

SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding

Fase 5D Evaluatie Zeeland

Titel
SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Waterdienst

Projectnummer
423893

Pagina's
105

Rapportnummer Datum
423893/35 v01 Concept december 2008

Versie Aantal pagina's
01 Concept 105

Titel / subtitel
SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding /
Fase 5D Evaluatie Zeeland

projectleider:
Ir. A. van Hoven

projectbegeleider:
Dr.ir. G. Hoffmans

overige leden projectteam:
Dr.ir. J.W. van der Meer
Ir. H.J. Verheij
Ir. G.J. Akkerman
Ir. G.J. Steendam
Ing. J.Y. Frissel

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat Waterdienst

Verspreiding
Rijkswaterstaat Waterdienst

Samenvatting rapport
Op de locaties St. Philipsland en Kattendijke in Zeeland zijn in opdracht van het projectbureau Zeeweringen golfoverslagproeven uitgevoerd. In opdracht van Rijkswaterstaat zijn in het kader van SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding de proeven geëvalueerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in de evaluatie van het hydraulische gebeuren, de proefopstelling, erosie en infiltratie.

Bij St. Philipsland is bij 50 l/s per m schade opgetreden, waarna de proef is gestaakt. Bij Kattendijke bleek de verharding van de weg op de berm kritisch. Hier ontstond een flinke erosiekuil van circa 1 m diep, waarna via het head-cut erosie mechanisme de dijk werd aangetast. Daarna is de proef gestaakt. Tot 30 l/s per m is in beide gevallen geen significante schade opgetreden.

De meting van de laagdikte en de frontsnelheid zijn niet goed bruikbaar, omdat de stuurlijsten waarmee de overslagsimulator wordt aangestuurd op geen enkele wijze was te koppelen aan de gemeten signalen. De oorzaak hiervan is onbekend. Er worden diverse aanbevelingen gedaan om dit in het vervolg te voorkomen.

De waterspanningsmetingen laten zien dat de verzadiging van de kleibekleding relatief snel gaat, maar dat er hierdoor nog niet direct een ongunstige waterdrukverdeling ontstaat voor de stabiliteit van de bekleding. In de zandkern vlak onder de bekleding blijft zelfs een zuigspanning aanwezig.

Titel
SBW Golfverslag en Sterkte Grasbekleding

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Waterdienst

Projectnummer
423893

Pagina's
105

<u>Versie</u>	<u>Datum</u>	<u>Opgesteld door</u>	<u>Paraaf</u>	<u>Gecontroleerd door</u>	<u>Paraaf</u>
01	dec 2008	Dr. ir. J.M. van der Meer Ir. G.J. Steendam Ir. H.J. Verheij Ir. A. van Hoven		Dr.ir. G. Hoffmans	

Titel
SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Waterdienst

Projectnummer
423893

Pagina's
105

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Evaluatie proefopstelling en proefuitvoering	3
2.1	Proefopstelling	3
2.2	Proefuitvoering	10
3	Evaluatie metingen hydraulische parameters	13
3.1	Proefuitvoering	13
3.2	Data processing	13
3.2.1	Ruwe data meetopnemers	13
3.2.2	Filtering	15
3.2.3	Bepaling events	16
3.2.4	Koppelen events	18
3.2.5	EMS Metingen	21
3.3	Resultaten metingen St.Philipsland	23
3.4	Resultaten metingen Kattendijke	26
3.5	Resultaten metingen Elastocaost en open steenasfalt	30
3.6	Analyse hydraulische belasting	32
3.7	conclusies	35
4	Evaluatie graserosie	37
4.1	Waargenomen vormen van erosie	37
4.2	Predictie erosie	42
4.2.1	Grastaluds	42
4.2.2	Erosie harde verdedigingen	48
4.2.3	Erosie bij teen talud	49
4.3	Conclusies	51
5	Evaluatie infiltratie	52
5.1	Grondonderzoek	52
5.2	Monitoring waterspanningen	52
5.2.1	Waterspanningsmetingen St. Philipsland	53
5.2.2	Waterspanningsmetingen Kattendijke	61
5.3	Waterspanningsberekeningen	70
5.3.1	Parameters en randvoorwaarden	70
5.3.2	Berekeningsresultaten	73
5.3.3	Stabiliteit bekledingslaag afhankelijk van drukverdeling	77
6	Conclusies en aanbevelingen	79
6.1	Conclusies	79
6.2	Aanbevelingen	80

Bijlage (n)

Titel
SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Waterdienst

Projectnummer
423893

Pagina's
105

- 1 Factual report proef Zeeland
- 2 Grondonderzoek
- 3 Grasonderzoek
- 4 Berekeningsresultaten PlaxFlow

1 Inleiding

Het project Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding is een onderdeel van het Rijkswaterstaatsproject 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, Toetsregels voor het VTV 2011 en een doorkijk naar 2012 – 2016.

In het winterseizoen van 2007/2008 en dan met name in maart 2008 zijn twee dijken, behorende tot de primaire waterkeringen, in Zeeland beproefd met behulp van de golfoverslagsimulator.

De golfoverslagproeven zijn uitgevoerd middels een opdracht van het Projectbureau Zeeweringen aan Infram. Infram heeft vervolgens Deltares, Van der Meer Consulting en Alterra ingeschakeld voor onder andere gras- en grondonderzoek voorafgaand aan de proef en diverse metingen tijdens de proef. Bij deze opzet is gebruik is gemaakt van de projectgroep binnen het SBW programmaonderdeel Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding.

De evaluatie van de proeven is uitgevoerd in het kader van het SBW programma, onderdeel Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding. Hiervoor heeft Rijkswaterstaat Waterdienst opdracht verleent aan Deltares. Deltares heeft vervolgens Infram, Van der Meer Consulting, Royal Haskoning en Alterra ingeschakeld.

De proeven waren gericht op het sterkte (mechanisme erosie) van de grasmat bij golfoverslag. Voorafgaand aan de proef is een beperkt grondonderzoek uitgevoerd naar de samenstelling van de bekledingslaag en is een opname gemaakt van de erosiebestendigheid van de grasmat conform het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). Tijdens de proeven zijn metingen verricht naar de waterlaagdikte en stroomsnelheid van het overslaande water en naar de waterspanningsopbouw in de bekledingslaag en dieper in de dijk.

De twee onderzoekslocaties waren bij Sint Philipsland en Kattendijke (Figuur 1.1).





Figuur 1.1 Onderzoekslocaties Zeeland

De evaluatie van de verschillende aspecten van de overslagproeven in Zeeland worden per hoofdstuk behandeld. Het proces van de proefnemingen, de voorbereiding, de uitvoering en de uitwerking, en het proces rondom de proefuitvoering, zoals de samenwerking tussen de verschillende partijen en de communicatie worden beschreven in Hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 gaat over de evaluatie van het meten van de hydraulische belasting. De hoofdstukken 4 en 5 gaan over de evaluatie van de predictiemodellen voor respectievelijk graserosie en infiltratie. Het laatste hoofdstuk 6 bevat een samenvatting van de conclusies en aanbevelingen.

In totaal zijn in Zeeland 3 teststroken beproefd:

1. Sint Philipsland: zanddijk met kleibekleding, talud 1:2,5 slechte grasbedekking
2. Kattendijke: zanddijk met kleibekleding, talud ca. 1:3 1x hooien, slechte bedekking, zeer veel mollen
3. Kattendijke: zanddijk met kleibekleding, talud ca. 1:3 1x hooien, slechte bedekking, beschadiging gierinjecteur; 2 palen in talud

Daarnaast zijn bij Kattendijke twee overslagbestendige systemen onderzocht, te weten: Elastocoast® en open steenasfalt.

2 Evaluatie proefopstelling en proefuitvoering

2.1 Proefopstelling

In het Factual Report van Infram, 2008, zijn de proeven in Zeeland beschreven. Daarbij is aandacht besteed aan de (theoretische) achtergrond van de proeven. Het principe van de golfoverslagsimulator wordt daar beschreven met het uitgangspunt dat de simulaties gelden voor zee- en meerdijken met een golfhoogte van ongeveer 2 m. Verder wordt de achtergrond gegeven voor golfoverslag, overslagverdelingen en formules voor laagdiktes, snelheden en verblijftijden van overslaand water op de kruin. Tot slot worden de aanpassingen aan de simulator beschreven, die zijn uitgevoerd na de eerste proeven in Delfzijl, 2007. Dit betreft het nieuwe en aanpasbare onderstel voor de simulator en de vergroting van de bak van 3,5 m³ per m naar 5,5 m³ per m. De bediening van de simulator is handmatig gebeurd, maar nu is de gehele overslagverdeling gesimuleerd en niet zoals bij Delfzijl, in blokken met vaste overslagvolumes. In deze paragraaf zullen de aspecten die betrekking hebben op de proefopstelling worden geëvalueerd.

Meetcabine

De meetcabine is op een platte wagen gezet, waarbij tussen de assen zoveel ruimte aanwezig was dat het water van de 4 m brede proefsectie ongestoord onder de wagen door kon stromen. Met de meetcabine recht voor en deels boven de proefsectie wordt een prima overzicht verkregen op de proefsectie. Daarnaast is het gemakkelijk om het geheel over korte afstanden, met een tractor, te verplaatsen. Dit geheel heeft goed gewerkt.

De meetcabine is tijdens de uitvoering op een proefsectie gestut geweest met behulp van een viertal stutten. Dit was nodig omdat de camera, die de gehele proef heeft opgenomen, aan de meetcabine was bevestigd. Als de meetcabine niet gestut zou zijn geweest zou elke beweging in de meetcabine door onder meer de wind geleid hebben tot beweging van de camera, waardoor de opname verstoord zou worden. Behalve het stabiliseren van de meetcabine zijn de stutten ook gebruikt voor het horizontaal stellen van de cabine. Opgemerkt moet worden dat het stutten vrij provisorisch is gebeurd en naar gelang het inzicht van dat moment en de mogelijkheden. Als de meetcabine vaak moet worden verplaatst, dan is de wijze van stutten voor verbetering vatbaar.

Belangrijk is dat de stutten op een erosiebestendige ondergrond moeten staan. Op Sint Philipsland stond de meetcabine op een asfaltweg die voldoende stevigheid bood. In Kattendijke was dit een met sintels verharde onderhoudsweg. Tijdens een van de proevenseries erodeerde deze onderhoudsweg zodanig dat de stabiliteit van de meetcabine in gevaar kwam. Net op tijd en met de nodige moeite is de meetcabine toen verplaatst. In het vervolg moet op dergelijke gevaren beter worden geanticipeerd teneinde ongevallen en het mislukken van de proef te vermijden.

De meetcabine was voorzien van opname- en uitleesapparatuur en een hard disc recorder voor de opslag van de videobeelden. Daarnaast was er een printer aanwezig en was de bediening van de overslagsimulator (joystick) in de cabine geplaatst. Alle apparatuur is ook daadwerkelijk (zonder problemen) gebruikt. Alle bekabeling van de camera's en de meetapparatuur op en in de proefstrook kon door een hoog gelegen gat, voor een eventuele aan te koppelen airco, in de meetcabine worden gebracht. De locatie van dit gat als kabeldoorvoer was niet optimaal. Beter zou zijn wanneer de bekabeling via een luik in de vloer naar binnen kon worden gebracht.

Omdat de indeling van de cabine niet ideaal was gebleken bij de proeven in Friesland vond de bediening van de simulator in dezelfde ruimte plaats als waar de meetapparatuur was geplaatst. Op deze wijze was er een meer fysieke scheiding aanwezig, zodat alle aandacht op het volgen van de stuurlijst gevestigd kon worden. In Friesland bleek namelijk dat door de vele bezoekers die ook in de cabine kwamen de proef enigszins verstoord werd. Bovendien kon de bediener van de joystick mensen niet te woord staan wanneer hij alleen in de cabine aanwezig was omdat de volledige aandacht bij het volgen van de stuurlijst aanwezig moest zijn. De fysieke scheiding heeft redelijk goed gewerkt. Verder was de meetcabine niet ideaal elektrisch voorbereid op de aansluiting op de energievoorziening via de generator.

Bezoekersvoorziening

Voor bezoekers was een ruimte ingericht waarin stoelen en tafels aanwezig waren. Deze ruimte kon tevens worden gebruikt als lunchgelegenheid. Bovendien was daarin de schaalversie van de overslagsimulator opgebouwd. De bezoekersruimte bestond uit een enkele unit van 6x3 m en bood plaats aan ca. 10 bezoekers.

Van deze ruimte is op Sint Philipsland onder andere gebruik gemaakt bij een persbijeenkomst. Tevens werd er regelmatig geluncht door medewerkers van faciliterende en toeleverende bedrijven. Daarnaast is de ruimte gebruikt door projectgroepleden, de opdrachtgever en het uitvoeringsteam om te kunnen werken. Dezelfde unit is ook gebruikt in Kattendijke. Hier heeft naast het opvangen van bezoekers onder andere een projectgroepvergadering plaatsgevonden.

De unit bleek groot genoeg voor het gestelde doel. In gevallen dat behoefte was aan een grotere ruimte is uitgeweken naar een andere locatie.

Beveiliging

De meetcabine was voorzien van beveiligingsapparatuur, bestaande uit een brandmelder, bewegingsmelders en deurcontacten op de toegangsdeuren die via een modem verbonden waren met een meldkamer. Verder was er een abonnement met een beveiligingsorganisatie die voor de alarmopvolging zorgde. Indien nodig kon de meldkamer een beveiligingsbeambte langs sturen..Het omliggende terrein is, hoewel dat oorspronkelijk wel de bedoeling was, niet voorzien van camerabeveiliging. Dit naar aanleiding van bevindingen tijdens overslagproeven in Friesland. De reden hiervan is dat bij een niet fysiek afgesloten testgebied het aantal alarmeringen te groot zou zijn, als gevolg van loslopende dieren, toevallige passanten en mogelijk ook voorbijvliegende vogels.

Het beveiligingssysteem heeft enkele haperingen gekend. Bij de proeven op Sint Philipsland is de beveiliging niet operationeel geweest. De oorzaak hiervoor lag in het feit dat de opbouw van de proeflocatie vertraagd was in verband met storm. Op het geplande moment van opbouwen was de leverancier van de beveiligingsapparatuur aanwezig om deze operationeel te maken. Echter door de vertraging is deze onverrichter zake weer vertrokken. De eerst volgende mogelijkheid om het systeem operationeel te maken was twee of drie dagen later. Echter op dat moment waren de proeven op Sint Philipsland al in een eindstadium. Het loonde de moeite niet meer om het systeem voor 1 of 2 dagen operationeel te maken. Besloten is daarom om het beveiligingssysteem op Kattendijke pas weer te operationaliseren.

Door een stroomstoring, kortsluiting als gevolg van lekkage door een combinatie van regen en storm, is de spanning weggevallen op het beveiligingssysteem. Als gevolg daarvan is de zogenaamde 'sabotagerespons' geactiveerd. Er is toen een melding uitgegaan naar de meldkamer en er is vervolgens een beveiligingsman langs geweest. Het systeem werkte dus goed. Overigens kan worden afgevraagd wat het nut is van een

dergelijk systeem. De responsetijd van de alarmopvolging is zodanig dat een eventuele inbraak niet kan worden gestopt. Het is wel zo dat er een preventieve werking vanuit gaat. Deze wordt versterkt door het feit dat op het terrein wordt aangegeven dat er beveiliging aanwezig is. Bovendien is het verzekeringstechnisch een vereiste (of een pré?).

De stroomstoring bij Kattendijke heeft problemen opgeleverd met de accu van de beveiliging. In geval van stroomstoring schakelt de beveiliging over op een noodaccu waardoor voor bepaalde tijd de beveiliging alsnog kan werken. Aangezien de stroomstoring in het weekend plaatsvond bleek de accu op maandag volledig leeg. Daarnaast bleek de modem van het alarmsysteem niet meer te werken. Dit bleek toe te schrijven aan het feit dat de accu, toen deze volledig leeg was, niet meer opgeladen kon worden. Toen de generator weer werd opgestart ontstond er een piekspanning waardoor de modem kapot ging en er geen meldingen meer naar de meldkamer verstuurd konden worden. Het probleem is door de leverancier verholpen, waarna alles weer werkte als daarvoor.

Het contract met de meldkamer en de alarmopvolging moet met een minimale looptijd van 1 jaar worden aangegaan. Dit is echter niet plaatsgebonden. Dit betekent dat van hetzelfde contract gebruik kan worden gemaakt als er proeven binnen het contractjaar elders worden uitgevoerd. De proeven op de Boonweg, St. Philipsland en Kattendijke zijn met hetzelfde beveiligingscontract uitgevoerd. Het ongebruikelijke mobiele karakter van de beveiliging heeft er voor gezorgd dat er een communicatieprobleem heeft plaatsgevonden tussen de meldkamer en de alarmopvolgingsorganisatie. Dit leidde tot een situatie waarbij de beveiligingsbeambte na een alarm op de dijk nabij de Boonweg stond terwijl de hele opstelling al in Kattendijke stond. Verder bleek het systeem gevoelig voor heftige bewegingen van de meetcabine tijdens zware storm. Om continue alarm te voorkomen moest in die gevallen het systeem worden uitgeschakeld.

Wanneer verzekeringstechnisch niet noodzakelijk, is in principe een bewegingsmelder overbodig, wanneer alle deuren en ramen zijn voorzien van deur- en raamcontacten. Wanneer objecten in de cabine door harde wind in beweging komen wordt dit namelijk gedetecteerd door de bewegingsmelder waardoor alarm wordt geslagen. Als de contacten goed werken kan in principe niemand binnen komen zonder dat het alarm afgaat en zijn bewegingsmelders overbodig.

De bediening van de simulator en de klok werden elke avond en in het weekend in de meetcabine opgeborgen. Computers, meetdata en de fotocamera werden nooit in de meetcabine achtergelaten bij het verlaten van de testlocatie.

De verlichting is bij afwezigheid van het uitvoeringsteam ('s nachts en in het weekend) tevens als beveiligingsmiddel gebruikt om ongewenst bezoek van derden te ontmoedigen.

Tijdens de proeven in Zeeland hebben geen noemenswaardige incidenten plaatsgevonden. Onduidelijk is of dit is toe te schrijven aan de gebruikte beveiliging. Hoewel op zowel Sint Philipsland als Kattendijke de beveiligingsapparatuur respectievelijk niet en deels niet heeft gewerkt, is het uitvoeringsteam echter wel overtuigd van de preventieve werking die van de aangebrachte beveiligingsapparatuur uitgaat, of van enige andere vorm van beveiliging, zoals fysieke aanwezigheid.

Camerasysteem

Er is bij de proeven in Zeeland gebruik gemaakt van dezelfde (bewakings)camera's als bij de proeven op de Boonweg. Deze camera's zijn gebruikt omdat deze geschikt zijn voor continue buitengebruik en geven een globaal beeld van de proefstrook. Er kon niet flexibel worden ingezoomd op mogelijke erosieplekken of beginnende en voorschrijdende schade. De proefstrook is in zijn geheel met één camera opgenomen met een frequentie van 10

beelden per seconde. Deze frequentie kon worden ingesteld. De reguliere frequentie van de gebruikte opnameapparatuur is 25 Hz. Het terugbrengen van de frequentie is gedaan om zo de benodigde opslagcapaciteit te beperken, waardoor alle proeven in zijn geheel konden worden opgenomen op een HD-recorder.

Omdat de HD-recorder met behulp van een LAN-kabel direct was aangesloten op een laptop konden de beelden, die ook op de monitor gevolgd konden worden, opgenomen worden. De registraties zijn aan het eind van elke dag dat proeven zijn uitgevoerd overgezet naar een externe harde schijf.

Bij globale analyse achteraf is gebleken dat enkele opnames corrupt zijn. De oorzaak hiervan is onbekend.

De mogelijkheden om de opnames met opnamefrequentie van 10Hz te analyseren voor frontsnelheden lijken beperkt. Een eerste poging lijkt er op te wijzen dat de ingestelde frequentie niet exact overeenkomt met de werkelijke frequentie. Daarnaast is in de opnames geen tijdregistratie opgenomen anders dan de externe klok op de proeflocatie (die overigens wel voortdurend in beeld is). Deze klok geeft de tijd in seconden. Het feit dat alleen hele seconden kunnen worden afgelezen en er met de gebruikte applicatie voor de beeldanalyse niet exact 10 beelden per seconde worden gegeven maakt het vrijwel onmogelijk een nauwkeurige analyse van de frontsnelheid uit te voeren met behulp van de met de camera's verkregen opnames.

Hoewel de scherpte van het merendeel van de opnames achteraf matig waren, bleken de beelden bruikbaar om een indicatie te krijgen van de uitbreiding van de schade in de tijd. Detailanalyse lijkt vooralsnog niet mogelijk. Wellicht dat betere beeldanalysesoftware hier mogelijkheden biedt, in combinatie met een beter camerasysteem. Indien vaststellen van de frontsnelheid tot de vereisten behoort, moet er dus een ander camerasysteem worden toegepast en moet er een goede beeldverwerkingsapplicatie worden gebruikt. Voor vervolgprouwen dienen aan het camerasysteem en de vereiste beeldverwerking duidelijker eisen te worden gesteld en moeten er vooraf testen worden uitgevoerd.

Er was op de testlocatie een reservecamera aanwezig, die oorspronkelijk bedoeld was voor bewaking. De camera is echter niet gebruikt voor het opnemen van de proeven. Daarnaast was er een niet waterdichte hand-held videocamera aanwezig om optredende schade in detail op te nemen. Hiermee zijn goede beelden gemaakt. Echter deze beelden zijn niet continu gemaakt en de positie van waar gefilmd is niet altijd dezelfde geweest (wat overigens geen vereiste was). Er is getracht om een goed beeld op te nemen van de ontwikkeling van de opgetreden schades. Dit is goed gelukt.

Fotocamera

Om de ontwikkeling van de grasmat in de tijd vast te leggen zijn met een breedbeeld compact camera met groothoeklens met 10 megapixel voor de eerste sessie (T0 situatie) en na iedere sessie (detail)foto's gemaakt van het proefvak. Om de positie op de grasmat vast te leggen is gebruikt gemaakt van een raster van 2 x 4 meter. Het raster was onderverdeeld in vlakken van 1 m². Bij elke foto is de locatie op het talud mee gefotografeerd. Hiertoe is een bordje met de locatie (1, 2, ...) op het raster geplaatst. Bij de proeven nabij Kattendijke is elk vlak tevens onderverdeeld (a, b, c, d) om een nog betere positiebepaling bij het fotograferen van details te verkrijgen. Achteraf bleek dit zeer nuttig.

Het raster heeft goed gewerkt. Echter bleken de op het talud aanwezige meetinstrumenten vaak een sta in de weg bij het verplaatsen van het raster. Daarnaast is het raster in combinatie met de meetinstrumenten onhandelbaar voor één persoon. Hierdoor dienen

minimaal 2 personen betrokken te zijn bij het maken van de foto's (bij voorkeur 3, zodat 2 personen het raster kunnen verplaatsen en 1 de foto's maakt).

Op de harde bekledingen Elastocoast® en open steenasfalt is met wegenvverf een raster gemaakt. Met een dergelijk raster is veel tijd gewonnen bij het fotograferen. Immers één persoon kan nu de foto's maken, waardoor de andere personen tevens de handen vrij hebben voor andere zaken. Wellicht is het mogelijk om op gras een dergelijk raster aan te brengen.

Behalve foto's van het proefvak voor en tussen de sessies zijn tijdens de sessies in geval van schade tussen de overslaande golven door foto's gemaakt om de schadeontwikkeling in beeld te brengen. Bij de uitwerking van het factual report is hiervan achteraf veel profijt ondervonden.

Achteraf is geconstateerd dat na iedere sessie geen overzichtsfoto's zijn gemaakt van het gehele proefvak. Wanneer dergelijke foto's waren gemaakt had ook een overzicht van de ontwikkeling van de grasmat in de tijd over het gehele talud gezien gegeven kunnen worden. Dergelijke foto's geven een extra dimensie bij de uitwerking en zijn daarom ook gewenst.

Monitoring meet- en registratieapparatuur

De beelden van de camera zijn real time gemonitord. Hiertoe was een monitor in de meetcabine aanwezig.

Met behulp van een kabelverbinding tussen de datalogger van Deltares en de meetcabine konden op dit beeldscherm ook de meetdata van de tensiometers en de peilbuizen worden gemonitord. Op deze wijze kon gecontroleerd worden of de instrumenten een signaal leverden. Dit heeft goed gewerkt. Interpretatie van het signaal was de taak van Deltares, maar specialisten waren niet permanent aanwezig waardoor de juiste werking van de instrumenten niet altijd direct gecontroleerd werden. Bij volgende proeven is het gewenst permanent een specialist aanwezig te hebben of oproepbaar op korte termijn.

Trapopgang / bordes

Het talud in Sint Philipsland was te steil voor een vlak bordes langs de meetsectie. In plaats daarvan is een trapconstructie gebruikt. De treden konden niet helemaal horizontaal geplaatst worden (talud weer net niet steil genoeg), maar de constructie was goed te betreden en zeker nodig als het talud wat glad was door water. De ervaring met deze trapconstructie mag als goed worden beschreven.

Bij Kattendijke is er langs de eerste testsectie aan een enkele zijde een bordes met leuning gemaakt. De tweede sectie (mestinjecteur) is in verband met de logistiek in combinatie met de strakke planning niet voorzien van een bordes. Hier is, in combinatie met een leuning, een noppenfolie op het talud gelegd. Deze noppenfolie, in combinatie met ruwe zolen bood voldoende grip voor het uitvoeringsteam om overal langs de teststrook te komen. Voor bezoekers was dit lastig. De derde strook (Elastocoast®) was aan een enkele zijde voorzien van een bordes en aan de andere kant van de proefstrook van noppenfolie. Dit heeft goed gewerkt voor zowel het uitvoeringsteam als de bezoekers. Om planningstechnische en praktische overwegingen is bij de laatste proef weer alleen gebruik gemaakt van de noppenfolie. Zoals aangegeven was dit voldoende voor het uitvoeringsteam, maar lastig voor de bezoekers.

Noppenfolie op een talud 1:3 is minder geschikt voor bezoekers. Steilere taluds dan 1:3 zullen ook voor het uitvoeringsteam onvoldoende toegankelijk zijn als er gebruik wordt gemaakt van noppenfolie. Hier moet dan een bordes geplaatst worden of in geval nog steilere taluds (1:2,5 of steiler) een trap zoals toegepast op Sint Philipsland.

Dijksloot

Bij Sint Philipsland was direct achter de asfaltweg een hele smalle en vrijwel droge dijksloot aanwezig. Om de proeven uit te kunnen voeren was daarom aanvullend wateraanvoer noodzakelijk. Door een 150 m lang stuk dijksloot af te dammen, kon er water naar de binnensloot worden gepompt. Aangezien het meeste water via de simulator en de proefstrook weer in de sloot terecht kwam, was het een circulerend systeem, zonder al teveel waterverlies. Wel moest voortdurend water worden bij gepompt of geleverd (middels tankauto's), omdat een redelijk deel van het water via het bestaande drainagesysteem in het omringende weiland verdween. Het opgezette waterpeil in sloot was immers beduidend hoger dan het waterpeil in het omringende gebied. Deze oplossing heeft goed gewerkt, maar er moet rekening mee worden gehouden dat er in soortgelijke gevallen het waterverlies kan worden verkleind door het afdoppen van de drainage leidingen.

In Kattendijke was achter de waterkering een breed water aanwezig waarmee ruim in de watervoorziening voor de overslagproeven kon worden voorzien.

Bescherming dijksloot, wegdek en wegberm

Om de oevers van de dijksloot bij Sint Philipsland tegen het snel terugstromende water uit de simulator te beschermen, zijn op de bodem en tegenoverliggende oever draglineschotten op geotextiel geplaatst. Bovendien is met die schotten het vrijboord aan de kant van het weiland verhoogd om overslag te voorkomen. Dit heeft goed gewerkt. Tevens is de smalle berm tussen weg en de sloot beschermd met een dik kunststof folie en kunststof rijplaten. De rijplaten zijn op het folie geplaatst om de folie op zijn plaats te houden. Dankzij deze constructie is er geen grote schade, en daarmee instabiliteit van het weglichaam, aan de berm opgetreden. Een dergelijke bescherming heeft, hoewel het vrij veel inspanning heeft gekost, redelijk goed gewerkt. Waarschijnlijk is toepassing van stalen i.p.v. kunststof rijplaten meer effectief (minder flexibel en zwaarder), doch minder handelbaar. De pompomping was ter bescherming van de slootbodempomping en om ondermijning van de pompfundatie zelf te voorkomen op een rijplaat geplaatst.

In Kattendijke lag achter de waterkering een breed water. De oever van dit water was voorzien van een royale rietvegetatie en struikgewas. De wegberm begon net na de onderhoudsweg met een steil talud tot een ca. 1 m lager niveau. In de beschrijving van de proeven in het factual report is reeds melding gemaakt van de grote schades aan de onderhoudsweg en aanliggende berm. De onderhoudsweg bestond uit een funderingslaag van zand tussen twee perskades van klei met daarop een toplaag van enkele decimeters dik, die bestond uit verdichte sintels. In eerste instantie werden de onderhoudsweg en de wegberm niet beschermd. Toen bij de eerste proef bij grote debieten grote schade ontstond aan de onderhoudsweg en aangrenzende wegberm, is bij het derde en vierde proefvak geprobeerd de schade te beperken door het afdekken van de onderhoudsweg en insteek van de sloot met folie met daarop rijplaten. De tweede proefstrook is slechts tot 50 l/s per m beproefd en hier hoefde dit systeem dan ook niet toegepast te worden. Het afdekken heeft er voor gezorgd dat grote schade aan de onderhoudsweg, zoals in de eerste proefsectie, niet is opgetreden. Echter de schade aan wegberm was nog wel groot. In het laatste stadium van de derde en vierde proefstrook waren hier dermate grote gaten ontstaan dat ook de wegberm moest worden afgedekt met een doek. Dit heeft redelijk goed gewerkt. De oeverlijn zelf is dankzij de aanwezige oevervegetatie niet aangetast.

Bij herstel van een van de grote erosiegaten door het waterschap, is een stroomkabel kapot getrokken. Hierdoor kwam vrijwel geheel Goes zonder stroom te zitten. Omdat kabels en leidingen in een dijk aanwezig kunnen zijn, is het van belang bij graafwerkzaamheden altijd een KLIC-melding te doen.

Om ondermijning van de pompfundatie en het oppompen van slib naar de simulator te voorkomen is de dompelpomp geplaatst in een afgezonken open container. Dit heeft goed gewerkt.

Storm

Tijdens het opbouwen van de proefopstelling op Sint Philipsland bleek het te hard te waaien om de simulator met de telescoopkraan verantwoord op de kruin van de dijk te plaatsen. Toen de volgende dag de simulator wel op de kruin kon worden geplaatst is uit zekerheid de simulator met een trekker gefixeerd.

Golfoverslagsimulator

Na de eerste proeven in Delfzijl zijn aanpassingen gemaakt aan de simulator. Een van deze aanpassingen is een onderstel waarop de simulator wordt geplaatst en welke hydraulisch op hoogte is te stellen. Hierdoor kan de simulator na plaatsing op de dijk nauwkeurig verticaal worden gesteld. Ook het eventueel bijstellen na enige verzakking is daardoor gemakkelijk. Het onderstel is een uitstekende aanpassing aan de simulator gebleken.

Het plaatsen van de geleideplaten / uitstroomborden bleek, vooral bij "nat" weer, niet gemakkelijk. De zware platen moesten tussen onderstel gemanoeuvrerd worden en met bouten worden vastgezet. Makkelijker zou zijn geweest wanneer deze platen middels een soort van geleideconstructie op hun plaats konden worden gebracht.

Bij zowel Kattendijke als Sint Philipsland was, om milieutechnische redenen, geëist dat er geen lekwater de Oosterschelde in mocht stromen. Daartoe is de simulator op een zware kunststoffolie geplaatst en is dit zeildoek omhoog gezet als een soort bak. Hierin is een dompelpomp gezet die het lekwater naar de sloot terugpompte. Desondanks was het geen afdoende waterdicht systeem. Omdat de uitstroomconstructie naar het binnentalud toe uit verschillende onderdelen bestaat, komt er bij grote overslaggebieden redelijk wat lekwater vrij. Omdat de simulator zelf op de kruin en deels op het buitentalud staat stroomt het surplus aan lekwater en een deel van het op de naar buiten toe hellende kruin geloste water naar de zeezijde van de dijk. Bij het ontwerp van een nieuwe simulator zou de uitstroomopening waterdicht aan de simulator bevestigd moeten worden. Mocht eenzelfde eis weer eens voorkomen, dan zou een meer waterdichte bak of wellicht uitstroomgeleiding van de overslagsimulator moeten worden gemaakt.

De aansluiting van de houten geleideschotten aan de simulator gaf problemen. De grote kracht van het water leidde ertoe dat de schotten regelmatig lossloegen. Door de schotten aan de buitenkant van de geleideplaten van uitstroomconstructie van de simulator met slotbouten vast te maken werd dit probleem grotendeels opgelost.

Pompen en leidingen

Voor de watervoorziening is van dezelfde pompconfiguratie als in Friesland gebruik gemaakt. Het betrof een regelbare elektrische dompelpomp met een maximaal debiet van 1.200 m³/uur. De debietregeling is gebeurd met een bij de pomp behorende frequentieregelaar. De pompcapaciteit was voldoende voor 75 l/s per m. Omdat in Friesland al was opgemerkt dat de in de aanvoerleiding geplaatste debietmeter niet goed werkte (de meter gaf ca. 50% te weinig aan), is bij de instelling van het gewenste debiet ook gebruik gemaakt van een chronometer en de op de simulator aangebrachte schaalverdeling.

De configuratie was in Kattendijke zo geplaatst dat alle 4 testsecties konden worden bediend vanuit de zelfde plaatsing van de pomp in de sloot. Alleen het leidingdeel op kruin behoefde te worden aangepast aan de andere posities van de overslagsimulator. De pompconfiguratie heeft goed gewerkt. Omdat de sloot een sterk slibachtige bodem heeft

was, om het opzuigen van bodemmateriaal te voorkomen en de stabiliteit van de pomp te borgen, de pomp geplaatst in een afgezonken open container. Voor de proeven op Elastocoast® en open steenasfalt is de pomp- en leidingcapaciteit uitgebreid naar 1.800 m³/uur. Het extra pompdebiet is met een leidingsysteem van het waterschap in de simulator ingevoerd. Door zeer goede samenwerking met medewerkers van de opdrachtgever en de uitstekende staat van het materiaal, heeft dit zeer goed gewerkt (zie ook onder 2.2)

Stroom- en hydrauliekvoorziening

De stroom- en hydrauliekvoorziening waren dezelfde als toegepast bij de proeven in Friesland. Voor de stroomvoorziening van de pomp, verlichting, verwarming en meet en regelapparatuur is een op een milieutank aangesloten dieselgenerator met ruim voldoende vermogen gebruikt. Deze heeft naar behoren gefunctioneerd. Wel is een keer de stroomvoorziening naar de meetcabine afgesloten geweest toen door lekkage bij regenachtig stormweer kortsluiting is ontstaan (zie ook onder beveiliging).

Opgemerkt dient te worden dat de gebruikte “paddestoel” met elektrische aansluitingen, zich niet in een afgesloten ruimte heeft bevonden. Aangezien onder meer de beveiliging hierop is aangesloten is dit een zeer kwetsbaar onderdeel van de stroomvoorziening, omdat zó gemakkelijk de stroom ten behoeve van de beveiliging kan worden afgesloten. In die situatie zal het beveiligingssysteem overigens wel een sabotage alarm naar de meldkamer geven, omdat het alarmsysteem voorzien is van een accu. Ook is het mogelijk ter plaatse een slijptol aan te sluiten waarmee de aanwezige niet beveiligde containers opengebroken kunnen worden.

Om de kleppen van de simulator te bedienen met de joystick vanuit de meetcabine is een hydrauliekvoorziening geplaatst op de kruin naast de simulator. Dit hydraulische aggregaat heeft een vermogen van 40? liter. Dit aggregaat heeft goed voldaan.

Verlichting.

De testsecties zijn alle voorzien van verlichting. De installatie bestond uit twee paar bouwlampen (4x 1000 W). De twee lichtinstallaties waren bevestigd op zowel de meetcabine als de overslagsimulator. Met behulp van deze installatie kon 's ochtends vroeg worden begonnen en tot de avond goed worden doorgewerkt. Ook tijdens donkere dagen heeft de extra verlichting bijgedragen aan een goed zicht op de testsecties. De verlichting is bij afwezigheid van het uitvoeringsteam ('s nachts en in het weekend) tevens gebruikt om ongewenst bezoek van derden te ontmoedigen.

2.2 Proefuitvoering

De proeven zijn uitgevoerd met één pomp met een capaciteit van 1200 m³ per uur. Deze capaciteit was voldoende voor 75 l/s per m. De pompcapaciteit kan met een frequentieregelaar worden afgesteld op het gewenste debiet. Alleen erg kleine debieten waren niet goed in te stellen. De grens ligt ongeveer bij 70-100 m³ per uur. Bij kleinere debieten zal met een in de persleiding opgenomen afsluiter de weerstand in het systeem moeten worden vergroot. In Zeeland is er voor gekozen om een minimum debiet van 144 m³ per uur aan te houden. Dit is een proef met 10 l/s per m. Het betekent dat de kleinere overslagdebieten van 0,1 en 1 l/s per m versneld zijn uitgevoerd. De overslagverdeling zelf is dan wel voor elk debiet goed gesimuleerd, maar de tijd tussen de ‘overslaande golven’ is verkort. Voor een overslagdebiet van 0,1 l/s per m is een versnelling met een factor 100 uitgevoerd. De 9 overslagen zijn niet in 6 uur gesimuleerd, maar in ongeveer 4 minuten. De proef met 1 l/s per m is 10 maal versneld uitgevoerd, dus in 36 minuten. Aangezien alleen de tijd tussen de overslagen wordt verkort en niet de belasting zelf, wordt ervan uitgegaan dat deze wijze van uitvoeren geen consequenties heeft voor de resultaten. Met

deze aanpassing is deze pomp met een relatief groot vermogen bruikbaar. Tevens leverde dit tijdswinst op.

Bij de kleinste golven uit de stuurfiles werd de simulator zo weinig gevuld dat er geen goede verdeling over de breedte kon worden gerealiseerd. Dergelijke lossingen vonden dan uitsluitend plaats aan die kant van de simulator waar de vulleiding zich bevond.

Bij Kattendijke zijn twee overslagbestendige systemen onderzocht. Hierbij was het nodig het overslagdebiet op te voeren naar 125 l/s per m. Dit kon niet gerealiseerd worden met de aanwezige pomp. Het waterschap heeft daartoe twee niet regelbare dieselpompen met een totaalcapaciteit van ongeveer 50 l/s per m geleverd. Het bleek dat beide dieselpompen te weinig opvoercapaciteit hadden. Daarom zijn de twee pompen in serie in plaats van parallel geplaatst, zodat deze elkaar konden versterken. De dieselpompen werden zo op volle capaciteit benut, terwijl de elektrische pomp werd gebruikt om af te regelen op het gewenste totaaldebiet. Deze opstelling heeft naar tevredenheid gewerkt. Bij de uitvoering van de proeven is van belang dat pompen worden gebruikt met ruim voldoende opvoercapaciteit.

De overslagsimulator is uitsluitend handmatig bediend. Dat was ook de beslissing na de evaluatie van Delfzijl. Wel zijn de stuurfiles zodanig aangepast dat in totaal een continue verdeling van overslagvolumes is gesimuleerd en geen "getrapte" verdeling zoals in 2007 bij de proeven in Delfzijl. Bovendien was de besturing uitgebreid met verklikkerlampjes die aangaven wanneer de vlinderklep van de simulator gesloten of geheel geopend was. Het voordeel van handbediening is dat er steeds iemand is die precies weet wat er gebeurt en ook direct kan ingrijpen als er iets mis gaat. Het nadeel is dat, hoewel de stuurfile zo goed mogelijk wordt gevolgd, er toch afwijkingen zitten in de tijd waarin de simulator daadwerkelijk is geopend. En met name bij het correleren van metingen aan overslagvolumes is het eigenlijk gewenst om precies te weten of op het juiste tijdstip de simulator is geopend. Verder is het een zeer arbeidsintensieve bezigheid, die gedurende lange tijd grote concentratie vereist. Ook dit kan, samen met het veelvuldig aanwezig zijn van bezoekers, leiden tot onnauwkeurigheid in afwerken van de stuurlijst. Vanuit deze ervaringen is het aan te bevelen de besturing te automatiseren.

De combinatie simulator / instelbare pomp heeft prima gewerkt. Wel zijn door de vergroting van de simulator tot 22 m³ de krachten op de simulator vergroot. Dit geldt met name voor het gedeelte beneden de vlinderklep, waar het water uit een volle bak met grote kracht naar beneden valt. Doordat het maximale debiet is vergroot tot 75 l/s per m en er twee proeven zijn uitgevoerd met 125 l/s per m, is er zoveel water op de uitstroomgeleiding gevallen, dat deze enigszins versleten is. Hier en daar is de constructie verbogen, zijn lasnaden losgeraakt en lekt de uitstroombegeleiding. Dit alles is te verhelpen met een goede onderhoudsbeurt, waarbij mogelijk ook hier en daar versterkingen worden aangebracht.

Bemensing

Bij de uitvoering van de proeven zijn altijd minimaal 3 personen aanwezig geweest. Naast de uitvoering van de proef, die in principe kan worden uitgevoerd door twee personen, moet gedurende de proeven snel en adequaat ingespeeld kunnen worden op eventuele schadeontwikkeling en problemen. In veel gevallen kon de proef doorgang vinden wanneer het probleem door de andere leden van de uitvoeringsploeg werd opgelost. Daarnaast gaat er gedurende de proeven veel tijd zitten in de organisatie van de logistiek van de eerstvolgende verplaatsingen, die moeilijk exact te plannen zijn. Ook het ontvangen en te woord staan van gepland en ongepland bezoek kost de nodige capaciteit. De bezetting gedurende de proeven is positief ervaren. Het uitvoeringsteam was goed op elkaar ingespeeld, zodat bij eventuele nieuwe proeven snel en effectief gewerkt kon

worden. Desalniettemin heeft elke locatie andere kenmerken en kan men altijd voor locatiespecifieke verrassingen komen te staan.

Samenwerking met opdrachtgever en waterschap

De opdrachtgever van de proeven is nauw betrokken geweest bij de proefuitvoering en was veelvuldig aanwezig. Eventuele onvolkomenheden en aanvullende vragen konden daardoor snel worden kortgesloten. De houding van de opdrachtgever is als zeer constructief aan te merken. In overleg met de opdrachtgever is een medewerker van het waterschap beschikbaar gesteld voor het leveren van hand- en spandiensten. De ter beschikking gestelde medewerkers hebben een zeer grote betrokkenheid getoond en een uitstekende en tevens noodzakelijke bijdrage geleverd aan het welslagen van de proeven.

Samenwerking met onderaannemers

Samenwerking met onderaannemers als Buitenkamp, Groen en Goud is soepel verlopen. Enkel bij het aanbrengen van Elastocoast® en open steenasfalt hebben zich problemen voorgedaan. De aanleg van beiden proefvakken lag buiten de verantwoordelijkheid van de uitvoeringsploeg van Infram. Onduidelijk was onder meer wanneer de harde bekledingen zouden worden aangebracht. Aangezien dit belangrijk was voor de planning is de uitvoeringsploeg noodgedwongen betrokken geraakt bij de uitvoeringstechnische aspecten van het aanbrengen van deze harde bekledingen.

3 Evaluatie metingen hydraulische parameters

3.1 Proefuitvoering

Gecombineerde laagdikte/frontsnelheidsmeters hebben zowel de laagdikte van het overstromend water gemeten, als de frontsnelheid van de overslaande golf. De instrumenten of opnemers bestaan uit twee sensoren op onderlinge afstand van ongeveer 50 cm. De frontsnelheid moet achteraf door dataprocessing worden bepaald. De instrumenten bleken na de proeven bij de Boonweg enigszins gecorrodeerd, waardoor bij St Philipsland niet onmiddellijk kon worden gemeten. Verder zijn de instrumenten gevoelig voor het zoutgehalte van het water. Dit heeft in Kattendijke tot vertraging geleid omdat het gebruikte water brak was en de ijking in zoet water was gebeurd. Dit was niet voorzien.

Om de frontsnelheid te bepalen zijn steeds twee laagdiktemeters of sensoren met onderlinge afstand van 50 cm in een frame geplaatst. Als de twee sensoren evenwijdig aan de stroomrichting werden geplaatst werd door de invloed van de middensteun op de tweede meter geen goed signaal ontvangen. Op die manier kon dus geen frontsnelheid worden gemeten. Ten opzichte van de metingen bij de Boonweg in Friesland zijn de instrumenten bij alle proeven onder een hoek van ca. 45° geplaatst.

Evaluerend kan worden gezegd dat het redelijk veel moeite kost om voor elke proef de meetinstrumenten goed mee te laten draaien. Verder blijkt het zeer moeilijk om de verschillende overslaggebeurtenissen te koppelen aan het juiste overslaande volume. Deze dataprocessing blijkt erg veel werk te kosten. Wellicht kan het meten op een eenvoudiger manier gebeuren. Het is belangrijk dat op verschillende dijken, met verschillende taludhellingen en vegetaties, de laagdikte, frontsnelheid en verblijftijd worden bepaald. Maar het is niet persé noodzakelijk dit gedurende elke proef te doen.

Het is mogelijk beter helemaal niet tijdens een reguliere proef te meten, maar alleen op een bepaald moment met een aantal vaste overslagvolumes en deze ten behoeve van de reproduceerbaarheid enkele malen te herhalen. Hiermee is tijdens de proeven in Friesland en Zeeland enige, maar niet consistente ervaring, opgedaan. Voor die dijk wordt dan eenduidiger en eenvoudiger de relatie tussen overslagvolume en hydraulische parameters vastgelegd. De dataprocessing wordt dan ook veel eenduidiger en eenvoudiger. En als het toch maar om een relatief klein aantal overslagvolumes gaat, is het zelfs te overwegen om in aanvulling op de metingen met de gebruikte instrumenten, met bijvoorbeeld een videocamera en afbakening op de zijwand de metingen uit te voeren. Dit is overigens ook een optie als metingen met instrumenten om de een of andere reden niet mogelijk zijn. Het niet meten tijdens een reguliere proef heeft verder als voordeel dat de proeven zelf en het vastleggen van eventuele schadeontwikkeling, door het ontbreken van meetportalen en instrumenten, beduidend sneller en beter kunnen worden uitgevoerd. Daarnaast is gebleken dat de opnemers tijdens de proef snel vervuild raken met losgewoeld gras, en dat tijdens daadwerkelijke erosie van de grasmat stukken graszode de opnemers (kunnen) vernielen.

3.2 Data processing

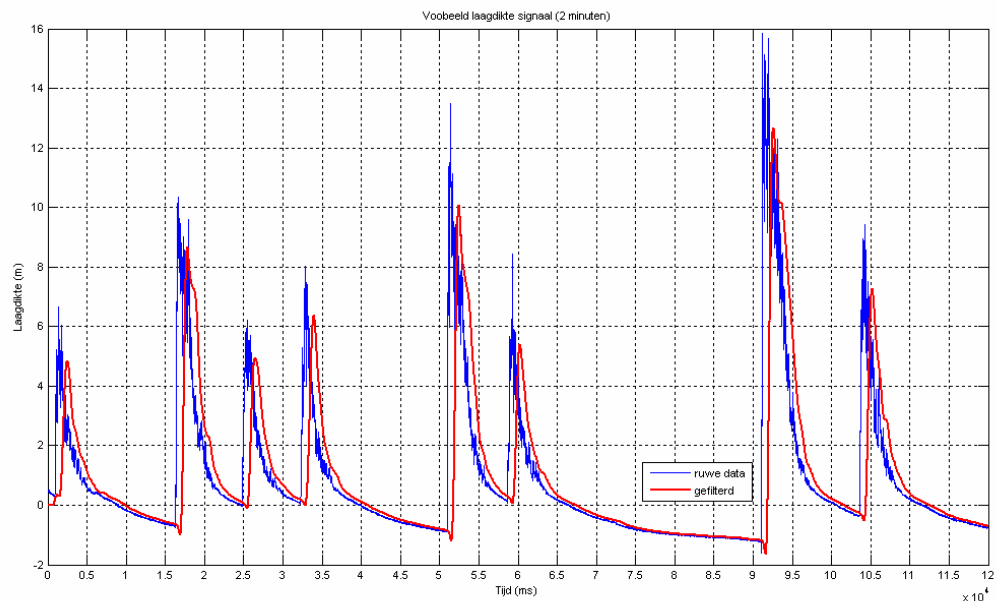
3.2.1 Ruwe data meetopnemers

De laagdiktemetingen hebben een groot volume aan ruwe meetgegevens opgeleverd. Deze zijn door de meetopnemers in ASCII bestanden geschreven. Als voorbereiding zijn alle kolommen (zijnde 13) in deze bestanden naar aparte datafiles uitgeschreven, zodat

elke file één kolom bevat met maximaal een tijdserie van een half uur. Voor elk half uur hebben we dus 13 datafiles met één kolom. Dit zijn:

- Kolom 1 → file met tijdstappen
- Kolom 2 → file met data voor laagdikteopnemer 1
- Kolom 3 → file met data voor laagdikteopnemer 2
- Kolom 4 → file met data voor laagdikteopnemer 3
- Kolom 5 → file met data voor laagdikteopnemer 4
- Kolom 6 → file met data voor laagdikteopnemer 5
- Kolom 7 → file met data voor laagdikteopnemer 6
- Kolom 8 → file met data voor laagdikteopnemer 7
- Kolom 9 → file met data voor laagdikteopnemer 8
- Kolom 10 → file met data voor laagdikteopnemer 9
- Kolom 11 → file met data voor laagdikteopnemer 11
- Kolom 12 → file met data voor snelheidsopnemer 1 (EMS-1)
- Kolom 13 → file met data voor snelheidsopnemer 2 (EMS-2)

Onderstaande Figuur 3.1 is een voorbeeld van het ruwe (en het gefilterde) signaal van opnemer 1.



