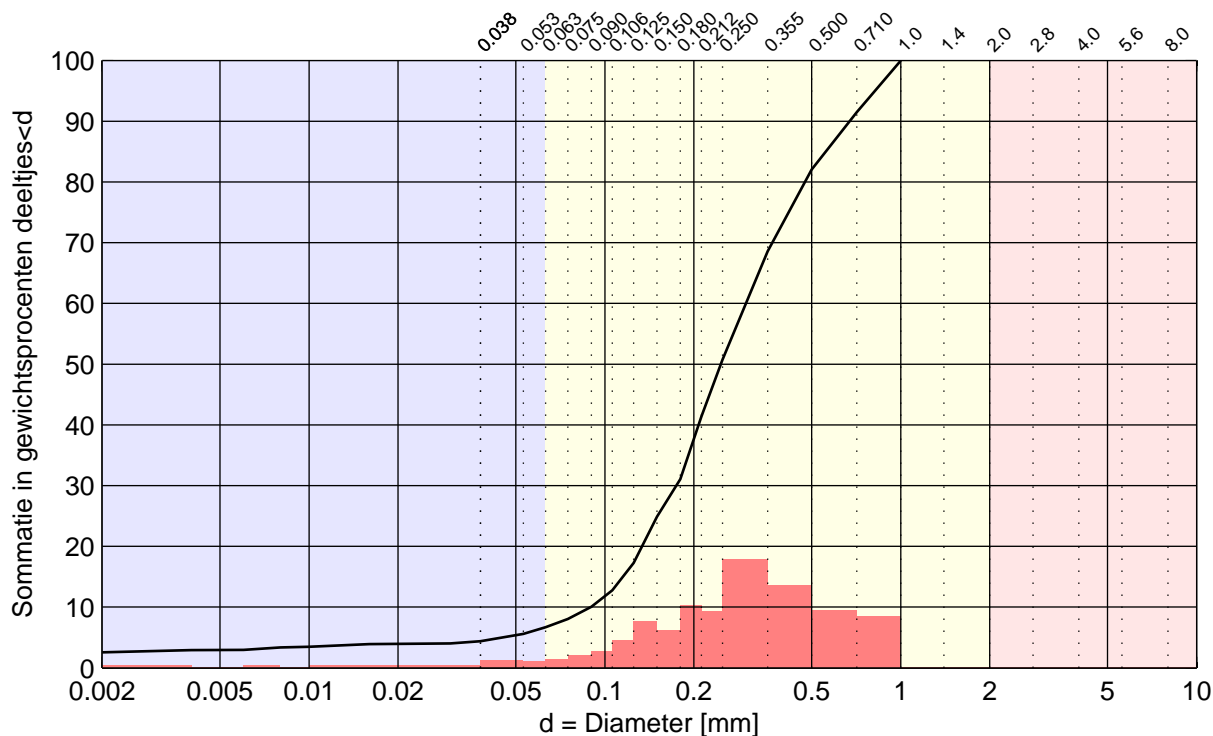
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	HB4	15	0 – -0.2

Fijne fractie		Zandzeving: 100.20 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	51.9	-	-
0.001	3.4	0.038	8.0	0.212	64.7	2.8	-
0.002	4.4	0.053	10.3	0.250	74.2	4.0	-
0.004	4.8	0.063	12.1	0.355	88.3	5.6	-
0.006	5.5	0.075	15.0	0.500	94.4	8.0	-
0.008	6.0	0.090	18.7	0.710	97.3	11.2	-
0.010	6.5	0.106	23.7	1.0	100.0	16.0	-
0.016	7.3	0.125	30.5	1.4	-	31.5	-
0.030	7.8	0.150	43.2	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, matig siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Graven
 Mengmonster: nee

<b style="font-size: 2em;">Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-03-12	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K15	gez. *)
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring KORRELVERDELING	form.	A4	



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.089
d_{15} [mm]	0.115
d_{50} [mm]	0.247
d_{60} [mm]	0.300
d_{60}/d_{10} [-]	3.4
d_{90}/d_{10} [-]	7.5
C_c [-]	1.13
M_{63} [μm]	257
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.296
F_m [-]	1.50
U [-]	-

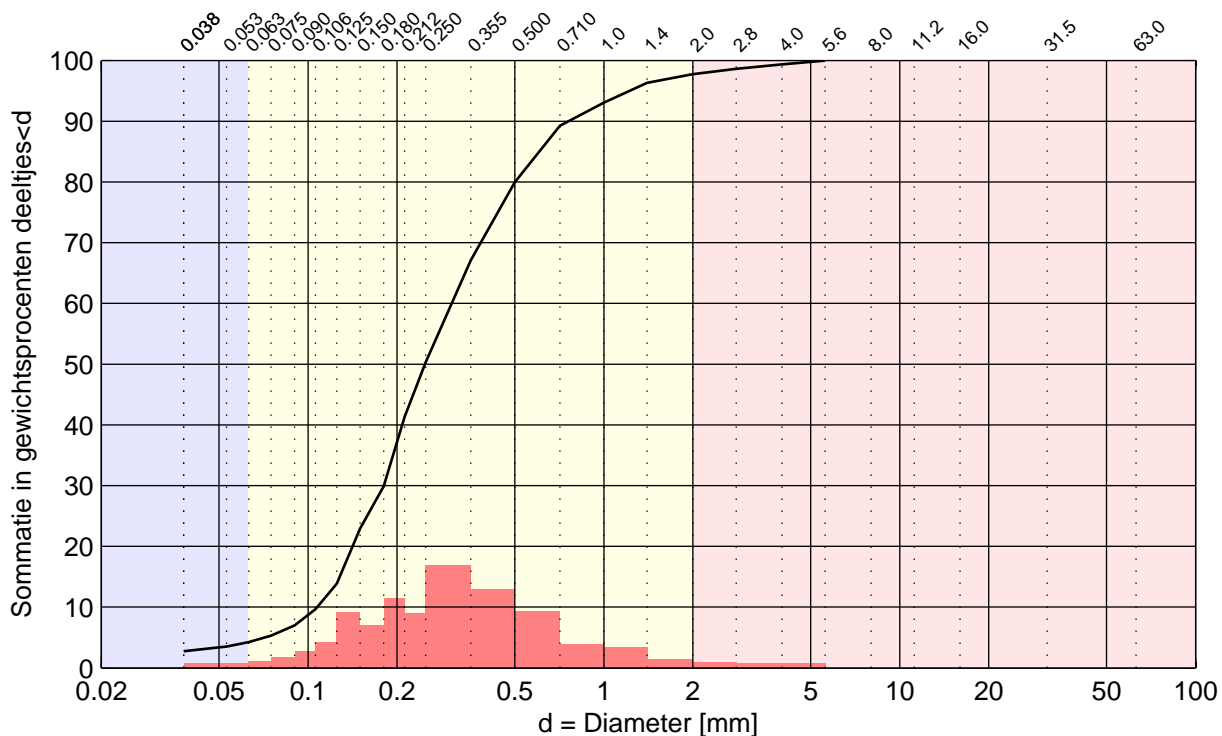
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	HB3	16	0 – -0.2

Fijne fractie		Zandzeving: 100.86 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	31.1	-	-
0.001	2.1	0.038	4.4	0.212	41.4	2.8	-
0.002	2.6	0.053	5.6	0.250	50.8	4.0	-
0.004	2.9	0.063	6.7	0.355	68.6	5.6	-
0.006	2.9	0.075	8.1	0.500	82.1	8.0	-
0.008	3.4	0.090	10.1	0.710	91.5	11.2	-
0.010	3.5	0.106	12.8	1.0	100.0	16.0	-
0.016	3.9	0.125	17.3	1.4	-	31.5	-
0.030	4.0	0.150	24.9	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Graven
 Mengmonster: nee

<b style="font-size: 2em;">Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-03-12	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K16	gez. *)
<b style="font-size: 1.5em;">KORRELVERDELING SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring	form.	A4	



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.107
d_{15} [mm]	0.128
d_{50} [mm]	0.249
d_{60} [mm]	0.306
d_{60}/d_{10} [-]	2.8
d_{90}/d_{10} [-]	7.1
C_c [-]	0.99
M_{63} [μm]	250
M_{2000} [mm]	3.1
D_m [mm]	0.315
F_m [-]	1.66
U [-]	47.1