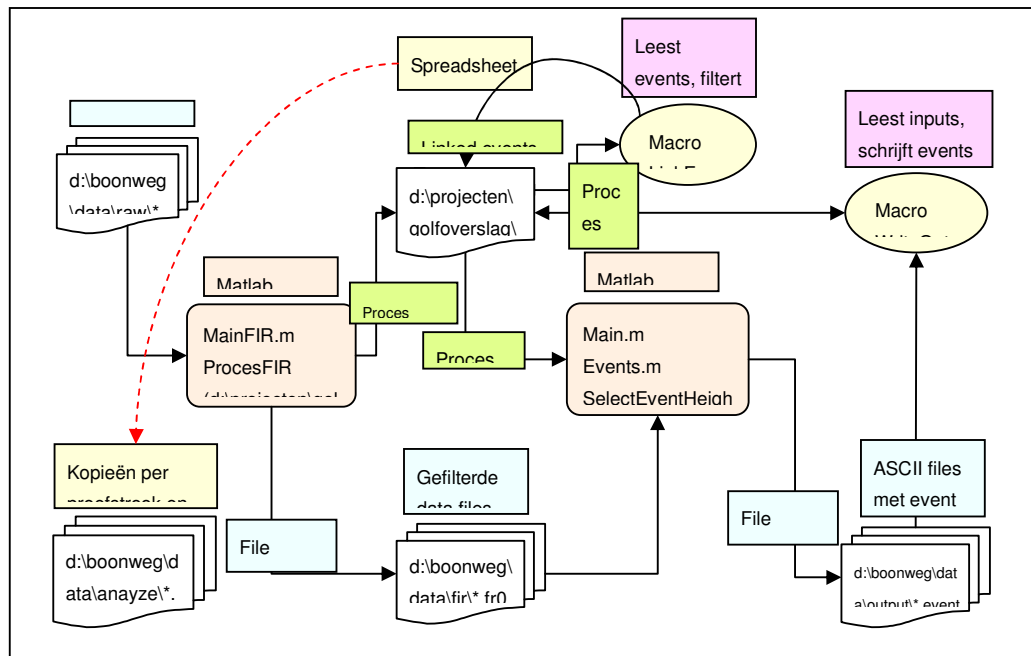
Figuur 3.1 Voorbeeld laagdikte signaal, ruw en gefilterd, sensor 1

Nu bevat niet elke file (kolom) relevante informatie. De laagdikteopnemers zijn paarsgewijs opgesteld. Het signaal van de tweede opnemer, die benedenstrooms van de eerste opnemer staat, geeft te veel verstoring. Daarom is ervoor gekozen om alleen de signalen van eerste opnemer te gebruiken. Dit zijn sensoren 1, 3, 5, 7 en 9 (in de files met kolomnummers 2, 4, 6, 8, 10). De signalen van de snelheidsopnemers worden nog niet gebruikt. Daarover later meer in een aparte paragraaf.

Met een sample rate van 1000 Hz betekent dit maximaal 1800000 records voor een meetperiode van een half uur. Omdat een sessie orde twee uur duurt, zijn voor een sessie ongeveer 4 datafiles aanwezig. In de naamgeving van de files wordt het voorgaande weergegeven door het nummer van de kolom te gebruiken en een automatisch gegenereerd volgnummer per half uur per sessie. Een voorbeeld:

file: zeeland083-02.csv. Dit betekent volgnummer 83 met kolomnummer 2, ofwel sensor 1. De extensie CSV geeft aan dat het om ruwe data gaat. Extensie FR0 betreft gefilterde

data en extensie EVENT betreft de gevonden golven (events) in de gefilterde data. In Figuur 3.2 wordt in een stroomschema het proces weergegeven om van ruwe data tot de gegevens te komen waarmee analyses kunnen worden uitgevoerd.

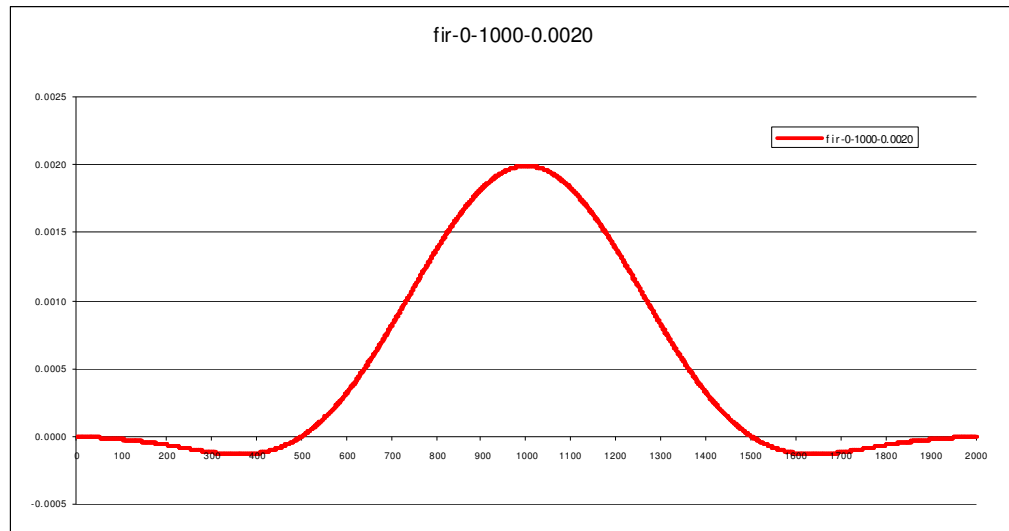


Figuur 3.2 Stroomdiagram bewerking meetresultaten

De figuur geeft weer hoe van ruwe bestanden met MatLab-programmatuur gefilterde bestanden worden gemaakt. Voorts is te zien hoe, eveneens met MatLab-programmatuur, lijsten met events worden afgeleid. Daarna worden deze lijsten met gebruik van Excel macro's in Excel geïmporteerd. Afsluitend worden met Excel macro's de tabellen met events gekoppeld aan de stuurlijsten die ook in het Excel spreadsheet zijn opgenomen. Hierna wordt elk van de stappen afzonderlijk besproken.

3.2.2 Filtering

De ruwe data bevat ruis, rimpels en golven. Alvorens met het afleiden van events te beginnen moet de ruwe data gefilterd worden. In de praktijk zijn goede ervaringen opgedaan met een zogeheten FIR-filter (Eng. Finite Impulse Response). FIR is een term die aangeeft dat de impulsresponsie van een (digitaal) filter eindig is. Bij het aanleggen van een puls op een FIR-filter zal het uitgangssignaal na een bepaalde tijd gelijk aan nul worden; de impulsresponsie is dus eindig. Dit in tegenstelling tot het uitgangssignaal van een IIR-filter (infinite impulse response) dat nooit uitdempt. Dit FIR filter moet alleen de ruis verwijderen. Rimpels en golven moeten blijven. In feite werkt het filter als een laagdoorlaat filter (LPF-filter) waarbij alleen de hoogste frequenties worden afgevangen. De processing toolbox van Matlab bevat een filter design omgeving waarin de parameters van het FIR-filter kunnen worden ingesteld om het gewenste resultaat te bereiken. Voor de filtering van de ruwe data is het FIR-filter gebruikt aangegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 FIR-filter voor het filteren van ruwe laagdikte metingen

De instellingen van de parameters voor het FIR-filter zijn:

- Aantal filtertaps = 1000 samples
- Filter resolutie = 0.002

3.2.3 Bepaling events

De gefilterde signalen zijn gebruikt om events af te leiden. In eerste instantie is getracht de events te bepalen op basis van de stijg- en daalsnelheden van de golfflanken. Dit bleek niet goed te werken. Het zelfde gold voor het bepalen van de nulverschuiving, hetgeen bleek uit visuele checks van enkele signalen. Het zou te ver voeren om alle files per stuk te checken (enkele honderden). Daarom is overgegaan op een meer pragmatische aanpak: het stijgen van de waterhoogte boven een bepaald niveau (start threshold) en het dalen beneden een bepaald niveau (end threshold). De thresholds zijn afhankelijk te stellen van het signaal zelf. Ieder signaal is weer anders en bevat, ook na filtering, soms nog duidelijke ruis. Daarom is de volgende werkwijze gekozen:

Nulverschuiving (zero shift)

Deze wordt afgeleid uit het minimum (*min*) van het signaal. De eerste 4 seconden van het signaal worden daarbij buiten beschouwing gelaten omdat daarin soms startproblemen optreden. Op basis van het minimum alleen wordt de nulverschuiving vaak als te groot bepaald door geïntroduceerde afwijkingen door de FIR filtering. Daarom is ook een gemiddelde (*mean*) over het gehele signaal bepaald. Dit gemiddelde ligt een bepaalde waarde hoger dan het minimum. We corrigeren de nulverschuiving met het verschil tussen *mean* en *min*, vermenigvuldigd met een factor. Deze factor (*zero shift correction factor*) staat default op 0.5, maar kan per bestand apart ingesteld worden, een soort fine tuning dus.

Drempelwaarde start event (threshold start)

De drempelwaarde voor de start van het event wordt afgeleid uit het bepaalde gemiddelde (*mean*) van het signaal, gecorrigeerd met een factor, *threshold start correction factor*. Deze staat default ingesteld op 2.0 maar kan per bestand apart ingesteld worden.

Drempelwaarde einde event (threshold end)

De drempelwaarde voor de einde van het event wordt afgeleid uit het bepaalde gemiddelde (*mean*) van het signaal, gecorrigeerd met een factor, *threshold end correction factor*. Deze staat default ingesteld op 1.5 maar kan per bestand apart ingesteld worden.

De betrokken Matlab scripts zijn aangepast, en in drie delen opgesteld:

- Main.m: regelt invoer en aanroep van script Events.m
- Events.m: leest de signaal data, bepaalt de zero shift, corrigeert het signaal met de zero shift, roept de event detectie module SelectEventHeight.m aan en schrijft event data naar files
- SelectEventHeight.m: bepaalt de thresholds, detecteert events en bepaalt de event properties (tijdstip, golfhoogte en duur)

Het aantal gevonden events verschilt tussen de opnemers. Er kunnen diverse mogelijke oorzaken worden bedacht waarom de signalen tussen de opnemers verschillen. Een belangrijk verschil is natuurlijk de locatie t.o.v. de overslagbak. De golf die langs komt vervormt als functie van plaats en tijd. Te zien is dat, hoe verder een opnemer verwijderd is van de kruin, hoe minder events worden onderscheiden.

Voor de analyse zijn voor elke proefstrook (track) en sessie (session) aparte spreadsheets aangemaakt op basis van een kopie van geselecteerde sheets en het macro 'Writeoutputs' uit het 'moeder' spreadsheet 'Zeeland.xls'.

Een voorbeeld van een stukje inhoud van één van de sheets uit de spreadsheets is hier gegeven:

Inputs			0	Outputs opnemer #01. L=			2.71
#Event (#)	Time (s)	Volume (l)	Event (#)	Start (s)	Duration (s)	Height (m)	
1	52	550	74.001	68.800	7.408	3.029	
2	62	97	74.002	81.800	3.732	0.992	
3	92	310	74.003	108.900	6.690	2.519	

De eerste 3 kolommen met titel 'Inputs' bevat een aangepaste opzet van de stuurlijsten. Hiervan is met name de 'Time' kolom in dezelfde eenheid gezet als de 'Start' kolom van de met MatLab geproduceerde eventlijsten. Voor elk van de 5 opnemers zijn voorts 4 kolommen weergegeven. In de header van de opnemerkolommen staat na 'L=' de afstand in meters van de opnemer t.o.v. de golfoverslagsimulator gegeven.

In de kolom 'Event' van de opnemers staat het eventnummer gegeven als: nummer van de file en het nummer van het event in die file gescheiden door een punt. Dit is gedaan om enige voeling te houden met de herkomst van het betrokken event. In de kolom 'Start' staat het moment van het uitstijgen van de waterstand boven de begin drempelwaarde (threshold start). De kolom 'Duration' geeft aan hoe lang het vervolgens duurt voordat de waterstand beneden de eind drempel (threshold end) komt. De kolom 'Height' geeft de golfhoogte (laagdikte) aan, na correctie met de nulverschuiving (zero shift).

Kijkend naar de lijsten, valt op dat de lengten van de lijsten tussen de opnemers verschillen. Blijkbaar zijn de signalen dermate verschillend dat bij eenzelfde instelling van de parameters een verschillend aantal events worden gevonden. Dit is niet verwonderlijk, alleen zou de correlatie onderling en met het input signaal (stuurlijsten) bij te grote verschillen moeilijker kunnen worden. Zo valt op dat bij de eventlijsten van 75 l/s/m (sheets 'Outputs75') opnemer 11 een duidelijk afwijkend patroon te zien geeft t.o.v. van de andere opnemers. Het is de meest stroomafwaarts gelegen opnemer en heeft in principe het meeste last van de verstoringen bovenstrooms.

3.2.4 Koppelen events

Voor het koppelen van events aan de stuurlijsten, zijn macro's geschreven in Excel. De macro's beschrijven de procedure voor het automatisch afleiden van de koppeling tussen events en de losgelaten input volumes. Deze is als volgt (hierbij wordt het spreadsheet 'Boonweg.xls' als voorbeeld gebruikt):

- We kijken eerst naar de koppeling tussen de input volumes en de gevonden events bij de eerste sensor. Dit om de tijdsverschuiving tussen het openen van de stortbak en het inschakelen van de meetopnemers te kunnen bepalen. Dit gebeurt op basis van een set significante events, meestal de grotere volumes en hogere golven. Hierbij worden de frequentie verdelingen van de input volumes en de events van de eerste sensor bepaald. Het aantal klassen is als invoer gegeven en is default gesteld op 20. Invoer geschiedt overigens in het sheet 'LinkControl' van het spreadsheet 'Zeeland.xls'.
- Vervolgens wordt gekeken naar de waarnemingen, die beneden p % van het totaal, voorkomen. De waarde van p kan zowel voor de input volumes als voor de gevonden events bij de eerste sensor als invoer gegeven worden. Dit levert n input volumes op en m events.
- Bij elk n input volume wordt uit de m events een event gezocht dat qua tijdstempel het dichtst bij (maar wel ná) de tijdstempel van het input volume valt. Als criterium daarbij geldt dat de gevonden tijdsverschuiving maximaal t seconden mag afwijken. De waarde van t wordt als invoer opgegeven en dient als startwaarde. De procedure levert een verbeterde inschatting van de tijdsverschuiving op.
- Wanneer alle n input volumes en m events doorzocht zijn, wordt van de gevonden tijdsverschuivingen het rekenkundig gemiddelde bepaald. Dit is de berekende tijdsverschuiving tussen de input volumes en de events van de eerste sensor. Deze berekende waarde wordt naar de invoersheet 'LinkControl' geschreven.
- Met de berekende tijdsverschuiving worden voor alle input volumes uit de gebruikte stuurlijsten de best passende events voor de eerste sensor gezocht. Dit wordt ook gedaan voor de volgende sensoren. Daarbij wordt ook de tijdsverschuiving tussen de opeenvolgende sensoren gebruikt. De waarden hiervan worden ook in het sheet opgegeven. Voor het 'matchen' van de events van de sensoren wordt rekening gehouden met de tijdsverschuiving en de marge van x % waarbinnen het tijdsverschil mag liggen. De opgegeven tijdsverschuivingen tussen de sensoren (ca. 0.4 - 1.0 sec) zijn visueel afgeleid uit de eventlijsten. Met de ingestelde defaultwaarden worden bruikbare resultaten gevonden.
- Uiteindelijk worden alleen de input volumes naar het uitvoersheet geschreven waarbij minimaal één sensor een passend event liet registreren. De namen van de invoer- en uitvoersheets worden opgegeven in het controlsheet 'LinkControl'. Let wel: de sheets worden niet automatisch gegenereerd. Ze moeten met de hand van te voren leeg worden aangemaakt. Er worden standaard namen gebruikt, een voorbeeld: sheet 'Outputs30' bevat de 'grosslist' van gevonden events voor de 30 l/s proef bij een bepaalde sessie (session) en proefstrook (track). De gefilterde en passende events worden dan geschreven naar sheet 'Linked30'.

Het voorgaande is de procedure zoals opgesteld voor de verwerking van alle metingen. Bij de resultaten van St. Philipsland en van Kattendijke is gebleken dat het niet goed mogelijk was om een goede match te vinden tussen input volumes en de gemeten events op basis van de hierboven beschreven procedure. Dit leidde ertoe dat de procedure, waarmee de koppeling tussen de events en de input volumes wordt afgeleid, aangepast is. Hiervoor was een bijstelling van de uitgangspunten nodig op basis van wat de metingen laten zien en logisch redeneren. Immers, uitgebreide meetverslagen zijn niet beschikbaar. De timeshift procedure is zodanig aangepast dat ook achteruit in de tijd gezocht kan worden. Dit kan een negatieve waarde voor de timeshift opleveren, waarbij het volgende is aangenomen:

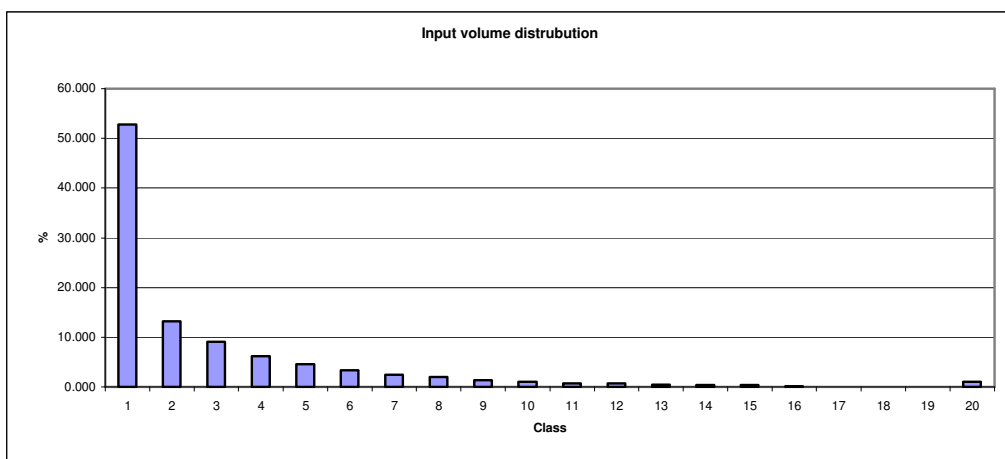
- Er is een negatieve timeshift: als de meetopstelling later wordt aangezet dan de golfoverslagsimulator; of,
- Er is een positieve timeshift: als de meetopstelling eerder wordt aangezet dan de golfoverslagsimulator.

Verder is de mogelijkheid geboden om een “harde” timeshift op te drukken. Dit kan handig zijn als de procedure niet tot een bevredigende oplossing komt, maar bij visuele check van de data wél een redelijk af te leiden timeshift gezien wordt. De automatische zoekacties worden dan overgeslagen in de procedure.

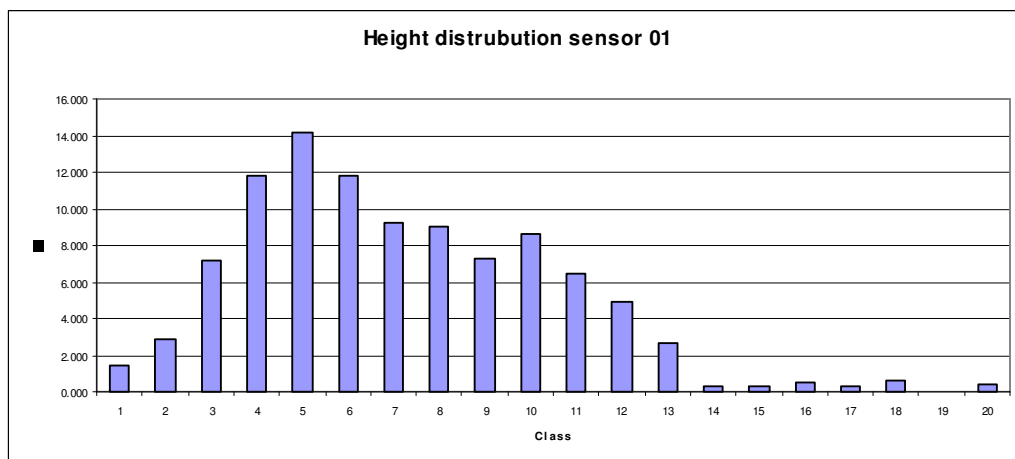
Hoe wordt het linken (of ‘matchen’) van events aan input volumes in de praktijk toegepast? Bij de verwerking van de golfoverslagmetingen is ervan uitgegaan dat het handig is om inputs, procedures en outputs zo veel mogelijk in één spreadsheet te plaatsen. Om de gegevens hanteerbaar te houden, is wel per sessie én per proefstrook een apart spreadsheet ingericht. In elke spreadsheet zijn procedures aanwezig om:

- De event files (ASCII) te laden en samen met de stuurlijsten per input volume naar een spreadsheet weg te schrijven, en;
- De events in de aldus ontstane spreadsheet te koppelen aan de input volumes.

De resultaten van de tweede stap kunnen gecontroleerd worden aan de hand van de uitvoer in het sheet ‘Debug’. In dit sheet worden lijsten gepresenteerd van de n hoogste volumes en m hoogste laagdiktes. Zoals eerder is besproken wordt de lengte van deze lijsten bepaald door een op te geven p % van het totaal. De lijsten bevatten de waarden die voorkomen beneden dit percentage. Het sheet bevat ook de grafieken van de klassen zowel voor input volumes als gevonden events. Het aantal klassen staat standaard op 20. De figuren 3.4.en 3.5 zijn voorbeelden daarvan.



Figuur 3.4 Klassenindeling inputvolume bij 75 l/s



Figuur 3.5 Klassenindeling laagdikte bij sensor 1 met 75 l/s

De verdeling van de laagdikte lijkt meer naar een normale verdeling te neigen terwijl die van de input volumes een meer gangbaar verloop laat zien: de meeste waarnemingen in de eerste klasse met een snel afnemend aantal waarnemingen in de hogere klassen. Om het mogelijk te maken om bij de laagdikte ook de match met de hoogste laagdiktes uit te voeren, kan de gebruiker instellen vanaf welke klasse het 'matchen' van events met volumes zal plaatsvinden. Als we in bovenstaande figuur 3.5 van 4 % van de waarnemingen uitgaan, zullen ook klassen 1 en 2 meedoen. In die klassen zitten juist waarnemingen met kleine laagdiktes. Om dat te voorkomen stellen we bijv. in dat we de klassen hoger dan 2 in de berekeningen meenemen. We zien dat klasse 3 al een percentage heeft van ruim 7 % en dus niet meer meetelt. Pas vanaf klasse 12 vallen de waarnemingen binnen het gestelde percentage van 4 %. Op die manier weten we zeker dat we met de set van hoogste waarnemingen werken.

Uit de procedure wordt de best passende tijdsverschuiving (timeshift) tussen de start van het input volume en de start van het (meest waarschijnlijk) daarbij horende event bepaald. Zoals eerder gesteld, gebeurt dit op basis van het n aantal hoogste input volumes en m aantal hoogste laagdiktes van sensor 1. Daarvan wordt een rekenkundig gemiddelde bepaald. Vervolgens worden de waarnemingen van de opvolgende sensoren aan die van sensor 1 gekoppeld. Hierbij wordt uitgegaan van een vaste reistijd tussen de opeenvolgende sensoren. Deze reistijd is goed visueel af te leiden uit de waarnemingen en is tussen de sensoren steeds gelijk. In het sheet 'LinkControl' worden deze reistijden in het veld 'Average dT between sensors (s)' opgegeven als één string. Hierbij is de eerste waarde een startwaarde voor het zoekalgoritme van de 'match' procedure tussen de input volumes en de events van sensor 1. Een voorbeeld van de string:

25.000;0.869;0.869;0.869;0.869

Met één golfoverslagsimulator en 5 sensoren geven we 5 waarden op, gescheiden door een ;-teken. De waarde 0.896 geldt dus voor de reistijden tussen sensoren 1 en 3, 3 en 5, 5 en 7 en, 7 en 9 en wordt in seconden opgegeven. In Kattendijke geldt voor de reistijden een waarde van 0.343 s. In St. Philipsland zijn verschillende waarden in reistijd tussen de sensoren gevonden:

55.000;0.417;0.521;0.331;0.281

Waarschijnlijk liggen hier lokale terrein verschillen aan ten grondslag.

Overigens zijn de waarnemingen in St. Philipsland en Kattendijke van dien aard dat de koppeling van events aan de inputvolumes van de stuurlijsten in de meeste gevallen lastig is. Het sheet 'LinkControl' biedt voldoende mogelijkheden in variatie van de belangrijkste parameters om de beste match te vinden. Ook een visuele match (in de 'OutputXX' sheets) van de maxima in laagdiktes en de maxima in inputvolumes is niet goed uit te voeren. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Bij de eerdere metingen aan de Boonweg in Friesland was de 'match' een stuk beter.

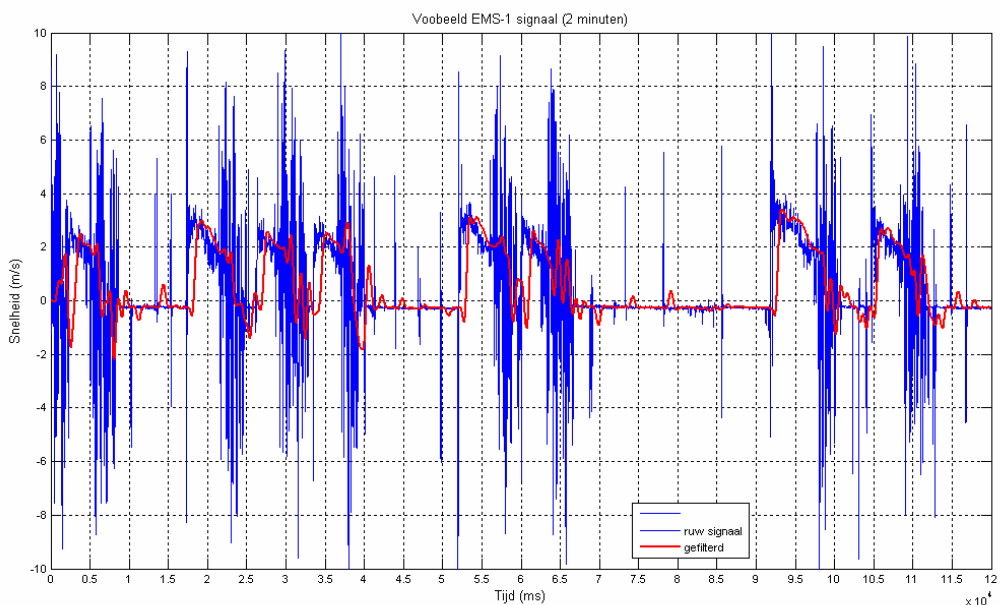
3.2.5 EMS Metingen

Naast laagdiktemetingen zijn ook snelheidsmetingen gedaan met EMS-opnemers. Deze opnemers zijn niet in het officiële meetprogramma opgenomen, maar hebben meegedraaid om ze in situ te kunnen beoordelen op bruikbaarheid.

Om de metingen van de EMS-opnemers te kunnen analyseren, is eenzelfde weg bewandeld als voor de laagdiktemetingen is gedaan. Eerst zijn de ruwe signalen gefilterd met de FIR-methode. Daarbij zijn dezelfde instellingen van het filter aangehouden als bij het signaal van de laagdiktemetingen. Vervolgens zijn op basis van de gefilterde bestanden met de reeds opgestelde Matlab-scripts resultaatfiles (ASCII) met events aangemaakt. De instellingen en resultaten worden weer bijgehouden in een centraal spreadsheet 'ZeelandEMS.xls'. Voor het bepalen van de events was het nodig de instellingen voor de zero shift correction aan te passen omdat het EMS signaal een zeer onrustig beeld te zien geeft. Na bepaling van de events en de koppeling van de events aan de instroomvolumes kan het volgende worden opgemerkt:

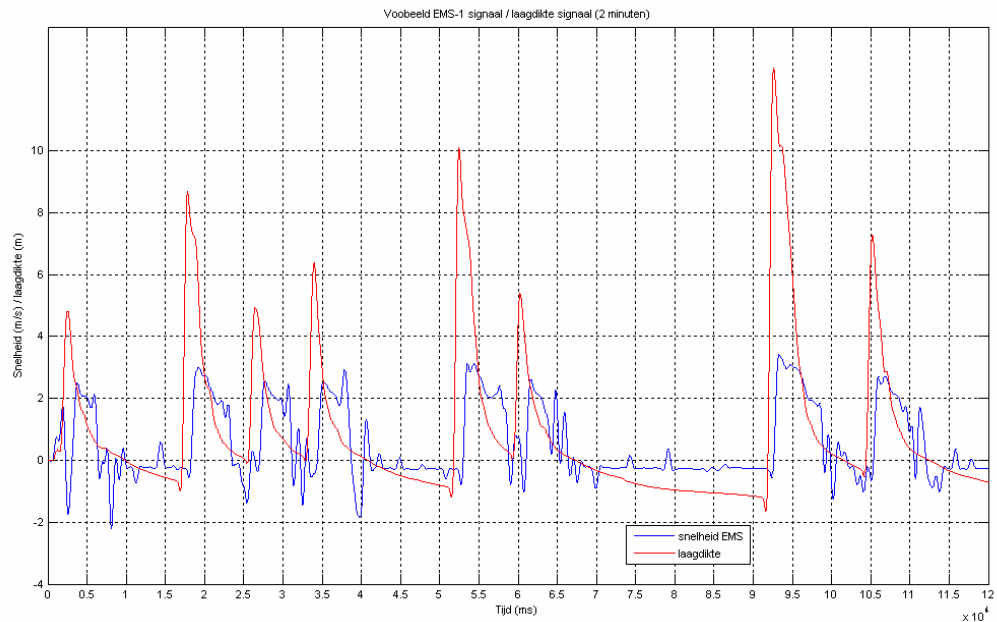
- De metingen kunnen op basis van deze event bepaling niet gekoppeld worden aan de overslagvolumes; er lijkt geen relatie te bestaan tussen snelheidspieken en overslagvolumes.

Dit geeft aanleiding om de EMS-signalen aan een nader onderzoek te onderwerpen. Als voorbeeld zijn in Figuur 3.6 de eerste 2 minuten van een EMS signaal gegeven, zowel ruw (blauw) als gefilterd (rood).



Figuur 3.6 Voorbeeld EMS signaal, ruw en gefilterd

Als we de gefilterde signalen van EMS en laagdiktemeter (zie Figuur 3.1) combineren, ontstaat Figuur 3.7.



Figuur 3.7 Voorbeeld gecombineerd EMS- en laagdikte-sigitaal

Er is een goede overeenkomst in de tijd te zien tussen het EMS-sigitaal en het laagdikte sigitaal. Het EMS-sigitaal geeft na de piek verstoringen te zien en schiet zelfs door tot onder de nullijn. Het event-algoritme dat voor het sigitaal van de laagdikte is gebruikt kan hier niet zonder meer worden toegepast, getuige de resultaten van de eerste poging van het koppelen van snelheidsevents aan de overslagvolumes. Het hier getoonde voorbeeld geeft echter wel aanleiding nogmaals de EMS-signalen te bewerken, met name als het gaat om het bepalen van events. De Matlab-scripts, die bij de bepaling van de golfhoogtevents zijn gebruikt, moeten dan worden aangepast, en wel zodanig dat de verstoringen na de snelheidstop niet als nieuw event worden gezien. Dit kan bereikt worden door:

- de automatische bepaling van de nulpuntsverschuiving (zero shift) uit te zetten, omdat het sigitaal daarvoor niet geschikt is. In plaats daarvan stellen we de nulpuntsverschuiving gelijk aan 0. We krijgen daarmee een afwijking (orde 0.25 m/s in het voorbeeld), maar de procedure wordt meer robuust. De afwijking kunnen we later corrigeren;
- een hogere correctiefactor voor de begin-drempelwaarde te nemen. Zo worden de verstoringen aan het eind van het event niet als apart event gezien; en,
- als eind-drempelwaarde de doorgang door de nullijn te nemen. Dus, zodra het EMS-sigitaal ≤ 0 dan wordt dit als einde van het snelheidsevent gezien.

Om dit te testen is als correctiefactor voor de begin-drempelwaarde is 4.0 aangehouden. Dit was 1.4 bij de golfevent bepaling. Als resultaat worden ongeveer evenveel events gevonden als bij de bepaling van de golfhoogte events.

Op basis van de resultaten voor de bewerking van het EMS sigitaal zijn de EMS-metingen van de proeven opnieuw bewerkt en is getracht de events opnieuw te koppelen aan de overslagvolumes.

3.3 Resultaten metingen St.Philipsland

Voor de analyse van de metingen in Sint Philipsland (proefstrook 1) is een aantal figuren opgesteld. Deze worden achtereenvolgens gepresenteerd.

De locaties van het hart van de meetportalen (die onder een hoek van 45° loodrecht op het talud waren geplaatst) ten opzichte van de uitstroomopening van de overslagsimulator waren:

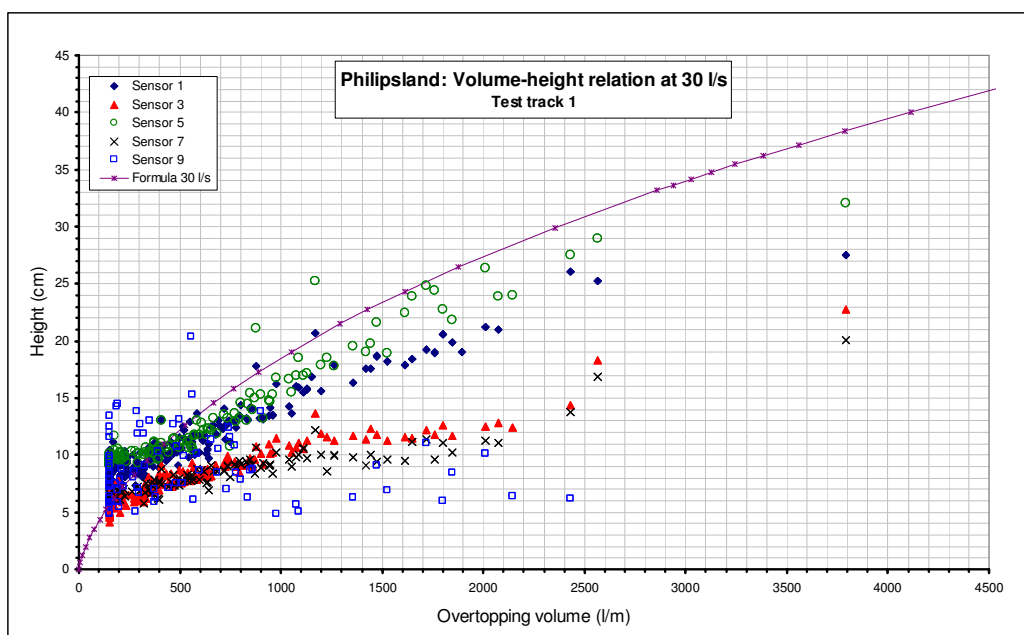
meetportaal 1 (sensoren 1 en 2):	2,00 m
meetportaal 2 (sensoren 3 en 4):	4,66 m
meetportaal 3 (sensoren 5 en 6):	7,23 m
meetportaal 4 (sensoren 7 en 8):	9,58 m
meetportaal 5 (sensoren 9 en 10):	12,30 m

Beschikbaar zijn alleen metingen tijdens een overslagdebiet van $q=30$ en $q=50$ l/s per m.

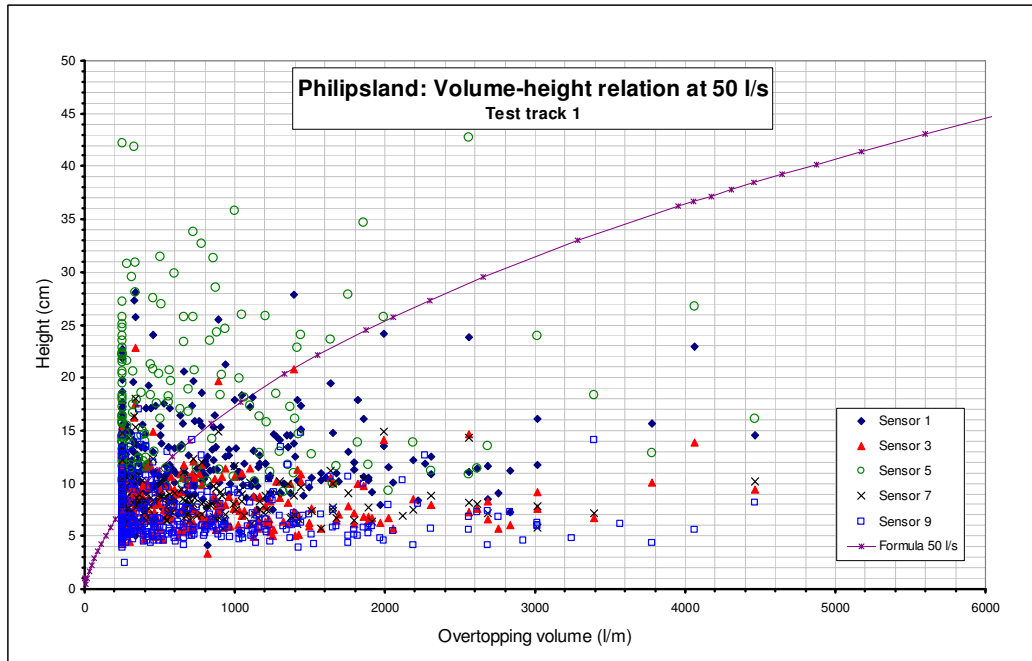
Relatie volume – laagdikte

In Figuur 3.8 zijn voor 30 en 50 l/s per m de laagdikten voor alle opnemers als functie van het overslaand volume gepresenteerd. In Figuur 3.9 zijn de resultaten voor sensor 1 voor beide debieten samen getoond.

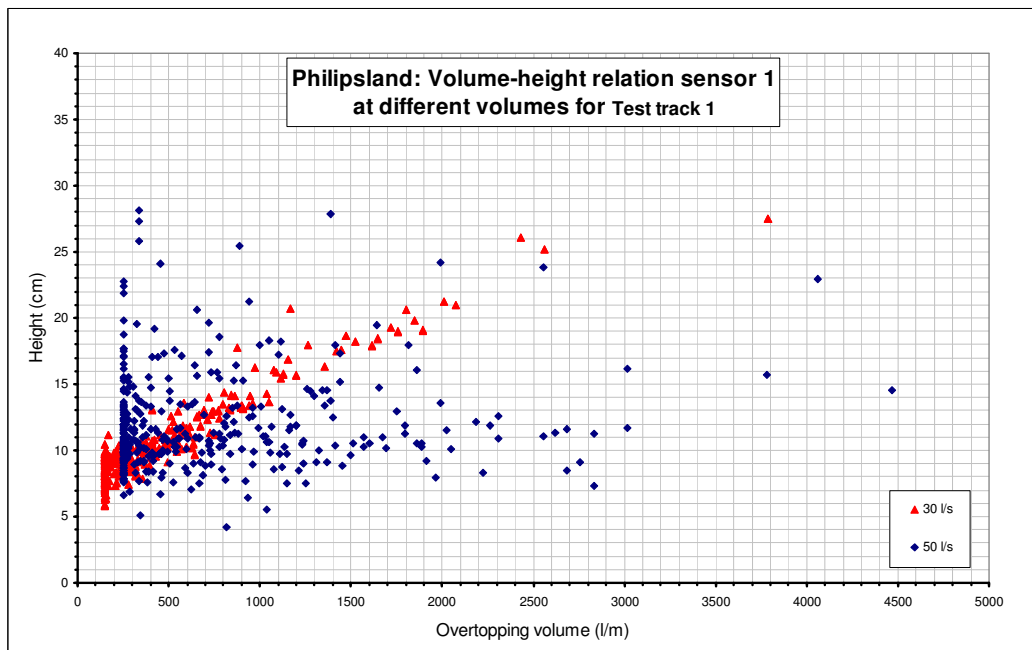
De relatie tussen laagdikte en volume is bij 30 l/s per herkenbaar, maar dat is niet het geval bij 50 l/s per m. De oorzaak hiervan is dat de events meestal niet goed zijn te koppelen aan de inputvolumes. Dit vertaalt zich in puntenwolken op willekeurige plekken in de grafieken.



Figuur 3.8a Laagdikte versus overslaand volume voor 30 l/s per meter



Figuur 3.8b Laagdikte versus overslaand volume voor 50 l/s per meter

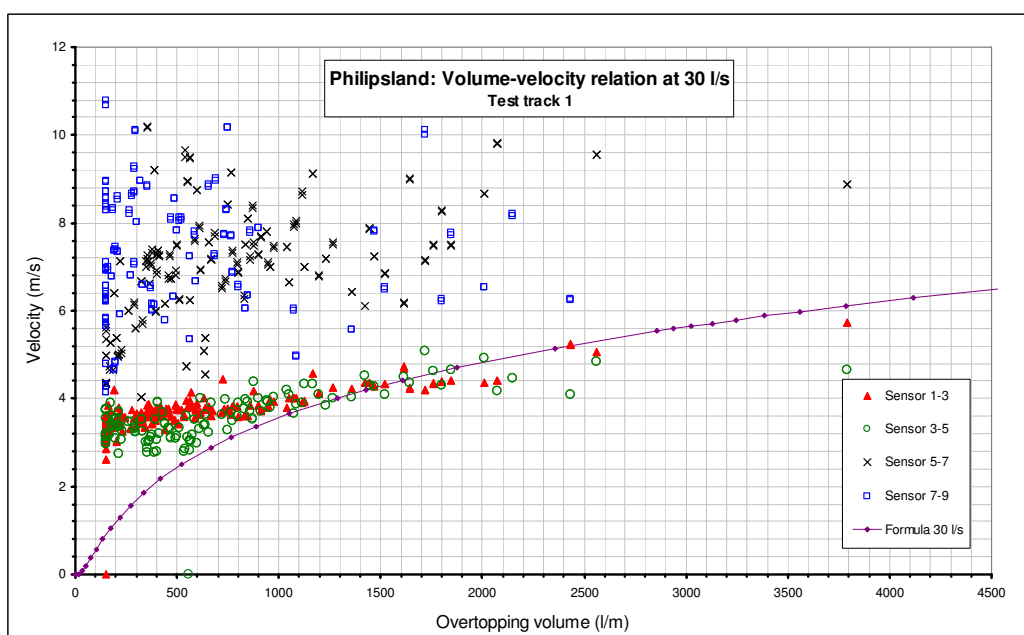


Figuur 3.9 Vergelijk laagdikte versus overslaand volume voor 30 en 50 l/s per meter; sensor 1

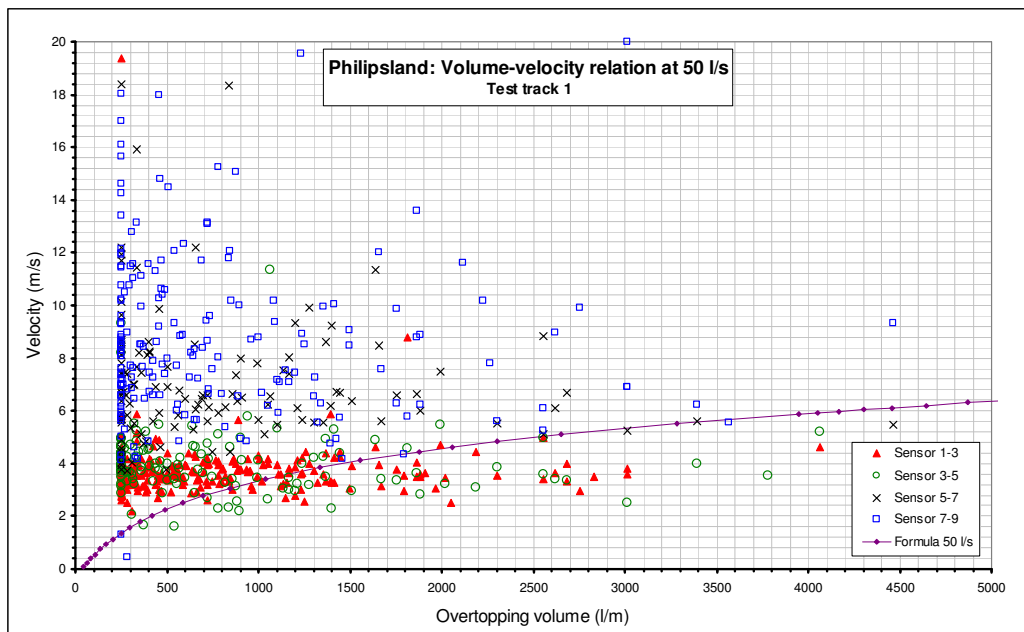
relatie volume – frontsnelheid

In Figuur 3.10 zijn voor 30 en 50 l/s per m de frontsnelheden als functie van het golfvolume gepresenteerd voor alle sensoren. In Figuur 3.11 zijn de resultaten voor beide debieten voor sensor 1 samen getoond.

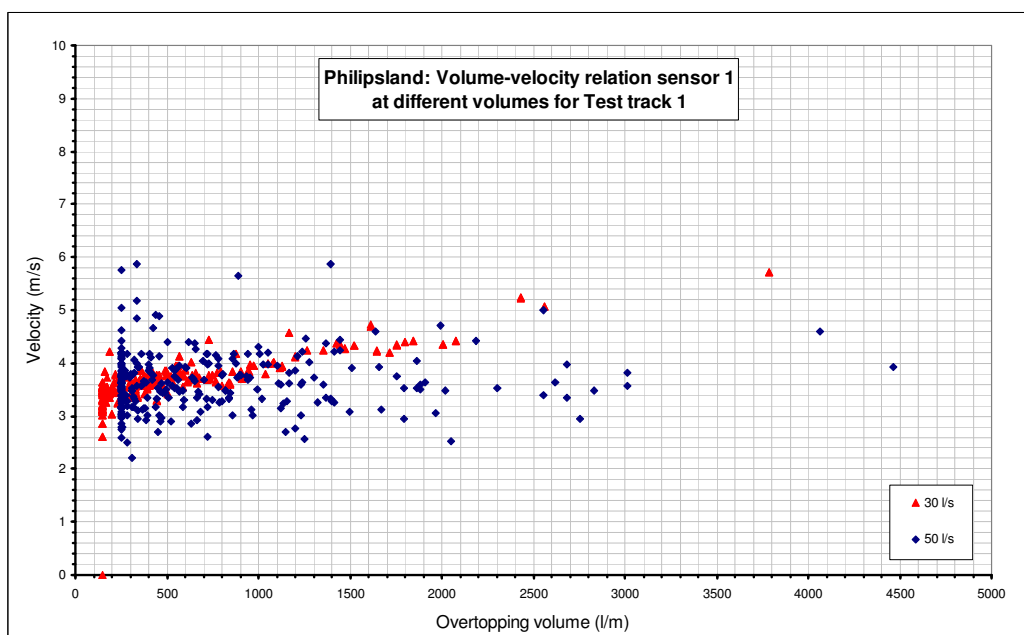
Wat opvalt is dat er nauwelijks een relatie is te zien tussen frontsnelheid en overslaand volume. De frontsnelheid blijft veelal gelijk, maar bij de lagere volumes is de spreiding groter. Verder valt op dat de sensoren lager op het talud aanzienlijk hogere snelheden registreren. Dit zou er op kunnen duiden dat de snelheid lager op het talud toeneemt. Overigens geldt dat events minder goed zijn te koppelen aan de inputvolumes. Immers, voor het bepalen van de snelheid tussen twee sensoren heb je voor allebei een golf die aan hetzelfde inputvolume gekoppeld is. Bij het koppelen van de laagdikte aan een inputvolume is dat niet nodig.



Figuur 3.10a Frontsnelheid versus overslaand volume voor 30 l/s per meter



Figuur 3.10b Frontnelheid versus overslaand volume voor 50 l/s per meter



Figuur 3.11 Vergelijk frontnelheid versus overslaand volume voor 30 en 50 l/s per meter; sensor 1

3.4 Resultaten metingen Kattendijke

Voor de analyse van de metingen in Kattendijke (proefstrook 2; geen metingen zijn beschikbaar van teststrook 1) is ook een aantal figuren opgesteld, welke hieronder worden gepresenteerd. De locaties van het hart van de meetportalen (die onder een hoek van 45° loodrecht op het talud waren geplaatst) ten opzichte van de uitstroomopening van de overslagsimulator waren:

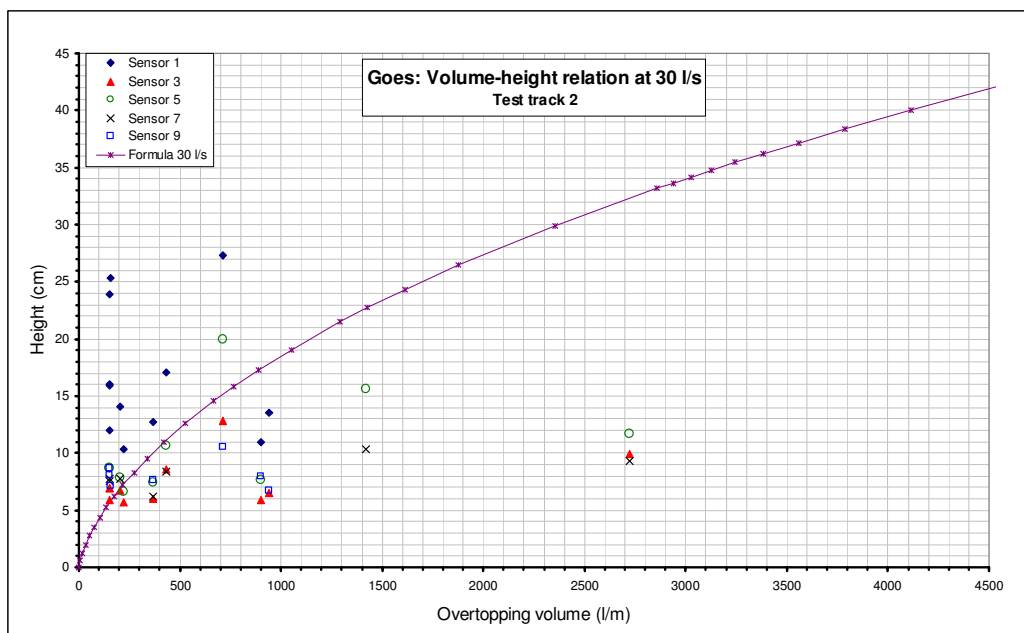
- meetportaal 1 (sensoren 1 en 2): 3,35 m
- meetportaal 2 (sensoren 3 en 4): 5,85 m
- meetportaal 3 (sensoren 5 en 6): 8,35 m
- meetportaal 4 (sensoren 7 en 8): 10,85 m
- meetportaal 5 (sensoren 9 en 10): 13,35 m

Beschikbaar zijn alleen metingen tijdens een overslagdebiet van $q=30$ en $q=50$ l/s per m.