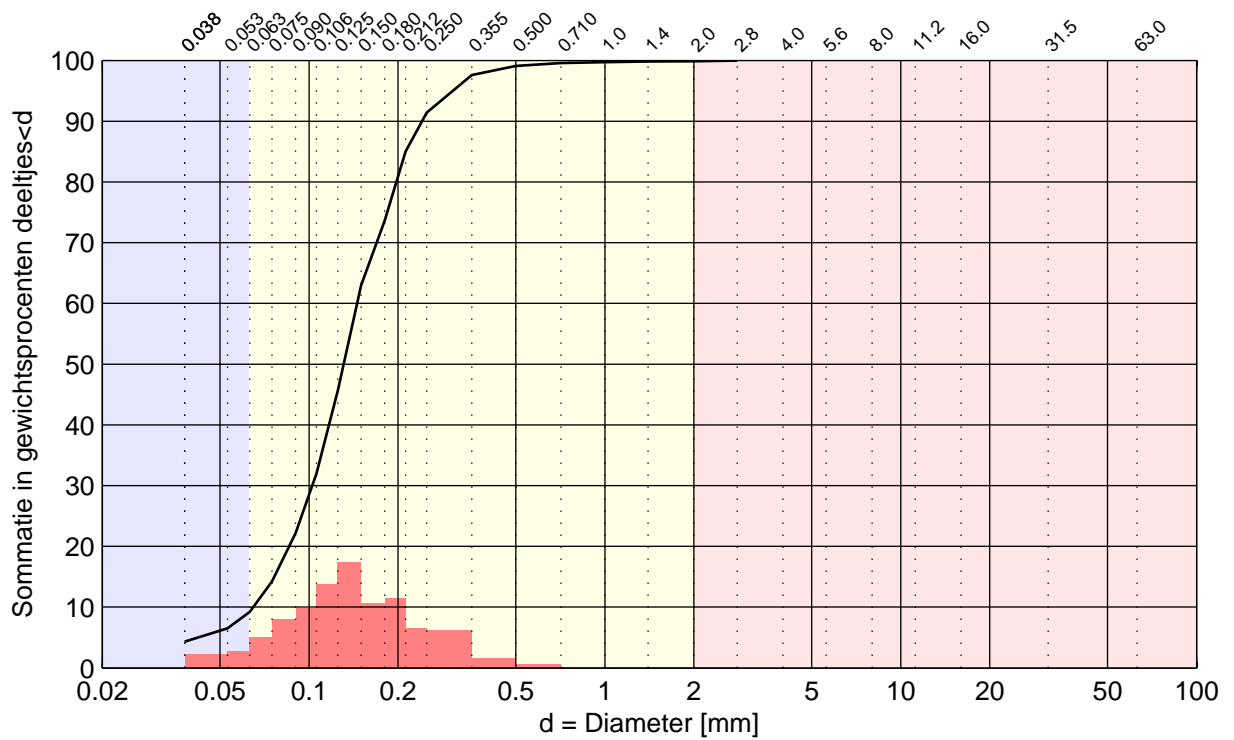
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B01	1C	-0.42 – -0.46

Fijne fractie		Zandzeving: 100.74 g				Grind fractie	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	29.9	-	-
0.001	-	0.038	2.7	0.212	41.3	2.8	98.6
0.002	-	0.053	3.5	0.250	50.3	4.0	99.3
0.004	-	0.063	4.2	0.355	67.1	5.6	100.0
0.006	-	0.075	5.3	0.500	80.0	8.0	-
0.008	-	0.090	7.0	0.710	89.2	11.2	-
0.010	-	0.106	9.6	1.0	93.1	16.0	-
0.016	-	0.125	13.9	1.4	96.3	31.5	-
0.030	-	0.150	22.9	2.0	97.7	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig, zwak grin..
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: Geen
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Begemann boring 66 mm
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-01-22	get.
	project	1201541.001	gez.
	bijlage	K1C	form.
KORRELVERDELING SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring			A4



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.065
d_{15} [mm]	0.076
d_{50} [mm]	0.131
d_{60} [mm]	0.145
d_{60}/d_{10} [-]	2.2
d_{90}/d_{10} [-]	3.7
C_c [-]	1.12
M_{63} [μm]	134
M_{2000} [mm]	2.4
D_m [mm]	0.139
F_m [-]	0.64
U [-]	82.5

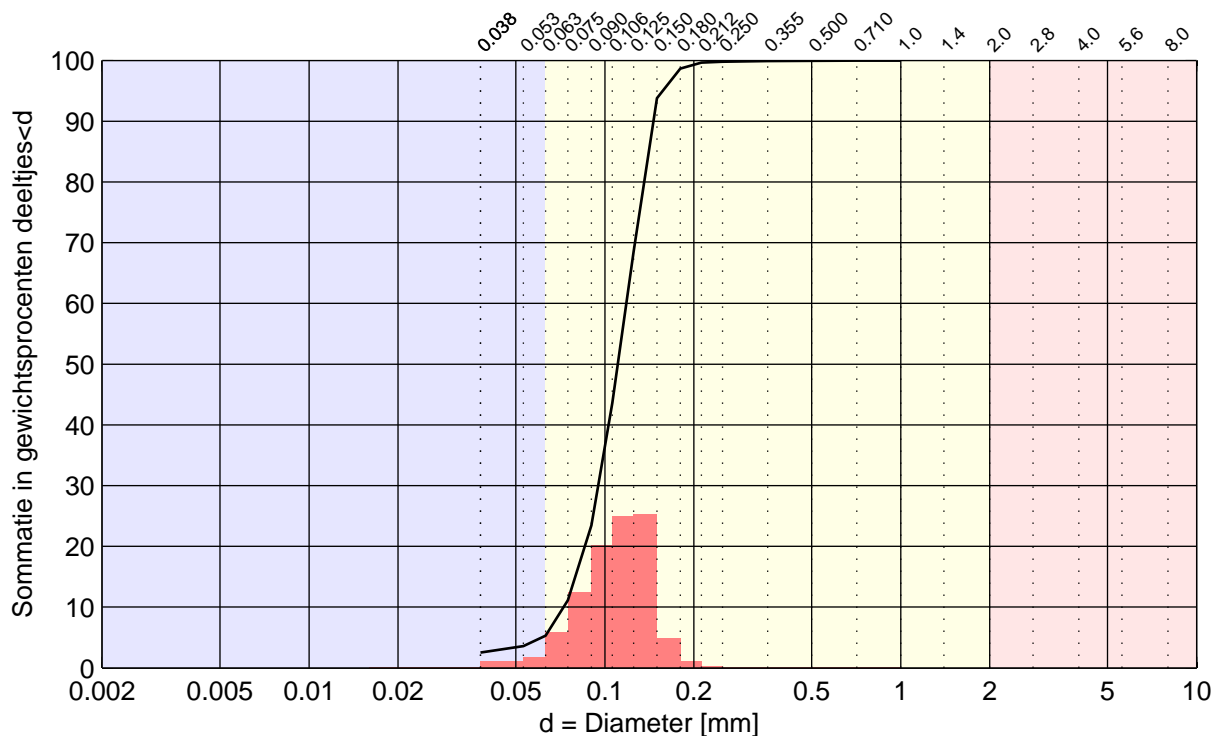
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B01	2B	-1.12 – -1.17

Fijne fractie		Zandzeving: 100.10 g				Grind fractie	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	73.6	-	-
0.001	-	0.038	4.3	0.212	85.0	2.8	100.0
0.002	-	0.053	6.5	0.250	91.4	4.0	-
0.004	-	0.063	9.2	0.355	97.6	5.6	-
0.006	-	0.075	14.2	0.500	99.1	8.0	-
0.008	-	0.090	22.2	0.710	99.6	11.2	-
0.010	-	0.106	32.0	1.0	99.7	16.0	-
0.016	-	0.125	45.6	1.4	99.8	31.5	-
0.030	-	0.150	63.0	2.0	99.9	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig, zwak grin..
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: Geen
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Begemann boring 66 mm
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-01-22	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K2B	gez. *)
KORRELVERDELING SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring		form.	A4



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.073
d_{15} [mm]	0.079
d_{50} [mm]	0.111
d_{60} [mm]	0.118
d_{60}/d_{10} [-]	1.6
d_{90}/d_{10} [-]	2.0
C_c [-]	1.05
M_{63} [μm]	112
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.110
F_m [-]	0.32
U [-]	95.7

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B01	3B	-2.13 – -2.18

Fijne fractie		Zandzeving: 101.57 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	98.7	-	-
0.001	-	0.038	2.5	0.212	99.7	2.8	-
0.002	-	0.053	3.6	0.250	99.8	4.0	-
0.004	-	0.063	5.3	0.355	99.9	5.6	-
0.006	-	0.075	11.1	0.500	99.9	8.0	-
0.008	-	0.090	23.4	0.710	100.0	11.2	-
0.010	-	0.106	43.6	1.0	100.0	16.0	-
0.016	-	0.125	68.6	1.4	-	31.5	-
0.030	-	0.150	93.8	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig
Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
Methode: Deltares
Bepaling fijne fractie: Geen
Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
Analyse uitgevoerd door: Deltares
Boormethode: Begemann boring 66 mm
Mengmonster: nee