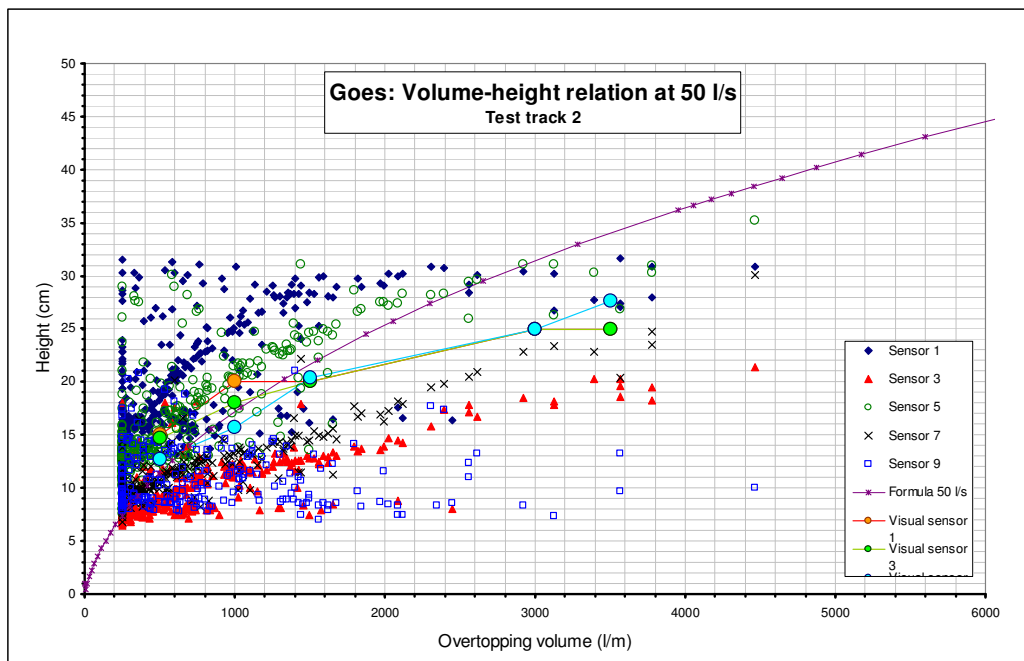
Relatie volume – laagdikte

In Figuur 3.12 zijn voor 30 en 50 l/s per m de laagdikten als functie van het golfvolume gepresenteerd. In Figuur 3.6 zijn de resultaten voor beide debieten samen getoond.

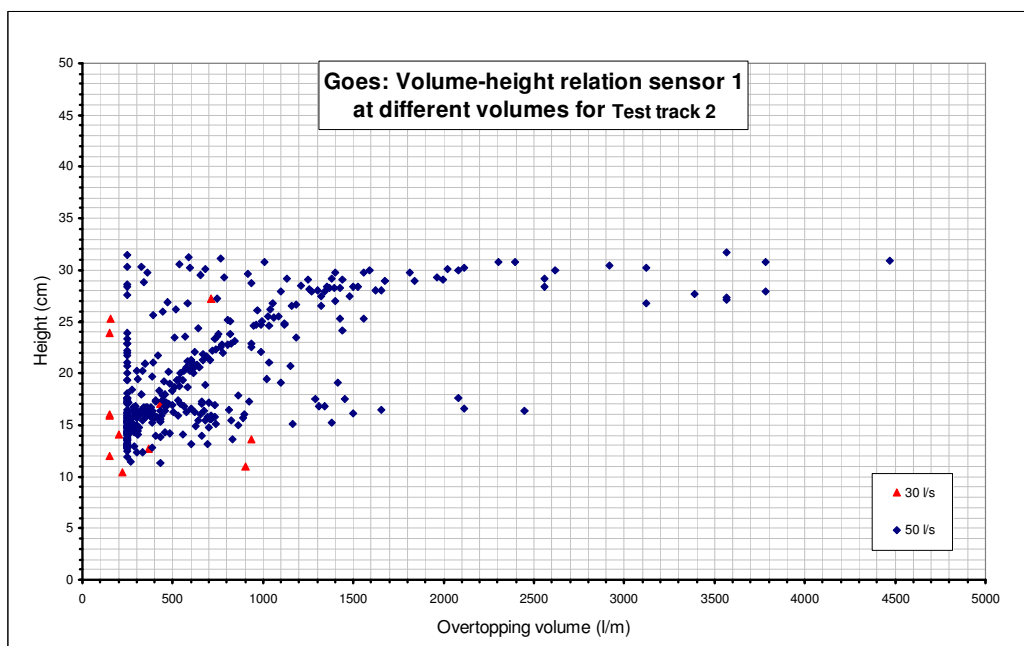
Bij 30 l/s per m is geen relatie tussen laagdikte en volume te herkennen. Dat wordt mede veroorzaakt door het geringe aantal beschikbare data. Bij 50 l/s per m lijkt voor sommige sensoren een duidelijk verband aanwezig, maar voor andere sensoren is dat overduidelijk niet het geval. Zoals eerder al opgemerkt is de oorzaak hiervan dat de events meestal niet goed zijn te koppelen aan de inputvolumes. Dit vertaalt zich in puntenwolken op willekeurige plekken in de grafieken.



Figuur 3.12a Laagdikte versus overslaand volume voor 30 l/s per meter



Figuur 3.12b Laagdikte versus overslaand volume voor 50 l/s per meter



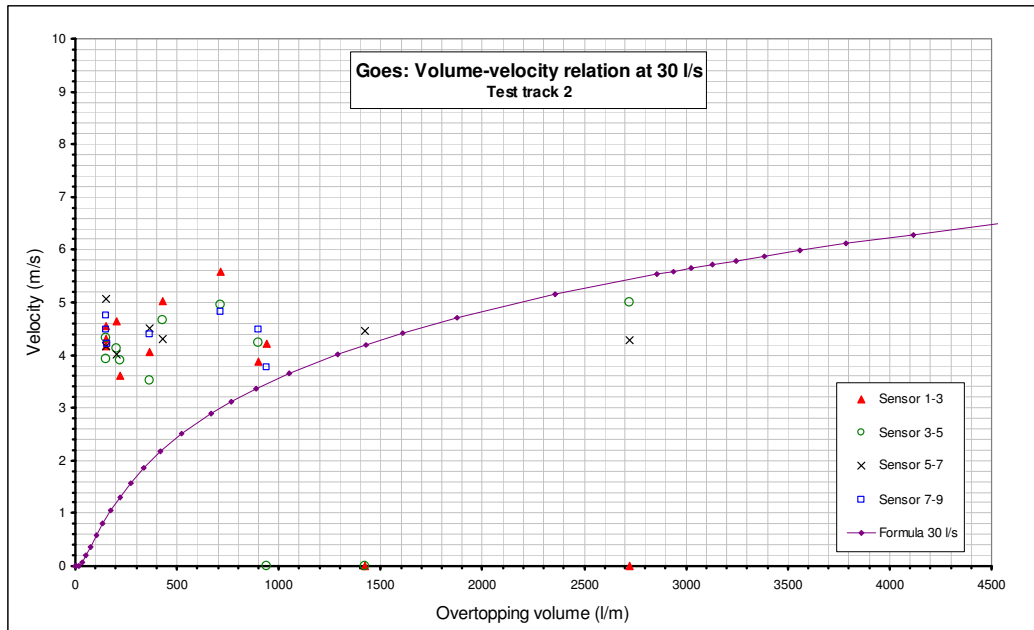
Figuur 3.13 Vergelijk laagdikte versus overslaand volume voor 30 en 50 l/s per meter; sensor 1

relatie volume – frontsnelheid

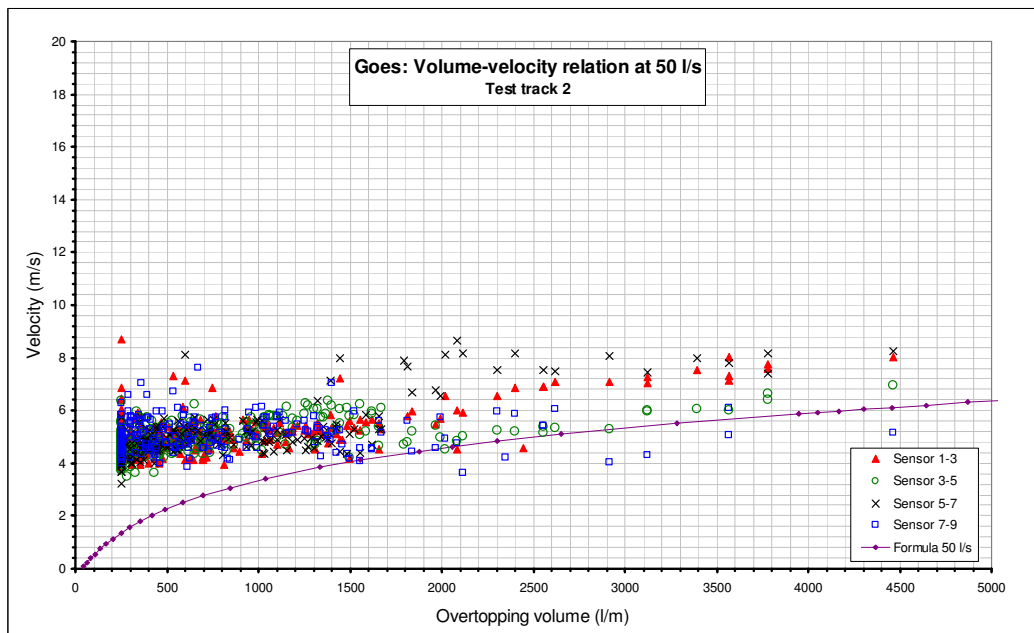
In Figuur 3.14 zijn voor 30 en 50 l/s per m de frontsnelheden als functie van het golfvolume gepresenteerd. In Figuur 3.15 zijn de resultaten voor beide debieten samen getoond.

Het resultaat is in lijn met dat bij St.Philipsland, namelijk dat er nauwelijks een relatie is te zien tussen frontsnelheid en overslaand volume. De frontsnelheid blijft gelijk, ongeacht het overslaand volume. Dat is niet uitgesloten, maar de verwachting is eerder dat de snelheid

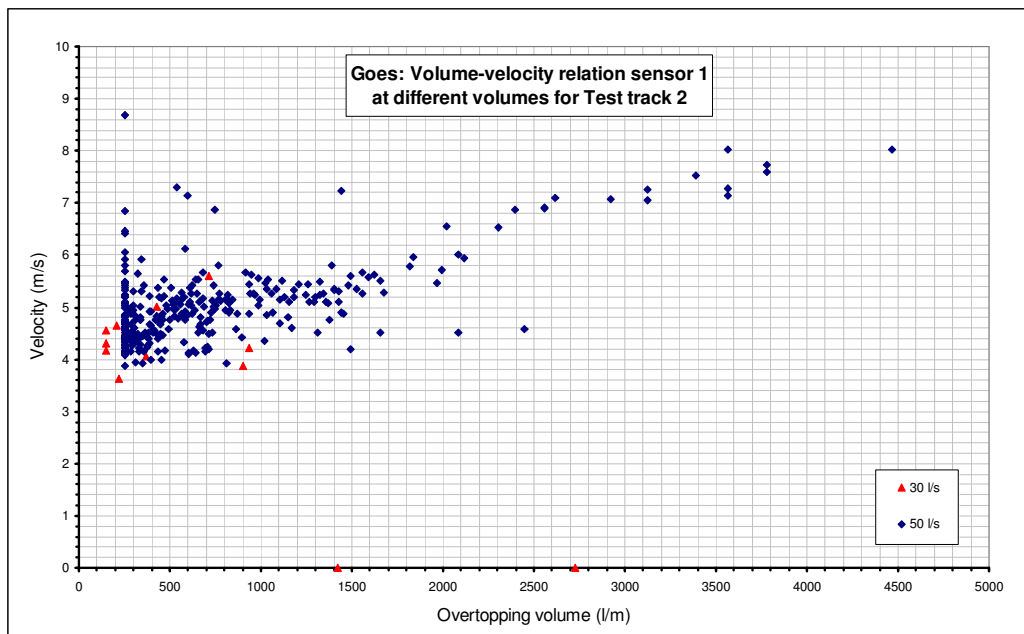
toeneemt. Uit Figuur 3.15 blijkt overigens wel dat bij 50 l/s per de snelheid bij sensor 1 (op de kruin van de dijk) toeneemt bij een toenemend overslaand volume.



Figuur 3.14a Frontsnelheid versus overslaand volume voor 30 l/s per meter



Figuur 3.14b Frontsnelheid versus overslaand volume voor 50 l/s per meter



Figuur 3.15 Vergelijk frontsnelheid versus overslaand volume voor 30 en 50 l/s per meter; sensor 1

3.5 Resultaten metingen Elastocoaest en open steenasfalt

Voor de analyse van de metingen op Elastocoaest en open steenasfalt zijn ook figuren gemaakt. De locaties van het hart van de meetportalen (die onder een hoek van 45° loodrecht op het talud waren geplaatst) ten opzichte van de uitstroomopening van de overslagsimulator waren:

Elastocoaest: meetportaal 1 (sensoren 3 en 4): 3,65 m
 meetportaal 2 (sensoren 5 en 6): 7,80 m
 meetportaal 3 (sensoren 7 en 8): 12,25 m
 meetportaal 4 (sensoren 9 en 10): 16,45 m

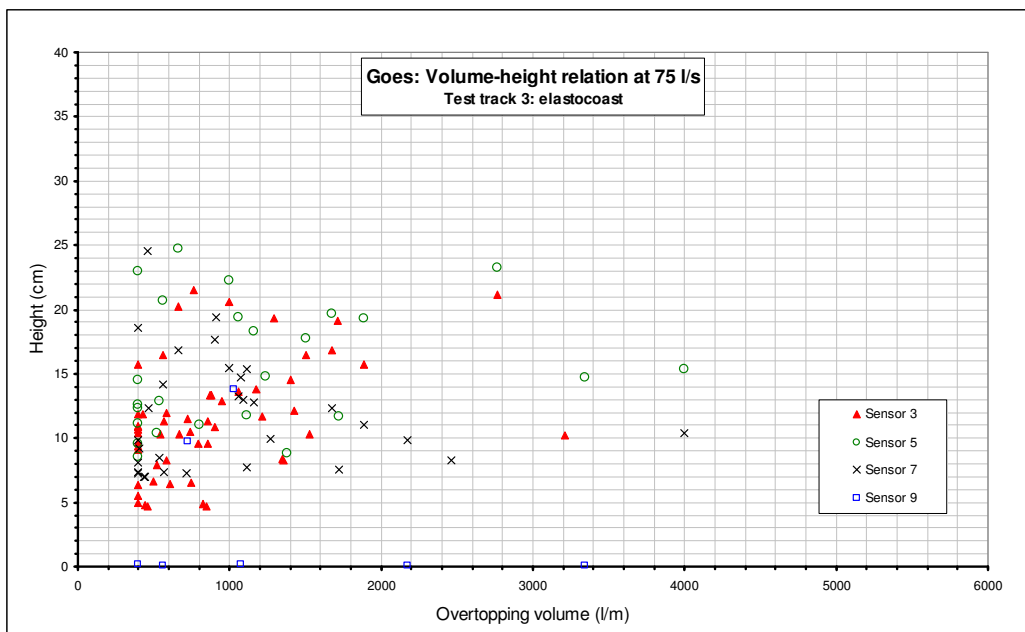
Open steenasfalt: meetportaal 1 (sensoren 1 en 2): 3,35 m
 meetportaal 2 (sensoren 3 en 4): 5,85 m
 meetportaal 3 (sensoren 5 en 6): 8,35 m
 meetportaal 4 (sensoren 7 en 8): 10,85 m
 meetportaal 5 (sensoren 9 en 10): 13,35 m

De frontsnelheden zijn steeds bepaald tussen de bovenstroomse sensoren van achtereenvolgende meetportalen.

Beschikbaar zijn de metingen van $q=30$ en $q=75$ l/s per m voor teststrook 3 (elastocoaest), en van $q=75$ l/s/m voor teststrook 4 (osa).

Relatie volume – laagdikte

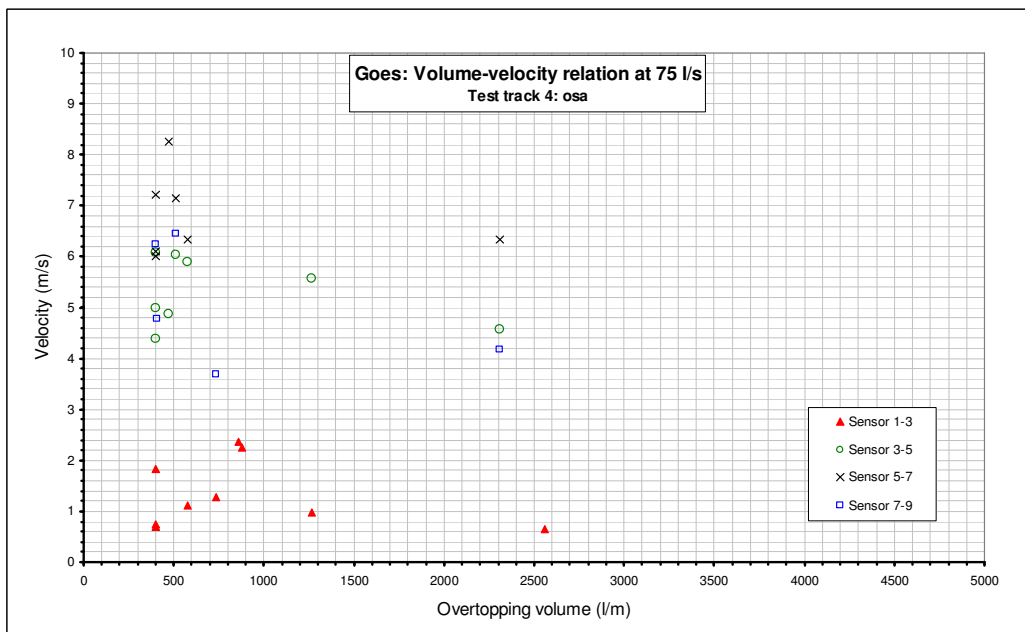
In Figuur 3.16 is voor 75 l/s per m een voorbeeld gegeven van de laagdikten als functie van het overslaand volume. De overige figuren geven een vergelijkbaar beeld. Duidelijk zal zijn dat hieraan geen conclusies kunnen worden gekoppeld.



Figuur 3.16 Laagdikte versus overslaand volume voor 75 l/s per meter; elastocoast

relatie volume – frontsnelheid

Anloog is in Figuur 3.17 voor 75 l/s per m een voorbeeld gegeven van de frontsnelheden als functie van het overslaand volume. Ook hier zijn de overige figuren identiek.



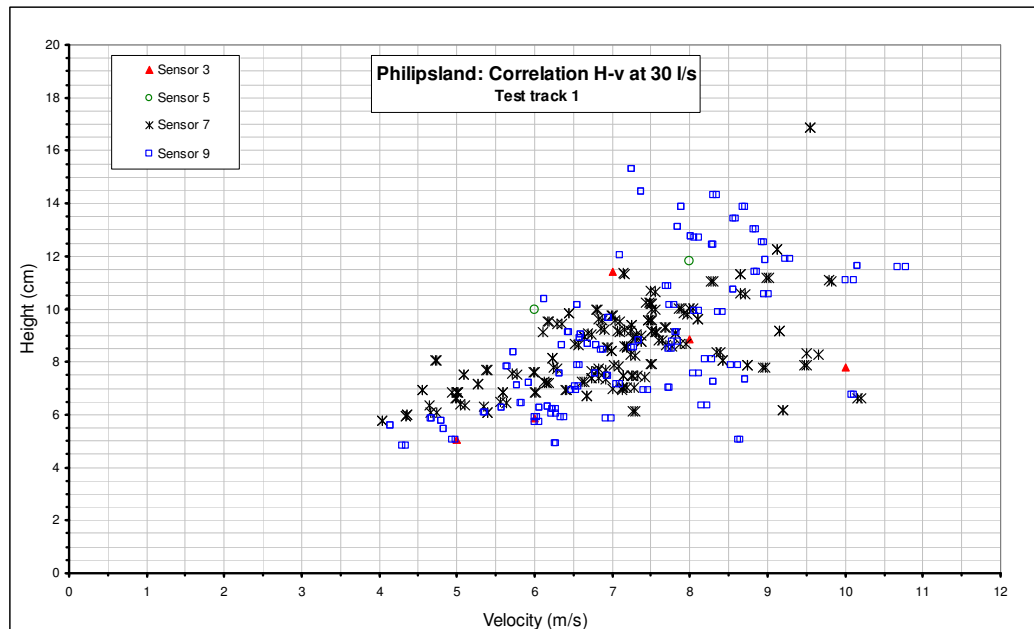
Figuur 3.17 Frontsnelheid versus overslaand volume voor 75 l/s per meter; open steenasfalt

3.6 Analyse hydraulische belasting

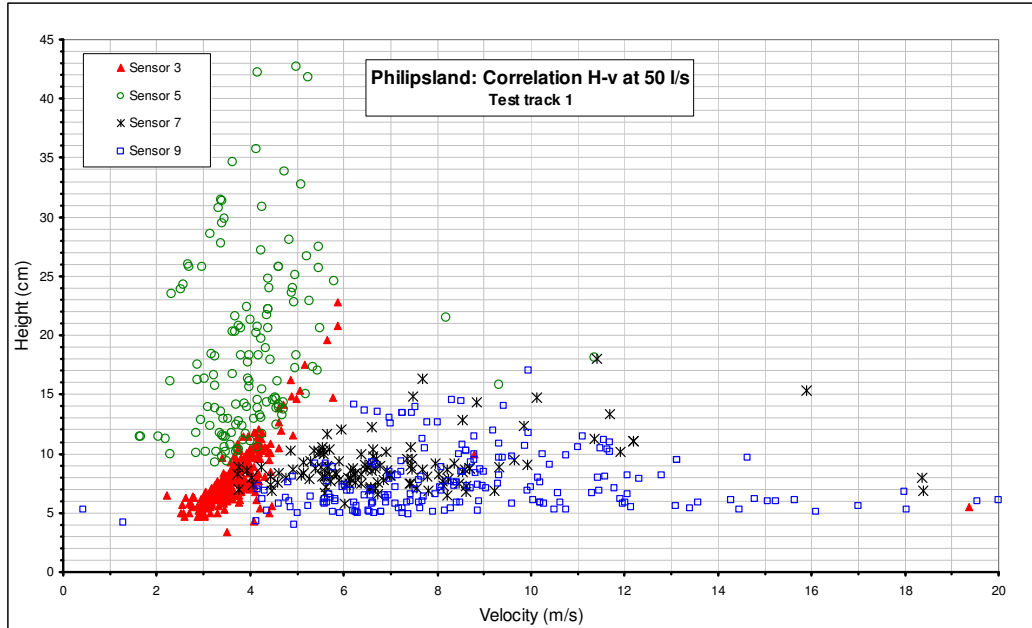
Uit de vorige paragrafen zal duidelijk zijn dat de metingen nauwelijks analyseerbare resultaten hebben opgeleverd. Ondanks worden in het navolgende enkele verbanden getoond om een en ander nog eens duidelijk te maken.

Correlatie tussen laagdikte en frontsnelheid

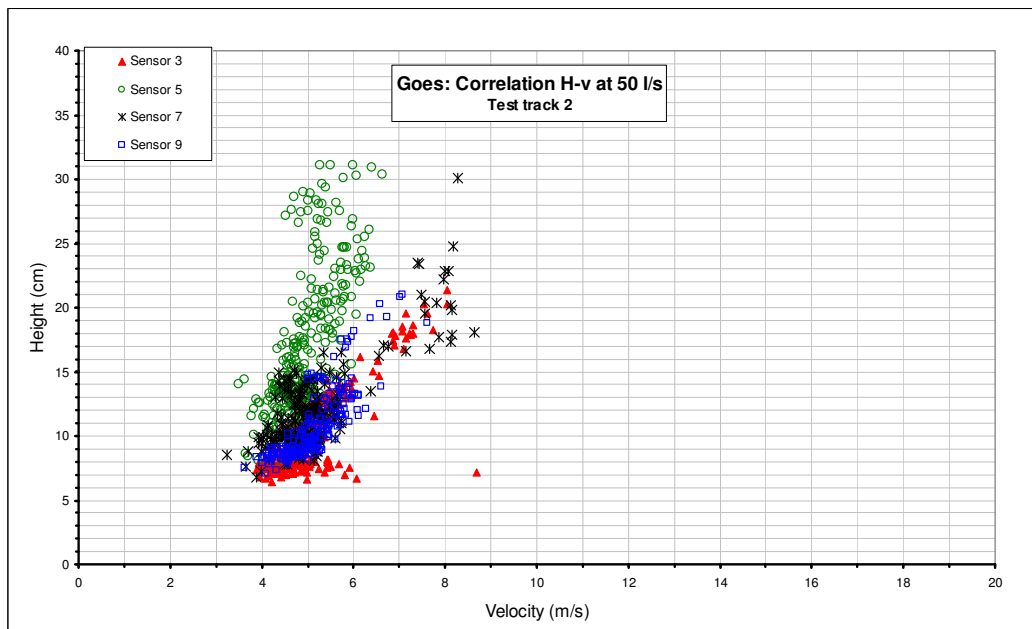
In figuur 3.18 zijn voor 3 situaties de laagdikten en de frontsnelheden tegen elkaar uitgezet. In algemene zin kan worden geconcludeerd dat bij toenemende laagdikte ook sprake is van een toenemende snelheid. Van een eenduidig verband tussen de verschillende figuren is echter geen sprake. Bovendien blijkt bijvoorbeeld uit Figuur 3.18b dat voor sensor 5 de laagdikte min of meer constant blijft bij toenemende frontsnelheid, terwijl dat voor de andere sensoren niet het geval is. Feitelijk zou alleen voor sensor 1 kunnen worden gesteld dat laagdikte en snelheid een consistent beeld geven. Bedacht moet echter worden dat de drie getoonde figuren nog de beste resultaat geven. Conclusies trekken op basis daarvan is dus niet gerechtvaardigd.



Figuur 3.18a Relatie tussen laagdikte en frontsnelheid voor 30 l/s per meter; strook 1



Figuur 3.18b Relatie tussen laagdikte en frontsnelheid voor 50 l/s per meter; strook 1

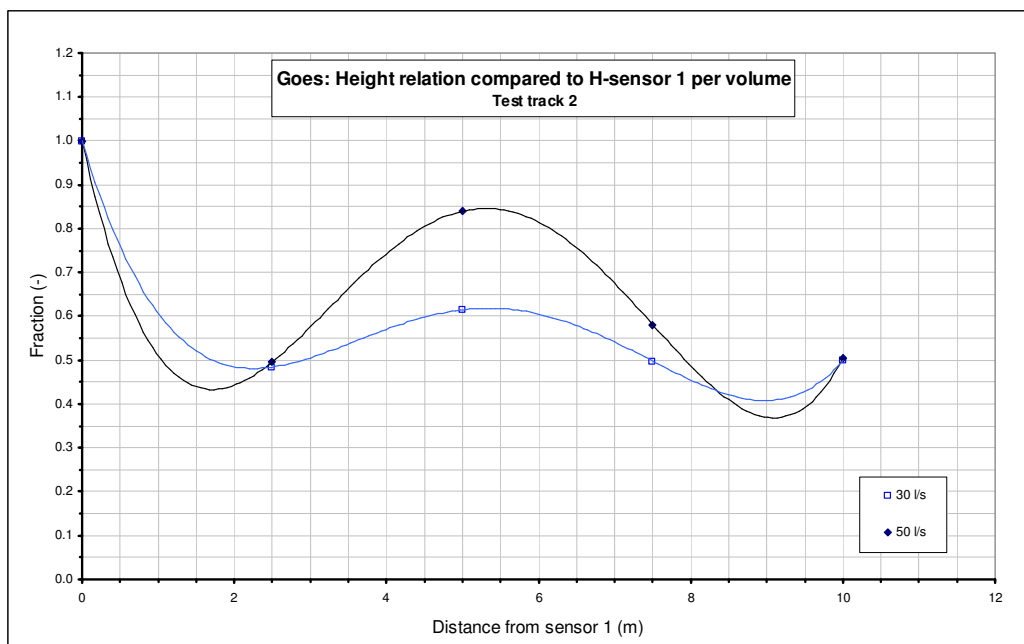


Figuur 3.18d Relatie tussen laagdikte en frontsnelheid voor 50 l/s per meter; strook 2

Correlatie tussen laagdikte sensoren 3 t/m 9 en laagdikte sensor 1

In Figuur 3.19 is een voorbeeld gegeven van het verband tussen de laagdikte bij sensor 1 en de laagdikten bij de andere sensoren lager op het talud. Voor alle andere situaties is het beeld gelijk. Het beeld is dat de laagdikte zeer snel afneemt tussen opnemer 1 en 2 en daarna min of meer constant blijft. Daarbij wordt er van uit gegaan dat de waarde bij opnemer 3 niet correct is en een te hoge waarde aangeeft. Echter, je kan ook stellen dat opnemer 2 een te lage waarde geeft en dan is er sprake van een geleidelijk afnemende laagdikte van binnenkruinlijn naar teen talud. Deze veronderstelling lijkt logischer. Het

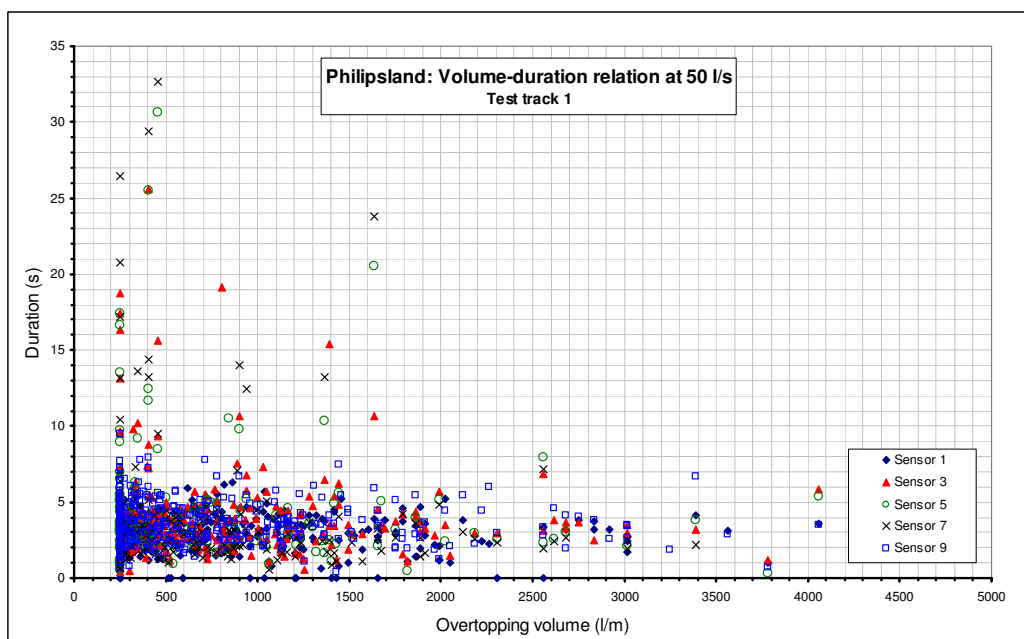
impliceert dat de frontsnelheid zal moeten toenemen van boven aan het talud naar teen talud. Dat verband is niet systematisch geconstateerd, behalve in Figuur 3.10.



Figuur 3.19 Verandering laagdikte ten opzichte van opnemer op binnenkruinlijn; strook 2

relatie volume-golfduur

In Figuur 3.20 is tenslotte als voorbeeld voor één situatie het verband getoond tussen de tijdsduur van het overslaande volume. Geconcludeerd kan worden dat de resultaten niet logisch zijn gezien de grote spreiding.



Figuur 3.20 Duur versus overslaand volume voor 50 l/s per meter; strook 1

Samenvattend: de gepresenteerde resultaten van de metingen in St. Philipsland en Kattendijke zijn van dien aard dat er geen conclusies aan te verbinden zijn. De preciese oorzaak hiervan is niet te achterhalen, maar vermoedt wordt dat het te maken heeft met het feit dat het leggen van een koppeling van frontsnelheden, laagdiktes en duur aan de inputvolumes van de stuurlijsten zeer slecht mogelijk bleek.

Wat is namelijk het geval: op basis van het geregistreerde continu doorlopende signaal worden een aantal overslaande volumes gedetecteerd, bijvoorbeeld 100. In dezelfde periode zouden dan ook 100 overslaande golven moeten plaats vinden volgens de stuurlijsten die nauwgezet werden uitgevoerd. Dat nu blijkt niet het geval. Meestal is het aantal overslaande golven wel gelijk, maar is de totale tijdsduur verschillend en zijn er ook onderlinge verschillen in tijd tussen individuele golven in de totale serie golven. Er zijn geen aanwijzingen dat de signaalregistraties in die zin onjuist zijn geweest, evenmin dat de stuurlijsten niet goed zouden zijn gevolgd. Hoe dan ook blijft onduidelijk wat de oorzaak is. Bij de eerdere metingen op de Boonweg in Friesland heeft dit probleem zich niet voorgedaan.

Tenslotte, er zijn in Zeeland ook snelheidsmetingen verricht met een EMS. In Figuur 3.7 is een vergelijking gemaakt tussen de EMS registratie en de frontsnelheid geregistreerd met een laagdiktemeter. Uit die figuur blijkt onder andere dat de maximale gemiddelde stroomsnelheid die is gemeten, 2 à 3 m/s, veel te laag is ten opzichte van de gemeten frontsnelheid. Onduidelijk is waarom dit zo is. Een mogelijke oorzaak is dat de EMS vlakbij boven het gras heeft gestaan en de gemeten snelheid beïnvloedt is door die positie. Uit tests in het laboratorium is bekend dat EMS'n snelheden tot 10 m/s zonder probleem hebben geregistreerd, zelfs met een percentage deeltjes oplopend tot wel 40%. Als we echter Figuur 3.6 nader bekijken dan constateren we dat het ruwe signaal wel snelheden in de orde van 9 à 10 m/s registreert. Deze pieken worden voornamelijk echter als onbetrouwbaar aangemerkt, vanwege de zogenaamde "spijkervorm" wat duidt op een onjuist signaal.

3.7 conclusies

Op basis van de registraties en de (zeer beperkte) analyse worden de volgende conclusies getrokken:

- De opnemers met twee sensoren per opnemer voor het registreren van laagdikten en frontsnelheden hebben zeer slecht bruikbare registraties opgeleverd. Conclusies ten aanzien van laagdikten en frontsnelheden als functie van het overslaande volume zijn daarom niet te trekken.
- De oorzaak van de slechte signalen is onduidelijk. Voorshands is er geen reden te twifelen aan de juistheid van de registraties zelf en de wijze waarop de overslaande volumes werden gerealiseerd via de stuurlijsten. Wel bleek het onmogelijk op eenduidige wijze de relevante meetsignalen van een overslaande golf te koppelen aan het overslaande volume volgens de stuurlijst. Bij een bepaald aantal overslaande golven zijn er verschillen tussen stuurlijsten enerzijds en registraties anderzijds wat betreft de totale tijd en de tijden tussen individuele golven. Het bleek op geen enkele wijze mogelijk hiervoor te corrigeren.
- Wat betreft de laagdiktemeters blijkt het nauwelijks tot niet mogelijk om het signaal van de tweede sensor op de meetportalen te isoleren zodat met de afstand tussen de voorste en achterste opnemer de frontsnelheid kan worden bepaald. De oorzaak hiervan is de sproei van de bevestigingsstaaf van het gehele instrument; dit ondanks dat de instrumenten onder 45° waren geplaatst. Er wordt gewerkt aan een zodanige modificatie van de bevestiging van het gehele meetinstrument dat de centrale bevestigingsstaaf overbodig is.

- Hoewel de gemeten signalen voor detailanalyses onbruikbaar zijn, kan wel worden vastgesteld dat:
 - Laagdiktes tot orde 0,30 m voorkomen, en
 - Maximale stroomsnelheden tot zeker 9 m/s mogelijk zijn.Visuele waarnemingen ondersteunen deze bevindingen (zie Factual Report Tabel 5.1).

Tenslotte wordt opgemerkt dat bij de evaluatie van de metingen van Delfzijl ook nieuwe formules zijn ontwikkeld voor laagdikte, snelheid en verblijftijd. Deze zijn ook in het Factual Report van Infram, 2008, gegeven. De lijnen voor verschillende overslagdebieten liggen niet op elkaar. Het is zo dat consequent bij een hoger overslagdebiet de lijnen voor alle drie hydraulische grootheden lager liggen. Integratie van snelheid en laagdikte over tijd levert volume. En doordat de lijnen consequent verschillen, kan de integratie niet voor alle overslagdebieten kloppen. De formules zijn dus fysisch nog niet correct.

4 Evaluatie graserosie

Er zijn in het Zeeuwse in totaal 5 proefvakken onderzocht op de sterkte tegen golfoverslag:

- Een vak met een grastalud op St.Philipsland
- Twee vakken met een grastalud in Kattendijke
- Twee vakken met een harde bekleding (Elastocoast en Osa), ook in Kattendijke

Voor een beschrijving van details ten aanzien van erosie ontwikkeling wordt verwezen naar het Factual Report van Infram dat als Bijlage 1 is toegevoegd. Daar wordt een overzicht gegeven van de erosieontwikkeling aan de hand van foto's en wordt per teststrook een beschrijving gegeven van de waargenomen erosie. In het navolgende wordt de waargenomen erosie geëvalueerd.

4.1 Waargenomen vormen van erosie

Bij de proeven in Zeeland (en ook elders) zijn de volgende vormen waargenomen:

- Erosie van gras (of harde bekleding) op het talud
- Erosie bij de overgang naar een horizontaal deel aan de teen van het talud
- Erosie rondom paaltjes en door molsgaten, en door mestinjectie
- Erosie in bovenstroomse richting na het ontstaan van een initiële schade.

Erosie van het gras op het talud is alleen waargenomen op het vak met een grastalud in St.Philipsland. Deze erosie begon direct bij een overslagdebiet van 50 l/s per m. Feitelijk was er sprake van gelijktijdige erosie op twee locaties (zie Figuur 4.1): één ter plaatse van een initiële schade (links op de foto) en één ter plaatse van een oneffenheid (rechts op de foto). De schade ter plaatse van de initiële schade heeft zich gedurende de rest van de proeven nauwelijks uitgebreid, maar de schade ter plaatse van de oneffenheid wel. Door het onregelmatige oppervlak ontstond bij een overslaande golf een golvende waterlaag waardoor de schade zich in benedenwaartse richting uitbreidde en ook verdiepte tot op de onderliggende zandlaag. Op dat moment was er sprake van falen van de bekleding. In Figuur 4.2 staat de eindsituatie.



Figuur 4.1 Initiële schade Philipsland bij de start van 50 l/s per m.



Figuur 4.2 Eind situatie St Philipsland na 50 l/s per m

De waargenomen schade bij de oneffenheid hangt zeer waarschijnlijk samen met die oneffenheden, die voorafgaand aan de proeven ook visueel waren vastgesteld; ook waren rijsporen zichtbaar. Bij een onregelmatig talud is sprake van overgangen van een steiler naar een minder steil deel en vervolgens weer naar een steiler deel. De met hoge snelheid naar beneden komende waterlaag als gevolg van een golfoverslag heeft op de grasbekleding bij een overgang naar een minder steil (of zelfs horizontaal) deel een ander effect dan op het steilere deel. Het is in sterke mate vergelijkbaar met een waterstraal in plaats van een waterlaag die over een vlakke bekleding schiet. Een zelfde mechanisme is eerder ook geconstateerd bij de proeven in Friesland op de overgang van talud naar teen. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat het testvak in St.Philipsland een talud van 1: 2,4 kende. Dit is steiler dan tot nog toe onderzocht, maar voornamelijk is er geen reden dat als oorzaak van de schade aan te merken. Dat geldt ook ten aanzien van de graskwaliteit. Deze is volgens de inventarisatie goed, maar vooraf was visueel de indruk dat de kwaliteit slecht was.

Schade op de taluds voorzien van een verharde bekleding bestaande uit Elastocoast of Opensteenafalt is niet opgetreden.

De tweede vorm van erosie die is waargenomen betreft die op de overgang naar een horizontaal deel aan de teen van het talud. Dit is opgetreden zowel in St.Philipsland als in Kattendijke. De naar beneden schietende waterstraal geeft een zodanige impact op het

horizontale deel dat het daar aanwezige materiaal (In Kattendijke mijnsteen) erodeert en er zich een ontgrondingskuil ontwikkelt. Bij Kattendijke trad al bij 10 l/s per m de eerste schade op die bij hogere debieten sterk toenam tot een kuil in de teen en aangrenzende onderhoudsweg met afmetingen van 15m x 4m en 1m diepte. Op St.Philipsland begon deze schade bij 30 l/s per m. Na het ontstaan van een voldoende diepe ontgrondingskuil met een vrijwel verticale wand aan bovenstroomse (talud) zijde, treedt het mechanisme in werking van erosie in stroomopwaartse richting (zogenaamde headcut erosie). Dit begon in Kattendijke bij 75 l/s per m. Het talud brokkelt langzaam af en het gat wordt steeds groter tot de zandlaag wordt bereikt en sprake is van falen van de bekleding. Figuren 4.3 en 4.4 geven een indruk van de schade bij Kattendijke bij proefvak 1.



Figuur 4.3 Ontgrondingskuil Kattendijke proefvak 1



Figuur 4.4 Begin van headcut erosie; Kattendijke proefvak 1

Het schademechanisme op de overgang van talud naar teen is ook geconstateerd bij de eerdere proeven in Friesland.

Gedetailleerde informatie over de ontwikkeling in de tijd van de schade/kuil is niet vastgelegd. De opzet van de proeven voorzag hier niet in, want deze waren gericht op het onderzoeken van de sterkte van het talud. Bovendien is het volgen van de schade lastig omdat de kuil die zich ontwikkelt vanaf het begin gevuld is met zeer troebel water als gevolg van de geerodeerde grond. Optisch zijn er dan geen mogelijkheden, uitsluitend via peilen.

De derde vorm van erosie betreft erosie door of rondom paaltjes in het talud, erosie door molsgaten of mollengangen, en erosie door mestinjectie. Op teststrook 2 in Kattendijke waren al deze ingrediënten voor mogelijk schade aanwezig. Echter, op basis van de proeven kan worden geconcludeerd dat het niet leidt tot schade. De Figuren 4.5 tot 4.7 geven een beeld van de schade.

Voorafgaand aan de proeven was overigens de verwachting dat mollengaten zouden leiden tot aanzienlijke schade. Dat is dus niet gebeleden.



Figuur 4.5 Kattendijke; proefvak 2 na 2 uur met 50 l/s per m. De paal was er uit geslagen en een grasplag is opgedrukt en enigszins verschoven in benedenwaartse richting.



Figuur 4.6 Kattendijke; proefvak 2 na voortzetten met 50 l/s per m. Verwachting was dat de grasplag er afgespoeld zou worden bij een grote golf.



Figuur 4.7 Uiteindelijk resultaat; Kattendijke, proefvak 2 na 50 l/s per m. Gedurende de proeven erodeerde de klei onder de plag, maar deze bleef zelf wel liggen. Na de proef is de plag afgegraven (rechts) en bleken daaronder diverse mollengaten te zitten.

De vierde vorm, headcut erosie of erosie in bovenstroomse richting, is niet geconstateerd op het talud. Daarvoor moet eerst “gewone” schade ontstaan en dat is niet gebeurd. Wel is headcut erosie opgetreden na het ontstaan van de kuil bij de teen.

Het mechanisme dat optreedt is dat op zeker moment de verticale wand instabiel wordt en een moot grond afschuift. Uittredend water speelt hierbij een rol, en dat gaat nog enige tijd na beëindiging van de proeven door. Er is ook waargenomen dat de headcut erosie doorging nadat de proeven waren gestopt.

Tenslotte worden onderstaand de observaties gepresenteerd op basis van de waargenomen schades in Zeeland:

1. Geen enkel binnentalud van een proefvak gaf significante schade bij 30 l/s per m, gedurende 6 uur simulatie.
2. 1 proefvak gaf grote schade bij 50 l/s per m (St Philipsland). Het binnentalud was 1:2,4 met 0,4 m zandige klei op een zandkern en een open zode.
3. Aan de overgang van de kruin naar het binnentalud is nooit schade ontstaan.
4. Overgangen talud-horizontaal geven schade; soms al bij 30 l/s per m, maar vooral bij 50 l/s per m of meer.
5. Een onderhoudsweg van gravel is in droge omstandigheden hard en stabiel om op te rijden, maar er ontstaat uitspoeling en grote schade bij 30 l/s per m of meer overslag.
6. Een gat in de klei met een verticaal talud geeft het ontstaan van het mechanisme “head cut erosie”. Het verticale talud brokkelt af en het gat wordt naar boven toe groter.
7. Een beschadiging (gat) door de kleilaag heen tot op het zand (bij 50 l/s per m of meer) geeft direct grote schade, de zandkern spoelt zeer snel uit, ook volgens het head cut erosie mechanisme.
8. Bij een aantal proefvakken kwamen veelvuldig mollen voor. De gangen werden duidelijker zichtbaar na overslag en de ingangen werden soms een beetje uitgehold, maar geen enkele beschadiging door deze dieren heeft tot initiële schade aan het talud geleid.
9. Schade aangebracht door een gierinjecteur was geen aanleiding tot initialisatie van een schademechanisme bij golfoverslag.
10. Net geplaatste palen met een kleine diameter zijn in het algemeen geen obstakels die aanleiding geven tot schade. Eén paal (Kattendijke) werd uit het talud gerukt, met name omdat deze ondiep (30 cm) in of bij een stelsel van mollengangen was

geplaatst. Er ontstond echter geen doorgaande schade. Palen of obstakels met grote diameter, zoals bijvoorbeeld dijkpalen, zijn niet onderzocht.

Eerder zijn in Delfzijl en in Friesland ook proeven uitgevoerd. Omdat de proeven worden geëvalueerd in het bredere kader van SBW worden onderstaand worden ook die observaties gepresenteerd, voorzover nog niet bij de Zeeuwse proeven vermeld:

11. Goede kale klei, zoals de dijk bij Delfzijl, kan 6 uur 1 l/s per m golfoverslag aan, vervolgens 6 uur 5 l/s per m en daarna 6 uur 10 l/s per m. Bij elke belasting trad er erosie van kleideeltjes op. De voorgeschiedenis telt daarom mee bij de uiteindelijke schade bij 10 l/s per m. De resultaten gelden voor een volledige kleidijk. Als er een kleilaag op een zandkern ligt, dan is het kritieke punt wanneer het gat door de kleilaag heen gaat.
12. Aangebrachte gaten van 15x15 cm gaven in erosiebestendige klei bij 50 l/s per m geen verdergaande schade aan de grasmat. Bij gaten van 40x40 cm (15 cm diep) en 1x1 m (5 cm diep) ontstond uitschuring (geulvorming) aan de onderzijde van het gat tot aan de teen van de dijk.
13. Bij een aantal proefvakken kwamen veelvuldig ook muizen voor. De gangen werden duidelijker zichtbaar na overslag en de ingangen werden soms een beetje uitgehold, maar geen enkele beschadiging door deze dieren heeft tot initiële schade aan het talud geleid.
14. Op twee dijkvakken, (vrijwel) zonder beweiding en met een sterke zode, kwam het "ballonmechanisme" voor bij 75 l/s per m. Dit mechanisme was niet bekend.

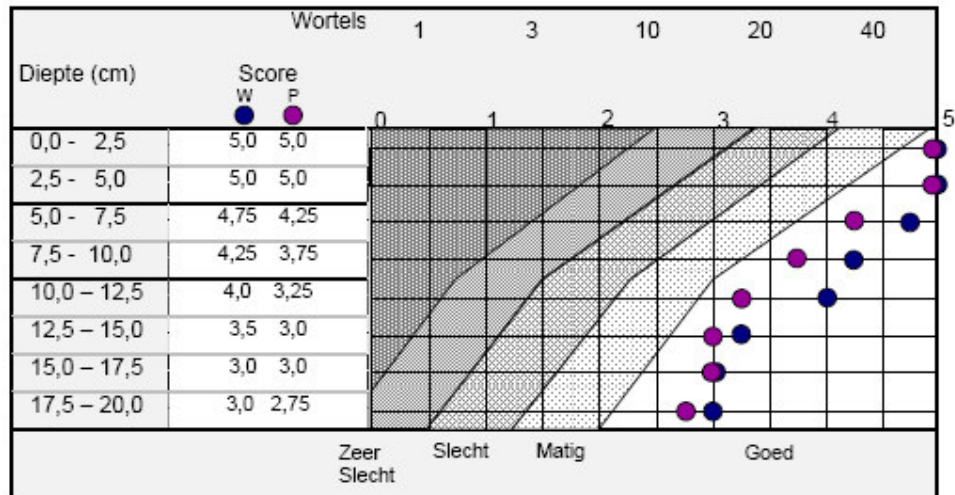
Op basis van de waarnemingen kan worden geconcludeerd dat de waargenomen erosie op de taluds in Zeeland grotendeels overeenkomt met de verwachtingen en de ervaringen bij de eerdere proeven. Gezien de visueel als slecht beoordeelde graskwaliteit in St.Philipsland en de vele mollengaten was vooraf de verwachting dat er meer schade zou optreden. Uiteindelijk is dat dus niet gebeurd.

4.2 Predictie erosie

Er zijn voorafgaand aan de proeven geen predicties opgesteld. In die zin kan er geen vergelijking worden gemaakt met waargenomen erosie. In de volgende paragraaf zal toch worden ingegaan op berekende erosie versus waargenomen erosie. Overigens zullen de predicties ook uitsluitend gedaan worden voor graserosie op het talud, omdat voor de andere erosiemechanismen geen methodes beschikbaar zijn.