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2010-01-22

get.
Bjl

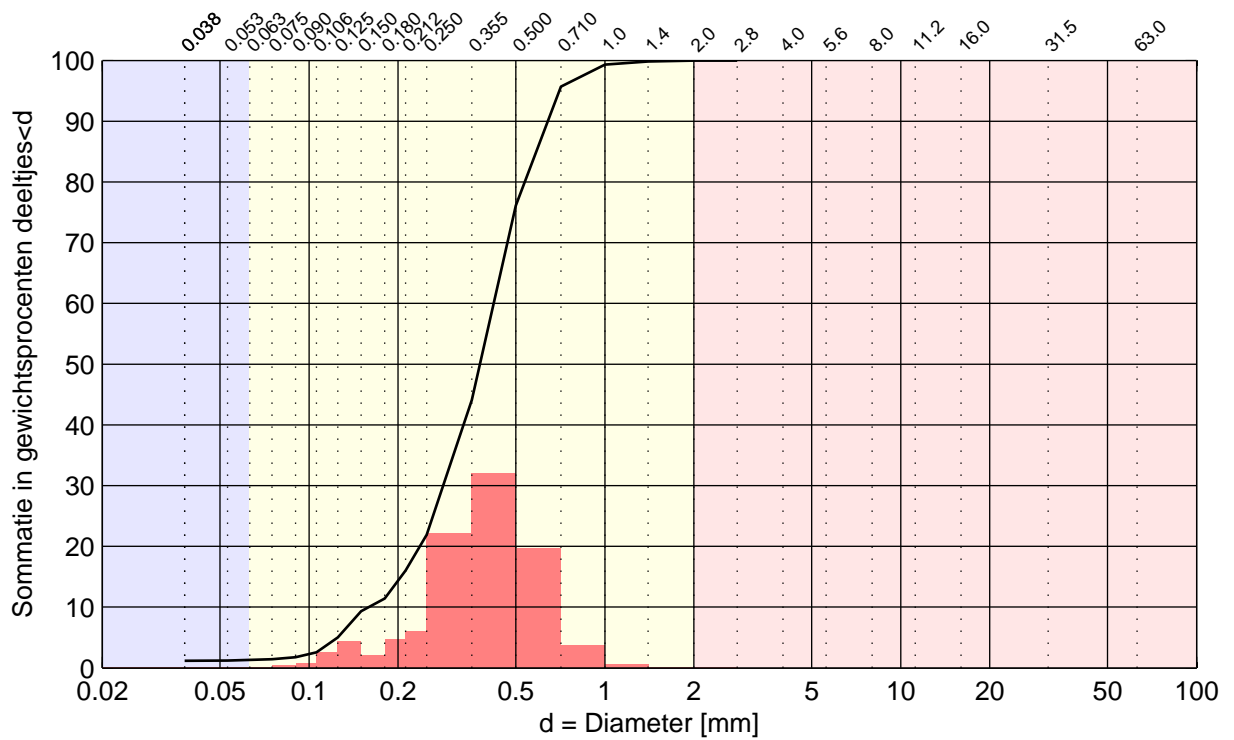
SBW golfoverslag fase 4
Grondonderzoek en monitoring
KORRELVERDELING

project
1201541.001

gez.
*)

bijlage
K3B

form.
A4



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.159
d_{15} [mm]	0.204
d_{50} [mm]	0.378
d_{60} [mm]	0.421
d_{60}/d_{10} [-]	2.6
d_{90}/d_{10} [-]	4.0
C_c [-]	1.20
M_{63} [μm]	380
M_{2000} [mm]	2.4
D_m [mm]	0.384
F_m [-]	1.98
U [-]	32.5

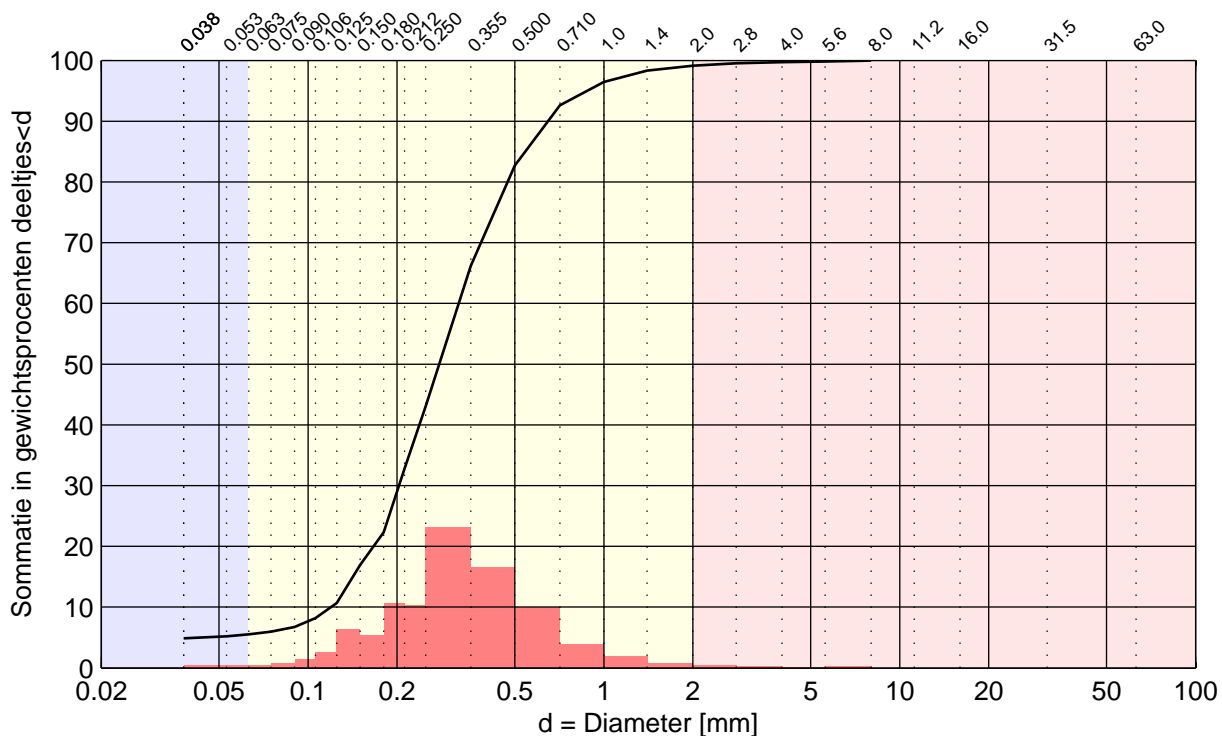
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B01	3D	-2.64 – -2.69

Fijne fractie		Zandzeving: 100.77 g				Grind fractie: 10..	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	11.4	-	-
0.001	-	0.038	1.1	0.212	16.0	2.8	100.0
0.002	-	0.053	1.2	0.250	21.9	4.0	-
0.004	-	0.063	1.3	0.355	44.1	5.6	-
0.006	-	0.075	1.4	0.500	76.1	8.0	-
0.008	-	0.090	1.7	0.710	95.7	11.2	-
0.010	-	0.106	2.5	1.0	99.3	16.0	-
0.016	-	0.125	5.0	1.4	99.9	31.5	-
0.030	-	0.150	9.3	2.0	100.0	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig, zwak grin..
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: Geen
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Begemann boring 66 mm
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-01-22	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K3D	gez.
SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring KORRELVERDELING		*)	form.
			A4



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.120
d_{15} [mm]	0.142
d_{50} [mm]	0.278
d_{60} [mm]	0.323
d_{60}/d_{10} [-]	2.7
d_{90}/d_{10} [-]	5.4
C_c [-]	1.06
M_{63} [μm]	286
M_{2000} [mm]	3.0
D_m [mm]	0.315
F_m [-]	1.68
U [-]	40.7