4.2.1 Grastaluds

Per proefvak zijn er boringen uitgevoerd om de hoeveelheid wortels te bepalen. De resultaten staan in onderstaande Figuur 4.8. Opvallend is dat alle metingen in de score "goed" vallen. Dit betekent dat er in de bovenste laag van de zode meer dan 40 wortels per $0,707 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ (grondboor met diameter van 3 cm) of 60.000 wortels per m^2 aanwezig zijn en er sprake is van een goede kwaliteit gras.



Figuur 4.8 Worteldichtheidsscore Zeeland, maart 2008: Wilhelminapolder (W) en Oide Polder van St.Philipsland (P) met $n = 4$ in een beoordelingsdiagram van de VTV

Behalve het aantal wortels zijn ook andere gegevens van de graszode verzameld, zoals bedekkingsgraad. Informatie hierover staat in Bijlage 4.

Wat betreft de eigenschappen van de klei is uitgegaan van goede klei met een waarde voor de cohesie van $c_s = 0,25 \text{ kN/m}^2$ (zie Tabel 4.1).

Klei	C_E -methode		Kubus model	
	C_E [m ⁻¹ s ⁻¹]	$U_c^{(1)}$ [m/s]	$c_s^{(2)}$ [kN/m ²]	$U_c^{(3)}$ [m/s]
Klei kwaliteit (Verheij et al. 1995)				
Zand	17,1·10 ⁻⁴	0,15		
Slecht	4,3·10 ⁻⁴	0,3	0,00	0,3
Gestructureerd	1,1·10 ⁻⁴	0,6	0,11	0,6
Goed	0,60·10 ⁻⁴	0,8	0,25	0,8
Zeer goed	0,32·10 ⁻⁴	1,1	0,50	1,1

$$^{(1)} U_c = \frac{1}{r_0} \sqrt{\frac{\alpha_{CE} g^2 d_a}{C_E v}} \text{ waarin } d_a = 0,004 \text{ m, } g = 9,81 \text{ m/s}^2, r_0 = 0,2, \alpha_{CE} = 0,04 \cdot 10^{-10} \text{ en } v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$^{(2)} c_s = 0,021c \text{ (of } c \approx 50c_s)$$

$$^{(3)} U_c = \frac{0,29}{r_0} \sqrt{\Delta g d_a + \frac{c_s}{\rho} + \frac{\sigma_g}{\rho}} \text{ waarin } d_a = 0,004 \text{ m, } r_0 = 0,2 \text{ en } \Delta = 1,65, \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ en } \sigma_g = 0$$

Gras	C_E -methode		Kubus model	
	C_E [m ⁻¹ s ⁻¹]	$U_c^{(1)}$ [m/s]	σ_g [kN/m ²]	$U_c^{(4)}$ [m/s]
Gras kwaliteit (VTV 2006)				
Zeer slecht	0,062·10 ⁻⁴	2,5	2,8	2,5
Slecht	0,033·10 ⁻⁴	3,4	5,6	3,4
Matig	0,022·10 ⁻⁴	4,2	8,4	4,2
Goed	0,016·10 ⁻⁴	4,9	11,2	4,9

$$^{(4)} U_c = \frac{0,29}{r_0} \sqrt{\Delta g d_a + \frac{c_s}{\rho} + \frac{\sigma_g}{\rho}} \text{ waarin } c_s = 0, d_a = 0,004 \text{ m, } r_0 = 0,2 \text{ en } \Delta = 1,65$$

Tabel 4.1 Indicatieve waarden voor de sterkte van Nederlandse klei en gras

De hydraulische condities zijn verschillend per overslaande golf. Voor de predictie is uitgegaan van de volgende aantallen overslaande golven als functie van het overslagdebiet:

$q = 0,1$ l/s/m:	9 golven per 6 uur
$q = 1$ l/s/m:	126 golven per 6 uur
$q = 10$ l/s/m:	749 golven per 6 uur
$q = 30$ l/s/m:	1275 golven per 6 uur
$q = 50$ l/s/m:	1524 golven per 6 uur
$q = 75$ l/s/m:	1686 golven per 6 uur

De golven bij een bepaald overslagdebiet kennen een verschillend volume met bijbehorende verschillende maximale stroomsnelheden en tijdsduren. Voor iedere afzonderlijke golf wordt de erosie berekend en gesommeerd. Karakteristieke waarden zijn:

Maximale stroomsnelheid $U_{\max} = 4$ m/s (range 1 à 8 m/s)
 Laagdikte $h = 0,20$ m (range 0,05 à 0,70 m)
 Belastingduur $t = 4$ s (range (1 à 8 s))

Het aantal wortels in de bovenste 2,5 cm van de zode resulteert in een waarde van de wortelsterkte van $\sigma_g = 11,2 \text{ kN/m}^2$ (zie Tabel). Hieruit volgt dat $C_E \approx 0,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (zie Tabel 4.1) of met $E_{soil} = 15(C_E)^{-1} \approx 1,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$.

A_r/A (%)	A_r/A (mm^2/m^2)	Aantal wortels No./ m^2	Gras kwaliteit volgens VTV	Zode opper- vlak per wor- tel (mm^2)	Ruimte tus- sen wortels (mm)	σ_g (kN/m^2)
0.02	200	15100	zeer slecht	66	8	2.8
0.04	400	30150	slecht	33	6	5.6
0.06	600	45200	matig	22	5	8.4
0.08	800	60300	goed	17	4	11.2

No. = $A_r/A_{1 \text{ root}}$ met $A_{1 \text{ root}} = 1/4 \pi d_r^2$ en $d_r = 0,13 \text{ mm}$, Ruimte tussen wortels = $(A/\text{No.})^{1/2}$
 Zode oppervlak per wortel = $A/\text{No.}$ met $A = 1 \text{ m}^2$, $\sigma_g = 0,7 t_r (A_r/A)$ ($t_r = 20 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$)

Tabel 4.2 Eigenschappen van Nederlands gras

De erosie in 6 uur kan nu voor de verschillende overslagdebieten worden voorspeld met:

$$y_m = \sum_{i=1}^n \frac{(0.7 \alpha U_m - U_c)^2}{E_{soil}} t_m \quad (4.1)$$

waarin:

E_{soil} (= $\alpha_{soil} (C_E)^{-1}$) erosieparameter (m/s)
 n aantal golven (-)
 r_0 dieptegemiddelde relatieve turbulentie intensiteit (-)
 t_m karakteristieke duur van de golf (s)
 U_m karakteristieke dieptegemiddelde snelheid (m/s)
 U_c kritieke dieptegemiddelde snelheid (m/s)
 y_m erosie (m)
 α (= $1,5 + 5r_0$) turbulentie coefficient (-)
 α_{soil} (15 m^2) constante (met dimensie) (m^2)

Het resultaat is (zie voor details ook Tabel 4.3):

$q = 0,1 \text{ l/s/m}$: $y_m = 0 \text{ m}$ (in 6 uur)
 $q = 1 \text{ l/s/m}$: $y_m = 0 \text{ m}$ (in 6 uur)
 $q = 10 \text{ l/s/m}$: $y_m = 0 \text{ m}$ (in 6 uur)
 $q = 30 \text{ l/s/m}$: $y_m = 0 - 0,004 \text{ m}$ (in 6 uur)
 $q = 50 \text{ l/s/m}$: $y_m = 0 - 0,007 \text{ m}$ (in 6 uur)
 $q = 75 \text{ l/s/m}$: $y_m = 0 - 0,012 \text{ m}$ (in 6 uur)

Geconcludeerd kan worden dat bij een goede, gesloten grasmat bij alle overslagdebieten geen falen zal optreden, want de erosie blijft kleiner dan 0,10 m. Bij overslagdebieten tot 10 l/s/m zal geen erosie optreden; bij grotere overslagdebieten zal de erosie beperkt blijven tot circa 10 mm.

$q = 0.1 \text{ l/s/m}$							
Volume per golf per eenheid van breedte (l/m)	Aantal golven	duur per golf (s)	h (m)	U_m (m/s)	r_0 (-)	U_c (m/s)	y_m (m)
50	3	1,8	0,02	2,5	0,13	4,5	$2,02 \cdot 10^{-7}$
150	3	2,7	0,04	3,5	0,14	4,5	$3,85 \cdot 10^{-7}$
400	2	3,6	0,09	4,5	0,15	4,5	$3,28 \cdot 10^{-6}$
750	1	4,7	0,13	5,0	0,17	4,5	$3,76 \cdot 10^{-6}$
							$\Sigma 7,62 \cdot 10^{-6}$
$q = 1 \text{ l/s/m}$							
Volume per golf per eenheid van breedte (l/m)	Aantal golven	duur per golf (s)	h (m)	U_m (m/s)	r_0 (-)	U_c (m/s)	y_m (m)
50	54	1,8	0,02	2,5	0,13	4,5	$3,64 \cdot 10^{-6}$
150	54	2,7	0,04	3,5	0,14	4,5	$6,93 \cdot 10^{-6}$
400	9	3,6	0,09	4,5	0,15	4,5	$1,47 \cdot 10^{-5}$
750	6	4,2	0,13	5,0	0,17	4,5	$2,26 \cdot 10^{-5}$
1500	3	4,7	0,19	5,5	0,18	4,5	$2,08 \cdot 10^{-5}$
							$\Sigma 6,87 \cdot 10^{-5}$
$q = 10 \text{ l/s/m}$							
Volume per golf per eenheid van breedte (l/m)	Aantal golven	duur per golf (s)	h (m)	U_m (m/s)	r_0 (-)	U_c (m/s)	y_m (m)
50	384	1,8	0,02	2,5	0,13	4,5	$2,59 \cdot 10^{-5}$
150	252	2,7	0,04	3,5	0,14	4,5	$3,24 \cdot 10^{-5}$
400	147	3,6	0,09	4,5	0,15	4,5	$2,41 \cdot 10^{-4}$
750	57	4,2	0,13	5,0	0,17	4,5	$2,14 \cdot 10^{-4}$
1000	33	4,7	0,19	5,5	0,18	4,5	$2,29 \cdot 10^{-4}$
1500	9	5,3	0,26	6,0	0,19	4,5	$1,09 \cdot 10^{-4}$
2500	6	6,0	0,38	6,5	0,22	4,5	$1,26 \cdot 10^{-4}$
							$\Sigma 9,77 \cdot 10^{-4}$

$q = 30 \text{ l/s/m}$							
Volume per golf per eenheid van breedte (l/m)	Aantal golven	duur per golf (s)	h (m/s)	U_m (m/s)	r_0 (-)	U_c (m/s)	y_m (m)
150	687	2,7	0,04	3,5	0,14	4,5	$8,82 \cdot 10^{-5}$
400	325	3,6	0,09	4,5	0,15	4,5	$5,33 \cdot 10^{-4}$
1000	206	4,7	0,19	5,5	0,18	4,5	$1,43 \cdot 10^{-3}$
1500	73	5,3	0,26	6,0	0,19	4,5	$8,86 \cdot 10^{-4}$
2500	25	6,0	0,38	6,5	0,22	4,5	$5,23 \cdot 10^{-4}$
3500	8	6,5	0,50	7,0	0,23	4,5	$2,49 \cdot 10^{-4}$
							$\Sigma 3,71 \cdot 10^{-3}$

$q = 50 \text{ l/s/m}$							
Volume per golf per eenheid van breedte (l/m)	Aantal golven	duur per golf (s)	h (m)	U_m (m/s)	r_0 (-)	U_c (m/s)	y_m (m)
400	684	3,6	0,09	4,5	0,15	4,5	$1,12 \cdot 10^{-3}$
750	234	4,2	0,13	5,0	0,17	4,5	$8,80 \cdot 10^{-4}$
1000	174	4,7	0,19	5,5	0,18	4,5	$1,21 \cdot 10^{-3}$
1500	138	5,3	0,26	6,0	0,19	4,5	$1,67 \cdot 10^{-3}$
2500	42	6,0	0,38	6,5	0,22	4,5	$8,79 \cdot 10^{-4}$
3500	42	6,5	0,50	7,0	0,23	4,5	$1,31 \cdot 10^{-3}$
							$\Sigma 7,07 \cdot 10^{-3}$

$q = 75 \text{ l/s/m}$							
Volume per golf per eenheid van breedte (l/m)	Aantal golven	duur per golf (s)	h (m)	U_m (m/s)	r_0 (-)	U_c (m/s)	y_m (m)
400	699	3,6	0,09	4,5	0,152	4,5	0,001145
750	474	4,2	0,13	5,0	0,166	4,5	0,001781
1500	342	5,3	0,26	6,0	0,193	4,5	0,004147
2500	108	6,0	0,38	6,5	0,216	4,5	0,002259
3500	39	6,5	0,50	7,0	0,230	4,5	0,001215
4500	6	7,0	0,60	7,5	0,235	4,5	0,000255
5250	18	7,5	0,70	7,7	0,247	4,5	0,000944
							$\Sigma 0,011746$

Tabel 4.3 Predictie erosie van gras bij de Boonweg

Er is ook een toetsing mogelijk volgens het VTV. In dat geval moet voor overslaggebieden groter dan 0,1 l/s/m volgens de gedetailleerde methode worden getoetst. Een overslagdebiet van 0,1 l/s/m hoeft aan geen enkele voorwaarde te voldoen. Voor de grotere overslaggebieden zijn de relevante parameters de rekensnelheid v_r en de belastingduur t_{sr} .

Voor overslaggebieden van 1 l/s/m en 75 l/s/m worden waarden berekend voor v_r die kleiner zijn dan 2 m/s. Uit het grasonderzoek blijkt dat de zodekwaliteit als goed moet worden gekarakteriseerd. Uit het VTV blijkt dan dat voor de optredende snelheid en bijbehorende tijdsduur in relatie tot de score "goed" voor de zodekwaliteit de uiteindelijke score "goed" is.

Erosie door het headcut erosie mechanisme is niet opgetreden en een vergelijking is daarom niet gemaakt.

4.2.2 Erosie harde verdedigingen

In Kattendijke zijn proefvakken met Elastocoast en Osa onderzocht met een overslagdebiet van 125 l/s per m. Dit betekent 1824 golven per 6 uur.



Figuur 4.9 Proef op Elastocoast, Kattendijke

Analoog kan een berekening worden gemaakt zoals voor gras in voorgaande paragraaf. Voor de kritieke waarde voor de materialen Elastocoast en Osa moet dan een andere waarde worden gekozen dan die 4,5 m/s voor gras. Die is echter niet bekend. Wel is bekend uit onderzoek in Duitsland (zie: Römisch "Strömungsstabilität vergossener Steinschüttungen", Wasserwirtschaft 90, 2000) dat aaneengekitte loskorrelige materialen, afhankelijk van de hoeveelheid mortel, stroomsnelheden tot 7 à 8 m/s kunnen weerstaan zonder schade. Hogere stroomsnelheden konden destijds in het laboratorium tijdens de experimenten niet worden gerealiseerd, dus is niet bekend waar de bovengrens ligt.

Het is nu mogelijk om met die 7 à 8 m/s een berekening uit te voeren zoals voor gras, maar dat is achterwege gelaten, want misschien moet het ook wel 10 of 12 m/s zijn. In ieder geval is waargenomen bij de proeven in Zeeland dat bij een overslagdebiet van 125 l/s per

m geen schade optreedt. De daarbij optredende, maximale stroomsnelheden zijn zeker groter geweest dan 7 m/s.

4.2.3 Erosie bij teen talud

Voor de erosie die optreedt bij de teen van het talud als gevolg van de waterstraal is nog geen predictie methode beschikbaar. Er wordt, mede op basis van de eerdere waarnemingen bij de proeven in Friesland van het zelfde schademechanisme gewerkt aan een methode maar die is nog niet klaar. Overigens zou vergelijken van berekeningen met de waargenomen kuilontwikkeling alleen zeer beperkt mogelijk zijn, want er zijn geen gegevens verzameld over de kuilontwikkeling. Alleen de uiteindelijke kuildiepte is bekend en bij welk overslagdebiet de ontwikkeling startte.

Om enig inzicht te geven in de ontwikkelingen wordt onderstaand een eerste idee gegeven over de methode die wordt gehanteerd. De methode zal algemeen toepasbaar zijn voor overgangen naar een horizontaal deel (zie Figuur 4.10)

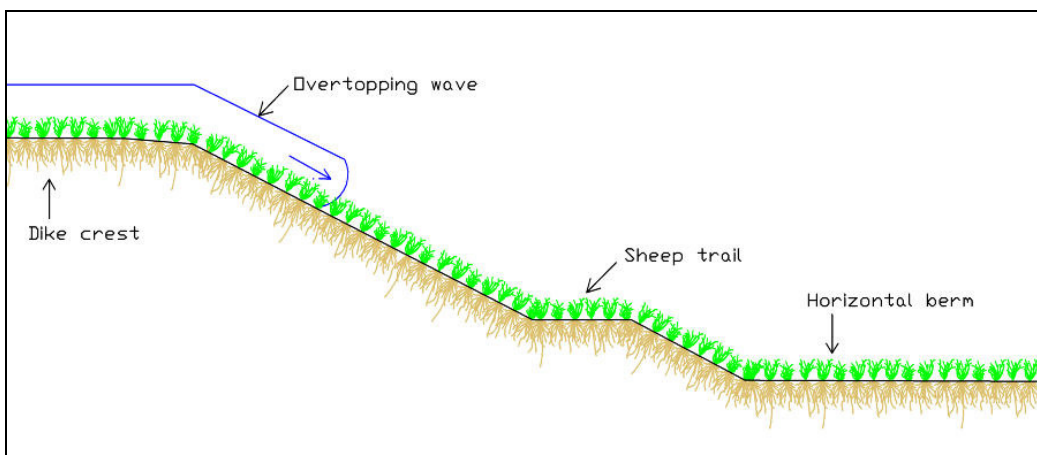
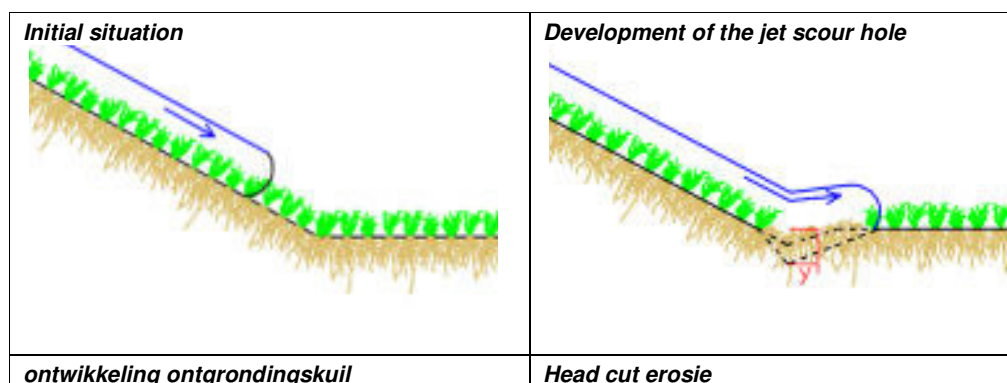
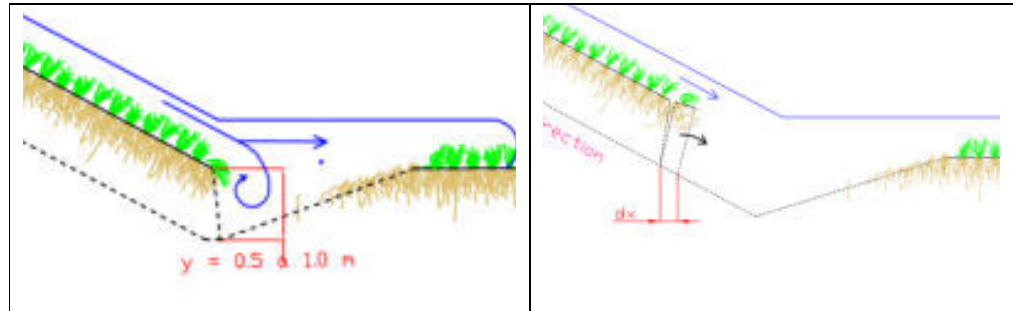


Figure 4.10 Overgangen op een talud

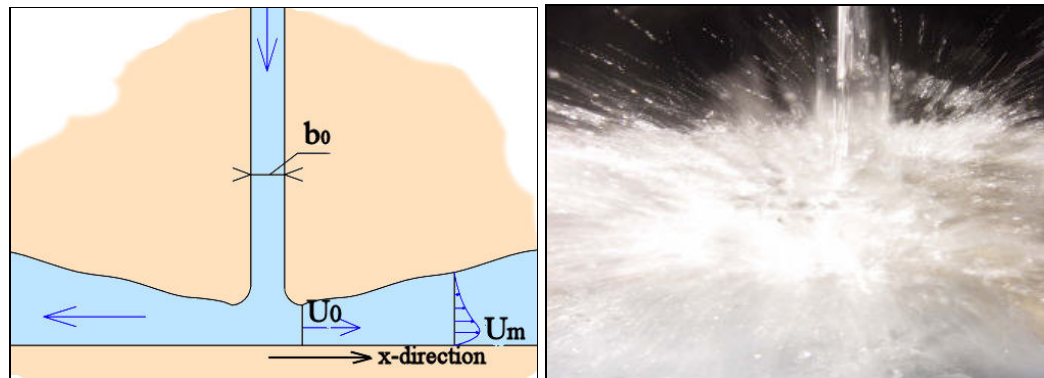
Op het talud doen zich dan achtereenvolgens een aantal fasen voor; deze zijn geschetst in Figuur 4.11.





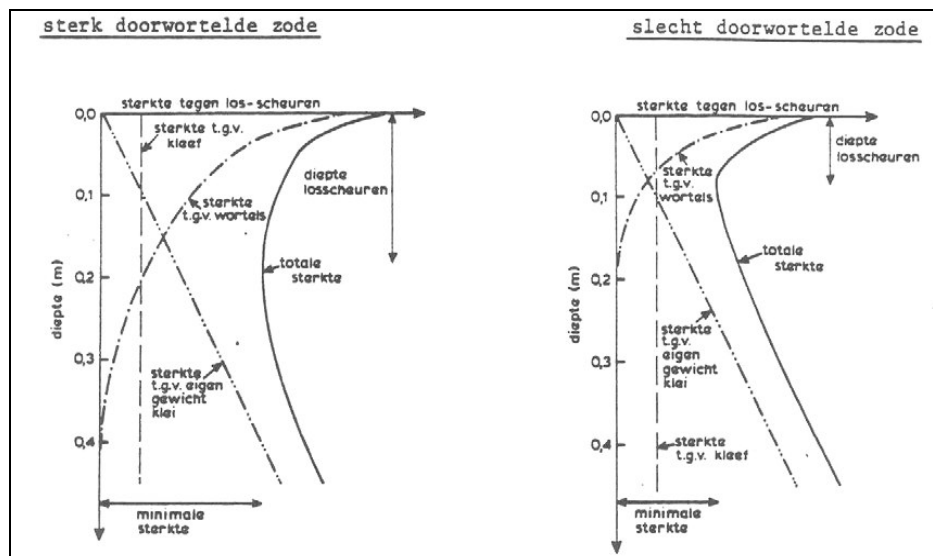
Figuur 4.11 Achtereenvolgende fases bij een waterstraal op een horizontaal deel

De predictie methode wordt ontwikkeld op basis van vgl.(4.1). In die vergelijking zitten termen voor de optredende snelheid en de kritieke snelheid. Beide termen worden aangepast aan de nieuwe situatie van een waterstraal. Dat betekent voor de optredende stroomsnelheid dat deze wordt verhoogd omdat de impact veel groter is dan op het talud. Daarbij wordt gekeken naar wandstralen zoals getoond in Figuur 4.12 Uiteraard wordt rekening gehouden met de hoek van inval want die is niet loodrecht. Ook wordt in rekening gebracht dat de ontstane ontgrondingskuil vol staat met water. Dit dempt het effect van de waterstraal.



Figuur 4.12 Radiale wand straal

De kritieke stroomsnelheid wordt ook gemodificeerd. Dat betekent in dit geval dat de sterkte afhankelijk wordt van de diepte. Tot op heden veronderstellen we dat de sterkte constant is en wel gelijk aan die aan de oppervlakte. Dat is niet het geval. Aan het oppervlak overheersen de wortels en beneden ongeveer 0,10 à 0,20 m wordt de sterkte geleverd door de klei en is de rol van de wortels uitgespeeld. De totale diepte-afhankelijke sterkte is dus de som van het aandeel klei en het aandeel van de wortels. Dat is aanschouwelijk gemaakt in Figuur 4.23 waar voor twee condities van het gras de sterkte staat uitgezet. Herkenbaar is dat er een minimum in de sterkte optreedt maar dat de waarde van dat minimum varieert evenals de ligging van dat minimum. Opgemerkt wordt dat het sterkte deel ook van belang is voor de sterkte op het talud, mits er natuurlijk wel initiële schade optreedt.



Figuur 4.13 Sterkte als functie van de diepte

Als straks het model klaar is, dan is ook een voorspelling van de erosie mogelijk op de overgangen. Uiteraard zullen toekomstige proeven zodanig moeten worden opgezet dat meer informatie beschikbaar komt over de schadeontwikkeling in de tijd bij de teen.

4.3 Conclusies

Op grond van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat uiteindelijk de resultaten conform de verwachtingen zijn geweest. Erosie is vastgesteld bij teen talud (inclusief head-cut erosie) en op het talud bij de hogere overslaggebieden (alleen St.Philipsland).

Meer in detail:

1. Het lijkt aannemelijk dat een binnentalud van klei met gras bij een overslag van 30 l/s per m of minder nooit door erosie zal bezwijken
2. Ook lijkt het dat de erosiebestendigheid van het binnentalud vooral wordt bepaald door het gras en minder door de kwaliteit klei. De variabiliteit van de graszode heeft wel invloed, maar mogelijk minder dan we hadden verwacht.
3. Overgangen talud-horizontaal zijn de belangrijkste aanleiding voor initiële en doorgaande schade. Bij de proeven is dit vaak de overgang van benedentalud naar het horizontale maaiveld (teen van de dijk) of onderhoudsweg geweest, maar onregelmatigheden zoals in St.Philipsland kunnen ook een oorzaak zijn. Schade ontstond altijd bij een overslaggebied van 30 l/s per m of meer. Als de schade helemaal beneden aan de dijk ontstaat moet er veel tijd zijn om een doorbraak te veroorzaken. Andere overgangen van talud naar horizontaal zoals in St.Philipsland, geven hetzelfde beeld.
4. Een gat in de kleilaag die de onderliggende zandkern bereikt, veroorzaakt bij een groot overslaggebied (50 l/s per m of meer) een snelle doorgaande erosie. Dit is niet geconstateerd bij kleinere overslaggebieden om de eenvoudige reden dat bij kleinere overslaggebieden nooit wezenlijke schade aan het binnentalud is opgetreden.
5. Kleine obstakels als palen hebben geen erosie laten zien. Dit geldt ook voor mollengaten en initiële schade door een mestinjecteur.
6. Berekeningen van de erosie op het talud geven geen tot nauwelijks schade n dat komt dus overeen met de waarnemingen voor vlakke taluds. Voor overgangen is geen vergelijking gemaakt vanwege het ontbreken van een methode. Deze is momenteel nog in ontwikkeling.

5 Evaluatie infiltratie

5.1 Grondonderzoek

Voorafgaand aan de golfoverslagproeven is grondonderzoek uitgevoerd (Golfoverslagproeven Zeeland, Grondonderzoek en monitoring, 432850.0008, Deltares, juni 2008).

Uitgangspunt bij het bepalen van het benodigde onderzoek was de minimale insteek van Projectbureau Zeeweringen. De omvang van het grondonderzoek is daarom veel kleiner dan voor andere SBW proeven. De gedachte hierbij was dat aanvullend onderzoek, zeker als er later nog een afschuifproef wordt uitgevoerd op deze locaties, indien nodig na afloop van de proef nog kan worden uitgevoerd. Dit is nog niet gebeurd.

Het grondonderzoek heeft voor elk van de locaties bestaan uit:

- 1 sondering in de kruin en 1 in de teen van de dijk
- 6 handboringen tot maaiveld -2 m verspreid over het talud van teen tot kruin met beschrijving in het veld
- 4 kleikeuringen van de kleibekleding, bestaande uit bepaling Atterbergse grenzen, kalk- en humus gehalte, korrelverdeling (voor zand- en lutumgehalte).

Samengevat heeft het onderzoek geleid tot de volgende conclusies voor de locatie **St. Philipsland**:

- Zanddijk met kleibekleding. De dijk ligt op een kleilaag (vanaf circa NAP +1,5 m)
- Kleibekleding heeft een dikte van 1 m op de kruin en 0,6 m op het binnentalud
- De plasticiteitsindex van de bekledingsklei is circa 10%
- De bekledingsklei valt in de erosiebestendigheidscategorie 3 (weinig erosiebestendig)
- Het zandgehalte in de bekledingsklei is circa 50% en het lutum gehalte circa 14%.

Samengevat heeft het onderzoek geleid tot de volgende conclusies voor de locatie **Kattendijke**:

- Zanddijk met kleibekleding. De dijk ligt op een kleilaag (vanaf circa NAP +2 m). Onder deze kleilaag, dieper dan circa NAP -1,5 m, ligt een dik zandpakket
- Kleibekleding heeft een dikte van circa 0,5 m op het binnentalud
- Vanaf de kruin binnenwaarts is klei aanwezig met een niveau tot NAP +3,6 m. Deze klei wordt doorsneden door zand. In één van de handboringen in het talud werd tot 2 m onder maaiveld alleen klei gevonden
- De plasticiteitsindex van de bekledingsklei is circa 10%
- De bekledingsklei valt in de erosiebestendigheidscategorie 3 (weinig erosiebestendig)
- Het zandgehalte in de bekledingsklei is circa 52% en het lutum gehalte circa 14%.

5.2 Monitoring waterspanningen

Op elk van de locaties is één van de teststroken voorzien van:

- 2 PR waterspanningsmeters
- 6 tensiometers
- 3 thetaprobes

De metingen zijn uitgewerkt en opgenomen in het factual report 'Golfoverslagproeven Zeeland, Grondonderzoek en monitoring, 432850.0008, Deltares, juni 2008.

De 6 tensiometers zijn geplaatst in twee raaien van 3 op circa 1/3 en 2/3 van de hoogte van het talud. De 3 tensiometers in een raai zijn op 3 dieptes onder het maaiveld geplaatst, van circa -0.3 m tot maximaal 1.0 m. Met de tensiometers is de ontwikkeling van de waterspanningen in de kleibekleding en net onder de bekleding in de zandkern gemeten.

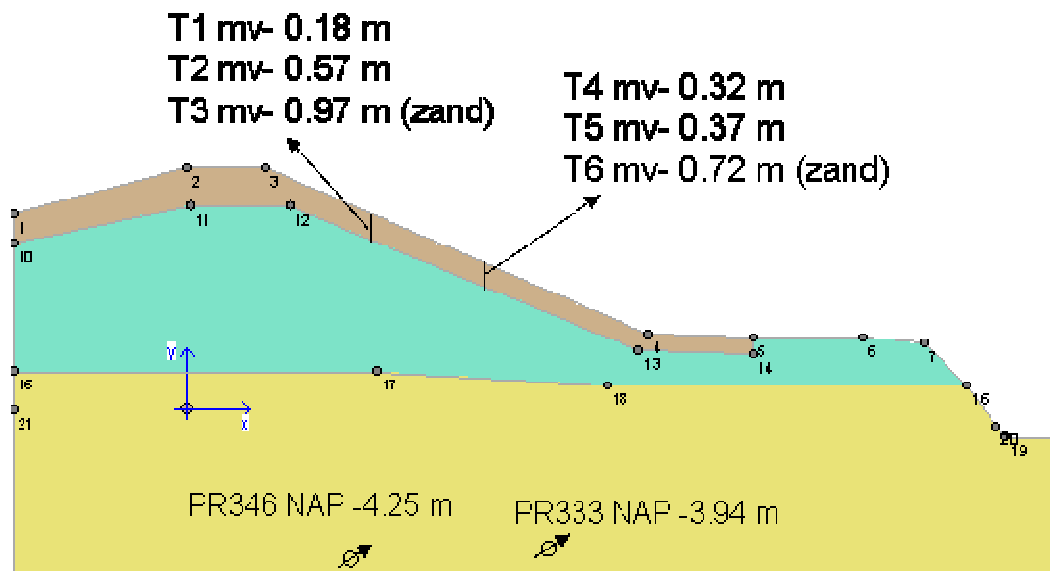
Bij een aantal tensiometers is een thetaprobe geplaatst om het vochtgehalte te meten. Dit is gedaan om te bepalen of de tensiometers een luchtdruk of een waterdruk meten.

De PR meters stonden met het filter in het zand, onder de dagelijkse ligging freatisch vlak. Het doel hiervan was om een eventuele stijging van het freatisch vlak als gevolg van de overslagproeven te meten. Vanwege de eis dat deze meters continu nat moeten staan is uitgegaan van een lage verwachte dagelijkse ligging van het freatisch vlak en daarmee zijn de opnemers flink diep geplaatst.

5.2.1 Waterspanningsmetingen St. Philipsland

De schematisatie van het dwarsprofiel en de grondopbouw met daarin aangegeven de locaties van de waterspanningsmeters staan in onderstaande figuur.

De taludhelling is ongeveer gelijk aan 1:2,3.



Figuur 5.1 Schematisatie dwarsprofiel en grondslag St. Philipsland met plaatsen waterspanningsmeters

In de boorgaten van T1, T2 en T3 zijn thetaprobes aangebracht voor de meting van het watergehalte.

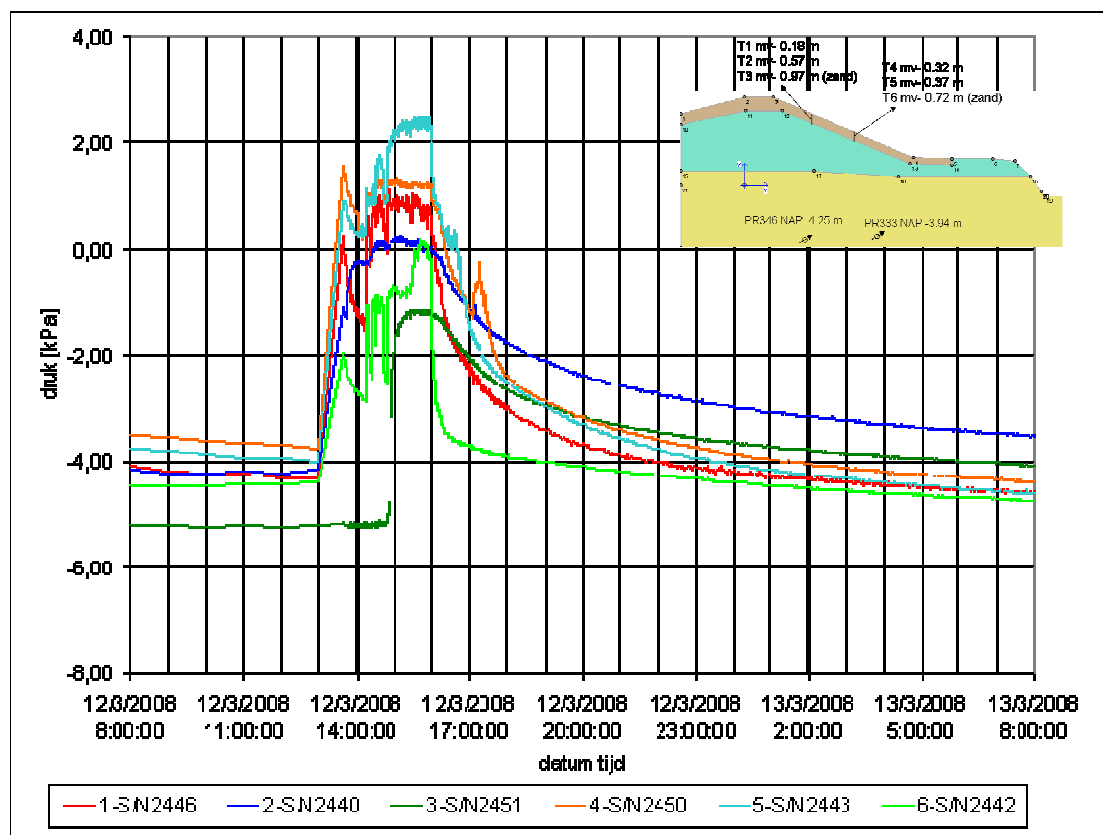
De tensiometers meten een druk in kPa. Deze kan worden omgerekend naar een drukhoogte door deling door $\rho \cdot g$ wat ongeveer gelijk is aan $10.000 \text{ (kgs}^{-2}\text{m}^{-2}\text{)}$. De waarde in kPa gedeeld door 10 geeft bij benadering de drukhoogte in meters.

Bij een grondwaterstroming evenwijdig aan het talud, wat een uitgangspunt is bij het stabiliteitscriterium van Edelman – Joustra, lopen de lijnen van gelijke stijghoogte loodrecht op het talud. De bij deze stroming berekende waterdrukken voor T1 tot en met T6 staat in de onderstaande tabel.

Tensiometer	Locatie	Druk bij parallelle stroming (kPa)
T1	bovenaan talud mv -0.18 m	1,49
T2	bovenaan talud mv -0.57 m	4,70
T3	bovenaan talud mv -0.97 m	8,00
T4	onderaan talud mv -0.32 m	2,64
T5	onderaan talud mv -0.37 m	3,05
T6	onderaan talud mv -0.72 m	5,94

Tabel 5.1 St. Philipsland: berekende drukhoogte bij parallelle stroming

Op 12 maart 2008 zijn de proeven van 0.1 l/s per m en 1 l/s per m uitgevoerd, waarbij de eerste proef 100x versneld is uitgevoerd en de tweede 10x. Bij de gesimuleerde stormduur van 6 uur duurde de simulatie van 0.1 l/s per m 3.6 min (9 overslagvolumes) en die van 1 l/s per m 36 min (126 overslagvolumes). Bij de 0.1 l/s per m proef is er gemiddeld 1 overslagvolume per 24 s geweest, bij de 1 l/s per m proef was dit gemiddeld 1 overslagvolume per 17 s. Het resultaat van de drukmetingen in de taludbekleding staat in onderstaande grafiek.



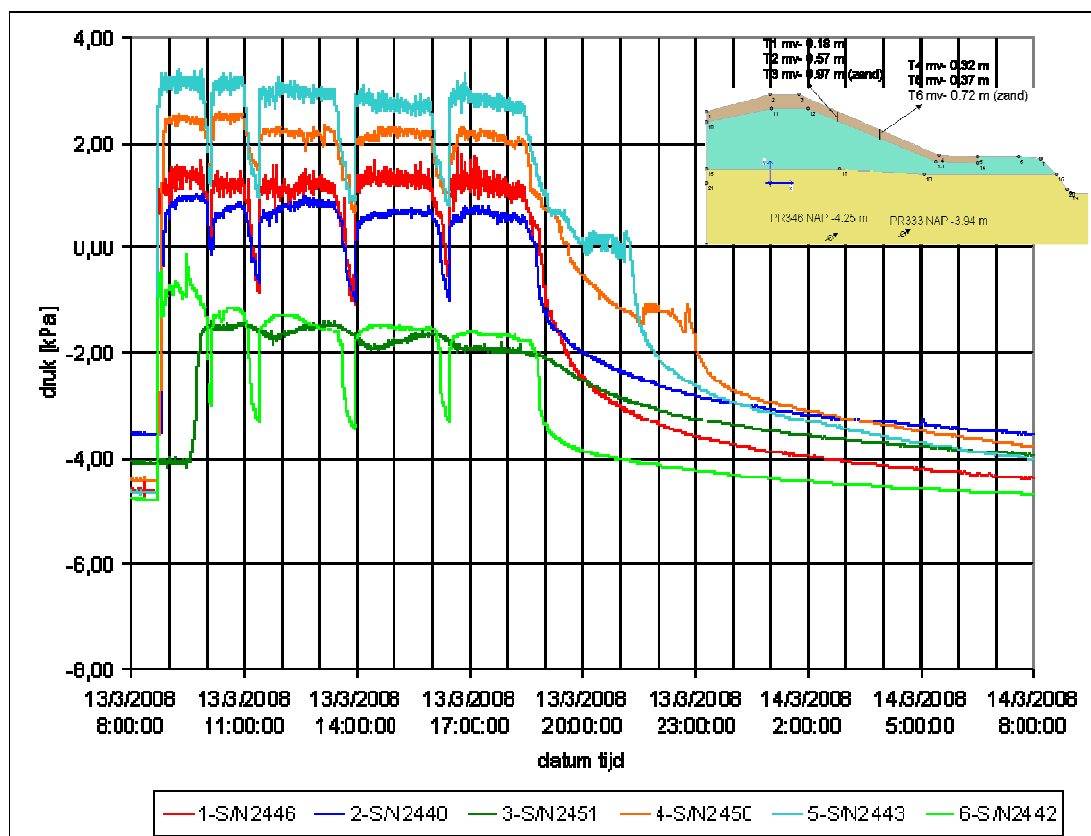
Figuur 5.2 St. Philipsland tensiometers 0.1 en 1 l/s per m proef

De proeven zijn duidelijk herkenbaar als stijgingen van de waterdruk startend rond 13:00 en eindigend rond 16:00. Voorafgaand en na afloop van de proeven is een zuigspanning aanwezig tussen de 3 en 5 kPa.

De diepste meters T3 en T6 geven een stijging van circa 4 kPa (0.4 m drukhoogte), maar blijven nagenoeg de hele tijd een zuigspanning aangeven, wat duidt op een onvolledige verzadiging. De hoger gelegen tensiometers komen boven de nuldruk, maar blijven gedurende de proeven aanzienlijk beneden de berekende spanning die overeenkomt met parallelle grondwaterstroming. Omdat de proeven versneld zijn uitgevoerd wordt bij 0.1 en 1 l/s per m gedurende 6 uur geen parallelle stroming verwacht, waarmee niet wordt voldaan aan de voorwaarde van het Edelman – Joustra stabiliteitscriterium.

Opvallend is de verlate reactie van T3. Deze tensiometer reageert laat, maar dan wel snel. Hiervoor is geen verklaring gevonden. Ook voor de stijging van T4 na afloop van de proeven is geen verklaring gevonden.

De volgende dag zijn voor aanvang van de proef de zuigspanningen tussen 3-5 kPa weer aanwezig. Het effect van de vorige proeven is nog maar zeer gering. Er wordt een 3x 2 uur simulatie van 10 l/s per m uitgevoerd en de eerste 2 uur van 30 l/s per m. De eerste 3x 2 uur wordt gemiddeld elke 25 s een overslagvolume gelost. De laatste 2 uur is dit gemiddeld elke 13 s. De resultaten van de metingen staan in onderstaande grafiek.



Figuur 5.3 St. Philipsland tensiometers 3x 2 uur 10 l/s per m en 1x 2uur 30 l/s per m

De aanvang, het slot en rustperiodes tijdens de proeven zijn duidelijk te herkennen. Opmerkelijk in deze context zijn de reacties van T4 en T5 om 20:00 en 21:30, wanneer deze opnemers gedurende ruim 1 uur niet de afnemende trend volgen. Voor T4 was dit ook de vorige dag het geval. De oorzaak hiervan is onbekend.

Tussen de proeven 10 l/s per m en 30 l/s per m is geen significant verschil in respons te zien.

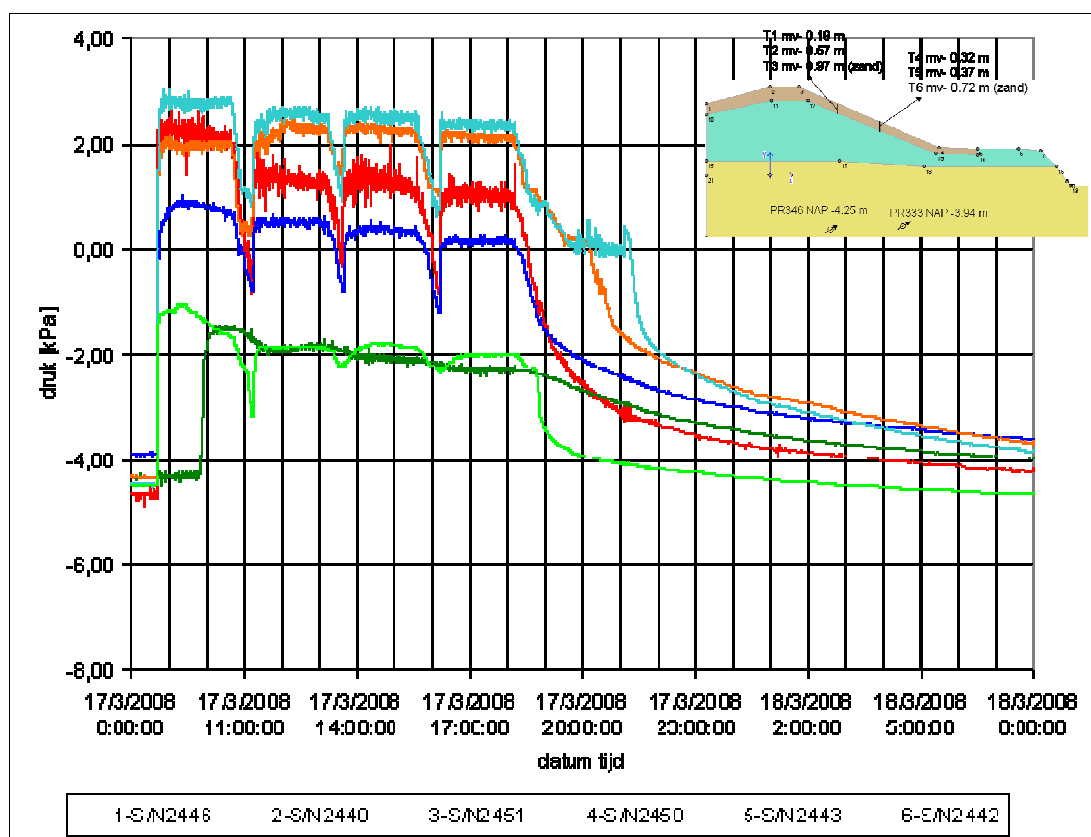
De diepe opnemers in de zandkern, net onder de kleibekleding, geven gedurende de hele dag een zuigspanning, duidend op onvolledige verzadiging (T3 en T6). Voor een situatie met parallelle stroming zouden deze opnemers respectievelijk 8.00 en 5.95 kPa moeten aangeven. T3 reageert net als de voorgaande dag laat. Hiervoor is geen verklaring.

De minst diepe opnemers T1 en T4 geven een waterspanning die ongeveer overeenkomt met de waterspanning bij parallelle stroming, namelijk 1.5 en 2.6 kPa. De metingen liggen hier net iets onder, wat duidt op een stroming die nog enigszins het talud in is gericht.

De middelste opnemers T2 en T5 geven elk een ander beeld. Opnemer T2 geeft een waterdruk die beduidend lager is dan de 4.7 kPa die wordt verwacht bij parallelle stroming. Opnemer T5 geeft een druk die in de buurt ligt van 3.05 kPa die nodig is voor een parallelle stroming. Hierbij wordt opgemerkt dat T5 nauwelijks dieper ligt dan T4 die hetzelfde beeld geeft.

Geconstateerd wordt dat de 10 en 30 l/s per m proeven ongeveer een gelijke respons geven. Alleen de in de bovenste 0.3 - 0.5 m van de kleibekleding wordt (bijna) voldaan aan de voorwaarde van het Edelman – Joustra stabiliteitscriterium: parallelle grondwaterstroming.

Na het weekend wordt bij nagenoeg dezelfde zuigspanningen als initieel de proef van 30 l/s per m voortgezet en afgerond (2x 2 uur 30 l/s per m). Er wordt een start gemaakt met 2x 50 l/s per m. Bij 30 l/s per m wordt gemiddeld elke 13 s een overslagvolume losgelaten. Bij 50 l/s per m is dit gemiddeld elke 10 s.



Figuur 5.4 St. Philipsland tensiometers 2x 2 uur 30 l/s per m en 2x 2uur 50 l/s per m

De aanvang (ca. 08:40), het slot (ca. 18:10) en rustperiodes tijdens de proeven zijn duidelijk te herkennen. Opmerkelijk in deze context zijn wederom de reacties van T4 en vooral T5 om 19:30, wanneer deze opnemers niet de afnemende trend volgen. De oorzaak hiervan is onbekend.

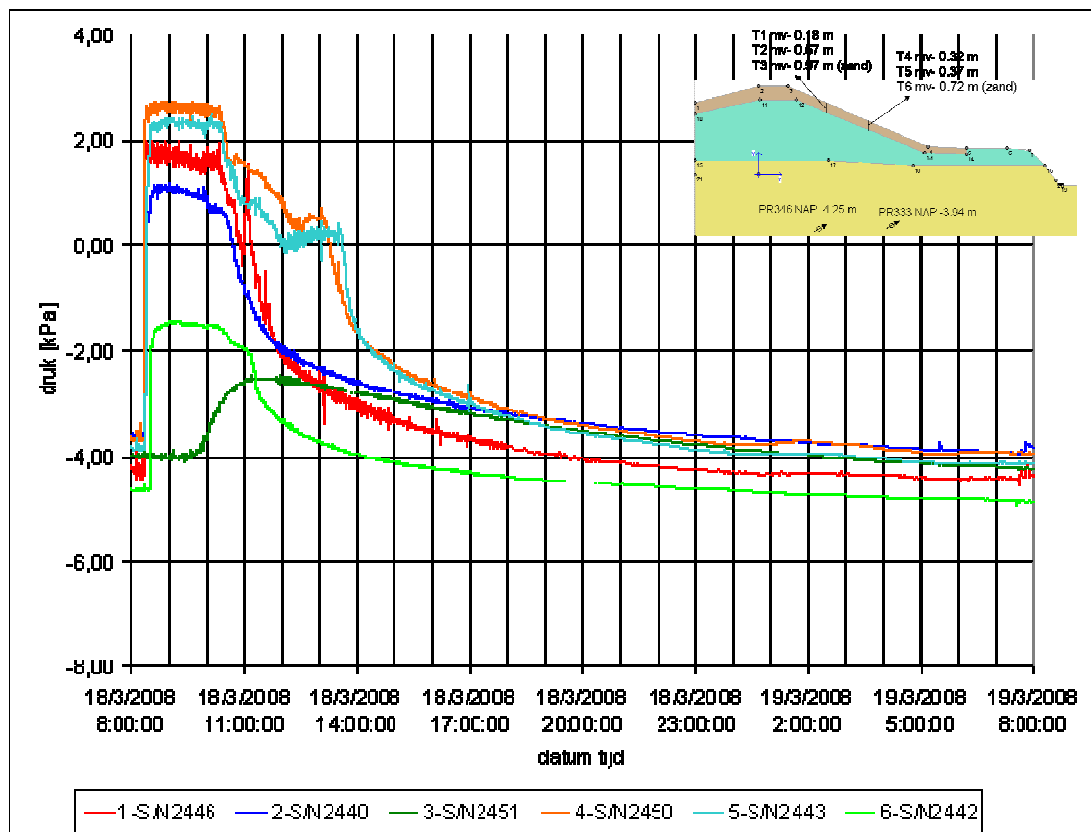
Met uitzondering van T4 (ondiep, onderaan het talud), vertonen alle opnemers een neerwaartse trend gedurende de proefdag, ondanks de hogere overslagintensiteit in de laatste sessie van 2 uur. De oorzaak hiervan is onbekend. Uit de predictieberekeningen voor Fase 2B Boonweg zou juist een opgaande trend worden verwacht.

De diepste opnemers blijven wederom een, zelfs toenemende, zuigspanning aangeven. De zandkern onder de kleibekleding op deze taludhoogtes is nog niet volledig verzadigd.

De ondiepe opnemer T1 bovenaan het talud geeft de hoge waarde van 2 kPa, bij een waarde van 1.5 kPa die duidt op parallelle stroming. De 2 kPa is zelfs iets hoger dan wordt verwacht bij een horizontaal uitredende stroming, wat denkbaar is voor een punt onderaan het talud, maar ongewoon voor een punt zo hoog op het talud. Bij de volgende 3 sessies daalt de druk echter weer tot die behorend bij parallelle stroming. De ondiepe opnemer onderaan het talud T4 geeft een waarde van gelijke orde als de eerste sessies van 10 l/s per m, namelijk iets onder de waarde die wordt berekend bij parallelle stroming van 2.6 kPa.

De middelste opnemers T5 maar vooral T2 geven een druk die ver beneden de berekende waarde voor parallelle stroming ligt, wat duidt op een neerwaarts gerichte stromingsrichting. Het is opmerkelijk dat dit meer het geval is dan gedurende de vorige dag toen de overslagintensiteit gemiddeld lager lag. De oorzaak hiervan is onverwacht en onbekend.

Op 18 maart wordt de laatste sessie van 2 uur 50 l/s per m uitgevoerd. Aan het einde van de sessie wordt de proef gestaakt in verband met schade aan het talud. De resultaten van de metingen staan in onderstaande grafiek.



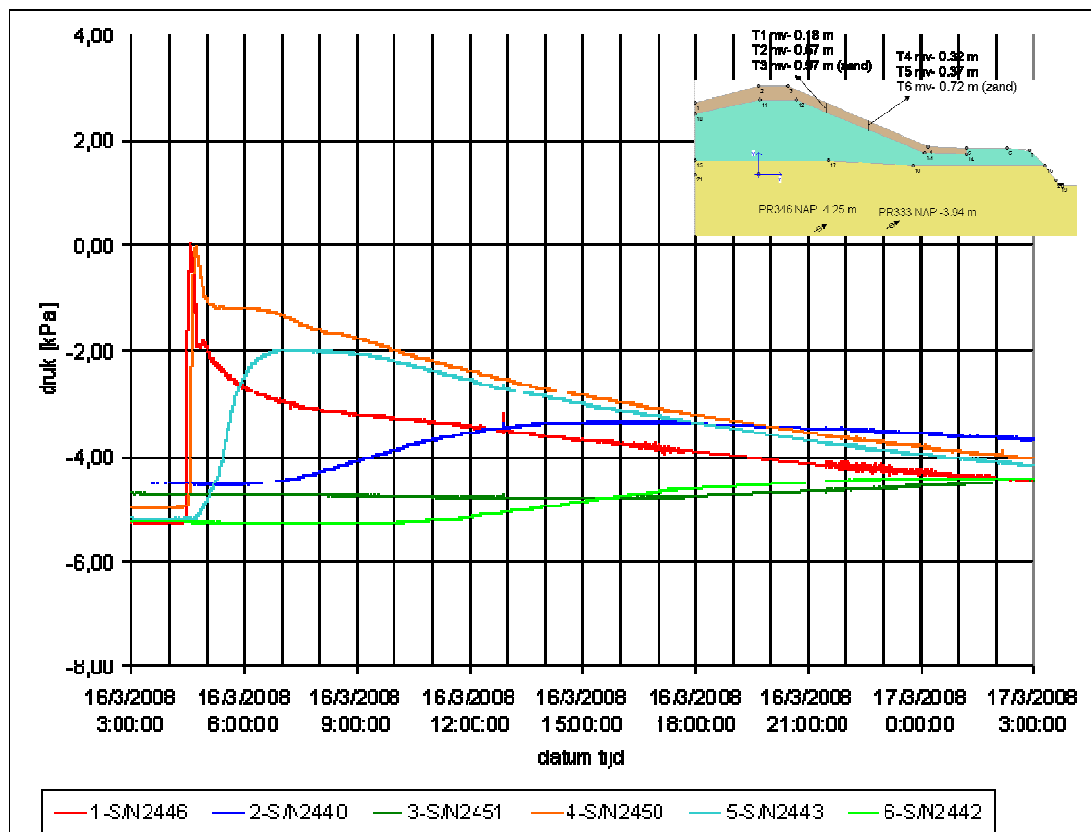
Figuur 5.5 St. Philipsland tensiometers 1x 2uur 50 l/s per m

De aanvang (ca. 08:30), het slot (ca. 10:25) zijn duidelijk te herkennen. Aan het begin en einde van de dag zijn de zuigspanningen in de orde van 3-5 kPa weer aanwezig.

Opnieuw geven de opnemers T4 en T5 een afwijkende afname van de druk na afloop van de proef. Rond 12:00 lijkt iets de waterspanningen onderaan het talud weer te doen toenemen. De oorzaak hiervan is onbekend.

De diepste opnemers komen niet boven de nuldruk uit, duidend op onvolledige verzadiging. Verder blijven alle opnemers ruim onder de berekende druk bij parallelle stroming.

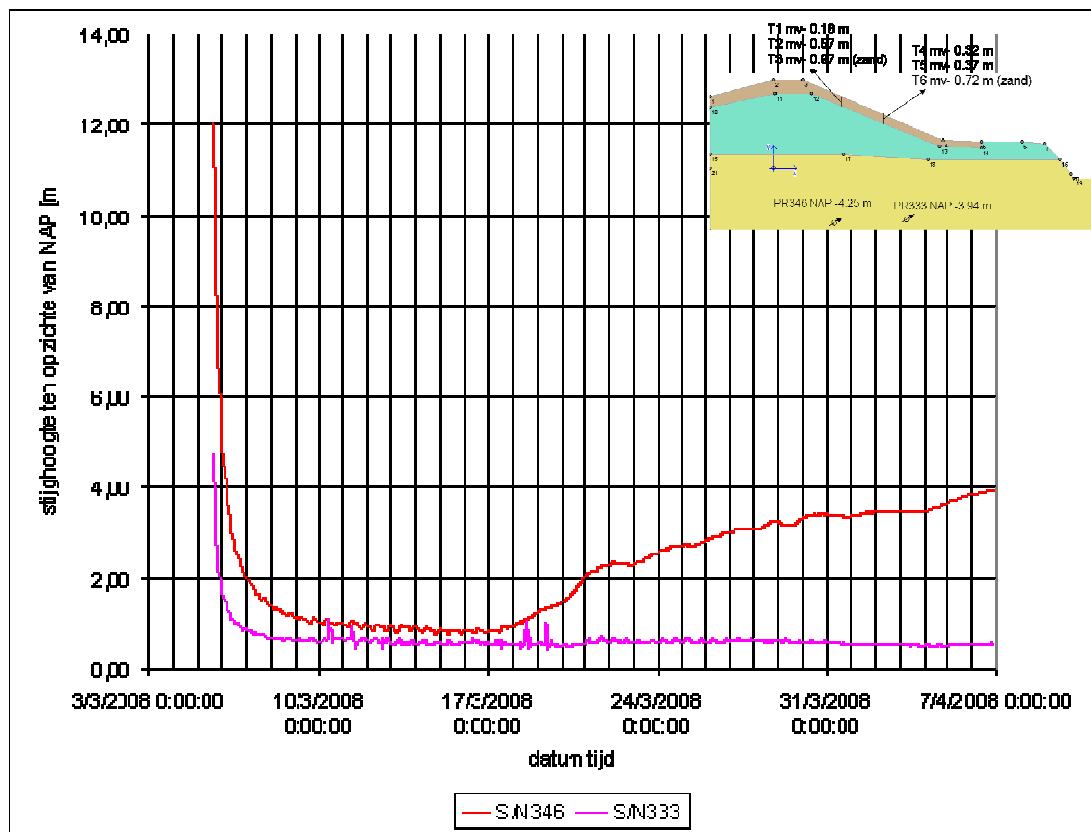
In de nacht van zaterdag 15 maart op zondag 16 maart (ca. 04:30) treedt een gebeurtenis op die effect heeft op alle opnemers. De ondiepe opnemers reageren snel als eerste, de dieper geplaatste opnemers reageren later. Bij KNMI is geïnformeerd naar extreme neerslagomstandigheden, maar dit heeft niets opgeleverd. De oorzaak van deze ongewone meting is onbekend (ze onderstaande grafiek).



Figuur 5.6 St. Philipsland tensiometers zondag 16 maart gebeurtenis 04:30

De waterdruk tijdens de gebeurtenis blijven negatief (zuigspanningen). De meting is waarschijnlijk vergelijkbaar met 1 of 2 hoeveelheden water die over het talud stromen. Zowel de raai bovenaan als onderaan het talud reageren.

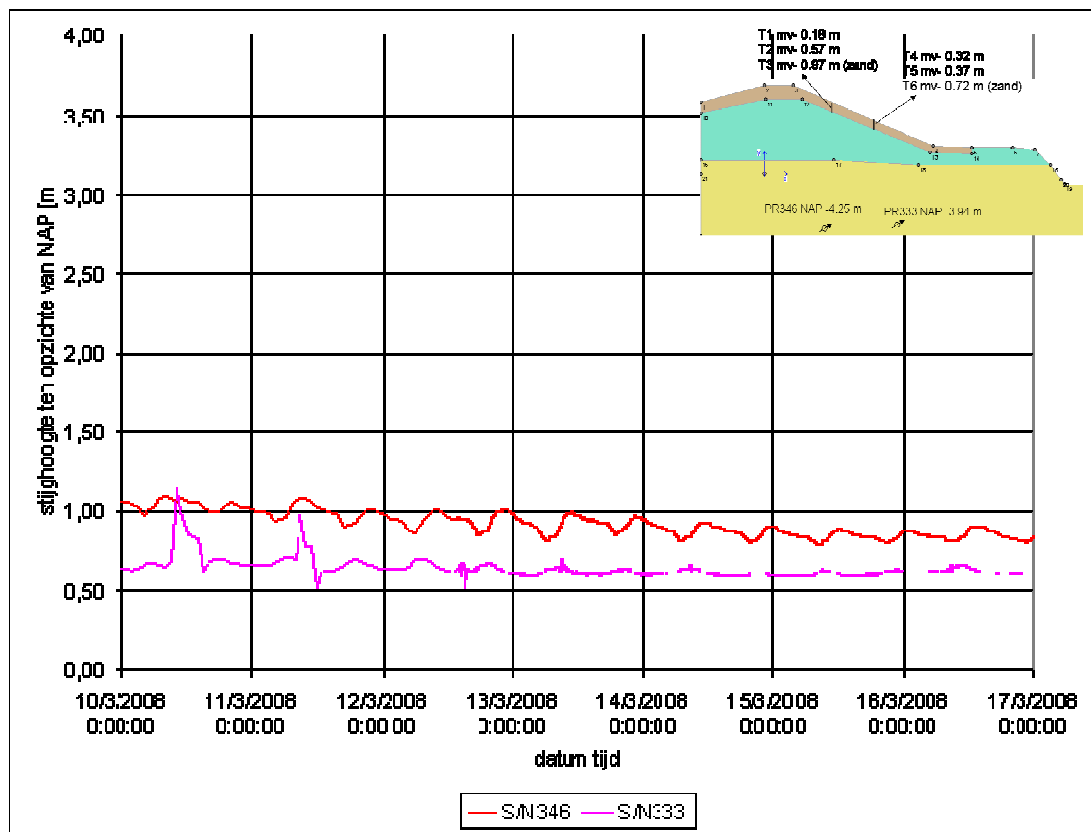
Vanwege de eis dat PR opnemers onder water moeten blijven om hun metingen te kunnen uitvoeren, zijn de 2 PR instrumenten achteraf gezien dieper geplaatst dan goed is voor het doel waarvoor ze geplaatst zijn. Achteraf zou het beter zijn geweest om tensiometers te plaatsen (die wel 'droog' mogen vallen) op een hoger niveau in het dwarsprofiel. De metingen van de PR meters staan in onderstaande grafieken.



Figuur 5.7 St. Philipsland PR-meters – hele meetperiode

De grafiek toont de meting gedurende de hele proevenserie. De golfoverslagproeven zijn niet zichtbaar in het meetsignaal.

De aanvankelijke grote daling van de druk, 5 maart, is het inspelen van de meter. Daarna is een zeer zwakke respons op het getij zichtbaar (zie ook onderstaande grafiek). Vanaf 18 maart loopt PR346 op naar een ongeloofwaardige druk van enkele decimeters drukhoogte onder het maaiveld. Er is weinig vertrouwen in deze meting. Er is achteraf gezocht naar een mogelijke oorzaak, zoals mogelijke luchtinsluitingen, maar deze is helaas niet gevonden.



Figuur 5.8 St. Philipsland PR-meters

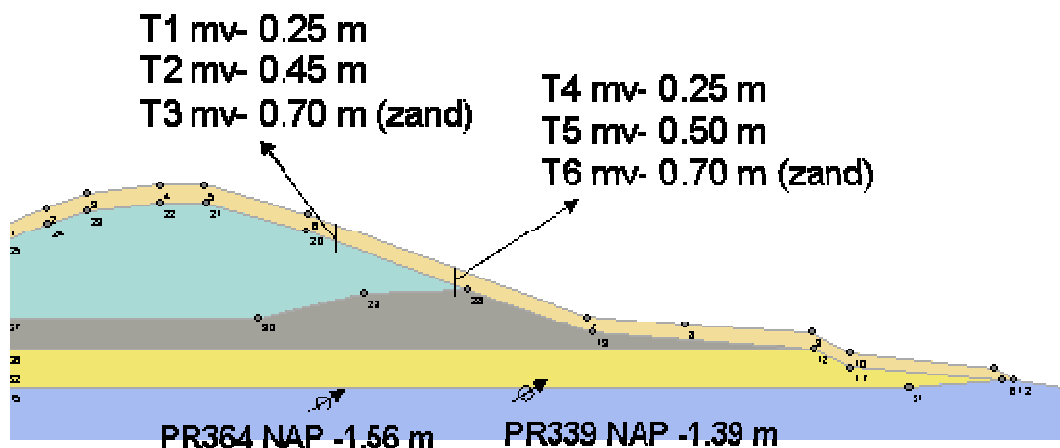
Beide opnemers geven gedurende enige tijd een zeer zwakke respons op het getij. Dit is alleen mogelijk indien de indringing van het getij plaatsvindt via een watervoerende laag die met een veel minder doorlatende laag is afgesloten. Hierbij is geen berging van freatisch water nodig, maar alleen berging via consolidatie. Waarschijnlijk staan de PR opnemers precies in de minder doorlatende laag, op een watervoerende laag die in contact staat met het buitenwater.

5.2.2 Waterspanningsmetingen Kattendijke

De schematisatie van het dwarsprofiel en de grondopbouw met daarin aangegeven de locaties van de waterspanningsmeters staan in onderstaande figuur. De taludhelling is ongeveer gelijk aan 1:2.9.

De schematisatie van de grondopbouw is gebaseerd op de uitgevoerde handboringen in het talud en de sonderingen in de kruin en op de berm. Op basis van de handboringen is ter plaatse van de teen een bult van kleiig materiaal geschematiseerd. Dit is echter een interpretatie op basis van gebrekkige informatie. Bij het ontstaan van schade aan de teen is de kleilaag niet in de verwachte omvang aangetroffen.

Bij het ontstaan van schade is tevens een drainage bloot komen te liggen in de teen van de dijk. Deze drainage kan op een effectieve manier het freatisch vlak in de zandkern laag houden. Op de waterspanningen in de kleilaag heeft deze drainage naar verwachting weinig invloed.



Figuur 5.9 Schematisatie dwarsprofiel en grondslag Kattendijke met plaatsen waterspanningsmeters

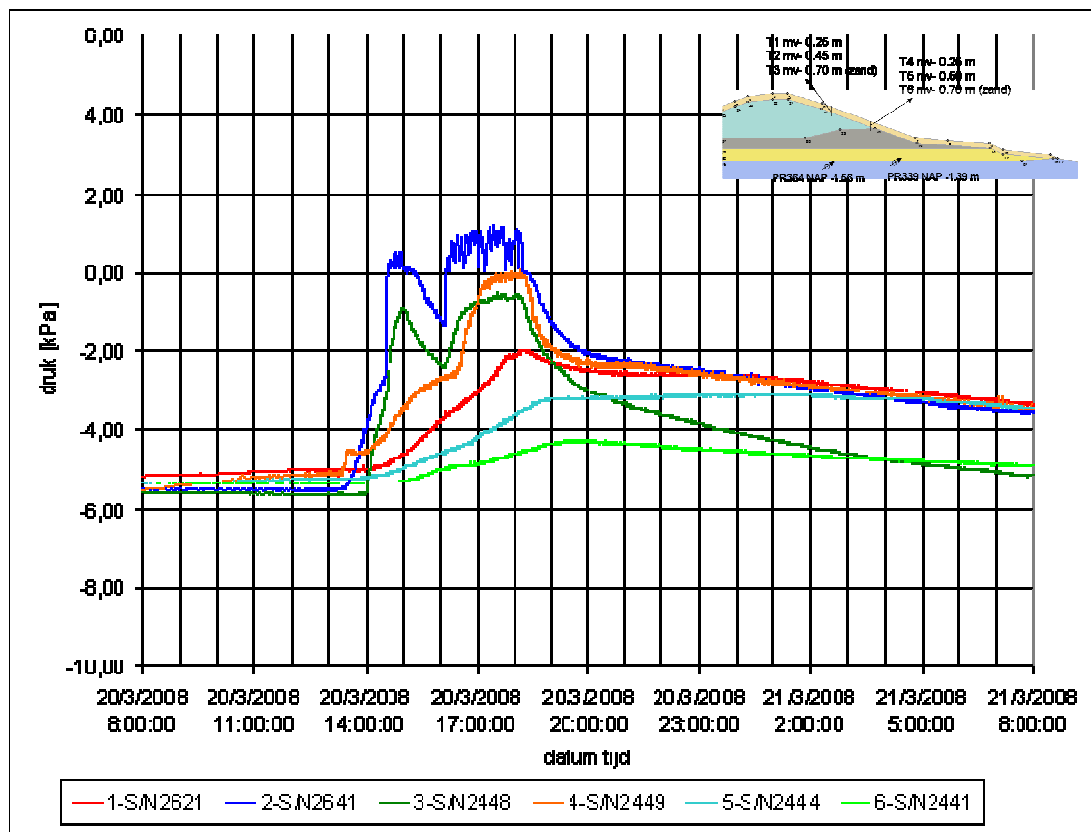
In de boorgaten van T1, T2 en T3 zijn thetaprobes aangebracht voor de meting van het vochtgehalte.

Bij een grondwaterstroming evenwijdig aan het talud, wat een uitgangspunt is bij het stabiliteitscriterium van Edelman – Joustra, lopen de lijnen van gelijke stijghoogte loodrecht op het talud. De bij deze stroming berekende waterdrukken voor T1 tot en met T6 staat in de onderstaande tabel.

Tensiometer	Locatie	Druk bij parallelle stroming (kPa)
T1	bovenaan talud mv -0.25 m	2,19
T2	bovenaan talud mv -0.45 m	3,95
T3	bovenaan talud mv -0.70 m	6,15
T4	onderaan talud mv -0.25 m	2,19
T5	onderaan talud mv -0.50 m	4,39
T6	onderaan talud mv -0.70 m	6,15

Tabel 5.2 St. Philipsland: berekende drukhoogte bij parallelle stroming

Op 20 maart zijn de proeven gestart. De eerste dag zijn de proeven 0.1 (100x versneld), 1 (10x versneld) en 2 uur 1 l/s per m gesimuleerd.

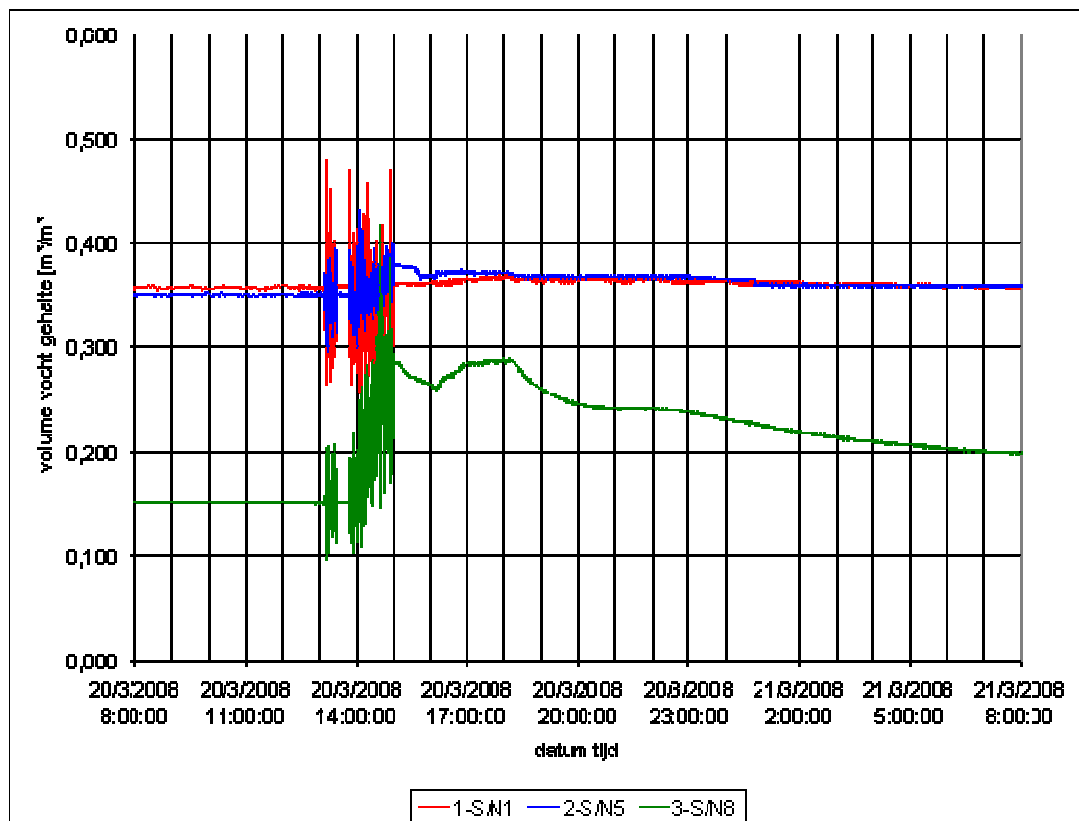


Figuur 5.10 Kattendijke tensiometers 0.1 l/s per m, 1 l/s per m en 1x 2uur 10 l/s per m

De initiële druk is iets meer dan 5 kPa zuigspanning. Gedurende de hele serie proeven geeft alleen opnemer T2 (bovenaan talud in de kleibekleding) een drukspanning. Dit betekent dat de bekleding grotendeels nog niet is verzadigd en dat de grondwaterstroming het talud in is gericht. Een dergelijk waterspanningsverloop is nog relatief gunstig ten aanzien van de stabiliteit van de bekledingslaag.

Ten opzichte van eerdere proeven op andere locaties reageren met uitzondering van T2 de opnemers zeer traag. Opnemers T1 en T4 op 0.25 m onder het taludoppervlak komen niet tot een drukspanning, wat voor een 10 l/s per m proef ongewoon is. De opnemers lijken zich in een kleilaag te bevinden waarin weinig bodemstructuur aanwezig waardoor de doorlatendheid slecht is.

De thetprobes bij de opnemers T1, T2 en T3 geven een vochtgehalte (volume water / volume grond) dat zeer sterk fluctueert tijdens de proefneming, ze lijken per golfvolume te reageren.

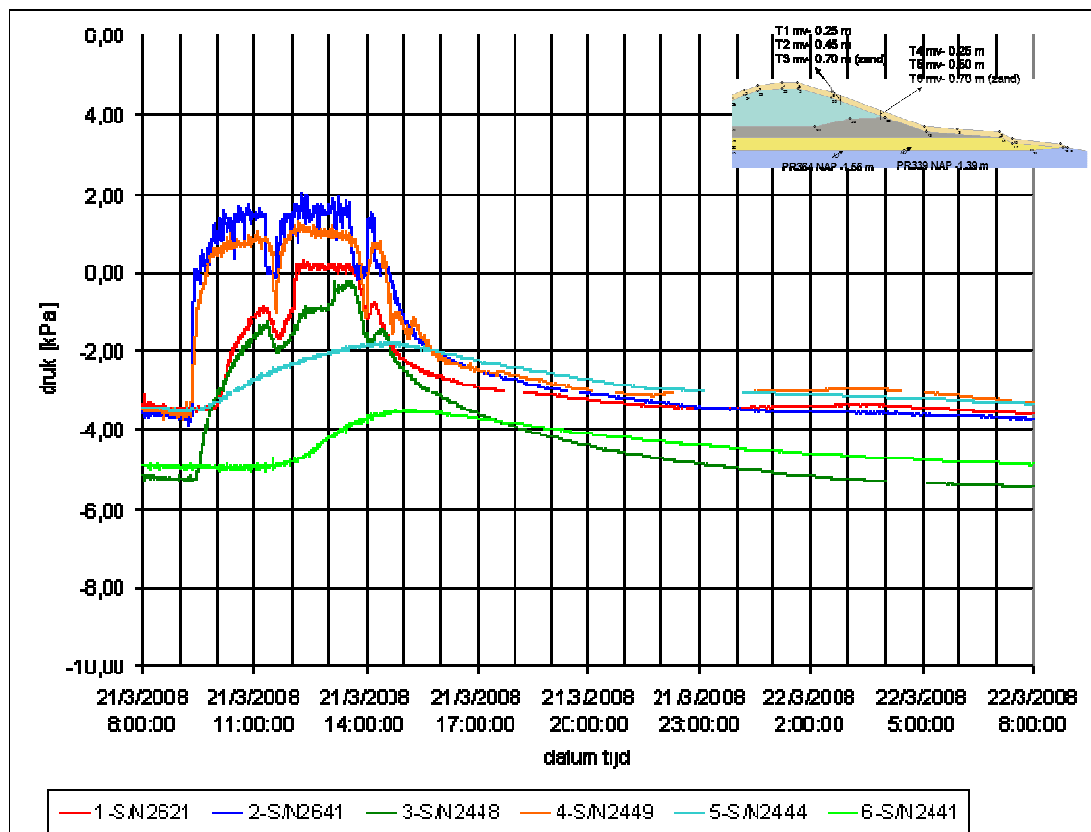


Figuur 5.11 Kattendijkse thetaprobes

De probes 1 en 2 (bij T1 en T2) geven naast de sterke fluctuaties geen trend. Voor en na de proef is het watergehalte gelijk. Probe 3 (bij T3) geeft tijdens de 10 l/s per m proef, naast de sterke fluctuatie, een stijging van het watergehalte van circa 0.15 naar 0.28. Hierna neemt het watergehalte weer af naar 0.2 voor het begin van de volgende proef.

De snelle fluctuaties zijn vermoedelijk te wijten aan problemen met de metingen. Tijdens de 10 l/s per m proef zijn de snelle fluctuaties verdwenen. Ook in verdere proeven worden ze niet meer waargenomen. Een van de PR meters die diep in de ondergrond staan geeft op exact hetzelfde tijdstip snelle fluctuaties, wat zou kunnen betekenen dat het aan de logger ligt. Een verklaring is niet gevonden.

Op 21 september zijn de twee resterende 2 uren sessies van de 10 l/s per m proef uitgevoerd. De metingen staan in de onderstaande grafiek.



Figuur 5.12 Kattendijke tensiometers 2x 2uur 10 l/s per m

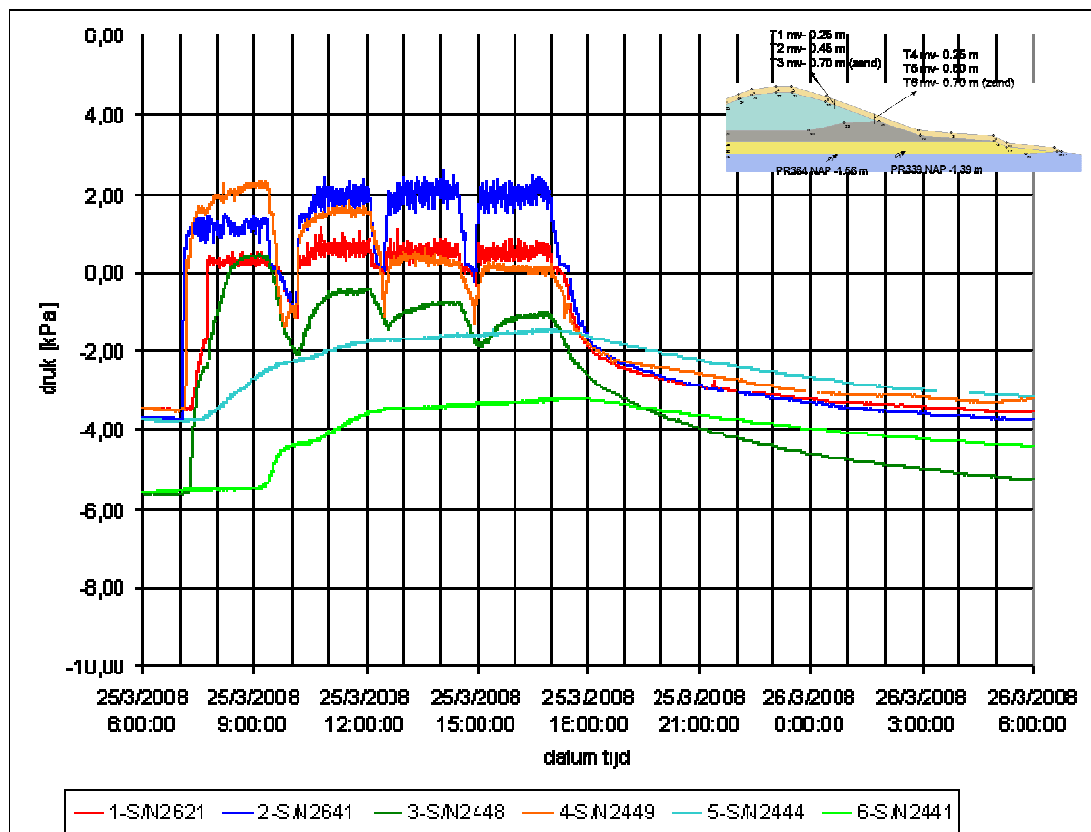
Na de vorige proefdag zijn de spanningen weer teruggelopen tot een zuigspanning van 3-5 kPa. De zuigspanningen in de bekledingslaag (T1, T2 en T4, T5) zijn bij aanvang van de proef wel iets afgenomen van gemiddeld 5 kPa naar 3.5 kPa.

De opnemers onderaan het talud T5 (in de kleibekleding) en T6 (net onder de kleibekleding in het zand) geven ongeveer dezelfde respons als op 20 maart. De waterspanning loopt relatief langzaam op, maar blijft negatief. De waterspanningen blijven stijgen tot het einde van de proef. Na 4 uur wordt op deze relatief geringe diepte onder het taludoppervlak geen stationaire situatie bereikt. De verzadiging blijft onder de 100%.

De thetaprobe 3 (bij T3) geeft een stijging van het watergehalte van 0.2 naar 0.33 wat bijna gelijk zal zijn aan de volledige vulling van de poriën, maar niet helemaal. Dit komt overeen met het beeld van T3 die aan het einde van de proef bijna geen zuigspanningen meer aangeeft. De snelle fluctuaties van de thetaprobes die wel op 20 maart zijn waargenomen zijn nu niet waargenomen.

De meest ondiepe opnemers T1 en T4 bereiken beiden een drukspanning. De reactie op de proeven is sneller dan op 20 maart. Mogelijk dat enige erosie door grote bodemstructuren, mol- en muizengangen de doorlatendheid heeft vergroot. De waterspanningen zijn echter nog ver onder de waterspanningen die horen bij parallele stroming, namelijk circa 2.2 kPa.

Na het weekend op 25 maart zijn 4 sessies van 2 uur uitgevoerd, 3 van 30 l/s per m en 1 van 50 l/s per m. De metingen staan in onderstaande grafiek.



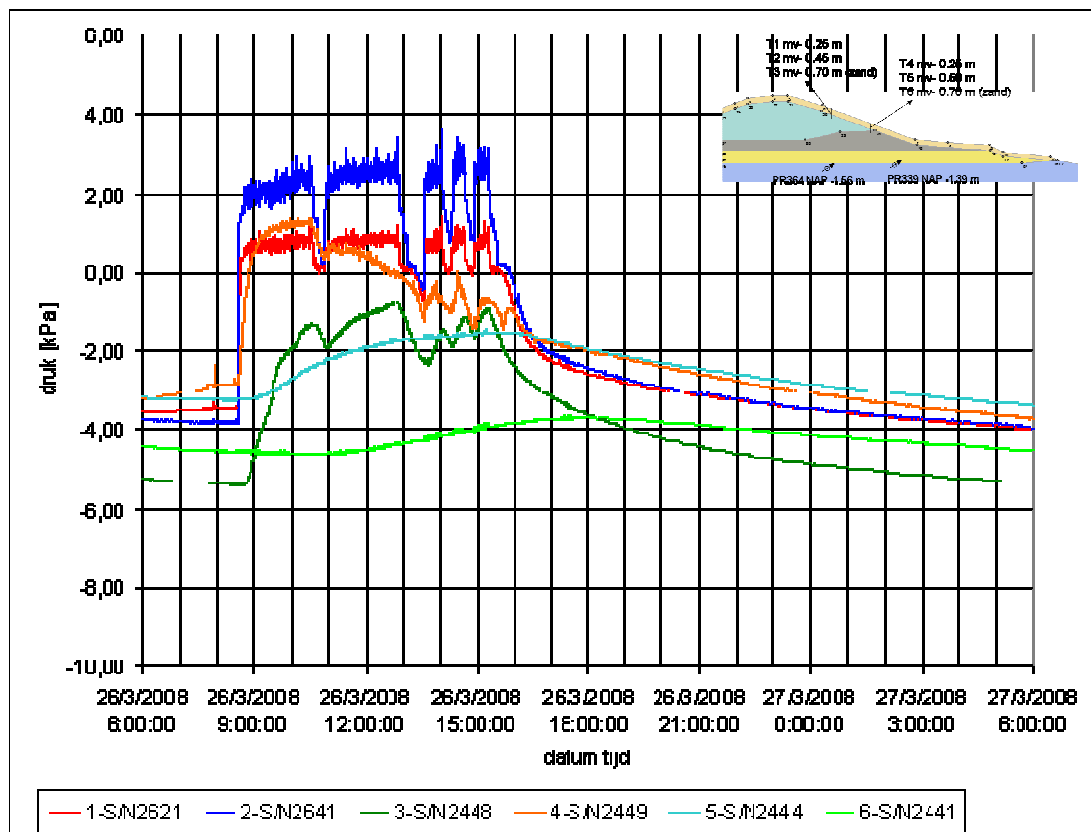
Figuur 5.13 Kattendijke tensiometers 3x 2uur 30 l/s per m en 1x 2 uur 50 l/s per m

Na de vorige proefdag op 21 maart zijn de spanningen weer teruggelopen tot een zuigspanning van 3-5 kPa. De zuigspanningen in de bekleding zijn significant lager dan in de zandkern net onder de bekleding.

De opnemers onderaan het talud T5 en T6 bereiken aan het einde van de dag een op het oog stationaire situatie gegeven de 50 l/s per m overslagomstandigheden. De waterspanning blijft een zuigspanning. De opnemer T4 onderaan het talud geeft een aanvankelijk snelle reactie tot 2.2 kPa, overeenkomend met een waterdruk die bij parallelle stroming hoort, maar in de volgende drie sessie wordt deze waarde niet meer bereikt. In de laatste sessie is de waterspanning zelfs gelijk aan nul.

Opnemers T1 en T2 bovenaan het talud reageren snel op de proeven, maar bereiken slechts een druk ver onder de druk overeenkomend met het drukverloop bij een parallelle stroming. Opnemer T3 in de zandkern geeft hetzelfde beeld als T4. De respons op de eerste proefsessie is het grootst, daarna neemt de respons elke sessie af. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

De meting van de voortzetting van de 50 l/s per m proef en de eerste sessie van de 75 l/s per m proef staan in onderstaande grafiek.

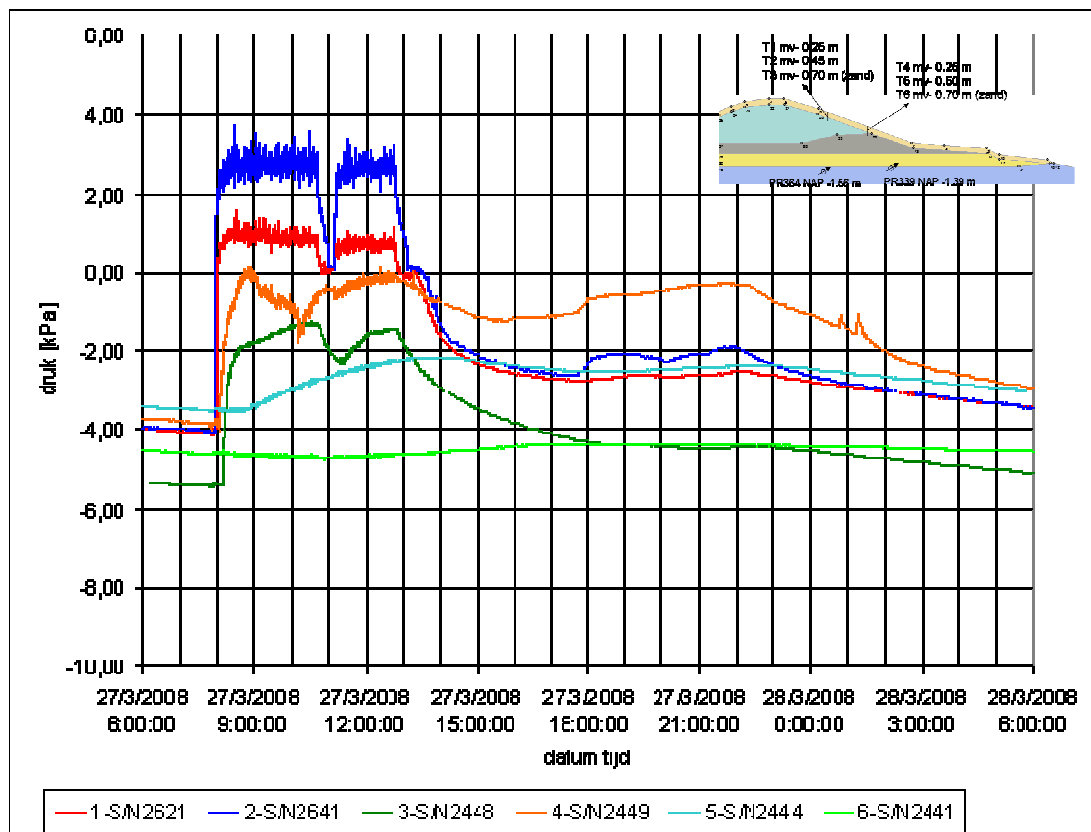


Figuur 5.14 Kattendijke tensiometers 2x 2uur 50 l/s per m en start 75 l/s per m

De opnemers T1 en T2 geven de hoogste drukken tot dusver, beide opnemers geven echter nog een druk van 1 kPa (0.1 m waterkolom) onder de drukverdeling bij parallelle stroming. De opnemer in het zand T3 blijft een zuigspanning aangeven. Onderaan het talud liggen de waterdrukken nog verder verwijderd van de drukverdeling bij een parallelle stroming. De gemeten drukverdeling wijst uit dat het optreden van een Edelman-Joustra mechanisme onwaarschijnlijk is, omdat de randvoorwaarde van parallelle stroming niet wordt gehaald.

De opnemer T4 laat een daling zien van de waterdruk vanaf de tweede sessie van 50 l/s per m. Vanaf dit moment wordt schade gerapporteerd ter plaatse van de teen van de dijk. De mogelijkheid bestaat dat de drukverlaging wordt veroorzaakt doordat de waterspanning ter plaatse van de teen daalt van maaiveldniveau naar het waterpeil in de erosiekuil (zie Figuur 4.3). De erosiekuil werd namelijk zo groot dat deze insneed in het taluddeel tussen berm en sloot, waardoor het waterpeil in de kuil enkele decimeters onder het (voormalige) bermniveau kwam te liggen.

De 75 l/s per m proef is gestaakt vanwege schade aan de onderhoudsweg. De meetcabine dreigde te worden ondermijnd door erosie. Na reparatie van de schade is de proef de volgende dag voortgezet. De metingen staan in de onderstaande grafiek.

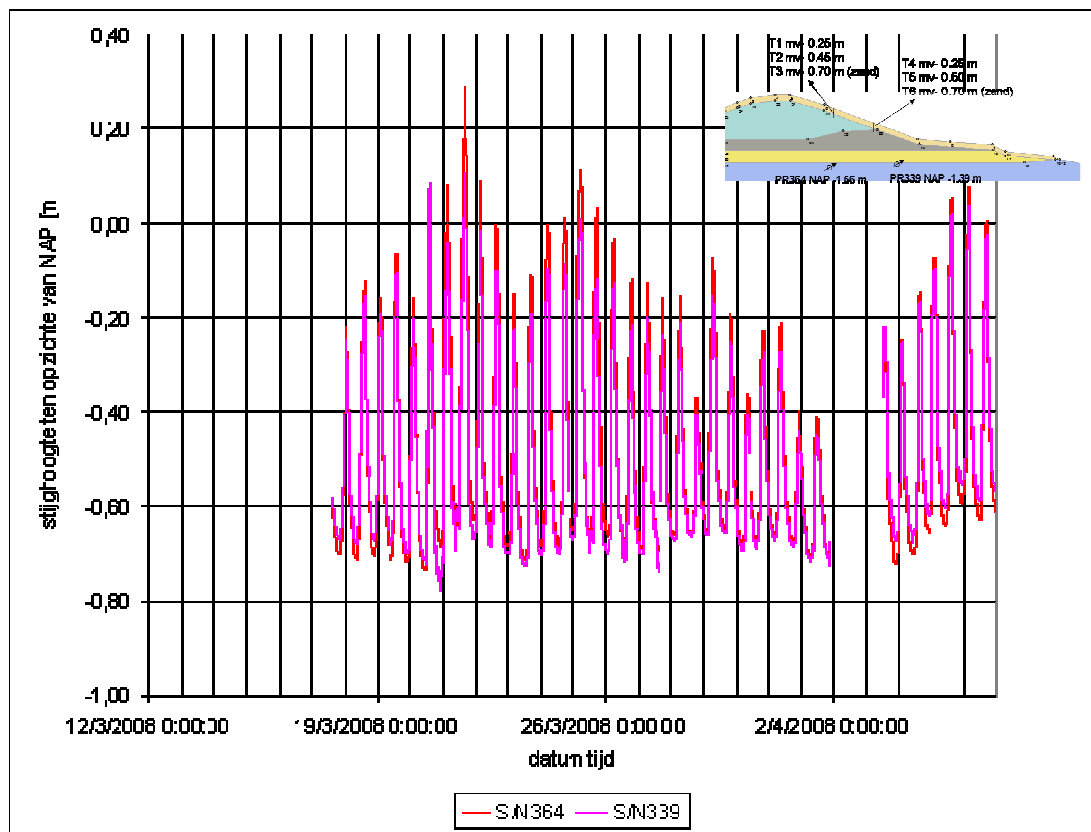


Figuur 5.15 Kattendijke tensiometers restant proef 75 l/s per m

De opnemers geven tijdens de laatste sessies met 75 l/s per m hetzelfde beeld als aan het einde van de vorige proefdag 26 maart. De waterspanningen gemeten door T1 en T2 zijn iets hoger, maar nog altijd ongeveer 1 kPa onder de drukverdeling horend bij een parallelle stroming. T1 en T2 bovenaan het talud zijn ook de enige twee opnemers die aangeven dat de grond volledig is verzadigd. De overige opnemers duiden op een gedeeltelijke verzadiging, zelfs bij 75 l/s per m. De thetaprobes bevestigen dit beeld voor de meetraai bovenaan het talud.

Ook de waterdruk op grotere diepte is gemeten met behulp van PR waterspanningsmeters. De metingen staan in onderstaande grafiek.

Net als bij Sint Philipsland staan de meters eigenlijk te diep voor het meten van het freatisch vlak in de zandkern. De diepte was echter nodig vanwege het feit dat dit type meters continu in verzadigde grond moet staan. Achteraf gezien hadden hier beter tensiometers kunnen worden geplaatst die niet continu onder water hoeven te staan en die hoger in het talud zouden kunnen worden geplaatst.

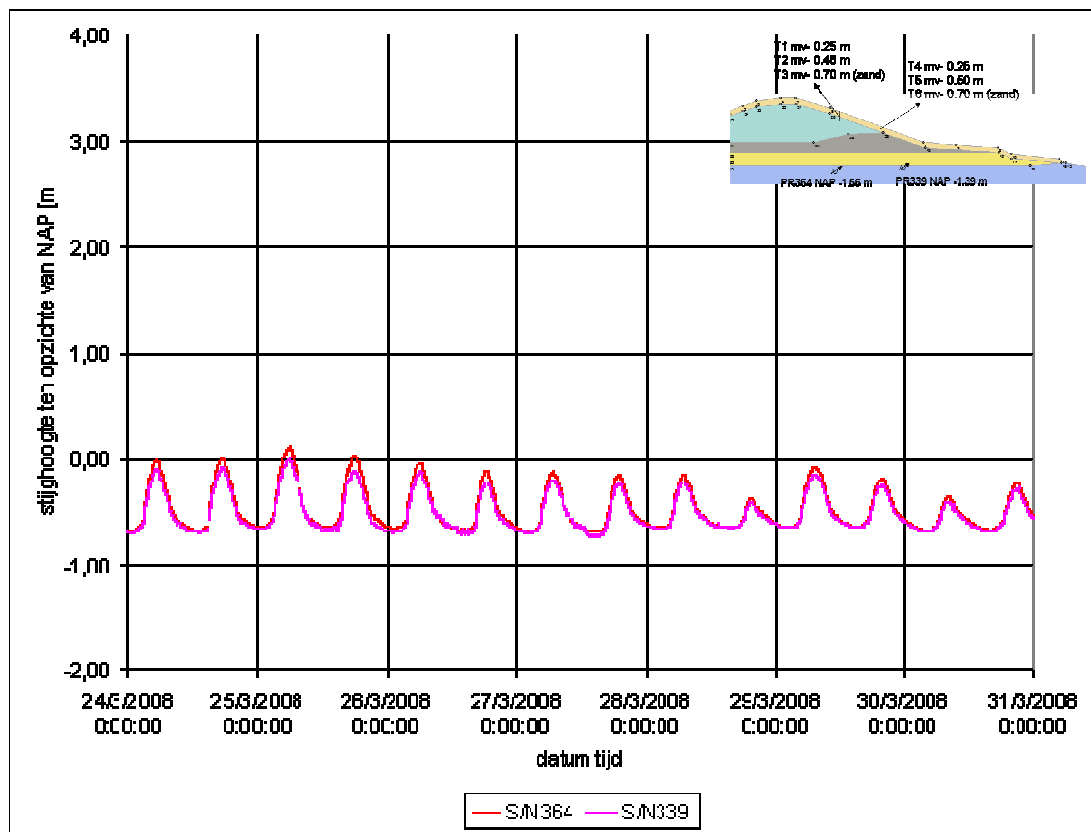


Figuur 5.16 Kattendijkse PR-meters hele meetperiode

Uit de metingen blijkt dat er een aanzienlijke respons op het getij aanwezig is. Dit duidt erop dat de PR-meters in contact staan met een zandlaag die wordt afgedekt met een kleilaag. De indringing van het getij in een zandlichaam bij freatisch berging is bijna altijd verwaarloosbaar aan de binnenzijde van de dijk. Bij een afgesloten zandpakket kan de indringing van het getij tot honderden meters binnendijks meetbaar zijn.

Een uitvergroting van de meting gedurende de proefdagen is gegeven in onderstaande grafiek. Op de proefdagen (25, 26 en 27 maart) is geen respons op de overslagproeven te zien. De meters staan te diep om dit te kunnen meten.

De amplitude van de meting is circa 0.3 m, wat ongeveer 20% is van de amplitude van het getij (1.5 m). De onderzijde van de getijrespons is afgeplat, hetgeen kan worden veroorzaakt door het droogvallen van de vooroever bij laagwater. Er is verder niet naar de metingen gekeken, omdat deze niet relevant zijn voor dit onderzoek.



Figuur 5.17 Kattendijke PR-meters meetperiode 30 – 75 l/s per m proeven

5.3 Waterspanningsberekeningen

5.3.1 Parameters en randvoorwaarden

Met behulp van het EEM programma PlaxFlow zijn berekeningen gemaakt naar de infiltratie van water als gevolg van de overslagproeven.

De berekeningen zijn niet uitgevoerd binnen de Kolb-cyclus. De proeven in Zeeland diende zich aan zonder dat er tijd was om de hele cyclus te doorlopen. De berekeningen zijn gemaakt op basis van een beperkte hoeveelheid grondonderzoek (paragraaf 5.1). De onzekerheid rondom de parameters is veel groter dan bijvoorbeeld in het geval van de analyse van de Boonweg.