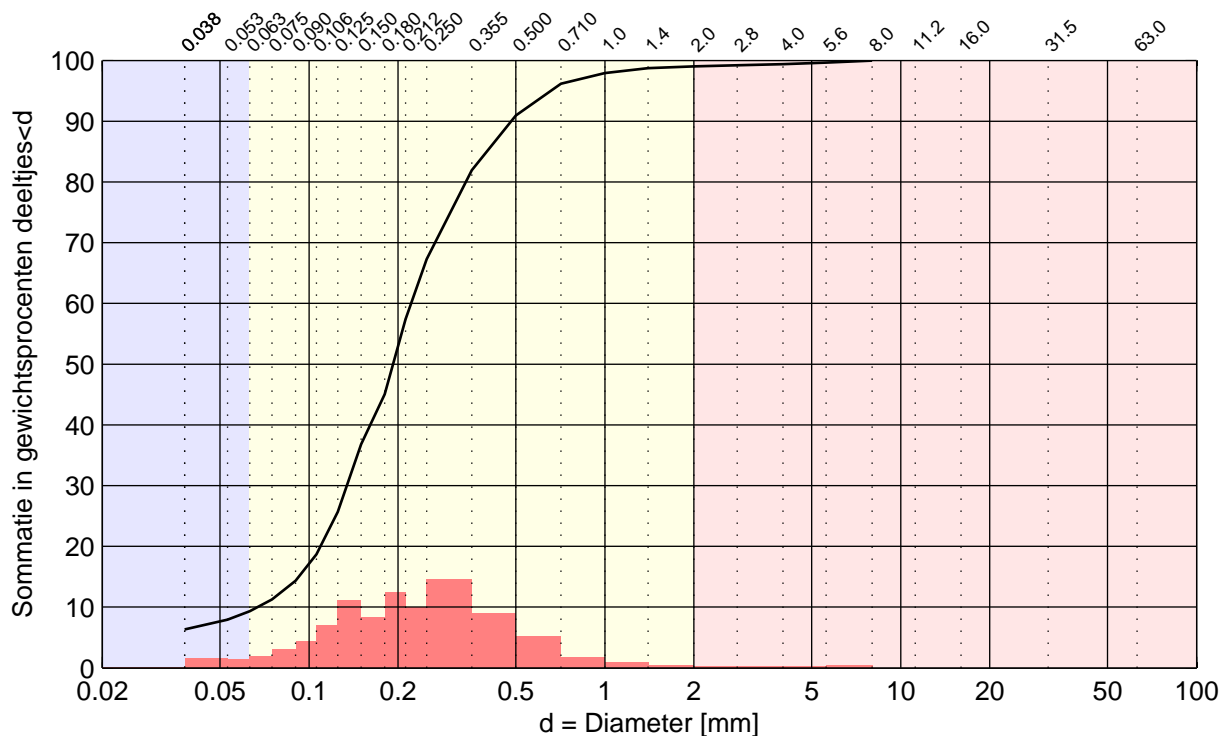
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B02	5B	-0.2 – -0.25

Fijne fractie		Zandzeving: 100.77 g				Grind fractie	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	22.3	-	-
0.001	-	0.038	4.9	0.212	32.8	2.8	99.5
0.002	-	0.053	5.2	0.250	43.1	4.0	99.7
0.004	-	0.063	5.5	0.355	66.2	5.6	99.8
0.006	-	0.075	6.0	0.500	82.7	8.0	100.0
0.008	-	0.090	6.7	0.710	92.6	11.2	-
0.010	-	0.106	8.2	1.0	96.5	16.0	-
0.016	-	0.125	10.7	1.4	98.3	31.5	-
0.030	-	0.150	16.9	2.0	99.1	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig, zwak grin..
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: Geen
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Begemann boring 66 mm
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-01-22	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K5B	gez. *)
KORRELVERDELING SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring			form. A4



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.067
d_{15} [mm]	0.092
d_{50} [mm]	0.192
d_{60} [mm]	0.221
d_{60}/d_{10} [-]	3.3
d_{90}/d_{10} [-]	7.2
C_c [-]	1.21
M_{63} [μ m]	199
M_{2000} [mm]	4.6
D_m [mm]	0.219
F_m [-]	1.20
U [-]	59.5

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B02	7B	-2.35 – -2.39

Fijne fractie		Zandzeving: 100.21 g				Grind fractie	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	45.0	-	-
0.001	-	0.038	6.3	0.212	57.4	2.8	99.2
0.002	-	0.053	7.9	0.250	67.3	4.0	99.4
0.004	-	0.063	9.3	0.355	81.9	5.6	99.7
0.006	-	0.075	11.3	0.500	90.9	8.0	100.0
0.008	-	0.090	14.3	0.710	96.2	11.2	-
0.010	-	0.106	18.7	1.0	97.9	16.0	-
0.016	-	0.125	25.7	1.4	98.7	31.5	-
0.030	-	0.150	36.8	2.0	99.0	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, zwak siltig, zwak grin..
 Volumieke massa 2.65×10^3 kg/m³. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: Geen
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Begemann boring 66 mm
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	2010-01-22	get.
	project	1201541.001	Bjl
	bijlage	K7B	gez. *)
KORRELVERDELING SBW golfoverslag fase 4 Grondonderzoek en monitoring			form. A4