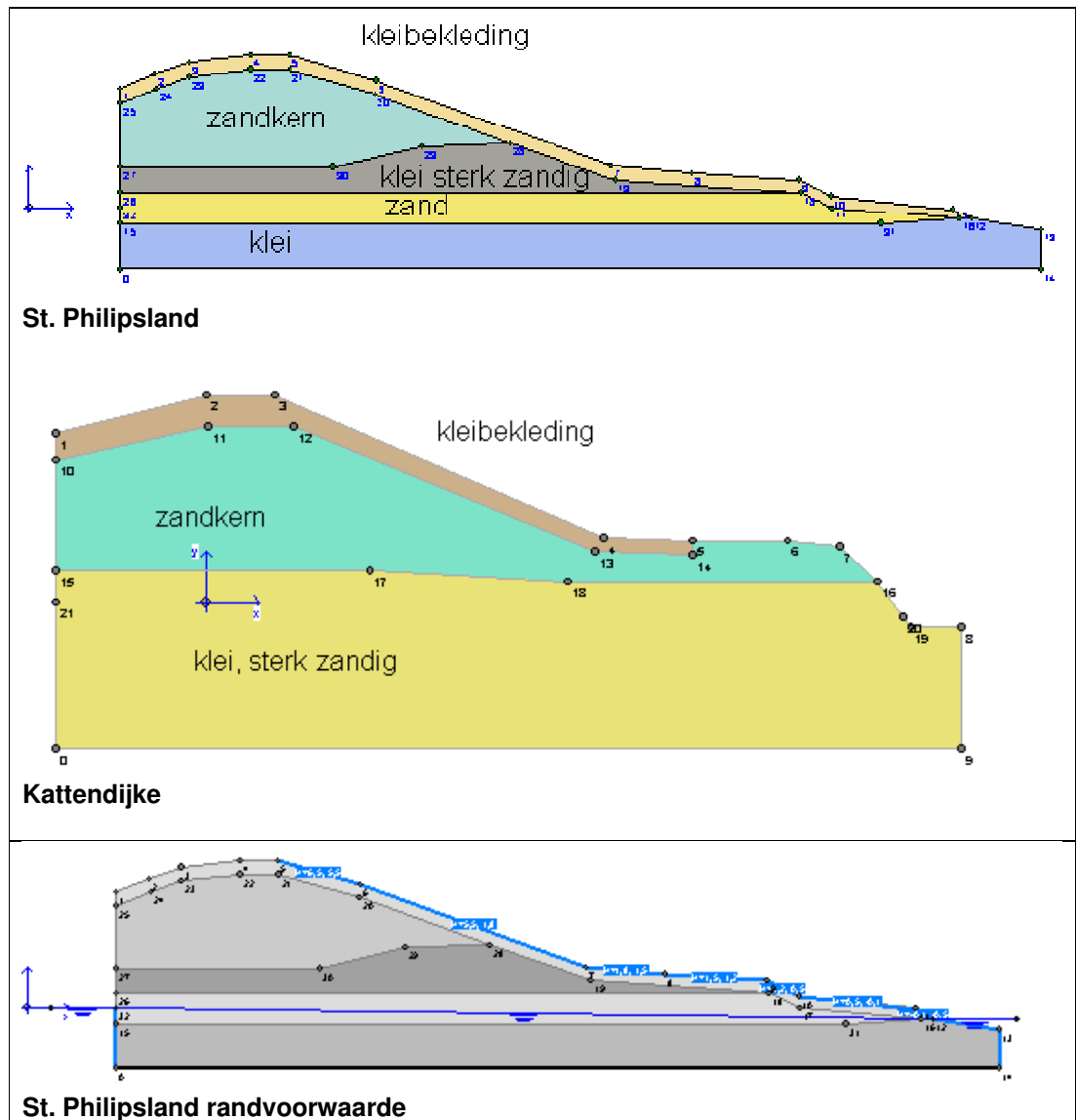
Het doel van de berekeningen was om te kijken of met behulp van de default Van Genuchten parameters uit PlaxFlow, die alleen worden gebaseerd op grondbeschrijvingen en karakteristieke punten uit korrelverdelingen (zand- en lutumgehalte), toch een redelijke modellering van het infiltratieproces kan worden bereikt.

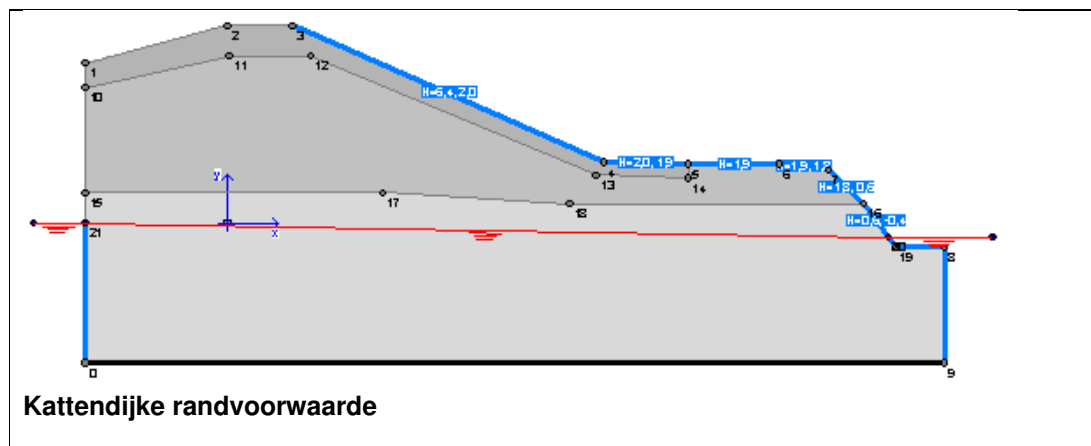
Voor de Van Genuchten parameters zijn de default waarden van PlaxFlow aangehouden. De verzadigde doorlatendheden en het poriëngetal zijn van gelijke orde gekozen als aangetroffen bij de Boonweg. Hierbij wordt opgemerkt dat volgens het Technisch Rapport Klei voor Dijken de range van doorlatendheden en poriëngetal voor kleibekledingen met bodemstructuur beperkt is. De voor deze berekeningen toegepaste waarden alsmede vallen ook binnen deze range. De gehanteerde parameters zijn samengevat in onderstaande tabel.

l	k _{xx}	k _{yy}	e	S _{res}	S _{sat}	g _n	g _a	g _l
grondsoort	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[1/m]	[-]
kleibekleding	0.5e-4	0.5e-4	0,05	0,047	1	1,801	2,34	0
zandkern	1.0e-5	1.0e-5	0,42	0,043	1	1,534	1,44	-0,215
klei; sterk zandig	2,6e-6	2,6e-6	0,50	0	1	1,4	0,94	-1,382

Tabel 5.3 Parameters PlaxFlow

De schematisatie van het dwarsprofiel en de randvoorwaarde tijdens de golfoverslagsimulatie staan in de onderstaande figuur.





Figuur 5.18 Schematisatie dwarsprofielen en randvoorwaarde tijdens golfoverslagsimulatie (druk = 0 rand op talud en berm)

De volgende proevenserie met wachttijden is gemodelleerd:

- 0,1 l/s per m gedurende 6 uur (100x versneld uitgevoerd = 3.6 min) + 1 l/s per m gedurende 6 uur (10x versneld uitgevoerd = 36 min)
- Wachten tot volgende dag
- 10 l/s per m gedurende 6 uur
- Wachten tot volgende dag
- 30 l/s per m gedurende 6 uur
- Wachten tot volgende dag
- 50 l/s per m gedurende 6 uur

Voor St. Philipsland was 50 l/s per m het grootste overslagdebiet. Voor Kattendijk is ook gesimuleerd:

- Wachten tot volgende dag
- 75 l/s per m gedurende 6 uur
- 2 dagen wachten

De simulatie wijkt af van de werkelijk uitgevoerde proevenserie. Bij de berekening is geen rekening gehouden met het stilleggen van de proef elke twee uur om eventuele schade vast te leggen en met het uitvoeren van meer dan één stormsimulatie op één dag. Op basis van de analyse van de metingen en rekenresultaten is ervoor gekozen om de berekeningen hierop niet aan te passen. Het proces van infiltratie bij verschillende gemiddelde overslagdebieten was door de berekeningen voldoende inzichtelijk geworden.

Gedurende de wachttijden wordt op het talud een free seepage rand gemodelleerd. Dit betekent dat er geen infiltratie of verdamping is, maar dat er eventueel wel vrij water kan uitstromen. Binnen de randen van het model kan uiteraard de grondwaterstroming gewoon blijven doorgaan.

De infiltratie op het talud is gemodelleerd door een zogenaamde druk = 0 rand op te leggen. Dit betekent dat er een (onbeperkt) wateraanbod op het talud aanwezig is, met een druk gelijk aan 0 kPa. Deze randvoorwaarde is opgelegd op het binnentalud en de berm tot aan de teensloot. Zoals eerder beredeneerd bij de predictie van de Boonweg heeft de waterlaagdikte op het talud weinig invloed op de infiltratiesnelheid.

Voor de berekening van infiltratie is het vooral belangrijk gedurende hoeveel tijd er wateraanbod op het talud aanwezig is. De aanbodtijd is bepaald met de formule uit het

$$\text{VTV: } t_{sr} = \left(1 - \frac{z}{z_q} \right) t_s, \text{ waarin } t_{sr} \text{ (s) de tijd is dat het talud nat is, } t_s \text{ (s) de stormduur, in dit}$$

geval 6 uur, z (m) de kruinhoogte boven de waterstand en z_q (m) de fictieve kruinhoogte boven de waterstand, waarbij overslagdebiet van 0,1 l/s per m zou gelden. Bij een overslagdebiet van 0,1 l/s per m blijft het talud droog en bij een kruinhoogte gelijk aan de waterstand is het talud 100% van de tijd nat. De formule is, in elk geval, bij de ondergrens (0,1 l/s per m) en bij de bovengrens (z nadert 0 m) onnauwkeurig. Bij de ondergrens van 0,1 l/s per m slaan er toch enkele, in dit geval 9, golven over de dijk. Het wateraanbod is aldus niet helemaal gelijk aan nul. Uit waarnemingen bij eerdere proeven blijkt dat vanaf 10-50 l/s per m de golven elkaar zo snel opvolgen dat nagenoeg 100% van de tijd een waterfilm op het talud aanwezig is. De formule geeft voor 50 l/s per m een percentage van 65% van de tijd 'nat' en 35% droog.

Omdat de proef van 0,1 l/s per m 100x versneld wordt uitgevoerd en aansluitend de 1 l/s per m 10x is uitgegaan van een equivalent gemiddeld overslagdebiet van $100 \times 0,1$ l/s per m = 10 l/s per m = 10 l/s per m gedurende 6 uur / 100 = 3.6 min plus 6 uur / 10 = 36 minuten, dus totaal 39.6 minuten.

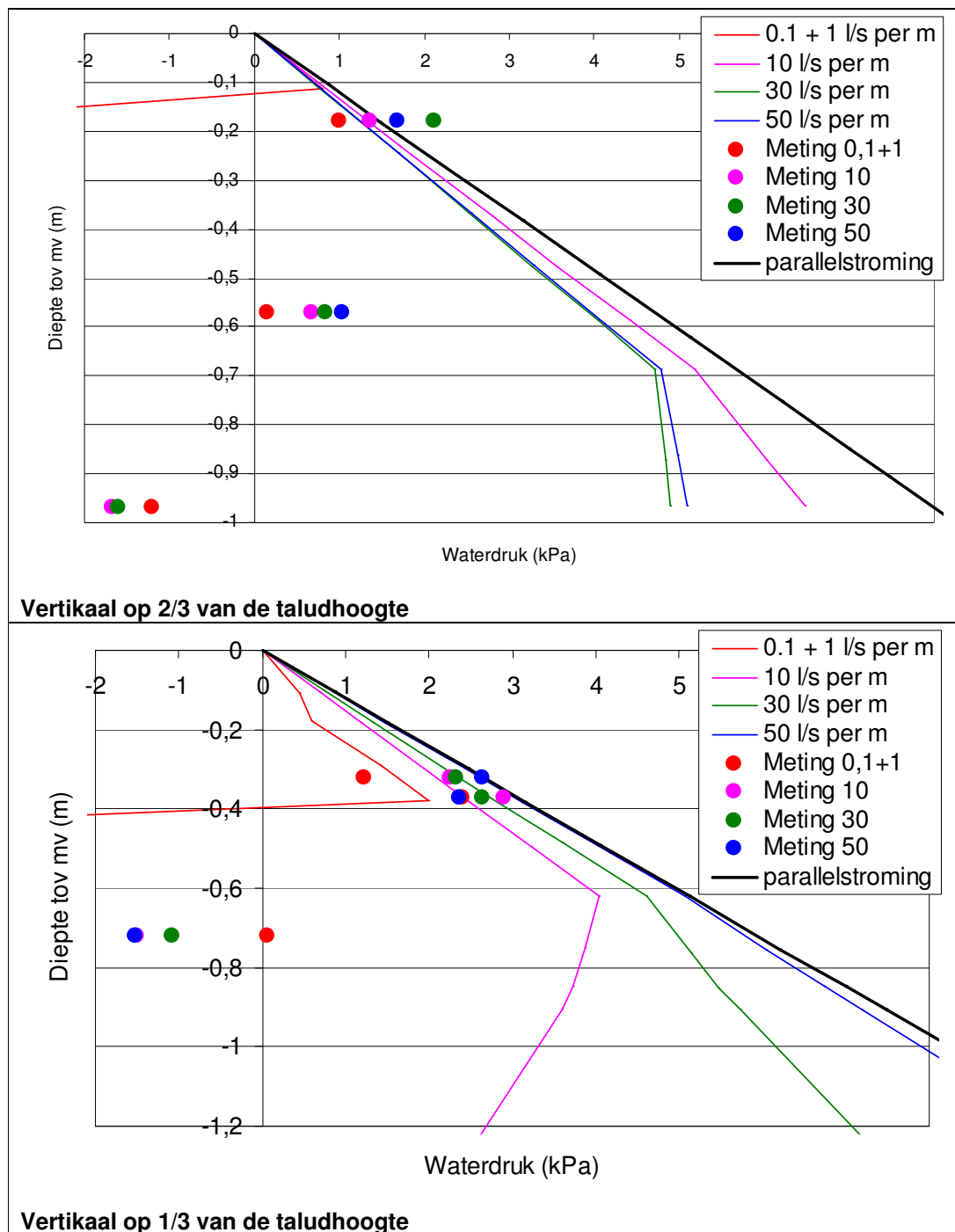
De formule uit het VTV en leidt tot de volgende randvoorwaarde:

Activiteit	Randvoorwaarde op kruin, binnentalud en berm
0,1 l/s per m 100x versneld + 1,0 l/s per m 10x versneld = <i>equivalent 10 l/s per m gedurende 39.6</i> minuten.	1150 s (19 min) druk is 0 kPa
Wachten tot volgende dag 1 l/s per m gedurende 6 uur	24 uur free seepage 5200 s (1.4 uur) druk is 0 kPa
Wachten tot volgende dag 10 l/s per m gedurende 6 uur	24-1.4 = 22.6 uur free seepage 10460 s (2.9 uur) druk is 0 kPa
Wachten tot volgende dag 30 l/s per m gedurende 6 uur	24-2.9 = 21.1 uur free seepage 12900 s (3.6 uur) druk is 0 kPa
Wachten tot volgende dag 50 l/s per m gedurende 6 uur	24-3.6 = 20.4 uur free seepage 14000 s (3.9 uur) druk is 0 kPa
Wachten tot volgende dag 75 l/s per m gedurende 6 uur	24-3.9 = 20.1 uur free seepage 15000 s (4.2 uur) druk is 0 kPa
2 dagen wachten	48 uur free seepage

5.3.2 Berekeningsresultaten

De grafische uitvoer van de berekeningen, bestaande uit de waterspanningen, de verzadiging en het stroombeeld staan in Bijlage 4. In deze paragraaf wordt de nadruk gelegd op de ontwikkeling van de waterspanningsopbouw in en net onder de bekledingslaag. Deze drukopbouw is zeer belangrijk voor de stabiliteit van de bekledingslaag.

In de onderstaande figuren zijn, voor beide onderzoekslocaties en voor de twee hoogtes op het talud waar de tensiometers stonden, de berekende waterspanningen uitgezet tegen de gemeten waterspanningen. De lijnen in de figuur zijn de berekende drukverdeling in een vertikaal aan het einde van de verschillende proefsimulaties (druk is positief, zuigspanning is negatief). De punten zijn de waterspanningsmetingen.



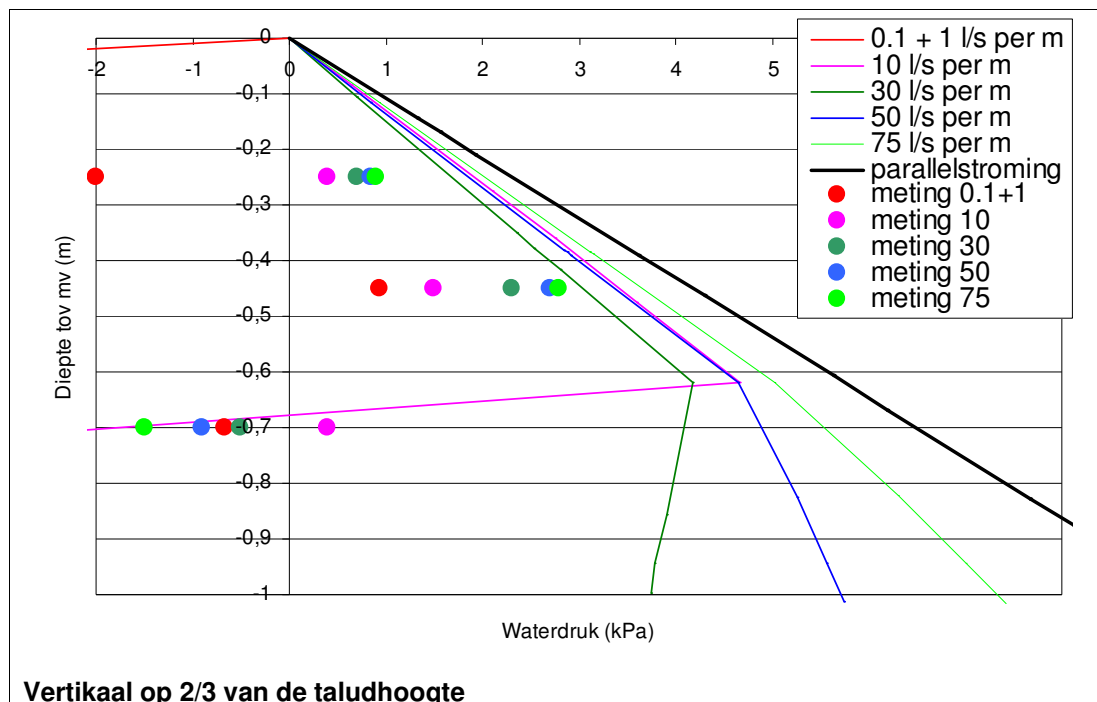
Figuur 5.19 St. Philipsland: berekende en gemeten waterdruk afhankelijk van de (vertikale) diepte onder het taludoppervlak

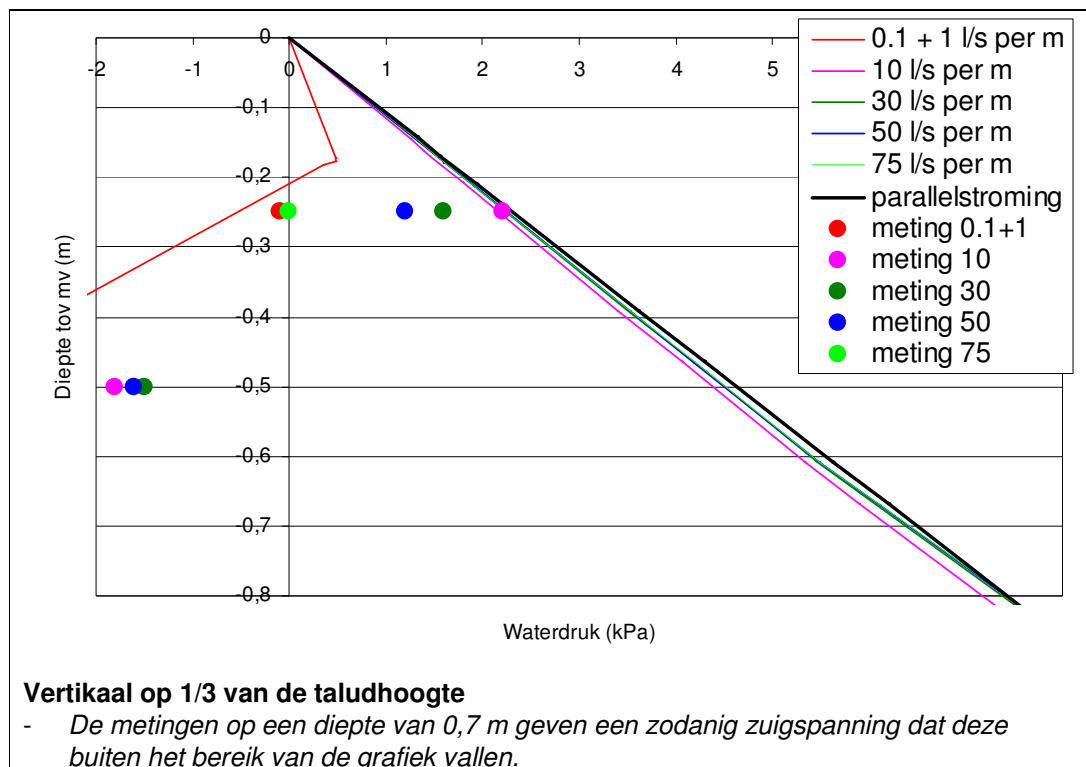
Uit de berekening en de meting van de waterspanningen bij St. Philipsland blijkt het volgende:

- De drukverdeling in de kleibekleding die hoort bij parallelle stroming, wat een aanname is voor het Edelman Joustra stabiliteitscriterium, wordt op 2/3 van de taludhoogte volgens de berekening net niet bereikt bij 50 l/s per m. Op 1/3 van de taludhoogte wordt deze drukverdeling wel bereikt bij 50 l/s per m.
- De druk net onder de kleibekleding blijft lager dan die hoort bij parallelle stroming. Alleen onderaan het talud wordt bij 50 l/s per m het verschil klein.

- Op 2/3 van de taludhoogte wordt vanaf 10 l/s per m en meer een druk gemeten die gelijk of hoger is dan de drukverdeling bij parallelle stroming. Onderin de bekledingslaag is de druk aanmerkelijk lager, wat duidt op een stroomrichting het talud in. Dit betekent dat over de dikte van de bekledingslaag de drukverdeling en de stroming sterk afwijkt. Dit kan bijvoorbeeld worden verklaard door de aanwezigheid van mol- of muizengaten en andere macrostructuren in de bovenste paar decimeter van de kleibekleding en de afwezigheid hiervan op grotere diepte. Door de afnemende doorlatendheid met de diepte kan in de bovenste decimeters al snel een (bijna) parallelle stroming ontstaan. Omdat de bekledingslaag als één laag is geschematiseerd komen deze nuances niet voor in de berekeningen.
- Op 1/3 van de taludhoogte wordt tot een diepte van 0,4 m een waterdruk gemeten die 0 - 15% lager is dan de druk bij parallelle stroming. Deze metingen in de bekledinglaag hebben een onlogische spreiding. Op een diepte van 0.37 m wordt de maximale waarde bereikt bij 10 l/s per m en op een diepte van 0.32 m bij 50 l/s per m. Dit duidt op een verandering van doorlatendheden tijdens de proef, mogelijk door de erosie van aggregaten.
- Op 1/3 van de taludhoogte wordt net onder de kleibekleding een zuigspanning gemeten die het laagst is bij 0.1 en 1 l/s per m en daarna verder toeneemt. Dit betekent dat de dijk hier ondanks de proeven droger wordt. Een mogelijke verklaring is dat de verticale macrostructuren verstopten. Afslibbend materiaal van de wanden van de macrostructuren, maar ook van het taludoppervlak, kan met het infiltrerende water worden meegevoerd totdat deze vastlopen in met de diepte kleiner wordende poriën.

De metingen en berekeningen voor een raai op 2/3 en 1/3 van de taludhoogte bij Kattendijke staan in de onderstaande grafieken.





Figuur 5.20 Kattendijke: berekende en gemeten waterdruk afhankelijk van de (vertikale) diepte onder het taludoppervlak

Uit de berekening en de meting van de waterspanningen bij Kattendijke blijkt het volgende:

- De drukverdeling die hoort bij parallelle stroming wordt op 2/3 van de taludhoogte volgens de berekening en de metingen niet bereikt.
- Net onder de kleibekleding, in het zand, wordt met uitzondering van de 10 l/s per m proef, een zuigspanning gemeten, wat duidt op onvolledige verzadiging van het zand. Hierbij is het opvallend dat met een toenemende proefintensiteit een toenemende zuigspanning wordt gemeten. De dijk wordt droger naarmate de proeven vorderen. Een mogelijke verklaring is dat de verticale macrostructuren verstopten. Afslibbend materiaal van de wanden van de macrostructuren, en van het taludoppervlak, kan met het infiltrerende water worden meegevoerd totdat deze vastlopen in met de diepte kleiner wordende poriën. De afname van de was bij St. Philipsland ook al waargenomen.
- Op 1/3 van de taludhoogte wordt vanaf 10 l/s per m een drukverdeling berekend die overeenkomt met parallelle stroming. Dit is een gevolg van de schematisatie van een kleilaag onder de kleibekleding, welke was aangetroffen in de handboringen (paragraaf 5.1).
- Bij de metingen op 1/3 van de taludhoogte wordt alleen tijdens de 10 l/s per m proef op een diepte van 0.25 m onder het taludoppervlak een waterdruk gemeten die gelijk is aan de waarde bij parallelle stroming. Na de 10 l/s per m proef neemt de waterdruk alleen nog maar af, wat duidt op een stromingsrichting steeds meer het talud in (richting vertikaal). Een mogelijke verklaring is dat er vanaf het zand dat direct om de tensiometer wordt aangebracht een doorbraak is ontstaan naar een mol- of muizengat. Mol- en muizengaten waren veel aanwezig in dit dijktraject. Tijdens het verwijderen van de meters is dit echter niet opgemerkt.
- De metingen op 1/3 van het talud op 0.5 m diepte en 0.7 m diepte geven alleen zuigspanningen. De grond is hier niet volledig verzadigd, wat verrassend is gezien de

grote hoeveelheid water die over het talud is gestroomd. In de meetomgeving van deze tensiometers waren geen macrostructuren aanwezig die in contact stonden met het taludoppervlak. In de handboringen ter plaatse van de teen was tot een diepte van 2 m onder het taludoppervlak klei aangetroffen en mogelijk stonden de meters in deze laag. Bij de installatie van diepste tensiometer is zand aangetroffen, maar dit kan een ingesloten zandlaagje zijn, zoals ook in de handboringen is aangetroffen.

Bij beide proeven is waargenomen dat in het zand net onder de bekledingslaag een zuigspanning aanwezig is. Het zand raakt niet verzadigd gedurende de hele proevenserie. Dit is een belangrijke afwijking ten opzichte van de berekeningsresultaten, waarbij het front waarachter de verzadiging 100% is al bij 10 l/s per m gedurende 6 uur het zand bereikt. De mogelijke oorzaak, het verstopping van de kleibekleding door afslibbend materiaal wat wordt meegevoerd met het infiltrerende water, kan belangrijke gevolgen hebben voor de stabiliteit van de bekleding.

Een tweede beeld dat ontstaat op basis van beide proeven is dat de drukvoorwaarde behorend bij een parallelle stroming alleen lokaal wordt gemeten en dat het niet consistent wordt gemeten. Hiermee wordt bedoeld dat een toenemend gemiddeld overslagdebiet niet altijd automatisch leidt tot een hogere waterspanning in de bekleding. Er zijn kennelijk processen die de infiltratie van water tijdens de proeven beïnvloeden, zoals erosie en dichtslibben van macrostructuren.

5.3.3 Stabiliteit bekledingslaag afhankelijk van drukverdeling

Er zijn geen berekeningen gemaakt naar de stabiliteit van de bekledingslaag. Er is geen onderzoek uitgevoerd naar sterkteparameters en er is geen afschuifproef uitgevoerd. Mogelijk zal dit in de toekomst nog gaan gebeuren.

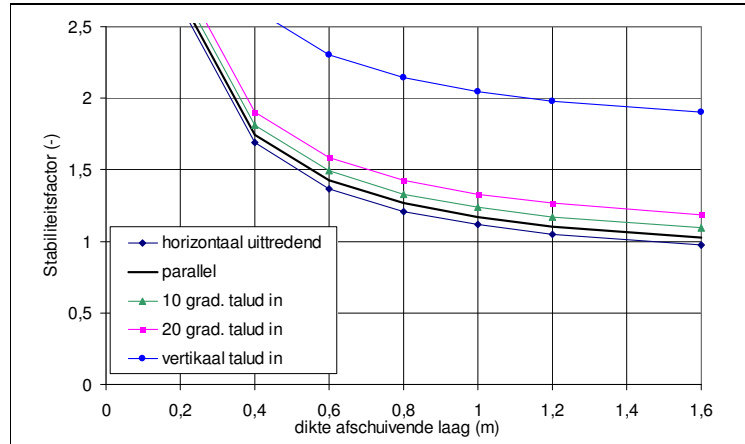
In de onderstaande grafiek is wel het effect aangegeven van het niet bereiken van de drukverdeling bij parallelle stroming op de stabiliteit van de bekledingslaag. Hiervoor is het Edelman – Joustra stabiliteitscriterium aangepast voor de stromingsrichting van het water ten opzichte van het talud β ($^{\circ}$). Hierbij is de hoek β ($^{\circ}$) gedefinieerd als de hoek van de stroming ten opzichte van het taludoppervlak met het talud in als positieve richting. Een hoek β van 90° min de taludhoek (α) betekent dus vertikaal intredend water en een hoek van β gelijk aan $-\alpha$ betekent horizontaal uitstromend water. Dit zijn tevens de randen waarbinnen het aangepaste stabiliteitscriterium toepasbaar is.

Het aangepaste stabiliteitscriterium is als volgt:

$$\frac{\tan \phi \cdot d \left(\rho_{\text{grond}} \cos \alpha - \rho_{\text{water}} \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \right) + c}{d \rho_{\text{grond}} \sin \alpha} \geq 1$$

waarin d de dikte van de beschouwde laag (m), c en ϕ de wrijvings-eigenschappen van de grond en ρ de dichtheden van water en (verzadigde) grond.

Voor een bekledingslaag met de eigenschappen $c = 2 \text{ kPa}$ en $\phi = 30^{\circ}$ is de stabiliteitsfactor uitgezet tegen de dikte van de beschouwde laag. Het resultaat staat in de onderstaande grafiek.



Figuur 5.21 Effect stroomrichting op stabiliteit oneindig lang talud

Uit de berekening blijkt dat de stabiliteit iets kan verslechteren als de stroomrichting niet parallel aan het talud is, maar als deze horizontaal uitstroomt. Dit scheelt ongeveer 4 à 5% op de stabiliteitsfactor bij een laagdikte van 0.6 – 0.8 m. Dit kan onderaan het talud optreden. *Opgemerkt wordt dat bovenstaande formule en grafiek gelden voor het theoretische geval van een oneindig lang talud.*

Een stroomrichting het talud in geeft een gunstig effect op de stabiliteitsfactor. Voor de eerste fase van infiltratie is de richting vertikaal het talud in. De stabiliteitsfactor is in dit geval 50-70% hoger dan bij een stroming parallel aan het talud. Bij een geringe hoek het talud in van 10 en 20 graden is de stabiliteit respectievelijk 5 en 10% beter dan in het geval van parallelle stroming.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Proefopstelling en proefuitvoering

- Proefopstelling en proefuitvoering hebben naar behoren gefunctioneerd.

Hydraulische belastingen

- De opnemers met twee sensoren per opnemer voor het registreren van laagdikten en frontsnelheden hebben zeer slecht bruikbare registraties opgeleverd. Conclusies ten aanzien van laagdikten en frontsnelheden als functie van het overslaande volume zijn daarom niet te trekken.
- De oorzaak van de slechte signalen is onduidelijk. Voorshands is er geen reden te twifelen aan de juistheid van de registraties zelf en de wijze waarop de overslaande volumes werden gerealiseerd via de stuurlijsten. Wel bleek het onmogelijk op eenduidige wijze de relevante meetsignalen van een overslaande golf te koppelen aan het overslaande volume volgens de stuurlijst. Bij een bepaald aantal overslaande golven zijn er verschillen tussen stuurlijsten enerzijds en registraties anderzijds wat betreft de totale tijd en de tijden tussen individuele golven. Het bleek op geen enkele wijze mogelijk hiervoor te corrigeren. Dit betekent dat de meetsignalen voor detailanalyses onbruikbaar is.
- Wat betreft de laagdiktemeters blijkt het nauwelijks tot niet mogelijk om het signaal van de tweede sensor op de meetportalen te isoleren zodat met de afstand tussen de voorste en achterste opnemer de frontsnelheid kan worden bepaald. De oorzaak hiervan is de sproei van de bevestigingsstaaf van het gehele instrument; dit ondanks dat de instrumenten onder 45° waren geplaatst.
- Hoewel de gemeten signalen voor detailanalyses onbruikbaar zijn, kan wel worden vastgesteld dat: laagdiktes tot orde 0,30 m voorkomen en maximale stroomsnelheden tot zeker 9 m/s mogelijk zijn. Visuele waarnemingen ondersteunen deze bevindingen

Graserosie

- De uiteindelijke resultaten zijn conform de verwachtingen geweest. Erosie is vastgesteld bij de teen van het talud (inclusief head-cut erosie) en op het talud bij de hogere overslagdebieten (alleen St.Philipsland).
- Het lijkt aannemelijk dat een binnentalud van klei met gras bij een overslag van 30 l/s per m of minder nooit door erosie zal bezwijken. Alleen verder onderzoek kan deze conclusie meer definitief maken.
- Bevestigd wordt dat de erosiebestendigheid van het binnentalud vooral wordt bepaald door het gras en minder door de kwaliteit klei. De variabiliteit van de graszode heeft wel invloed, maar mogelijk minder dan we hadden verwacht. Dit zou kunnen betekenen dat ook de wijze van beheer maar weinig invloed heeft op de sterkte van het binnentalud.
- Overgangen talud-horizontaal zijn de belangrijkste aanleiding voor initiële en doorgaande schade. Bij de proeven is dit vaak de overgang van benedentalud naar het horizontale maaiveld (teen van de dijk) of onderhoudsweg geweest, maar onregelmatigheden zoals in St.Philipsland kunnen ook een oorzaak zijn. Schade ontstond altijd bij een overslagdebiet van 30 l/s per m of meer. Als de schade helemaal beneden aan de dijk ontstaat moet er veel tijd zijn om een doorbraak te veroorzaken. Andere overgangen van talud naar horizontaal zoals in St.Philipsland, geven hetzelfde beeld.
- Een gat in de kleilaag die de onderliggende zandkern bereikt, veroorzaakt bij een groot overslagdebiet (50 l/s per m of meer) een snelle doorgaande erosie. Dit is niet geconstateerd bij kleinere overslagdebieten om de eenvoudige reden dat bij kleinere overslagdebieten nooit wezenlijke schade aan het binnentalud is opgetreden.

- Kleine obstakels als palen hebben geen erosie laten zien. Dat geldt ook voor mollengaten en initiële schade door een mestinjecteur. Grotere niet waterkerende elementen, zoals dijkpalen of dijkstenen, of een afrastering die al lange tijd staat (met muizen- en mollengaten in het niet gemaaid gras er om heen en een afwijkende bodemstructuur) zijn niet onderzocht en kunnen mogelijk wel aanleiding zijn tot schade.

Infiltratie en waterspanningen

- Bij beide proeven is waargenomen dat in het zand net onder de bekledingslaag een zuigspanning aanwezig is. Het zand raakt niet verzadigd gedurende de hele proevenserie. Dit is een belangrijke afwijking ten opzichte van de berekeningsresultaten, waarbij het front waarachter de verzadiging 100% is al bij 10 l/s per m gedurende 6 uur het zand bereikt. De mogelijke oorzaak, het verstopping van de kleibekleding door afslibbend materiaal wat wordt meegevoerd met het infiltrerende water, kan belangrijke gevolgen hebben voor de stabiliteit van de bekleding.
- Een tweede beeld dat ontstaat op basis van beide proeven is dat de drukvoorwaarde behorend bij een parallelle stroming alleen lokaal wordt gemeten en dat het niet consistent wordt gemeten. Hiermee wordt bedoeld dat een toenemend gemiddeld overslagdebiet niet altijd automatisch leidt tot een hogere waterspanning in de bekleding. Er zijn processen die de infiltratie van water tijdens de proeven beïnvloeden, zoals erosie en dichtslibben van macrostructuren.
- Het bovenstaande beeld van waterdrukken, waarbij de drukverdeling bij parallelle stroming niet of zeer plaatselijk wordt bereikt, heeft een gunstig effect op de stabiliteit van de bekledingslaag.
- Bij Sint Philipsland werd bij een overslagdebiet van 10 l/s per m en hoger (bijna) voldaan aan het drukverloop dat hoort bij parallelle stroming. Deze drukverdeling is het uitgangspunt van het Edelman – Joustra criterium. Indien de grond niet of nauwelijks cohesief is kan het in deze situatie afschuiven.
- Bij Kattendijke is voor geen van de golfoverslagproeven, zelfs niet die van 75 l/s per m, de situatie van parallelle stroming bereikt.
- De ligging van het freatisch vlak is helaas niet goed gemeten, doordat de PR meters hiervoor te diep zaten. Het freatisch vlak in de kern heeft in geen van beide gevallen de onderste opnemer op 1/3 van de taludhoogte bereikt. Er is bij het optreden van schade wel geconstateerd dat het erosieproces nog lang doorging na stoppen van de proef door uittredend water. Dit houdt in dat het freatisch vlak in de kern toch is gestegen ten opzicht van de dagelijkse ligging.

6.2 Aanbevelingen

Hydraulische belastingen

- Dat de stuurlijsten en de meetsignalen van hydraulische parameters niet aan elkaar zijn te koppelen kan worden voorkomen door:
 - o de de golfoverslagsimulator te automatiseren,
 - o de meting van hydraulische parameters apart te doen, waarbij reeksen van constante volumes worden gegenereerd in plaats van de random golven bij de erosieproeven,
 - o de aanwezigheid bij de proeven van een meetdeskundige van Deltares.
- Om de ruis door sproei, veroorzaakt door de ophanging van de meetinstrumenten, te voorkomen wordt aanbevolen deze ophanging aan te passen zodanig dat de centrale bevestigingsstaaf overbodig is.

Graserosie

- Voor overgangen is geen vergelijking gemaakt vanwege het ontbreken van een methode. Deze is momenteel nog in ontwikkeling.

Infiltratie en waterspanningen

- Het is voor het plaatsen van de waterspanningsmeters belangrijk om een goed beeld te hebben van de dijkopbouw en met name de aanwezigheid van kleilaagjes rond de gewenste diepte van de PR-meters. De PR meters stonden in beide gevallen te diep, met een kleilaagje tussen de meters en de zandkern, om de invloed van de golfoverslagproeven op de ligging van het freatisch vlak in de zandkern te kunnen meten. Overwogen kan worden om tensiometers te gebruiken en deze scherper op de verwachte ligging van het freatisch vlak te installeren.
- Bij waarnemingen tot nu toe blijkt dat vanaf een overslagdebiet van 10-50 l/s per m 100% van de tijd een wateraanbod aanwezig is. Dit is meer dan volgt uit de formule uit het VTV voor het bepalen van de tijd dat het talud 'nat' is. Aanbevolen wordt om de formulering van de tijd dat wateraanbod op het talud aanwezig is beter te gaan bepalen.

Referenties

Infram, 2008. Factual Report. Golfverslagproeven Zeeuwse zeedijken. Rapport 08i011 van 08-09-2008.

Bijlage 1 Factual report proef Zeeland

Factual Report

Golfoverslagproeven Zeeuwse zeedijken

OPDRACHTGEVER: Projectbureau Zeeweringen

08-09-2008

Factual Report

Golfoverslagproeven Zeeuwse zeedijken

OPDRACHTGEVER: Projectbureau Zeeweringen

PROJECTNUMMER: 08i011

VERSIE: Definitief

08-09-2008



INFRAM B.V.

Postbus 16

8316 ZG MARKNESSE

Tel.: 0527 – 24 11 20

Fax: 0527 – 24 11 19

www.infram.nl

Projectgegevens

Titel:	Factual Report
Versie:	Definitief
Opdrachtgever:	Projectbureau Zeeweringen
Projectnummer:	08i011
Partners:	Deltares, Van der Meer Consulting, Royal Haskoning, Alterra
Omschrijving project:	Het doel van dit onderzoek is het, met behulp van een golfoverslagsimulator, testen van de erosiebestendigheid van de aanwezige grasbekleding van het binnentalud op een tweetal locaties in Zeeland: St. Philipsland en Kattendijke (Zuid-Beveland). Om inzicht te krijgen in de sterkte van harde bekledingsmaterialen (Elastocoast® en open steenasfalt) bij extreme golfoverslag zijn op de locatie bij Kattendijke tevens twee overslagproeven gedaan op het binnentalud van de zeedijk waarop beide materialen zijn aangebracht. Tevens is de invloed van een initiële beschadiging, als gevolg van sneden met een mestinjecteur, beproefd. Alle overslagproeven zijn in de periode medio maart – april 2008 uitgevoerd.
Uitgevoerd door:	ing. J.J. Bakker ir. R.J.C. Mom ir. G.J. Steendam



Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Doel	3
1.2 Leeswijzer	3
2 Golfoverslagproeven	5
2.1 Locatie	5
2.2 Proefstroken	6
2.3 Proefopstelling	8
2.4 Proeven	10
2.5 Uitvoering	11
3 De golfoverslagsimulator	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Hydraulische belasting bij golfoverslag	13
3.3 Ontwerp van de simulator	20
3.4 Aanpassing van de simulator	22
3.5 Bediening van de simulator	23
4 Gras- en grondonderzoek	27
4.1 Grasonderzoek	27
4.2 Grondonderzoek	27
5 Metingen	29
6 Erosieontwikkeling	31
6.1 Inleiding	31
6.2 Video	31
6.3 Foto's	31
6.4 Beschrijving T0-situatie teststrook	32
6.5 Erosievormen	32
7 St. Philipsland: erosiebestendigheid grasbekleding	35
7.1 Inleiding	35
7.2 Nulopname	35
7.3 Uitvoering	35
7.4 Resultaten	36
8 Kattendijke, sectie 1: erosiebestendigheid grasbekleding	43
8.1 Inleiding	43
8.2 Nulopname	43

8.3	Uitvoering	43
8.4	Resultaten	43
9	Kattendijke, sectie 2: invloed initiële schade aan teen en kruin	47
9.1	Inleiding	47
9.2	Nulopname	47
9.3	Uitvoering	47
9.4	Resultaten	47
10	Kattendijk, sectie 3 en 4: overslagbestendigheid harde bekledingen	51
10.1	Inleiding	51
10.2	Resultaten	51
11	Observaties en voorlopige conclusies	53
11.1	Observaties en voorlopige conclusies gebaseerd op proeven Zeeuwse dijken	53
11.2	Observaties en voorlopige conclusies, gebaseerd op alle overslagproeven	54

BIJLAGEN

A. Tekeningen

B. Nulmetingen

- B.1 Proefstrook St. Philipsland
- B.2 Proefstrook 1 Kattendijke
- B.3 Proefstrook 2 Kattendijke

C. Samenvatting proeven

D. Overzicht metingen

E. Voorlopige conclusies golfverslagproeven

F. Fotoreportage

G. Rapportage Alterra (Grasonderzoek)

H. Rapportage Deltares (Grondonderzoek en monitoring)

Samenvatting

Om de erosiebestendigheid van de lokaal aanwezige bekleding van het binnentalud van de zeedijk te testen, zijn, in opdracht van Projectbureau Zeeweringen, in de periode medio maart/april 2008 golfoverslagproeven uitgevoerd op een tweetal locaties in Zeeland: St. Philipsland en Kattendijke (Zuid-Beveland). Deze golfoverslagproeven zijn uitgevoerd met behulp van een golfoverslagsimulator.

Om inzicht te krijgen in de sterkte van harde bekledingsmaterialen bij golfoverslag is op een tweetal proefstroken van het binnentalud van de zeedijk op de locatie op Zuid-Beveland een tweetal harde bekledingen (Elastocoast® en open steenasfalt (osa)) aangebracht. Tevens is de invloed van een initiële beschadiging van de kruin en teen van de dijk, als gevolg van sneden met een mestinjecteur, beproefd. Voor de invloed van palen op het binnentalud tijdens golfoverslag is een oriëntatieproef met twee palen uitgevoerd.

De beproefde zeedijken hebben beiden een kern van zand waarop een kleilaag is aangebracht. In St. Philipsland is deze kleilaag circa 0,4 m dik. Op Zuid-Beveland is de kleilaag dikker: 0,75 m. Het binnentalud van de dijk op St. Philipsland is steiler dan in Kattendijke (respectievelijk 1:2,4 en 1:3).

Volgens de huidige rekenregels hangt de erosiebestendigheid van een grasmatbekleding ondermeer af van de conditie van de grasmat en de doorworteling van de zode. Om die reden is de graszode uitvoerig getest door Alterra. In februari en maart 2008 is van een aantal monsters en volgens het VTV2006 door Alterra de doorworteling van de op het binnentalud aanwezige grasbekleding bepaald. Op basis van de doorworteling scoort de zodekwaliteit van de dijkvakken op St. Philipsland en Zuid-Beveland "goed". Tevens is er een vegetatieopname gedaan en zijn zodeparameters bepaald.

Naast het onderzoek door Alterra heeft Deltares een grondonderzoek uitgevoerd. Op basis van de uitkomsten van het laboratoriumonderzoek bleken de monster volgens de regels van het TR Klei voor dijken weinig erosiebestendig (c3). Naast de erosiebestendigheid is ook de kleilaagdikte onderzocht. Deze bleek op St. Philipsland gemiddeld dikker te zijn dan op de zeedijk in Kattendijke (respectievelijk 0,6 en 0,5 m). Gedurende de proeven is de infiltratie van het overslagwater in het dijkslichaam en het verloop van het freatisch vlak gemeten. Daarnaast is door Deltares de laagdikte van de overslaande golven geregistreerd en is de (front)snelheid bepaald.

Ten behoeve van de erosieontwikkeling van het talud is vóór, tijdens als na de proeven de toestand van de grasmat met behulp van foto's en filmcamera's vastgelegd.

Constateringen/observaties

Enkel op St. Philipsland heeft als gevolg van golfoverslag schade op het binnentalud plaatsgevonden. Deze schade trad op tijdens de proef met 50 l/s per m. Bij de kleinere overslagdebieten leidde de overslag op beide beproefde zeedijken niet tot schade.

Op Zuid-Beveland is voornamelijk (grote) schade ontstaan ter plaatse van de onderhoudsweg. Als gevolg van terugschrijdende erosie (head cut erosie) is op het eerste proefvak het talud uiteindelijk ook aangetast. Zodra de zandkern bloot kwam te liggen, ontstond er door het uitspoelen van het zand grote schade. Het talud brokkelde langzaam maar zeker af, waardoor het ontstane gat naar boven toe groter werd. Overgangen (van talud naar horizontaal) bleken een bron voor initiële schade te vormen

De proeven bij Kattendijke laten zien dat, ondanks de aanwezigheid van molshopen en -gaten, de grasmat uiteindelijk niet bezweek bij grote overslagdebieten.

De sneden met de mestinjecteur in de teen van de dijk hebben lichte schade ten gevolg gehad. De ter plaatse van de teen ontstane schade is begonnen bij de eerste injectorsnede. De ontstane schade heeft echter niet geleid tot verder schade. Los van de messneden is een groot gat ontstaan aan de teen van de dijk en had de initiële schade als gevolg van het eruit slaan van een oppervlakkig in het binnentalud geslagen paal tot meer schade kunnen leiden.

Zowel Elastocoast® als open steenasfalt blijken, mits goed aangebracht, zeer overslagbestendig: een overslagdebiet van 125 l/s per m heeft geen enkele vorm van schade opgeleverd bij beide harde dijkbekledingen.

Voorlopige conclusies

Naast de proeven in Zeeland zijn ook proeven uitgevoerd in Groningen en Friesland. Bij een aantal proeven zijn de binnentaluds bij zware golfoverslag bezweken. Analyse van de resultaten zal bij de evaluatie van deze proeven plaatsvinden. De uiteindelijke conclusies komen in 2011 in de nieuwe VTV terecht.

Binnen het project WV21 zijn op verzoek van Rijkswaterstaat Waterdienst door Van der Meer Consulting in samenwerking met de projectgroep "Golfoverslag en sterkte grasbekledingen", de eerste voorlopige conclusies uit de uitgevoerde overslagproeven tot nog toe opgesteld voor het onderdeel "doorbraakvrije dijken". Deze conclusies zijn als bijlage bij dit factual report opgenomen.

1 Inleiding

1.1 Doel

De doelloelstelling van dit onderzoek is het testen van de erosiebestendigheid van de lokaal aanwezige bekleding van het binnentalud

Om het doel te bereiken zijn in de periode medio maart – april 2008 golfoverslagproeven uitgevoerd op een tweetal locaties in Zeeland: St. Philipsland en Kattendijke (Zuid-Beveland). Deze golfoverslagproeven zijn uitgevoerd met behulp van een golfoverslagsimulator.

Om inzicht te krijgen in de sterkte van harde bekledingsmaterialen bij golfoverslag is op een tweetal proefstroken van het binnentalud van de zeedijk op de locatie op Zuid-Beveland een tweetal harde bekledingen (Elastocoast® en open steenasfalt (osa)) aangebracht.

Tevens is de invloed van een initiële beschadiging van de kruin en teen van de dijk, als gevolg van sneden met een mestinjecteur, beproefd. Voor de invloed van palen op het binnentalud tijdens golfoverslag is een oriëntatieproef met twee palen uitgevoerd

Dit rapport beschrijft de uitvoering en de eerste resultaten, met name observaties, van deze proeven met deze golfoverslagsimulator. Een verdergaande evaluatie en modellering van schademechanismen zal in het kader van het project Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW) worden opgepakt.

1.2 Leeswijzer

Na de een korte inleiding in hoofdstuk 1 volgt een beschrijving van de golfoverslagproeven in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de golfoverslagsimulator. Een korte samenvatting van de gras- en bodemonderzoek(en) wordt gegeven in hoofdstuk 4, waarna in hoofdstuk 5 de metingen beschreven worden. Alvorens de resultaten van de proeven te bespreken in de hoofdstukken 7 t/m 10 wordt in hoofdstuk 6 kort ingegaan op de wijze waarop erosieontwikkeling van de bekleding is waargenomen. De observaties van de proeven op de grasbekleding op St. Philipsland en Zuid-Beveland worden beschreven in respectievelijk hoofdstukken 7 en 8. De invloed van initiële schade is beschreven in hoofdstuk 9. De resultaten van de proeven op de harde dijkbekleding Elastocoast® en open steenasfalt worden gezamenlijk beschreven in hoofdstuk 10. Hoofdstuk 11 geeft de conclusies van de proeven op de Zeeuwse dijken weer.

2 Golfoverslagproeven

2.1 Locatie

De proeven zijn uitgevoerd op een tweetal locaties in Zeeland. De eerste proef is uitgevoerd op een proefvak op de zeedijk nabij St. Philipsland (zie Figuur 2-1). De andere proeven zijn uitgevoerd op een viertal proefvakken op de zeedijk nabij Kattendijke op Zuid-Beveland. De locatie van dit onderzoek is weergegeven in Figuur 2-2.



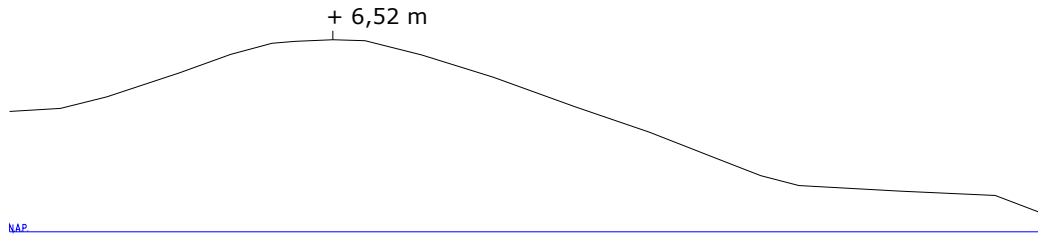
Figuur 2-1 Overzicht locatie St. Philipsland (bron: Google Earth)



Figuur 2-2 Overzicht locatie Zuid-Beveland (bron: Google Earth)

De beproefde zeedijken hebben beiden een kern van zand waarop een kleilaag is aangebracht. In St. Philipsland is deze kleilaag circa 0,4 m dik. Op Zuid-Beveland is de kleilaag dikker: 0,75 m. Het binnentalud van de dijk op St. Philipsland is steiler dan in Kattendijke. Op St. Philipsland heeft het talud een helling van 1:2,4 en een lengte van ongeveer 13 m. Op Zuid-Beveland is de

helling 1:3 en de lengte ongeveer 15 m. In Figuur 2-3 is een doorsnede van het dijkprofiel ter plaatse van de eerste proefstrook in Kattendijke weergegeven. In Bijlage A zijn de dijkprofielen ter plaatse van alle proefstroken op Zuid-Beveland weergegeven. Van St. Philipsland zijn geen dijkprofielen aanwezig, omdat deze niet zijn ingemeten.



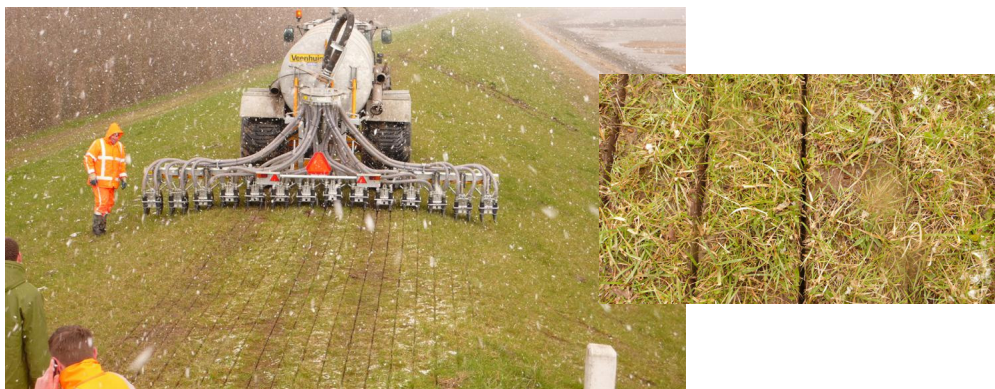
Figuur 2-3 Dwarsprofiel zeedijk Kattendijke

In Kattendijke ligt onderaan de teen van de dijk een onderhoudsweg bestaande uit mijnsteen op een met zand opgevuld cunet. Het cunet is aan beide zijden begrensd door een dam van erosie bestendige klei. In de teen van de dijk bevindt zich een drainage die bestaat uit een grindkoffer met een geperforeerde drainagebuis.

2.2 Proefstroken

In totaal zijn 5 stroken op de Zeeuwse dijken beproefd. Zowel de proefstrook op St. Philipsland als de eerste proefstrook op Zuid-Beveland hebben betrekking op het testen van de erosiebestendigheid van de aanwezige grasbekleding. Op beide stroken is door het Waterschap Zeeuwse eilanden regulier beheer toegepast. Voor St. Philipsland betekent dit nog beweiding nog extra bemesting en 1x hooien. Op Zuid-Beveland wordt het binnentalud van de zeedijk ook niet beweïd. Wel wordt hier ruim 300 kg / ha aan bemesting toegepast en wordt 3 keer per jaar gehooïd.

Op de tweede proefstrook op Zuid-Beveland is de invloed van initiële schade bij mestinjectie op de sterkte van de grasbekleding ter plaatse van de teen en binnenkruin van de dijk beproefd. Hiertoe zijn met een mestinjecteur op de binnenkruin en teen van de dijk sneden van circa 5 cm diep gemaakt (zie Figuur 2-4).



Figuur 2-4 Het aanbrengen van initiële schade met een mestinjecteur

Tevens is naar het effect van de aanwezigheid van palen op het binnentalud gekeken, door in het begin van de proef op het talud een tweetal houten palen oppervlakkig in de grond te slaan (circa 0,30 m diep).

Ten behoeve van de proeven met de harde bekledingen is op de derde en vierde proefstrook op Zuid-Beveland de graszoden verwijderd (zie Figuur 2-5). Om erosie van de onderliggende kleilaag te voorkomen is, alvorens de Elastocoast® en open steenasfaltbekleding door de aannemer is aangebracht, een geotextiel op de kale klei aangebracht.



Figuur 2-5 Het verwijderen van de graszoden

Elastocoast® is een mengsel van stenen en polyurethaan (kunststof). Door deze polyurethaan te mengen met granulaat wordt een permanente elastische verbinding met steen aangegaan. Behalve elastisch is het dijkbekledingsmiddel Elastocoast® net als open steenasfalt poreus, waardoor overdruk en daarmee beschadiging van de bekleding klein is. Het vloeibare, uit twee componenten bestaande polyurethaan is op locatie geroerd en gemengd met granulaat, waarna een laag van circa 15 cm dik is aangebracht op het talud (zie Figuur 2-6).

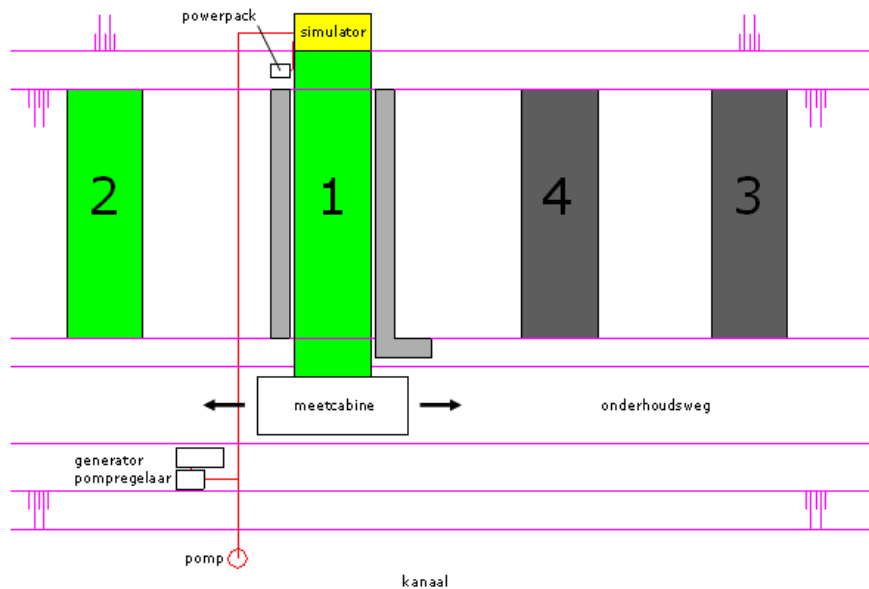


Figuur 2-6 Elastocoast®

Hoewel nog niet is onderzocht wat de precieze samenstelling van de 16 – 22 mm dikke laag open steenasfalt was, is door de aannemer aangegeven dat de temperatuur van het mengsel bij aanbrengen van de laag op het talud 145°C bedroeg. Het betreft kalksteen met een omhulling van asphaltmastiek (de kalksteen is gebroken natuursteen, zand is natuursand / ecozand, zwakke vulstof en bitumen 70 tot 100 penetratie (0,1mm)).

2.3 Proefopstelling

Figuur 2-7 laat een schematische weergave van de proefopstelling in Kattendijke zien.



Figuur 2-7 Schematische weergave proefopstelling Kattendijke

De golfoverslagsimulator is op beide locaties met een telescoopkraan op de kruin van de te testen dijksectie geplaatst en aangesloten op het watercirculatiesysteem. Door de meetcabine op een platte wagen op de onderhoudsweg te plaatsen kon het overslagdebiet ongestoord onder de meetcabine door en kon de gehele proef vanuit de meetcabine goed geobserveerd worden.

Aan weerskanten van het 4 meter brede proefvak zijn voor het geleiden van het water schotten bevestigd aan een palenrij. Om randeffecten te voorkomen zijn de geleideschotten aan de binnenzijde van de palenrij bevestigd. Om het talud enigszins toegankelijk te houden is aan de buitenzijde van deze geleideschotten een bordes geplaatst. Omdat het talud van de locatie op St. Philipsland steil was (1:2,5) is hier een trap geplaatst.

Figuur 2-8 geeft een impressie van de proefopstelling op St. Philipsland.



Figuur 2-8 Impressie proefopstelling St. Philipsland

Het watercirculatiesysteem pompt water via leidingen naar de simulator. In St. Philipsland is het waterpeil in de achterliggende sloot opgezet, aangezien er onvoldoende waterdiepte voor de pomp aanwezig was. Hiertoe is de sloot over een lengte van ca. 200 m afgedamd en is water vanuit een naburige watergang in de sloot gepompt. Om dit proces te versnellen is tevens water aangevoerd met giertanks. Op Zuid-Beveland was dit probleem niet aan de orde aangezien de ter plaatse aanwezige watergang voldoende diep en breed was.

Ter bescherming van het talud van de sloot en het achterliggende akkerland zijn op St. Philipsland draglineschotten geplaatst (zie Figuur 2-9).



Figuur 2-9 Draglineschotten ter bescherming van het talud (St. Philipsland)

De centrifugaalpompe pompt water uit de sloot / het kanaal via een persleiding naar de simulator. De benodigde minimum- en maximumcapaciteit van het circulatiesysteem is gerelateerd aan het proevenschema met de golfoverslagsimulator. Voor de proeven waren de volgende capaciteiten noodzakelijk:

- T1 0,1 l/s per m (1,44 m³/uur); (NB: Teststrookbreedte 4 m : 0,1x4x3600 = 1440 l/uur)
- T2 1 l/s per m (14,4 m³/uur);
- T3 10 l/s per m (144 m³/uur);
- T4 30 l/s per m (288 m³/uur);
- T5 50 l/s per m (720 m³/uur); en
- T6 75 l/s per m (1080 m³/uur)

De capaciteit van de door Buitenkamp geleverde regelbare pomp was reeds getest gedurende de proeven op de Friese Waddenzeedijk (februari – medio maart). De capaciteit van een enkele pomp bleek ook op beide locaties in Zeeland toereikend om een overslagdebiet van 75 l/s per m te verkrijgen bij de gewenste opvoerhoogte. Het kleinste debiet dat feitelijk is toegepast is 144 m³/uur, omdat vanwege het geringe aantal overslaande golven bij T0 en T1 de proeven respectievelijk 100 en 10 keer versneld zijn uitgevoerd. In vergelijking tot de proeven op de Friese Waddenzeedijk zijn beide proeven respectievelijk 10 en 2 keer sneller uitgevoerd. Dit omdat bij proeven met deze overslagdebieten was gebleken dat er geen erosie optrad.

Voor het testen van de sterkte van de harde bekledingen is het maximale debiet opgevoerd naar 125 l/s per m (1800 m³/uur). Hiertoe zijn op Zuid-Beveland twee extra dieselpompen ingezet welke de extra benodigde capaciteit konden leveren.

Het pompdebiet wordt niet gemeten met een debietmeter, maar aan de hand van de snelheid van vullen van de simulator (peilschaal en chronometer). Tijdens de proeven is veelvuldig het ingestelde debiet aan de hand van de peilschaal, die langs de simulator is aangebracht, gecontroleerd en eventueel bijgesteld om de afwijkingen van het debiet tijdens de proef (als gevolg van bijvoorbeeld lekkage) te minimaliseren.

2.4 Proeven

De proeven zijn primair gericht op de bepaling van de erosiebestendigheid van de op de kruin en het binnentalud aanwezige bekleding en de daaronder gelegen kleilaag bij golfoverslag

Op elk van de 5 proefstroken is in 6 proeven het overslagresultaat van een globale schatting van de hydraulische randvoorwaarden van deze dijksecties gesimuleerd (zie ook §3.2.2). Dat wil zeggen de bij de duur van die storm (6 uur) behorende golfoverslag over de kruin en binnentalud. De proeven zijn uitgevoerd met een toenemend gemiddeld golfoverslagdebiet (l/s per m). Daarbij vormt de eerste het ontwerpcriterium van de kruinhoogte en wordt met de daarna komende proeven een steeds hogere waterstand, en daarmee een kleinere vrijboordhoogte, gesimuleerd met bijbehorend groter overslagdebiet.

- T1 6 uur storm bij een overslagdebiet van 0,1 l/s per m;
- T2 6 uur storm bij een overslagdebiet van 1 l/s per m;
- T3 6 uur storm bij een overslagdebiet van 10 l/s per m;
- T4 6 uur storm bij een overslagdebiet van 30 l/s per m;
- T5 6 uur storm bij een overslagdebiet van 50 l/s per m;
- T6 6 uur storm bij een overslagdebiet van 75 l/s per m

Het werkelijke aantal proeven dat uitgevoerd is, was afhankelijk van de schadeontwikkeling (erosie van de grasbekleding) als gevolg van golfoverslag. In geval van zeer grote schade (erosie tot op de zandkern en / of afschuivingen) is de proef, en daarmee de eventuele rest van de proevenserie, beëindigd en de proefopstelling verplaatst naar de volgende proefstrook.

Gezien het gering aantal overslaande golven bij de proeven met een overslagdebiet van zowel 0,1 als 1 l/s per m, zijn beide proeven respectievelijk 100 en 10 keer versneld uitgevoerd. Bij de andere proeven is overslag gesimuleerd gedurende een totale periode van 6 uur (real-time). Bij deze proeven is over het algemeen elke twee uur de proef onderbroken (dus na 2 en 4 uur) om de erosieontwikkeling visueel en fotografisch vast te leggen. In die gevallen waarin geen significante schade optrad, is in overleg met de dagelijkse leiding veelal besloten de proeven niet te onderbreken.

2.5 Uitvoering

De proeven zijn uitgevoerd in de periode medio maart – april 2008. In Figuur 2-9 is een tijdschema van de werkelijke uitvoering van de proeven op de Zeeuwse dijken weergegeven. Nadat de proeven op een proefstrook waren uitgevoerd werd de gehele proefopstelling verplaatst naar de volgende proefstrook. In totaal is de simulator vier keer verplaatst. Eén keer na afronding van de proeven op St. Philipsland, en 3 keer op Zuid Beveland naar de volgende proefstrook. Vervolgens is de gehele proefopstelling afgebroken en afgevoerd. Voor het verplaatsen van de proefopstelling is gebruik gemaakt van een telescoopkraan (zie Figuur 2-10).



Figuur 2-9 Plaatsen simulator met behulp van een telescoopkraan (St. Philipsland)

3 De golfoverslagsimulator

3.1 Inleiding

Het idee van de golfoverslagsimulator is in 2006 binnen het Europese onderzoeksprogramma ComCoast opgepakt. Dit heeft geresulteerd in het ontwerp en de bouw van de simulator en het toepassen in een eerste serie proeven op een dijk bij Delfzijl. Met de ervaring in Delfzijl zijn in 2007 verbeteringen aangebracht aan de simulator en vervolgens zijn de proeven uitgevoerd op de Friese Waddenzeedijk (zie Infram rapport 07i107B) en dus de dijken in Zeeland.

De werking van de golfoverslagsimulator is gebaseerd op de kennis die we hebben van het fenomeen golfoverslag. Daarnaast is de proefuitvoering aangepast aan de Nederlandse situatie en dan met name op de situatie met zeedijken (en dus niet met rivierdijken). Dit hoofdstuk is niet uitputtend omtrent het onderwerp golfoverslag, noch omtrent de ontwikkeling en bouw van de golfoverslagsimulator, omdat beide onderwerpen uitgebreid zijn gerapporteerd. Voor golfoverslag is dit het TAW Technisch Rapport Golfploop en golfoverslag bij dijken (2002) en meer recentelijk de Overtopping Manual (2007). Voor de ontwikkeling en bouw van de golfoverslagsimulator is dit het ComCoast rapport Design, construction, calibration and use of the wave overtopping simulator (2007).

Dit hoofdstuk geeft wel een samenvatting van golfoverslag, de Nederlandse situatie bij zeedijken en het principe en ontwerp van de simulator op hoofdlijnen. Tot slot beschrijft het de aanpassingen aan de simulator, die zijn uitgevoerd op basis van de eerste proeven in Delfzijl en de bediening van de simulator.

3.2 Hydraulische belasting bij golfoverslag

3.2.1 Overzicht relevante parameters

Golfoverslag wordt veroorzaakt door golven die de dijk bereiken en zo hoog oplopen dat ze over de kruin van de dijk slaan. De relevante hydraulische parameters die uiteindelijk de golfoverslag bepalen, zijn hier de golfcondities en de geometrie van de dijk. Dit zijn golfhoogte, golfperiode en steilheid, stormduur en het buitentalud tot aan de kruin. Uiteindelijk bepaalt dan de vrije kruinhoogte hoeveel golfoverslag zal plaats vinden. Voor een specifieke locatie kunnen deze parameters worden bepaald. Voor meer toegepast onderzoek, zoals het SBW-onderzoek, wordt niet naar een specifieke locatie gekeken, maar naar een "gemiddelde" situatie die representatief wordt geacht. Dus de toetsituaties voor de Boonweg worden *niet* beschouwd, wel de gemiddelde hydraulische condities bij de zeedijk.

Golfoverslag zelf wordt ook weer door een aantal parameters beschreven. De meest bekende is het gemiddeld overslagdebiet: de hoeveelheid water die in een storm over de dijk slaat, gedeeld door de stormduur. Belangrijke waarden in Nederland zijn 0,1; 1 en 10 l/s per m breedte. In werkelijkheid slaan golven onregelmatig over de dijk en elke overslaande golf brengt meer of minder water met zich mee. Belangrijke parameters zijn hier de verdeling van de overslaande volumes water per golf en het verloop van de snelheid en laagdikte tijdens een overslag. Voor de

goede werking van de golfoverslagsimulator moeten deze parameters *op de kruin* bekend zijn en de simulator moet deze zo getrouw mogelijk simuleren. Als ze immers op de kruin goed worden gesimuleerd, dan zorgt de "natuur" er voor dat het op het binnentalud ook goed is.

3.2.2 Gemiddelde hydraulische condities bij zeedijken

Bij het vaststellen van hydraulische randvoorwaarden voor de proeven met de golfoverslagsimulator, binnen het SBW (of eerder ComCoast) kader, is het niet van belang de precieze toetsrandvoorwaarden bij de betreffende dijk te kennen. Het Hydraulisch Randvoorwaardenboek geeft toetsrandvoorwaarden af voor alle dijkringgebieden. Een globale schatting van hydraulische randvoorwaarden bij zeedijken is voorlopig genoeg. De achtergrond voor de keuze is onderstaand samengevat.

- Ter plaatse van de Boonweg (dijkring 6, vakken 20-23) wordt een golfhoogte van 1,85 m afgegeven. Er is geen golfperiode bekend. Voor het ontwerp van de nieuwe waterkering in Harlingen zijn ontwerprandvoorwaarden afgeleid op basis van uitgevoerde SWAN-berekeningen. Een golfhoogte van 2,6 m heeft hier een piekperiode van 6,4 s. Dit geeft een golfsteilheid van $s_{op} = 0,041$.
- In de Westerschelde worden voor dijkringgebied 30 (Zuid-Beveland) golfhoogtes afgegeven van orde 2-3 m met een periode van 8,4 s. Golfhoogtes tot 2,5 m vallen de dijkvakken vrij loodrecht aan, hogere golfhoogtes komen onder een grote hoek met de dijk in.
- In Zeeuws Vlaanderen worden golfhoogtes rondom 2 m afgegeven, soms tot boven 3 m. De volgende combinaties van golfhoogtes en golfperiodes worden vermeld:
 - $H_s = 1,75 \text{ m}; T = 4,4 \text{ s}$
 - $H_s = 2,4 \text{ m}; T = 5,3 \text{ s}$
 - $H_s = 3,2 \text{ m}; T = 5,9 \text{ s}$

Welke periode bedoeld wordt, is niet gegeven. De golfsteilheden worden achtereenvolgens $s = 0,058; 0,055$ en $0,059$. Deze hoge waarden geven aan dat waarschijnlijk de gemiddelde golfperiode wordt bedoeld, want de gevonden steilheden zijn met een piekperiode fysisch niet mogelijk (te steil).

Globaal kan worden gesteld dat een golfhoogte in de buurt van 2 m vaak als toetsrandvoorwaarde wordt afgegeven. Een golfsteilheid van $s_{op} = 0,04$ met de piekperiode, komt overeen met de Waddenzee. Als wordt gesteld dat $T_p = 1,2 T_m$, waarbij T_m de gemiddelde periode is, dan wordt met deze gemiddelde periode een golfsteilheid gevonden van $s_{om} = 0,058$. Dat komt goed overeen met de golfsteilheid die in de Westerschelde wordt gegeven. Voor een golfhoogte van $H_s = 2 \text{ m}$ betekent dit een piekperiode van 5,7 s en een gemiddelde periode van 4,7 s.

Dit zijn randvoorwaarden die vrij vaak voorkomen. Maar zowel hogere als lagere randvoorwaarden komen voor. Voor het bepalen van de overslagcondities voor de proeven op zeedijken, is dit echter voldoende. Een stormpiek kan maximaal ruwweg op 6 uur worden aangehouden (vaak korter) en een buitentalud ongeveer op 1:4. Dit alles samengevat levert de volgende uitgangssituatie voor het bepalen van golfoverslag:

$H_s = 2,0$ m; $T_p = 5,7$ s ($S_{op} = 0,04$); $T_m = 4,7$ s ($T_p = 1,2 T_m$)
 maximale stormduur is 6 uur (4600 golven in een totale proef)
 buitentalud van de dijk 1:4

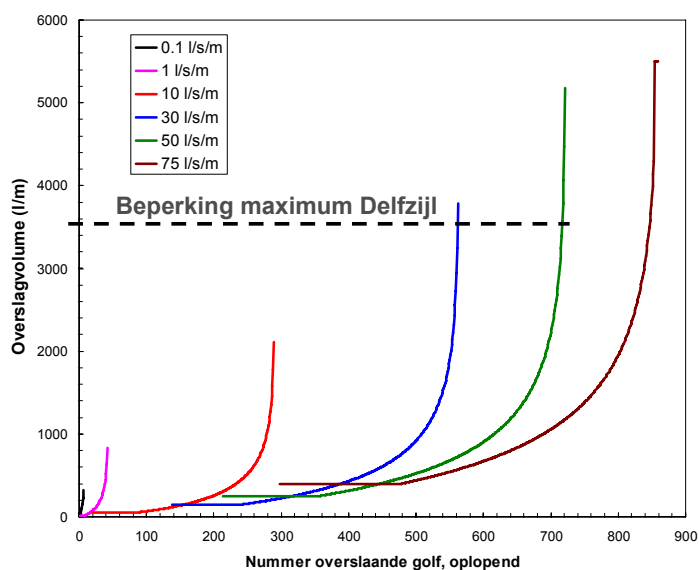
Deze golfcondities zijn gebaseerd op zeedijken. Maar ook bij de grote meren (IJssel- en Markermeer) is dit een redelijke schatting van voorkomende (toets of ontwerp) golfhoogtes. Echter niet voor het rivierengebied, waar de golven vaak veel kleiner zijn. Het rivierengebied wordt bij deze proefopzet dus buiten beschouwing gelaten.

3.2.3 Gemiddelde overslagdebieten en overslagverdelingen

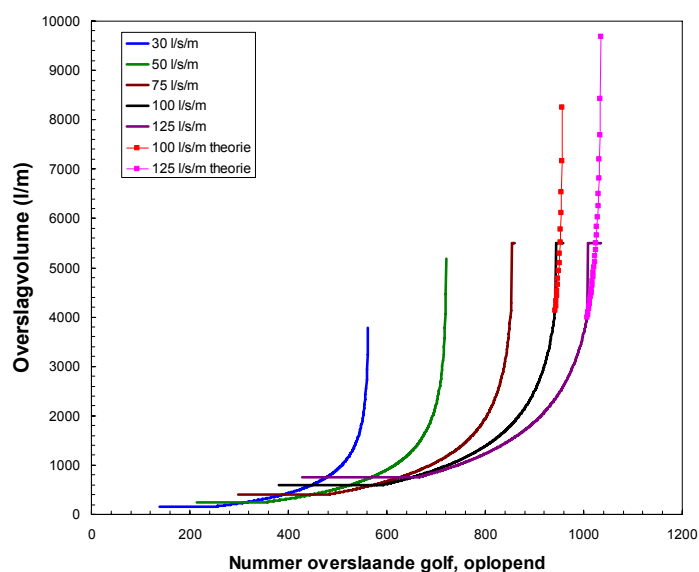
Voor de helling van het buitentalud van de dijk is een verloop van 1:4 aangehouden. Voor de proeven is uitgegaan van een maximale duur van de piek van de storm van 6 uur. Bij de proeven is dit opgedeeld in 3 perioden van 2 uur, om mogelijke schadeontwikkeling in de tijd goed te kunnen volgen. Ten behoeve van verdere berekeningen in deze paragraaf, is een stormduur aangenomen van 2 uur. Met deze waarden en de golfcondities uit de vorige paragraaf, kan de golfoverslag berekend worden voor iedere gegeven vrije kruinhoogte. Bij de berekeningen, en dus ook bij de proeven, wordt dus gespeeld met de vrije kruinhoogte, het verschil tussen kruinhoogte en waterstand. Er wordt niet gekeken of deze waterstand bij de beproefde dijk daadwerkelijk kan optreden, het is een aanname dat de benodigde waterstand optreedt om een gewenst overslagdebiet in de proef te simuleren.

De overslagformules zijn gegeven in het TAW-rapport (2002). Deze worden hier niet behandeld. De golfoverslagdebieten die vaak beschouwd worden bij het ontwerpen of toetsen van dijken zijn 0,1, 1 and 10 l/s per m breedte. Voor ComCoast en het SBW-programma zijn veel grotere overslagdebieten van belang, omdat gebleken is dat schade aan binnentaluds alleen bij veel grotere overslagdebieten plaats vindt. In Zeeland zijn ook overslagbestendige systemen getest en daar is een gemiddeld overslagdebiet van 125 l/s per m opgelegd. De range die beschouwd wordt, loopt dus van 0,1 l/s per m tot en met 125 l/s per m. Het TAW-rapport (2002), samen met het programma PC-Overslag, geeft de mogelijkheid om golfoverslag in al zijn facetten uit te rekenen. Bij gegeven dijk en golfcondities kunnen achtereenvolgend worden berekend: het 2%-golfoploopniveau, het percentage overslaande golven, het gemiddeld overslagdebiet en ook de afzonderlijke volumes water die per golf over de dijk slaan.

Figuren 3-1 en 3-2 geven overslagverdelingen bij verschillende gemiddelde overslagdebieten, die bij de proeven zijn gesimuleerd.



Figuur 3-1 In de proeven gesimuleerde overslagverdelingen voor gemiddelde overslagdebieten tussen 0,1 en 75 l/s per m



Figuur 3-2 In de proeven gesimuleerde overslagverdelingen voor gemiddelde overslagdebieten tussen 30 en 125 l/s per m, en theoretische maxima voor de twee grootste debieten

Het uitgangspunt is een proefduur van 2 uur (die driemaal wordt herhaald). In Figuur 3-1 zijn de overslagverdelingen gegeven voor overslagdebieten die lopen van 0,1 l/s per m naar 75 l/s per m. Het laatste debiet van 75 l/s per m is het maximum dat is toegepast op de dijken met een grastalud, in Friesland en Zeeland. Uitgaande van 2 uur simulatie en een gemiddelde golfperiode van 4,7 s, is het aantal "inkomende golven" in totaal ongeveer 1500. In de figuur is het aantal *overslaande* golven uitgezet, dit is dus een percentage van het totaal aantal inkomende golven, omdat niet elke golf over de dijk slaat. Hoe groter het gemiddeld overslagdebiet hoe groter het

aantal overslaande golven. Op de horizontale as is het aantal overslaande golven uitgezet met voor elke golf het overslaand volume in l per m breedte.

Er is een groot verschil in aantal overslaande golven en de grootte van de overslagen. Bij 0,1 l/s per m zijn er maar 3 overslaande golven met een maximum golf die kleiner is dan 400 l per m. Bij 1 l/s per m gaan er ongeveer 40 golven over de dijk met een maximum golf van 800 l per m. Pas bij 10 l/s per m gaan er veel meer golven over dijk, namelijk ongeveer 300 en de grootste golf geeft dan iets meer dan 2 m³ per m. Bij 75 l/s per m overslagdebiet is het aantal overslaande golven opgelopen tot 850, wat meer dan de helft van het aantal golven is. De grootste overslaande golf is dan ongeveer 5,5 m³ per m. In Delfzijl was de maximum capaciteit van de overslagsimulator kleiner (3,5 m³ per m) en zijn de proeven daar toentertijd ook beperkt tot een overslagdebiet van 50 l/s per m.

De gesimuleerde overslagverdelingen beginnen niet allemaal in het nulpunt. Theoretisch loopt de verdeling daar wel naar toe. Bij de proefuitvoering is uitgegaan van een daadwerkelijk gemiddeld overslagdebiet, wat ook constant in de simulator werd gepompt. In werkelijkheid is het mogelijk dat drie grote golven binnen enkele golfperioden over de dijk slaan. Het "gemiddeld" overslagdebiet is in die periode van orde een halve minuut veel groter dan het gemiddelde over bijvoorbeeld 1 of 2 uur. Dit kan moeilijk door de overslagsimulator worden gedaan, omdat juist daar van een over de hele proefperiode durende constant overslagdebiet (lees: pompdebiet) wordt uitgegaan. Er is minimaal ongeveer 5 seconden nodig voordat een volgende golf kan worden gesimuleerd. Het toegepaste overslagdebiet geeft dan ongeveer aan wat de kleinste overslaande golf is, die nog kan worden gesimuleerd. Bij 50 l/s per m is dat in Figuur 3-1 ongeveer 250 l per m (5 s maal 50 l/s per m).

Er werd tijdens de proeven een aantal van deze minimum overslaande golven gesimuleerd, die qua overslaande hoeveelheid in totaliteit gelijk was aan de totale theoretische hoeveelheid. Als voorbeeld: bij 75 l/s per m wordt in Figuur 3-1 aangegeven dat er ongeveer 200 golven zijn gesimuleerd met een overslaand volume van elk 400 l per m. Dit is gelijk aan de totale hoeveelheid overslaand water die theoretisch door de 500 kleinste golven wordt geproduceerd.

Figuur 3-2 spitst zich toe op de grootste overslagdebieten die zijn gesimuleerd. Bij de laatste proeven in Zeeland naar overslagbestendige systemen, is besloten het overslagdebiet te verhogen om de waarde van de proeven voor deze systemen zo hoog mogelijk te laten zijn. Het maximum dat is bereikt, met behulp van 2 extra pompen, is 125 l/s per m. In werkelijkheid is de inhoud de simulator begrensd en dus ook het volume van de grootste golf. De simulator kan een volume van 5,5 m³ per m aan. Figuur 3-2 geeft aan dat er theoretisch 10 overslaande golven zijn die een groter overslaand volume zouden moeten hebben. Hiervan zijn er 4 die boven een volume van 7 m³ per m uitgaan. Deze 10 grote golven zijn deels gecompenseerd door niet 10, maar 28 golven van 5,5 m³ per m te simuleren. Toch geeft dit een zekere afwijking in de simulatie van de belasting.

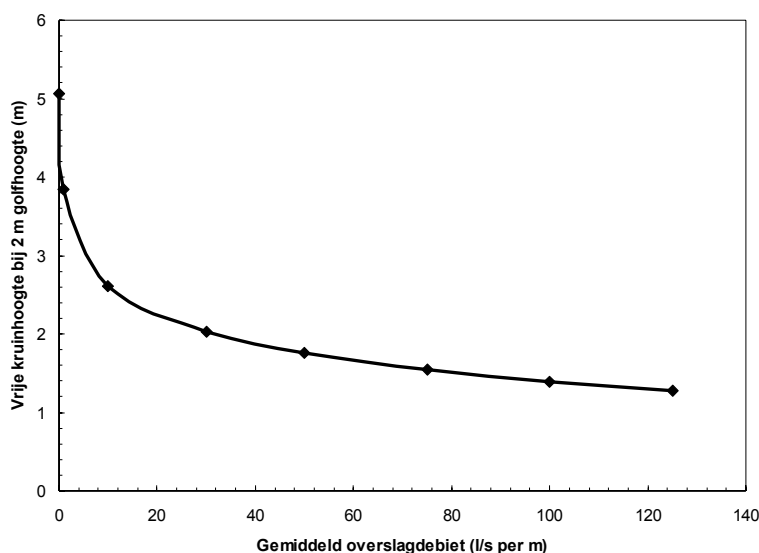
Tabel 3-1 geeft naast het aantal overslaande golven en de grootste overslaande golf ook hoe dicht de waterstand bij de kruin moet staan om een bepaald overslagdebiet te veroorzaken. De gegevens gaan uit van wat voor de proeven is aangehouden, namelijk een golfhoogte van 2 m en

een duur van 2 uur. Nederlandse dijken zijn ontworpen op een overslagdebiet van orde 1 l/s per m. Daar hoort een waterstand bij die 3,84 m lager ligt dan de kruin. Om een overslagdebiet van 75 l/s per m te krijgen, moet de waterstand meer dan 2,5 m hoger komen te liggen.

Tabel 3-1 Enkele karakteristieke waarden bij verschillende overslagdebieten, uitgaande van $H_s=2$ m; T_m 4,7 s, een buitentalud 1:4 en een storm van 2 uur.

	Gemiddeld overslagdebiet (l/s per m)							
	0,1	1	10	30	50	75	100	125
Vrije kruinhoogte h_k (m)	5,06	3,84	2,61	2,03	1,76	1,54	1,39	1,27
Percentage overslaande golven	0,2	2,7	18,9	36,6	47	56	62	68
Aantal overslaande golven	3	42	289	561	720	858	956	1034
Grootste overslaande volume (l/m)	400	835	2110	3790	5180	6750	8250	9680

Figuur 3-3 geeft eenzelfde beeld, waar de benodigde vrije kruinhoogte is uitgezet tegen het gemiddeld overslagdebiet (bij gegeven randvoorwaarden met een golfhoogte van 2 m). Om een vertienvoudiging van het overslagdebiet te krijgen (van 0,1 naar 1 l/s per m, van 1 naar 10 l/s per m en ook van 10 naar 100 l/s per m) is iedere keer een waterstand nodig die ongeveer 1,2 hoger ligt. Dit laat zien dat dijken die voor 1 l/s per m zijn ontworpen en gebouwd, niet direct een overslag van 10 of 100 l/s per m zullen krijgen, want een waterstand die meters hoger ligt dan de toetswaterstand is niet snel te verwachten.

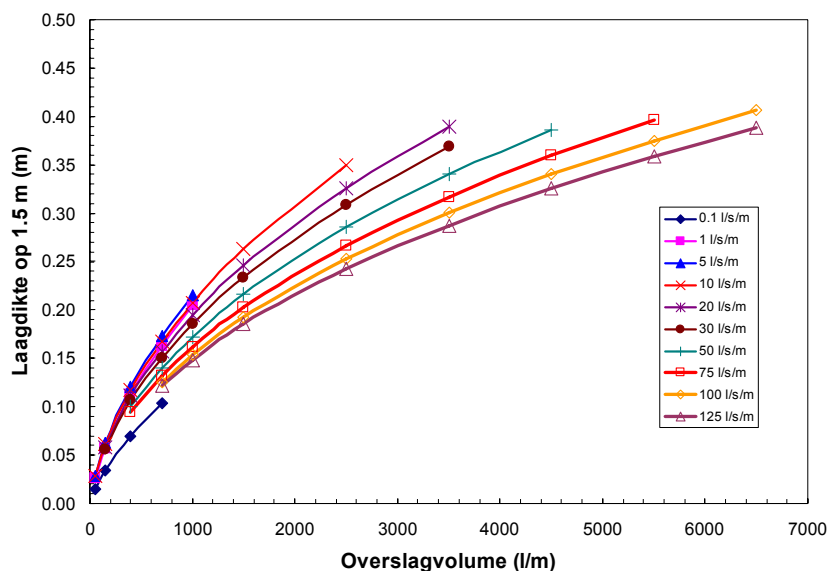


Figuur 3-3 Benodigde vrije kruinhoogte afhankelijk van het gemiddeld overslagdebiet. Berekeningen voor een golfhoogte van 2 m en een 1:4 buitentalud.

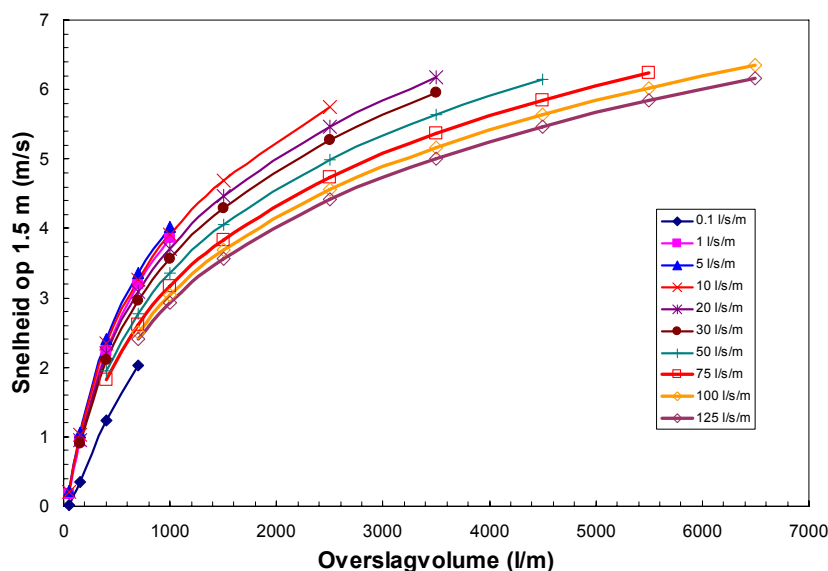
3.2.4 Laagdiktes, snelheden en overslagtijden bij golfoverslag

Door Bosman (2007) is in detail gekeken naar hoe overslaande golven over een dijk gaan. Er zijn betere formuleringen afgeleid voor laagdiktes en snelheden van overslaande golven op een talud en nieuwe formuleringen voor overslagtijden, dit is de tijdsduur dat er tijdens een overslag

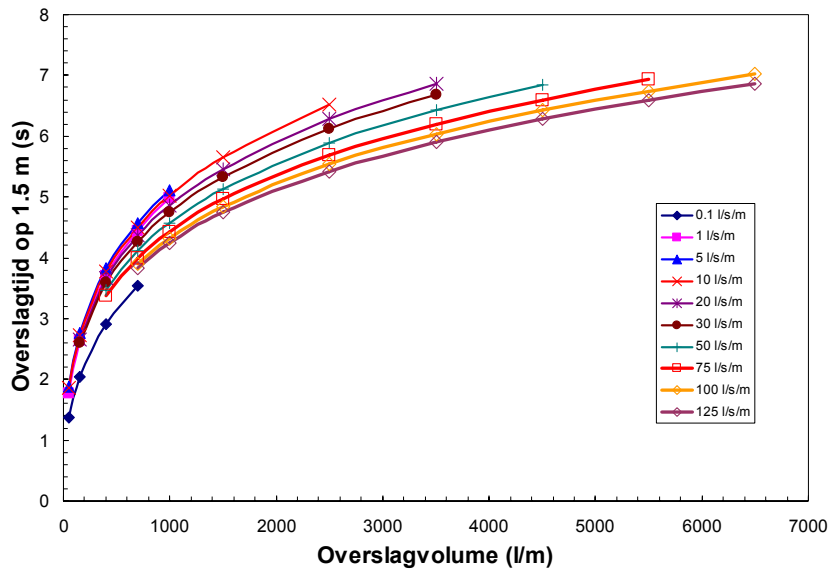
daadwerkelijk water langs het talud stroomt. De nieuwe formuleringen zijn ook opgenomen in het SBW-rapport, fase 1D Evaluatie Delfzijl. Ter illustratie geven Figuren 3-4 – 3-6 respectievelijk de laagdikte, de snelheid en de overslagtijd als functie van het overslagvolume per golf. Dit allemaal voor de eerder genoemde golfhoogte van 2 m, buitentalud van 1:4 en in dit geval op 1,5 m vanaf de buitenkruinlijn.



Figuur 3-4 Maximale laagdiktes op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume



Figuur 3-5 Maximale snelheden op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume



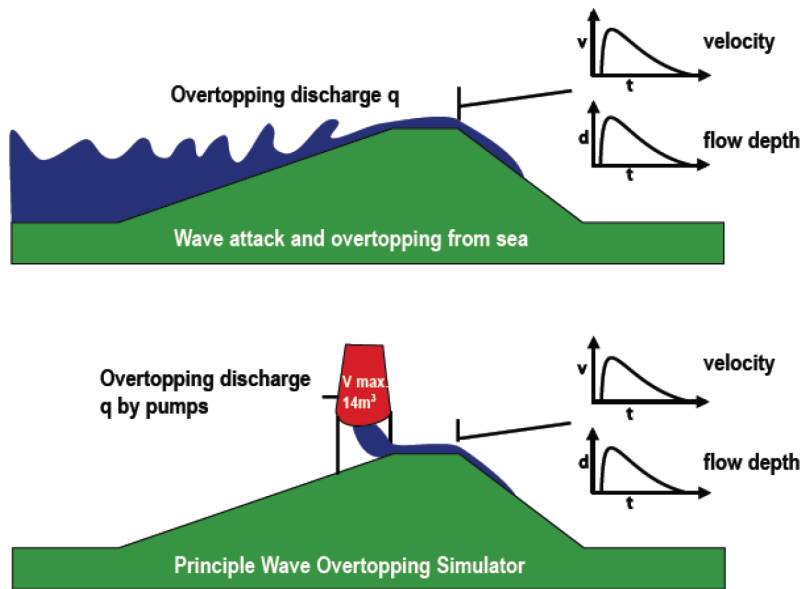
Figuur 3-6 Overslagtijden op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume

3.3 Ontwerp van de simulator

3.3.1 Principe

Het idee van de golfoverslagsimulator is in 2001 in de openbaarheid gebracht en het auteursrecht van Infram / J.W. van der Meer is vastgelegd door de notulen van de TAW-vergadering van 13 maart 2001. Het idee zelf is vrij eenvoudig, zie ook Figuur 3-7. We weten vrij veel van hoe golven de kruin van een dijk bereiken en hoe ze er overheen gaan met een bepaald laagdikte- en snelheidsverloop. Om golfoverslag te simuleren zijn in principe geen golven nodig, alleen dat gedeelte van de golven dat de kruin bereikt en er overheen gaat.

De golfoverslagsimulator is daarmee een bak die met een opgelegd en constant debiet door een pomp wordt gevuld en die op gezette tijden, door middel van een bedienbare klep, wordt geleegd. Het water moet er dan zo uitstromen dat het zo goed mogelijk overeenkomt met werkelijke golven die over een dijk slaan.



Figuur 3-7 Principe van de golfoverslagsimulator

3.3.2 Ontwerp

Het idee van de overslagsimulator is alleen maar een begin. Het ontwerp betekent dat gekeken moet worden naar de grootte, de vorm en de wijze waarop de bak wordt gelegeerd en hoe het water met de juiste proporties op de kruin van de dijk komt.

De grootte van de bak is afgeleid van een inschatting van het maximale overslagdebiet dat nodig werd geacht om binnentaluds van gras te laten bezwijken en de daarbij behorende grootste overslagvolumes. Een strook van 4 m werd vrij arbitrair voldoende breed geacht om erosie door overslag op binnentaluds te laten ontwikkelen, zonder dat wand- of zij-effecten zouden optreden.

De vorm van de bak is gebaseerd op de gewenste maximale snelheden per golf op de kruin. Bij grotere overslagvolumes moest een grotere snelheid worden bereikt. De bak staat op een bepaalde hoogte boven de kruin. De hoogte van het massazwaartepunt boven de kruin van het volume dat wordt losgelaten, bepaalt ook de snelheid op het talud. Hoe hoger het massazwaartepunt, hoe groter de potentiële energie en hoe groter de uiteindelijk snelheid. Uit de relatie gewenste snelheid en benodigde potentiële energie volgde de vorm van de bak

De bak wordt gesloten en geopend door een vlinderklep aan de onderkant van de bak. Er is voor een vlinderklep gekozen, omdat de belasting op de klep neutraal is bij het openen (aan beide zijden van de as evenveel water, dus evenveel druk).

Tot slot is de overgangsconstructie ontworpen, die ervoor zorgt dat de verticaal naar beneden gerichte snelheid wordt omgezet in een horizontale snelheid op de kruin. Deze overgangsconstructie is volledig proefondervindelijk ontworpen en niet op basis van theorie.

Voor meer informatie over het ontwerp van de simulator wordt verwezen naar het ComCoast rapport Design, construction, calibration and use of the wave overtopping simulator (2007).

3.4 Aanpassing van de simulator

Met de ervaringen in Delfzijl is op weg naar de proeven op de Friese Waddenzeedijk gekeken wat er zoal aan de destijds na calibratie van het prototype gebouwde 4 meter brede overslagsimulator verbeterd zou kunnen worden. Deze verbeteringen zijn beschreven in het SBW-rapport, Fase 2A Modelaanpassing. De verbeteringen worden hier kort samengevat.

De kruin van de dijk en vooral ook het knikpunt in de geometrie tussen de kruin en het binnentalud zou moeten worden meegenomen in de overslagsimulatie. Dit is bij de proeven in Delfzijl niet gebeurd, daar stond de simulator wel op het buitentalud, maar de uitstroomopening stond halverwege de kruin en daarna werd nog eens 2 m beschermd door een tapijt.

De simulator moest dus op het buitentalud worden opgebouwd, waardoor een aangepast stalen onderstel nodig was. Normaal vervoer van de simulator over de weg blijft hierbij mogelijk. Omdat ook de simulator wel eens een beetje verzakte, soms ook scheef, is dit onderstel zo ontworpen dat middels hydraulische cilinders op de poten heel gemakkelijk de simulator weer precies verticaal kon worden gesteld, zie Figuur 3-8.



Figuur 3-8 De simulator van achteren gezien, met het onderstel en de hydraulisch verstelbare poten.

Aandachtspunt is de verankering van de simulator en de vorm van de uitstroomopening welke bij voorkeur aanpasbaar moest blijven. Aandachtspunt was ook of er wel of niet een afdekking van de kruin moest zijn in verband met aanpassing stroming uit de simulator (grote voorkeur dat dit niet nodig zijn, zodat ook de kruinstabiliteit meegenomen kon worden). De lengte van de uitstroomopening is groter gemaakt, omdat de simulator verder op het buitentalud stond. Toch moest daarnaast nog een stuk (1-2 m) met doek of platen worden beschermd, omdat de waterstroom daarvoor nog een duidelijke component naar beneden had. Daarna was de waterstroom op de dijk vrijwel horizontaal.

Naast het meenemen van de kruin is de simulator groter gemaakt door middel van een opzetstuk. Met een extra capaciteit van $2 \text{ m}^3/\text{m}$ (totale capaciteit $5,5 \text{ m}^3/\text{m}$ en 22 m^3 voor 4 m breedte) kunnen simulaties worden uitgevoerd tot circa 75 l/s per m. Dit is het maximum dat met een opzetstuk kan worden bereikt met betrekking tot de grootste golven die nodig zijn. Met een apart opzetstuk is de simulator tijdens vervoer niet groter. Figuur 3-9 geeft de simulator met opzetbak, apart onderstel en de verlengde geleideconstructie, zoals deze op de Boonweg stond.



Figuur 3-9 Zijaanzicht van de vergrootte simulator in Friesland. De simulator staat op een apart onderstel wat met hydrauliek eenvoudig is te verstellen.

3.5 Bediening van de simulator

De bediening van de simulator bestaat uit het hydraulisch openen en sluiten van de klep vanuit de meetcabine met een joystick (zie Figuur 3-10). Doormiddel van een led op de joystick kan gekeken worden of de klep open (groen licht) of dicht (rood licht) is. Middels een elektrische schakelaar (microswitch) wordt een elektrisch signaal gegeven of de klep dicht of open is.