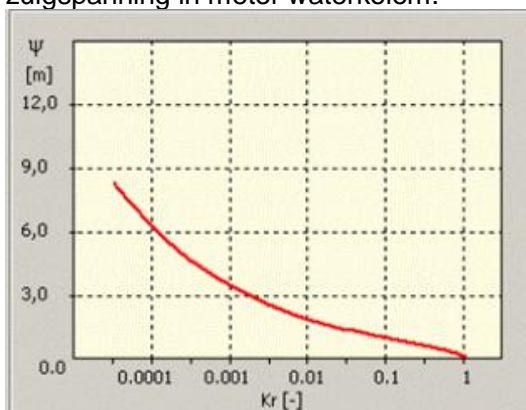
Bijlage B Relatie verzadiging – potentiaal en relatieve doorlatendheid

S_r verzadiging (-)

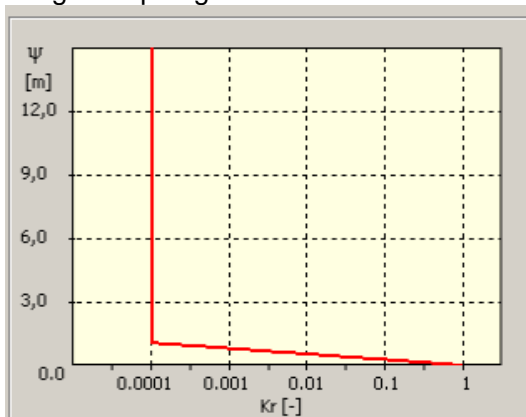
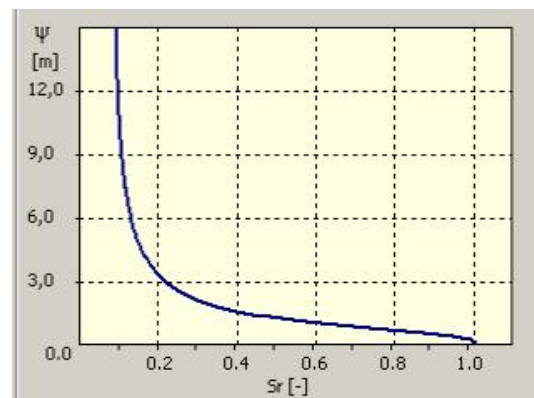
Ψ potentiaal (m)

K_r relatieve doorlatendheid (-)

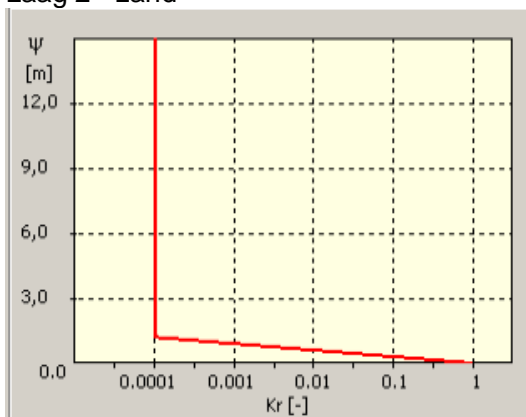
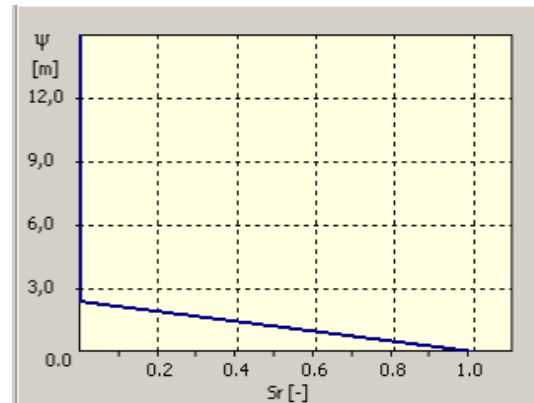
In de onderstaande grafieken kan op de verticale as, de potentiaal Ψ , worden gelezen als de zuigspanning in meter waterkolom.



Laag 1- Toplaag



Laag 2 - zand



Laag 3 - kern