Figuur 3-10 Bediening van de simulator middels hydrauliek en een joystick (open – dicht)

Het openen en sluiten gebeurde aan de hand van de stuurfile: een lijst / schema met voor de desbetreffende proef van 6 uur (of 2 uur, met tweemaal een herhaling) de tijden voor het openen van de klep en de grootte in liters van de op dat moment te lossen overslaggolf. Bij Delfzijl werd de gewenste overslagverdeling (zie Figuren 3-1 en 3-2) gesimuleerd met een aantal vaste volumes, zoals 50; 150; 400; 700; 1000; 1500; 2500 en 3500 l per m. Deze verdeling was ook bij de peilschalen op de simulator aangebracht en op deze manier was vrij gemakkelijk te controleren of een gewenst volume ook inderdaad in de bak zat.

De ervaring in Delfzijl leerde dat de pomp nauwkeurig op een bepaald debiet kon worden ingesteld en dat dit debiet ook constant bleef gedurende de test. Daarom is de opzet voor de stuurfile voor de Boonweg aangepast. In feite zijn precies de overslagvolumes in Figuren 3-1 en 3-2 gesimuleerd. Er is eerst een overslagverdeling gemaakt zoals in genoemde figuren, waarbij er een minimum bij elk debiet is gesteld. De lijst met overslagvolumes is daarna in een random volgorde gezet. Daarna is per overslagvolume berekend welke tijd nodig zou zijn, met het ingestelde pompdebiet, om dit volume te bereiken. De cumulatieve lijst met deze tijden geeft dan de openingstijden voor de simulator.

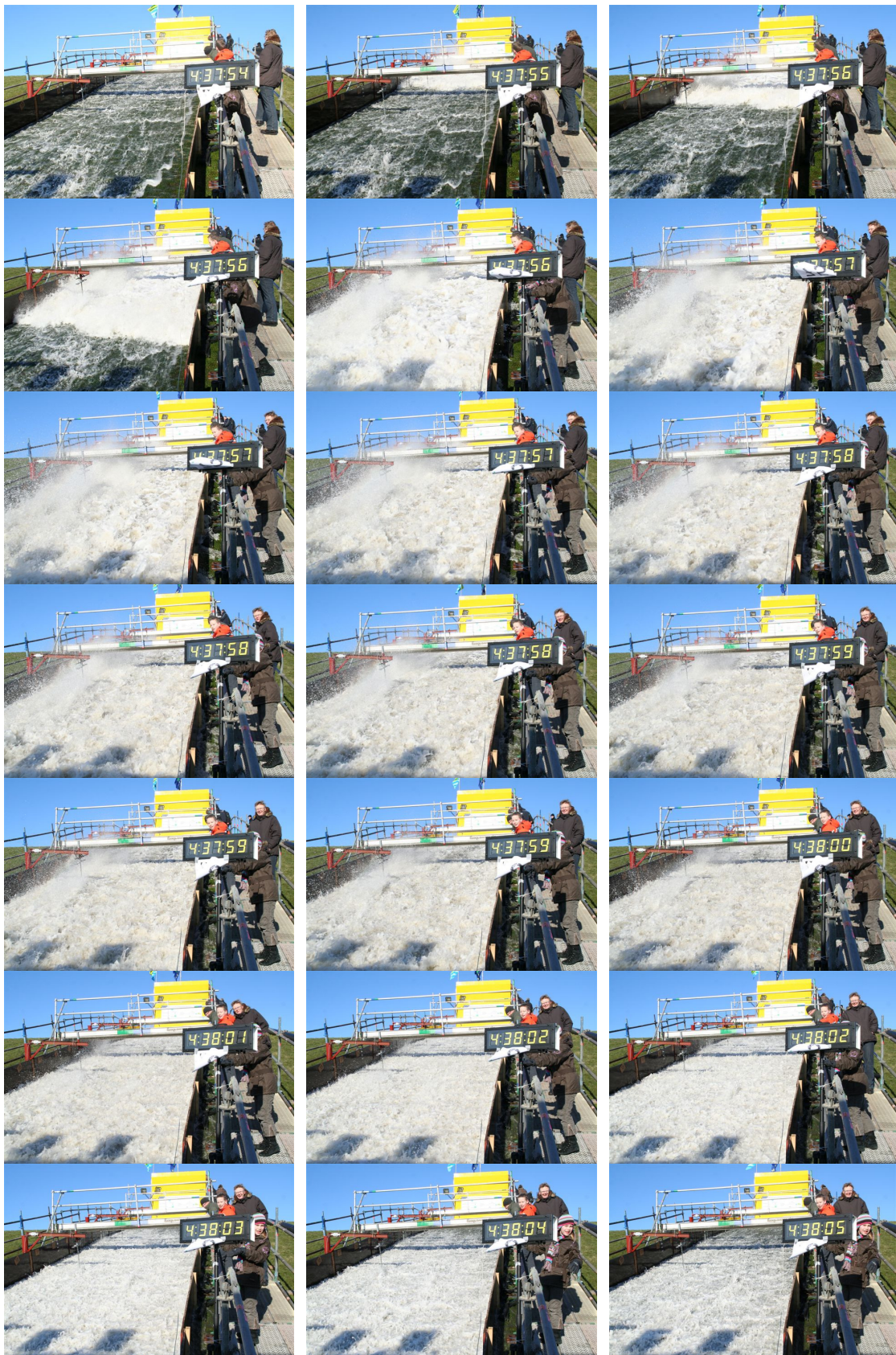
De tijden op de stuurfile geven enkel en alleen de tijd voor het openen van de klep weer. De benodigde uitstroomtijd is afhankelijk van het in de simulator aanwezige volume water. Voor een volle bak (22 m^3) is bijvoorbeeld ongeveer 5 s nodig, voor 100 l per m maar een enkele seconde. Bij kleine volumes werd de klep dan ook (op gevoel) weer eerder dicht gedaan dan bij een groot volume. Omdat het sluiten van de klep visueel (de klok) en deels op gevoel gebeurde (moment van sluiten), is er per golf sprake van enige variatie ten opzichte van de volgens de stuurfile juiste hoeveelheid overslaand. Aangezien het overslagdebiet gedurende de hele proef van 6 uur constant is, klopt de totale hoeveelheid water gedurende de simulatie van de storm bij een bepaald overslagdebiet wel en zal ook de gewenste overslagverdeling nauwkeurig genoeg zijn gesimuleerd.

De hoeveelheid overslaand water per overslaande golf is afhankelijk van het ingestelde debiet van de pomp en de tijdsduur tussen 2 lossingen van de simulator. De totale hoeveelheid overslag gedurende een periode van 6 uur bij een overslagdebiet van 75 l/s per m bedraagt 6480 m^3 . Vanwege de breedte van een proefstrook van 4 m moet de pomp een constant debiet van $4 \times 75 = 300 \text{ l/s}$ leveren.

Figuur 3-11 geeft het moment waarop de golfoverslagsimulator tot boven de 22 m^3 is gevuld. Figuur 3-12 geeft een idee van het gebeuren als deze 22 m^3 in enkele seconden op het binnentalud van de Boonweg wordt losgelaten.



Figuur 3.11 De golfoverslagsimulator gevuld met meer dan 22 m^3 water.



Figuur 3-12 Impressie van de golfoverslagsimulator op de Boonweg bij een overslagvolume van 22 m³ (of 5,5 m³ per m breedte)

4 Gras- en grondonderzoek

4.1 Grasonderzoek

De erosiebestendigheid van een grasmatbekleding hangt ondermeer af van de conditie van de grasmat en de doorworteling van de zode (het intensief doorwortelde bovenste gedeelte van de deklaag, bestaande uit substraat en wortels). Deze doorworteling is afhankelijk van het vegetatietype, welke weer grotendeels afhankelijk is van het gevoerde beheer. Om die reden is de graszode uitvoerig getest door Alterra.

In februari en maart 2008 is op basis van monsters met behulp van het VTV2006 door Alterra de doorworteling van de op het binnentalud aanwezige grasmatbekleding bepaald. Tevens is de vegetatie beschreven en zijn zodeparameters bepaald. Op basis van de doorworteling scoort de zodekwaliteit van de dijkvakken op St. Philipsland en Zuid-Beveland "goed". Van de twee wortelmetingen laten de metingen van maart 2008 de hoogste doorworteling zien. De doorworteling is in 4 weken tijd zichtbaar toegenomen.

Beide dijkvakken worden op basis van vegetatiesamenstelling volgens de VTV2006 ingedeeld bij dijkgraslandtype soortenrijk hooiland (H3).

Voor een uitgebreide uiteenzetting van het onderzoek wordt verwezen naar het rapport "Doorworteling en Zodeparameters in Wilhelminapolder en de Oude polder van Sint Philipsland, voorjaar 2008" (Alterra, 2008). Dit rapport is als bijlage G in dit document opgenomen.

4.2 Grondonderzoek

Naast het onderzoek door Alterra heeft Deltares een grondonderzoek uitgevoerd. Naast veldonderzoek (sonderingen en handboringen) zijn ten behoeve van de beoordeling van de kwaliteit van de bekleding van de dijk een aantal monsters genomen van de toplaag. Op basis van de uitkomsten van het laboratoriumonderzoek kan de erosiebestendigheid van de klei op beide locaties worden toebedeeld aan categorie c3 (weinig erosiebestendige klei).

De kleilaagdikte is onderzocht met sonderingen en handboringen. De onderzoekspunten zijn verspreid over het talud uitgevoerd. De kleilaagdikte ter plaatste van Sint Philipsland is gemiddeld 0,6 m en varieert enigszins van 0,5 m tot 0,6 m. De kleilaagdikte op de zanddijk in Kattendijke is gemiddeld 0,5 m en varieert sterk van 0,45 m tot 2,0 m. De grote variatie in de kleidikte is waarschijnlijk toe te schrijven aan een dijkversterking (nieuwe dijk op oude dijk).

De erosiebestendigheid de kleibekledingen op St. Philipsland en Zuid-Beveland is slecht (categorie c3) volgens de regels van het Technisch Rapport Klei voor Dijken (TAW, 1996): de plasticiteitsindex is laag (ongeveer 10%), het lutumgehalte is laag en ligt in de range van 13% tot 17% en het zandgehalte is hoog en varieert van 48% tot 58%. Er is variatie, maar alle monsters vallen in de categorie 'slecht'.

Het rapport "Golfoverslagproeven Zeeland, grondonderzoek en monitoring" (Deltares, juni 2008) bevat tevens informatie over waterspanningen in de kleibekleding en zandkern. Deze gegevens worden gebruikt voor het valideren van het grondwaterstromingsmodel "Plaxflow" en andere rekenmodellen die inzicht verschaffen in het infiltratie en afschuifgedrag van de kleibekleding op de zandkern.

Voor meer informatie over dit onderzoek wordt verwezen naar het rapport met kenmerk 432850-0008 (Deltares, juni 2008). Dit document is separaat van dit rapport opgeleverd. Op de bijgeleverde cd-rom is het rapport van Deltares digitaal bijgevoegd.

5 Metingen

Op een aantal proefstroken is door Deltares gedurende de proeven de infiltratie van het overslagwater in het dijkslichaam gemeten. Daarnaast is de laagdikte van de overslag op verschillende locaties op het talud geregistreerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van meetinstrumenten, die door Deltares zijn gekalibreerd en geplaatst. Voor de resultaten van deze metingen wordt verwezen naar de rapportages van Deltares, hier wordt een eerste uitkomst van de dataprocessing getoond. De feitelijke analyse van de metingen vallen onder een vervolgotraject en vallen niet onder deze rapportage.

De meetinstrumenten van Deltares bestonden uit laagdiktemeters, die eerder ook in Delfzijl en op de Boonweg zijn gebruikt. Het zijn in feite draadgolfhoogtemeters met zulke dunne draden dat het water niet bij de draden omhoog wordt gestuwd (wat wel het geval is als gewone golfhoogtemeters worden gebruikt met een dikte van ongeveer 4 mm). De draden meten het werkelijke volume water en niet de eventueel aanwezige lucht in het water. Daardoor kan er een verschil ontstaan tussen een visueel wateroppervlak en de gemeten laagdikte. De laatste zou dan lager moeten zijn.

Uit de registraties van de laagdiktemeters wordt rechtstreeks de maximale laagdikte bepaald en ook de verblijfsduur of overslagduur van een bepaalde golf. Uit vergelijking van twee laagdiktemeters kan de frontsnelheid worden bepaald. Dit is dus een berekende grootheid en is niet rechtstreeks gemeten.

Na de proeven is met de dataprocessing van de metingen begonnen. Bij de totstandkoming van dit rapport waren de proeven door Deltares nog onvoldoende uitgewerkt, zodat nog geen resultaten in dit rapport getoond konden worden. Voor inhoudelijke informatie over dataprocessing wordt verwezen naar het factual report "Golfoverslagproeven Friese Waddenzeedijk" met kenmerk 07i107B (Infram, augustus 2008).

Behalve metingen met de apparatuur is op de tweede proefstrook in Kattendijke een visuele meting van de laagdikte gedaan, zodat een vergelijk kon worden gemaakt met de gegevens van Deltares. Op St. Philipsland konden er geen visuele laagdiktemetingen meer worden uitgevoerd, omdat het talud reeds bezwaken was en extra overslag onacceptabel grote schade hebben veroorzaakt.

Ten behoeve van deze meting is een sessie uitgevoerd waarbij op basis van oplopend volume (500 – 1000 – 1500 – 3000 – 3500) de laagdikte visueel werd gemeten door aflezing van de op de meters aangebrachte peilschaal. De meting is per overslagvolume 3 keer herhaald. Tijdens deze sessie heeft de meetapparatuur van Deltares ook de laagdikte geregistreerd, zodat een vergelijk kan worden gemaakt. De resultaten van deze visuele metingen zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Meetportaal	Afstand t.o.v. uitstroomopening simulator (m)	Opnemers	Volume (l per m)			
			700	1000	1500	2500
I	4,6	1 + 2	12	15	16	25
II	9,34	3 + 4	5	9	10	15
III	14,6	5 + 6	8	10	13	20
IV	19,76	7 + 8	6	10	11	17
V	23,52	9 + 10	5	6	8	9

Tabel 5-1 Resultaten visuele meting laagdikte [cm]

Door de zeer snelstromende overslag, het zeer onregelmatige wateroppervlak en de vervorming van het wateroppervlak door de meetapparatuur (incl. opgeworpen buiswater/spray) bleek aflezen (vooral bij de grotere volumes) zeer onnauwkeurig. Omdat de laagdikte niet gedefinieerd afleesbaar is betreft het een schatting. Dit is tevens de reden dat de meeste waarden afgerond zijn op 5 cm. Daarom is besloten om bij de proeven op de harde bekledingen deze meting niet te herhalen.

Op ieder van de taluds met harde bekledingen is een sessie uitgevoerd waarbij met oplopend volume (500 - 1000 - ... - 5500 l/s) water over het talud is losgelaten. Elk volume is 3 maal herhaald om de reproduceerbaarheid te toetsen. Deze volumes zijn geregistreerd met de apparatuur van Deltares. Op deze wijze is er een eenduidige meting van de laagdikte en frontsnelheid bij bekend volume. Bij het volgen van de stuurlijst wil het namelijk nog wel eens voorkomen dat een golf gemist werd of de klep van de simulator te laat dan wel te vroeg werd geopend en daardoor niet het juiste volume werd gesimuleerd. Dit aangezien de metingen van Deltares worden gekoppeld aan de stuurlijsten en dus aan verkeerde volumes kunnen worden toebedeeld.

6 Erosieontwikkeling

6.1 Inleiding

Aangezien de proeven wat betreft schadeontwikkeling primair observatieproeven zijn, is de erosieontwikkeling van de grasbekleding (en eventueel kleilaag) als functie van de tijd vastgelegd met video-opnames en foto's. Een dergelijke vorm van waarneming geeft een kwalitatieve beschrijving van het schadebeeld. In dit hoofdstuk worden de verschillende methoden, om de erosieontwikkeling vast te leggen, beschreven.

6.2 Video

Gedurende de uitvoering van een proef is een beveiligingscamera gebruikt om de overslaggebeurtenissen en de erosieontwikkeling van de grasbekleding (en eventueel kleilaag) vast te leggen. Deze camera is bevestigd bovenop de meetcabine, zodat het gehele binnentalud (van kruin tot teen) tezamen met de digitale klok in één shot kon worden gevangen. Gezien de tijdschaal van de gebeurtenissen was een standaardopname van 25 beelden per seconde niet noodzakelijk en is om reden van datareductie gekozen voor 10 beelden per seconde. De videobeelden werden rechtstreeks opgeslagen op een harde schijf en tegelijkertijd werd een back-up van deze registratie gemaakt.

In een beperkt aantal gevallen is gelet op de kwaliteit van het beeldmateriaal en de behoefte aan meer detail, de schadeontwikkeling ook vastgelegd met een digitale videocamera.

6.3 Foto's

6.3.1 Nulopname

Alvorens een start te maken met de proeven op een proefstrook is behalve op proefstrook 1 een 'nulopname' gemaakt. Hiertoe zijn naast een globale inventarisatie van de uiterlijke kenmerken van het talud (zie §6.4) met behulp van een digitale fotocamera (Panasonic Lumix DMC-LX2) referentiefoto's gemaakt. Ter reconstructie van de schadepositie is gebruikt gemaakt van een mobiel raster van $(4 \times 2) \text{ m}^2$ dat het vier meter brede talud verdeelt in 8 vlakken van $1 \times 1 \text{ m}$. Voor de positionering ervan is op de schotten vanuit de simulator gezien naar beneden toe een lengteverdeling in meters aangebracht. De "nul" van deze verdeling lag op de benedenstrooms rand van de uitstroombak van de simulator. Door bij iedere foto de positie / referentie op het talud mee te fotograferen is achteraf de positie van de opname te achterhalen.

6.3.2 Details

In de regel zijn na elke sessie van 2 uur (met uitzondering van de proeven met 0,1 en 1 l/s per m) met behulp van het raster detailfoto's van de schadebeelden (indien aanwezig) gemaakt (zie Figuur 6-1). Aangezien in de meeste gevallen kleinschalige erosie heeft plaatsgevonden zijn voor een aantal gevallen ook de karakteristieken (afmetingen, e.d.) van het schadebeeld genoteerd.



Figuur 6-1 Voorbeeld referentie- + detailfoto (Kattendijke)

6.4 Beschrijving T0-situatie teststrook

Behalve bij de proefstroken met de harde dijkbekleding is voorafgaand aan de proeven de beginsituatie van de grasmat van de teststrook geïnventariseerd en beschreven (zij Bijlage C). Hierbij is overeenkomstig het hierboven beschreven mobiele raster per vierkante meter de toestand van de grasmat beschreven. Zaken die hierbij aan de orde komen zijn: de aanwezigheid van rijsporen, muizen- of mollengaten, mogelijke zwakke plekken in en initiële schades aan grasmat, opmerkelijke zaken aan de grasmatvegetatie etc. De resultaten van deze T0-toestand zijn per proef beschreven. Naast deze specifieke beschrijving van de 4 m brede teststrook is door Alterra een vegetatie- en grasmatonderzoek gedaan op de dijksectie waar het overslagonderzoek heeft plaatsgevonden. Zie voor de resultaten de rapportage van Alterra: "Doorworteling en Zodeparameters in Wilhelminapolder en de Oude polder van sint Philipsland, voorjaar 2008"d.d. mei 2008.

6.5 Erosievormen

Tijdens de proeven is gebleken dat er meerdere vormen van erosie zijn te onderscheiden. Om in de hieronder staande rapportage de eenduidigheid in de omschrijvingen te vergroten volgt hierbij een beschrijving van de te onderscheiden vormen in een volgorde zoals die veelal bij de proeven zijn geconstateerd. Bij de meeste vormen van erosie breidt de erosie zich uitsluitend naar beneden uit. Alleen bij head cut erosie, in de klei of wanneer de zandkern is bereikt, breidt de erosie zich ook uit naar boven.

6.5.1 Erosie los materiaal

Direct na aanvang van de eerste overslagproeven wordt het losse materiaal weggespoeld. Onder los materiaal wordt onder andere verstaan: los gras, hooi, half en geheel verteerd organisch

materiaal, al of niet aangetrapte molshopen en diverse klein zwerfvuil en vogelveren. Bovendien zullen door het naar beneden stromende water alle grassprietten dakpansgewijs, en naar beneden gericht, op het talud worden platgedrukt. Deze effecten zorgen ervoor dat het aanzien van de grasmat snel en betrekkelijk veel verandert. In de fase daarna verandert er normaal gesproken slechts weinig en langzaam. Bovendien is in deze fase geen sprake van uitbreiding in horizontale of verticale zin. Het betreft in feite het "schoonsoelen" van de grasmat.

6.5.2 Erosie grasmat

Onder erosie van de grasmat wordt verstaan het, onder invloed van welke processen dan ook, wegspoelen van aan de oppervlak liggende gronddeeltjes rondom de wortelhalzen van de grasplantjes, het min of meer loskomen van graspollen tot het verdwijnen van de grasbedekking door het oprol- of het opboleffect, waardoor kale plekken ontstaan en de onbeschermden klei aan de oppervlakte komt. Deze klei kent dan nog wel de samenhang als gevolg van de doorworteling van de kleilaag. Deze erosie verloopt over het algemeen langzaam. Het opboleffect daarentegen, en in mindere mate het oproleffect, ontstaat onverwacht en verloopt meestal snel. Deze laatste 2 vormen van erosie breiden zich alleen uit naar beneden en in de breedte.

6.5.3 Erosie kleilaag

Onder erosie van de kleilaag valt het langzaam, oppervlakkig en min of meer gelijkmatig slijten van de bovenkant de klei, het langzaam ontstaan van diepe erosiekuilen met steile tot verticale wanden in de kleilaag, snellere erosie door verbrokkeling van de klei. Deze vormen van erosie breiden zich alleen uit naar beneden en in de breedte.

6.5.4 Terug schrijdende erosie

Terug schrijdende of head cut erosie vindt plaats als de bovenstroomse helling vrijwel verticaal en grondmechanisch instabiel is geworden en er brokken klei in de erosiekuil storten. Deze vorm van erosie treedt versneld op als bij een diepe erosiekuil de zandkern van de waterkering wordt bereikt. Het zand wordt aan de bovenstroomse zijde van de erosiekuil snel weggespoeld, waardoor de afdeklaag van klei wordt ondermijnd. Deze vorm van erosie is tijdens de proeven alleen opgetreden vanaf overslagdebieten van 50 l/s per m.

7 St. Philipsland: erosiebestendigheid grasbekleding

7.1 Inleiding

Nadat op 12 maart de gehele proefopstelling was opgebouwd en voldoende water in de sloot was opgezet, kon op diezelfde dag nog worden gestart met de proeven. De proeven zijn primair gericht op observatie van de erosiebestendigheid van de op het binnentalud aanwezige grasbekleding en de daaronder gelegen kleilaag bij golfoverslag. De resultaten van de proeven op deze proefstrook worden in dit hoofdstuk gepresenteerd.

7.2 Nulopname

De proefstrook bevond zich op een dijk die bestaat uit een zandkern met een afdeklaag van klei. De dikte van de kleilaag op het binnentalud (1:2,4) zou volgens het ontwerp 0,60 m moeten zijn. De grasmat van de proefstrook zag er in verhouding tot de teststroken in Friesland slecht uit. Volgens de beheerder was de verpachte dijk al ca. 10 jaar niet meer bemest en hield de pachter zich niet aan de afspraken over het maaien. De bedoeling is dat het gras één keer per jaar vóór 15 juli wordt gemaaid en met een lengte van ca. 15 cm de winter ingaat. Door het veel te late maaien (in september 2007) en het achterblijven van teveel maaisel, waardoor de onderliggende grasmat verstikt, zag de grasmat er slecht uit. Verder was er sprake van meerdere molshopen en oppervlakkige mollenritten.

Het gras op het binnentalud was vrij lang met plaatselijk veel hoog en dor/dood gras en betrekkelijk veel graspollen. Het oppervlak van het talud is onregelmatig door veel rijsporen en andere verlagingen en verhogingen die als springschansen (cascade-effect) voor het overslaande water fungeren. De kruin is veel bereden en is bedekt met kort gras.

Naast het gras komt er veel bieslook en mos op het talud voor. Mollen zijn actief in de graszode en er komen veel oppervlakkige beschadigingen van de grasmat voor, waarvan sommige wellicht platgetreden molshopen zijn. Bijlage C-1 voor een visuele weergave van de hierboven beschreven opmerkelijke zaken in de grasbedekking.

7.3 Uitvoering

Tijdens het opbouwen van de proefopstelling was sprake van storm en kon de simulator niet op de kruin van de dijk geplaatst worden. Toen de storm de volgende dag was afgenomen, is alsnog de simulator door de kraan op de kruin geplaatst en kon met de proeven gestart worden. Gedurende de uitvoering van de proeven is de simulator vanwege de stormachtige wind gestabiliseerd met behulp van een kraan. Ondanks stormachtig weer konden de proeven zodoende doorgang vinden.

Omdat de elektroden van de laagdiktemeters door het zoute water gecorrodeerd bleken konden pas metingen uitgevoerd nadat de meters waren hersteld. Vanaf de proeven met 30 l/s per m is de laagdikte en frontsnelheid dan ook weer gemeten.

Met betrekking tot de uitvoering van de proeven kunnen geen verdere bijzonderheden worden vermeld.

7.4 Resultaten

7.4.1 Resultaten 0,1 en 1 l/s per m

In vergelijking tot de proeven met een groter overslagdebiet (> 1 l/s per m) is het aantal overslaande golven bij de proeven met een overslagdebiet van 0,1 en 1 l/s per m zodanig gering, respectievelijk 9 en 126 golven per 6 uur, dat de tijden tussen 2 golven erg lang zijn. Daarnaast is bij de proeven op de Friese Waddenzeedijk gebleken dat bij dergelijke overslagdebieten geen erosie van de grasmat plaatsvindt. Dit is dan ook de reden dat deze 2 proeven versneld zijn uitgevoerd (respectievelijk 100x en 10x).

Na uitvoering van deze twee proeven werd visueel geen aantasting van de grasmat waargenomen. Het enige dat werd waargenomen was dat de kale plekken, welke voor het beproeven reeds aanwezig waren, beter zichtbaar werden. Dit omdat het gras dat deze kale plekken bedekte werd platgedrukt door de golven, en omdat al het min of meer losliggende organische materiaal op en tussen de grassprietten was weggespoeld (erosie los materiaal).

7.4.2 Resultaten 10 l/s per m

Ten opzichte van de eerste 2 proeven met een klein overslagdebiet is de wortelhals (de overgang tussen wortels en blad) beter zichtbaar geworden na de proeven met 10 l/s per m (erosie grasmat). Het talud werd steeds slechter en ter plaatse van de vele molshopen/mollengaten werden langzaam de eerste tekenen van zeer plaatselijke erosie van de kleilaag zichtbaar.

7.4.3 Resultaten 30 l/s per m

Bij de proeven met 30 l/s per m werd het talud langzaam kaler en ontstonden nieuwe aandachtsplekken op het talud (zie Figuur 7-1). Bestaande "geulen" (oppervlakkige mollenritten) werden door erosie langzaam dieper. Het water kreeg nog weinig vat op de grasbekleding en de onderliggende kleilaag, waardoor mogelijk substantiële erosie uitbleef.



Figuur 7-1 Aandachtsplekken op het talud

Ter plaatse van de overgang talud – teen (knik) werd de grasmat steeds slechter. Ook traden randeffecten op (zie Figuur 7-2). Waarschijnlijk is dit het resultaat van het in het talud slaan van de geleideschotten. Om te voorkomen dat als gevolg van deze randeffecten het talud verder zou eroderen zijn deze "gaten" opgevuld met klei en daarna aangetrapt.



Figuur 7-2 Randeffecten ter plaatse van geleideschotten

7.4.4 Resultaten 50 l/s per m

Vrijwel aan het begin van de eerste sessie met 50 l/s per m vond op een tweetal plekken gelijktijdig substantiële erosie plaats (zie Figuur 7-3) door één enkele grote golf. De plaats waar dit gebeurde was respectievelijk op 6 m (1 m uit de linker kant) en 9 m (1 m uit de rechter kant) ten opzichte van de uitstroomopening van de simulator. De schade op 6 m heeft zich ontwikkeld op een plek direct benedenstrooms van de bij de T0 inventarisatie geconstateerde lichte beschadiging of mogelijk platgetrapte molshoop van de grasmat. De schade op 9 m is ontstaan ter plaatse van een bij aanvang aanwezige "onregelmatigheid" in het oppervlak van het talud. Op deze plek werd de overslag naar boven toe afgebogen. De oneffenheid op het talud fungeerde daar als een springschans voor de waterstroom. Het hierdoor optredende "cascade-effect" nam tijdens het verloop van de proef toe. Onder cascade-effect wordt verstaan het onder invloed van onregelmatigheden in het oppervlak van het talud, golvend (trapsgewijs) naar beneden stromen van het overslagwater.



Figuur 7-3 Substantiële schade talud bij begin van de proef met 50 l/s per m. De details geven het schadebeeld aan het eind van eerste 2 uur weer.

Gedurende de tweede sessie zijn beide schadebeelden groter (breder en langer) geworden. Vooral de schade aan de rechterkant heeft zich langzaam naar beneden uitgebreid (zie Figuur 7-4). De schade is voornamelijk oppervlakkig (< 10 cm). Het water heeft in deze 2 uur nog weinig van de onderliggende kleilaag geërodeerd.



Figuur 7-4 Schadebeeld einde tweede sessie 50 ltr,

Ter plaatse van de teen tussen talud en asfaltweg, heeft zich aan beide kanten van de proefstrook een groot en diep gat gevormd. Ter bescherming van de weg zijn deze gaten gedicht met breuksteen (zie Figuur 7-5). Uiteindelijk heeft het gat aan de rechterkant zich tijdens de derde sessie alsnog uitgebreid.



Figuur 7-5 Het dichten van de gaten met breuksteen nabij de asfaltweg

Gedurende de laatste 2 uur van de proef met 50 l/s per m heeft de bovenste erosieplek, links tussen de snelheidsmeters, zich ten opzichte van de eerste en tweede sessie nauwelijks uitgebreid. Het gat rechtsonder daarentegen heeft uiteindelijk aanleiding gegeven tot falen. Doordat langzaam een steeds dieper wordend gat met steile wand aan de bovenstroomse kant ontstond in de kleilaag kwam de zandkern bloot te liggen. Toen dit gebeurde versnelde de gatontwikkeling door uitspoelen van zand (zie Figuur 7-6).





Figuur 7-6 Schadeontwikkeling tijdens de laatste 2 uur van de proef met 50 l/s per m. In de bovenste 6 foto's stroomt het water van rechts naar links. In de andere foto's is dit van boven naar beneden.

Omdat inmiddels rechts in de teen van de dijk het gedichte gat zich toch richting de knik heeft kunnen uitbreiden werd het tussenliggende gedeelte tussen beide gaten, bij een van de laatste grote golven, naar beneden gedrukt (zie Figuur 7-7).



Figuur 7-7 Eindresultaat na 50 l/s per m

In Figuur 7-8 is duidelijk de overgang tussen het zand en klei te zien. Uiteindelijk bleek de kleilaag slechts 40 cm dik te zijn in plaats van de voorgeschreven 60 cm. Het gat in Figuur 7-8 is ongeveer 1 meter diep. Vrijwel direct na de afschuiving is, om verdere schade aan het talud te

voorkomen, besloten de proef met 75 l/s per m niet meer uit te voeren. Na afronding van de proef met 50 l/s per m ging het erosieproces echter nog wel circa een half uur door.



Figuur 7-8 Het ontstane gat tijdens de proef met 50 l/s per m. De overgang tussen de klei- en zandlaag is goed zichtbaar

De aanwezige mollengaten (zie de T0 opname) hebben gedurende de proeven op St. Philipsland niet tot schade geleid. Wel was er sprake van een lichte toename van de grootte van de mollengaten als gevolg van slijtage door het stromende water.

8 Kattendijke, sectie 1: erosiebestendigheid grasbekleding

8.1 Inleiding

Na uitvoering van de proeven op St. Philipsland is de gehele meetopstelling verhuisd naar de locatie op Zuid-Beveland: Kattendijke. Hier is de meetopstelling weer opgebouwd op het eerste proefvak, waar de erosiebestendigheid van de op het binnentalud aanwezige grasbekleding is getest. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van alle daar uitgevoerde proeven weergegeven.

8.2 Nulopname

De proefstrook bevindt zich op een dijk die bestaat uit een zandkern met een afdeklaag van klei. De dikte van de kleilaag op het binnentalud (ongeveer 1:3) zou volgens het ontwerp 0,60 m moeten zijn. De grasmat van de proefstrook zag er in verhouding tot de teststroken in Friesland slecht uit. Dit was voornamelijk het gevolg van een zeer grote hoeveelheid (ca. 70 = ca. 1/m²) mollengaten en -gangen in het testvak.

De kruin en de eerste 5 meter van het talud zagen er egaal en goed uit. Er waren twee lichte rijsporen en geen opvallende beschadigingen en geen mollengaten en gangen. De kruin kent kort gras en was licht vertrapt. Naast gras kwamen er meerdere kruiden voor. Iets lager op het talud is de heermoes een opvallende plant. Vanaf 5,5 m kwamen veel (platgetreden) molshopen en -gangen voor met concentraties rond 7, 10, 14 en 17 m. Aan de linkerkant rond de 7 en 8 m kende het talud een lichte deuk. Net na de teen was sprake van een zwaar rijspoor waarin de grasmat was beschadigd. Bijlage C-2 geeft een visuele weergave van de hierboven beschreven aangetroffen opmerkelijke zaken in de grasbedekking

8.3 Uitvoering

Tijdens de uitvoering van de proeven zijn geen noemenswaardige afwijkingen ten opzichte van het uitvoeringsregime van de proeven geconstateerd.

8.4 Resultaten

8.4.1 Resultaten 0,1 en 1 l/s per m

Gedurende de proeven met 0,1 en 1 l/s per m zijn veel van de vele aanwezige molshopen weggespoeld, waardoor de ingangen van de molsgaten zichtbaar werden.

8.4.2 Resultaten 10 l/s per m

Hoewel steeds meer kleine uithollingen zichtbaar werden en steeds meer kale plekken ontstonden was gedurende de proeven met 10 l/s per m geen sprake van substantiële erosie.

Wél ontstond er ter plaatse van de overgang talud – teen lichte schade aan de rechterkant van de teen (vanaf beneden naar de simulator gezien).

8.4.3 Resultaten 30 l/s per m

Gedurende de proeven met 30 l/s per m ontstonden er erosiegaten op het horizontale vlak ter plaatse van de overgang talud – teen. Ook achter de onderhoudsweg (mijnsteen op een met zand opgevuld cunet) is schade ontstaan (zie Figuur 8-1). Om de schade te beperken is het gat afgedicht met kunststofrijplaten.



Figuur 8-1 Schade achter de onderhoudsweg

Het talud vertoonde verder (nog) geen sporen van substantiële erosie. Dit werd echter wel verwacht toen de vele op het talud aanwezige mollengangen duidelijk zichtbaar waren geworden en nog gestart moest worden met de sessies met 30 l/s per m.

8.4.4 Resultaten 50 l/s per m

Aan het eind van de proef met 50 l/s per m is een groot stuk voor én achter de onderhoudsweg geërodeerd. Het talud echter vertoonde nog steeds geen sporen van substantiële erosie. Nog altijd kon het water geen vat krijgen op de bekleding en de daaronder gelegen kleilaag (zie Figuur 8-2), ongeacht de duidelijk zichtbare mollengaten.



Figuur 8-2 De toestand van het talud na twee sessies 50 l/s per m

8.4.5 Resultaten 75 l/s per m

Tijdens de eerste 2 uur van de proef met 75 l/s per m is de proef stilgelegd omdat het gevaar bestond dat de meetcabine ondermijnd zou worden (zie Figuur 8-3). De schade aan de onderhoudsweg werd ondanks de aangebrachte rijplaten namelijk steeds groter en als gevolg van terugschrijdende erosie ontstond het gat langzaam maar zeker ook onder de platte wagen.



Figuur 8-3 Ondermijning van de platte wagen (links) en herstel van de schade (rechts)

Nadat het gat was opgevuld met mijnsteen en de meetcabine was verplaatst, zijn de proeven hervat. Na een aantal grote golven was de opvulling al weer verdwenen en kon het gat in de onderhoudsweg gedurende de sessies langzaam groter en dieper worden (zie Figuur 8-4). Uiteindelijk was het gat aan het eind van de sessie ruim 15 meter bij 4 m en tot 1 meter diep!



Figuur 8-4 Schade aan de onderhoudsweg

Als gevolg van terugschrijdende erosie (head cut erosie) kon het gat uiteindelijk ook het talud (met kleidam en grindkoffer) bereiken en aantasten. Zodra de zandkern bloot kwam te liggen, ontstond er door het uitspoelen van het zand snelle doorgaande erosie het talud op. Het talud brokkelde daarna snel af, waardoor het ontstane gat naar boven toe snel groter kon worden (zie Figuur 8-5). Om verdere schade aan het talud te voorkomen is de proef nagenoeg direct na het bereiken van de zandlaag (en ongeveer 20 minuten voor het einde van de laatste 2 uur van de proef met 75 l/s per m) gestopt. Het erosieproces (afbrokkelen van het verticale talud) ging daarna als gevolg van uitstromend water nog geruime tijd door.



Figuur 8-5 Eindresultaat met blootliggende drainage

Na leegpompen van het gat bleek de in grindkoffer aanwezige drainage bloot te liggen (zie ook Figuur 8-5). De ontstane schade is direct hersteld door medewerkers van het Waterschap Zeeuwse Eilanden (zie Figuur 8-6)



Figuur 8-6 Herstelwerkzaamheden schadebeeld

9 Kattendijke, sectie 2: invloed initiële schade aan teen en kruin

9.1 Inleiding

Omdat bij een van de door het Waterschap Zeeuwse Eilanden beheerde zeedijken een boer mest in het dijklichaam had geïnjecteerd zijn, om de invloed van initiële schade als gevolg van sneden met de mestinjecteur op de binnenkruin en teen van het talud te testen, door een mestinjecteur sneden van circa 5 cm diep aangebracht op zowel teen als binnenkruin van de dijk. Tevens is op een tweetal plaatsen op het talud (waarvan één nagenoeg op de kruin) een houten paal de grond in geslagen. Deze oppervlakkig ingeheide (circa 30 cm diep) palen reikten niet tot aan de zandlaag.

De invloed van zowel de sneden op de binnenkruin en teen van de dijk als de palen op het talud zijn beproefd vanaf een overslagdebiet van 30 l/s per m. Dit omdat bij de proeven op het eerste proefvak geen schade was opgetreden bij kleine overslagdebieten en de grasmatten met molshopen grote gelijkenis met die van het eerste proefvak vertoonden. De resultaten van de proeven zijn in dit hoofdstuk beschreven.

9.2 Nulopname

Voor deze proef is een teststrook geselecteerd die zoveel mogelijk op de eerste teststrook leek, waarbij de eerste meters ook zonder molshopen waren. Vervolgens is de zode op de kruin over de eerste 2 meter met een mestinjector ingesneden zonder dat mest is geïnjecteerd (geacht wordt dat de injectie van mest an sich geen invloed heeft op de sterkte van de bekleding op het binnentalud). Hetzelfde is bij de teen over de laatste 4 meter gedaan. Deze voren en de aangetroffen molshopen en "springschansen" zijn aangegeven in Bijlage C-3

9.3 Uitvoering

Om schade aan de onderhoudsweg tegen te gaan en ondermijning van de platte wagen te voorkomen is onder de platte wagen een non woven geotextiel aangebracht en verankerd. Tijdens de uitvoering van de proeven zijn geen noemenswaardige afwijkingen ten opzichte van het uitvoeringsregime van de proeven geconstateerd.

9.4 Resultaten

9.4.1 Resultaten 30 l/s per m

Gedurende de proeven met 30 l/s per m ontstond linksonder aan het talud, net boven de teen en ter plaatse van de eerste injectorsnede een gat dat langzaam in omvang toenam (zie Figuur 9-1).



Figuur 9-1 Erosie linksonder op het talud

Ter plaatse van de sneden aan de teen van de dijk werd de bekleding steeds kaler en ontstond ondanks de aangebrachte bescherming ter plaatse van de onderhoudsweg een gat.

9.4.2 Resultaten 50 l/s per m

Aan het begin van de tweede twee uur van de proef met 50 l/s per m sloeg de laagste paal, die verticaal in het midden van het talud was geslagen, eruit. Hierbij werd een moot klei met bekleding iets naar beneden en omhoog gedrukt (zie Figuur 9-2). Achteraf bleek dit niet alleen door de paal te zijn veroorzaakt, maar ook door de bijna rondom en eronder aanwezige mollengangen.



Figuur 9-2 Initiële schade als gevolg van het eruit slaan van een verticaal in het talud geslagen paal

Hoewel de verwachting was dat de moot bij volgende grote golven eruit zou slaan, gebeurde er uiteindelijk helemaal niets. Ondanks het feit dat klei onder de moot erodeerde, zat de moot voldoende vast om er niet door de golven uitgeslagen te worden. De moot zakte uiteindelijk na erosie van de klei weer langzaam in (zie Figuur 9-3) en het water stroomde weer over het talud zonder verder schade te veroorzaken.



Figuur 9-3 De moot klei met bekleding zakte gedurende de derde sessie weer in

Het gat dat zich reeds tijdens de proef met 30 l/s per m aan de teen van de dijk ontwikkelde werd steeds groter. Ook de onder de bekleding aanwezige grindkoffer was nu zichtbaar (zie Figuur 9-4). Aangezien verwacht werd dat de schade zich bij 75 l/s per m drastisch zou uitbreiden, is besloten de proeven te stoppen.



Figuur 9-4 De grindkoffer (links) en de ontstane schade ter plaatse van de door de mestinjecteur aangebrachte schade aan de teen van de dijk

De sneden met de mestinjecteur in de teen van de dijk hebben lichte schade ten gevolg gehad. De ter plaatse van de teen ontstane schade is begonnen bij de eerste injectorsnede. De ontstane schade heeft echter niet geleid tot verder schade. De sneden op de binnenkruin van de dijk hebben géén zichtbare invloed gehad.

Los van de messneden is een groot gat ontstaan aan de teen van de dijk en had de initiële schade als gevolg van het eruit slaan van de paal in het talud tot meer schade kunnen leiden. Aangezien bij het eerste proefvak een soortgelijke schade was ontstaan aan de teen van de dijk, kan niet met zekerheid gesteld worden of deze schade het gevolg is geweest van de mestinjecteur.

Aan het eind van de proef is, ter plaatse van de initiële schade door de uitgeslagen paal, op het midden van het talud de moot uitgegraven (zie Figuur 9-5). Rondom en onder de moot grond bevonden zich mollengaten die tot ruim 50 cm diepte in de kleilaag reikten. Bij het verder uitgraven van het gat bleek de aanwezige kleilaagdikte 0,75 m te zijn, 0,15 m dikker dan ter plaatse voorgeschreven.



Figuur 9-5 De onder de uitgraven moot aanwezige mollengaten

10 Kattendijk, sectie 3 en 4: overslagbestendigheid harde bekledingen

10.1 Inleiding

Op het derde en vierde proefvak is de overslagbestendigheid van zowel Elastocoast® als open steenasfalt getest (zie Figuur 10-1). Hiertoe zijn de graszoden van beide vakken verwijderd en is op de op de kleilaag aangebrachte geotextiel een circa 0,15 m dikke harde bekleding aangebracht. De overslagbestendigheid van beide materialen is getest bij 30, 75 en 125 l/s per m. De resultaten van beide proeven zijn in dit hoofdstuk weergegeven.



Figuur 10-1 Proeven op Elastocoast® (links) en open steenasfalt (rechts)

10.2 Resultaten

10.2.1 Elastocoast®

Gedurende de eerste golven is een onbekende hoeveelheid los materiaal weggespoeld. Verder is de dijkbekleding onaangetast gebleven. Bij grote golven is her en der op het talud een stukje breuksteen losgeraakt, maar dit was enkel oppervlakkige schade (als je dit al schade mag noemen). Gesteld kan worden dat Elastocoast® als dijkbekledingsmateriaal in deze proef een overslagdebiet van 125 l/s per m kon weerstaan.

10.2.2 Open steenasfalt

Bij de proeven met open steenasfalt is, naast een onbekende hoeveelheid losse steentjes bij de eerste golven, enkel aan de randen schade opgetreden, wat een gevolg was van slechte randafwerking door de aannemer (zie Figuur 10-2). Getracht is deze schade te herstellen met koud asfalt, maar deze hechtte niet en na enkele golven was de opvulling dan ook al weer

verdwenen. Behalve de randeffecten heeft het open steenasfalt geen verdere schade ondervonden bij de grote overslagdebieten en kan ook hier worden geconcludeerd dat open steenasfalt, mits goed aangebracht, voldoende sterk was om in deze proef een overslagdebiet van 125 l/s per m te weerstaan



Figuur 10-2 Randeffect open steenasfalt

Hoewel stevige maatregelen (aanbrengen en verankeren geotextiel en kunststofrijplaten) zijn getroffen om erosie van de onderhoudsweg te voorkomen is na afronding van de proeven uiteindelijk een groot gat ontstaan achter de onderhoudsweg. De onderhoudsweg zelf was licht beschadigd (zie Figuur 10-3).



Figuur 10-3 Beschadiging onderhoudsweg (links) en gat achter onderhoudsweg (rechts) na uitvoering proeven op open steenasfalt

11 Observaties en voorlopige conclusies

11.1 Observaties en voorlopige conclusies gebaseerd op proeven Zeeuwse dijken

Na afloop van de proeven kan gesteld worden dat enkel op St. Philipsland schade op het binnentalud als gevolg van golfoverslag heeft plaatsgevonden. Deze schade trad, in tegenstelling tot de proeven op de Friese Waddenzeedijk, reeds op bij een kleiner overslagdebiet: 50 i.p.v. 75 l/s per m. Bij de kleinere overslagdebieten leidde de overslag niet tot schade.

Op Zuid-Beveland is voornamelijk (grote) schade ontstaan ter plaatse van de onderhoudsweg. Als gevolg van terugschrijdende erosie (head cut erosie) is op het eerste proefvak het talud uiteindelijk ook aangetast. Zodra de zandkern bloot kwam te liggen, ontstond er door het uitspoelen van het zand grote schade. Het talud brokkelde langzaam maar zeker af, waardoor het ontstane gat naar boven toe groter werd. Net als bij de proeven op Friese Waddenzeedijk vormen overgangen (van talud naar horizontaal) een bron voor initiële schade en doorgaande erosie.

De proeven bij Kattendijke laten zien dat de grasbekleding, ondanks de aanwezigheid van molshopen en -gaten, bestand was tegen proeven met een overslagdebiet met 75 l/s per m.

De sneden met de mestinjecteur hebben lichte schade ten gevolg gehad. De ter plaatse van de teen ontstane schade is begonnen bij de eerste injectorsnede. De ontstane schade heeft echter niet geleid tot verder schade. De sneden op de binnenkruin van de dijk hebben géén zichtbare invloed hebben.

Los van de messneden is een groot gat ontstaan aan de teen van de dijk en had de initiële schade als gevolg van het eruit slaan van de oppervlakkige in het binnentalud geslagen paal tot meer schade kunnen leiden. Aangezien bij de eerste proefstrook op Kattendijke een soortgelijke schade was ontstaan aan de teen van de dijk, kan niet met zekerheid gesteld worden of deze schade het gevolg is geweest van de mestinjecteur.

Zowel Elastocoast® als open steenasfalt blijken, mits goed aangebracht, zeer overslagbestendig: een overslagdebiet van 125 l/s per m heeft geen enkele vorm van schade opgeleverd bij beide harde dijkbekledingen.

11.2 Observaties en voorlopige conclusies, gebaseerd op alle overslagproeven

Deltares brengt in het kader van WV21 advies uit aan de Waterdienst omtrent het onderwerp doorbraakvrije dijken. Er is een werkgroep in het leven geroepen om de discussie en uitwerking van ideeën te stroomlijnen.

Begin 2008 is veel inzicht verkregen omtrent sterkte van binnentaluds van dijken bij golfoverslag door de proeven met de golfoverslagsimulator. Inmiddels zijn proeven uitgevoerd in Groningen, Friesland en Zeeland en bij een aantal proeven zijn de binnentaluds bij zware golfoverslag bezweken. Analyse zal later plaatsvinden en uiteindelijke conclusies komen pas in 2011 in de nieuwe VTV terecht.

Bovengenoemde werkgroep heeft gevraagd voorlopige conclusies omtrent alle uitgevoerde overslagproeven op te stellen en op basis hiervan naar het onderwerp doorbraakvrije dijken te kijken. Dit advies is door Deltares uitbesteed aan Van der Meer Consulting. Maar met het stellen van voorlopige conclusies moet voorzichtig worden omgegaan, omdat ze al te gemakkelijk voor definitieve conclusies worden aangezien. Daarom is bij het opstellen van voorlopige conclusie de projectgroep betrokken, die de proeven heeft opgezet, uitgevoerd en begeleid. Het is een gezamenlijk werk van de projectgroep, wat net zo goed van belang is voor genoemde werkgroep als voor het SBW-werk naar erosiebestendigheid van binnentaluds bij golfoverslag.

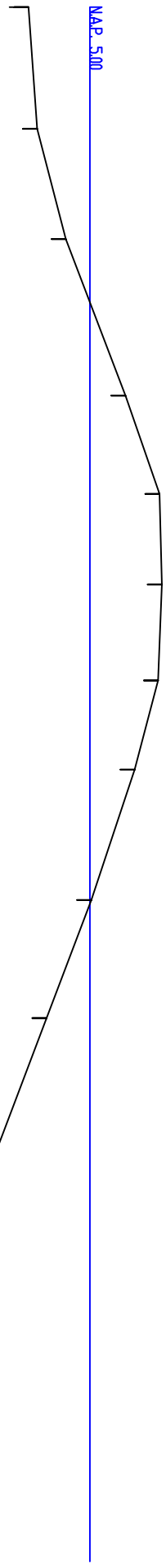
Omdat het een totaal overzicht geeft (en dus niet alleen het onderwerp in dit factuele rapport), is het geheel van observaties, voorlopige conclusies en schadebeelden, in dit rapport als een bijlage opgenomen. Dit is Bijlage E.

BIJLAGEN

A. Tekeningen

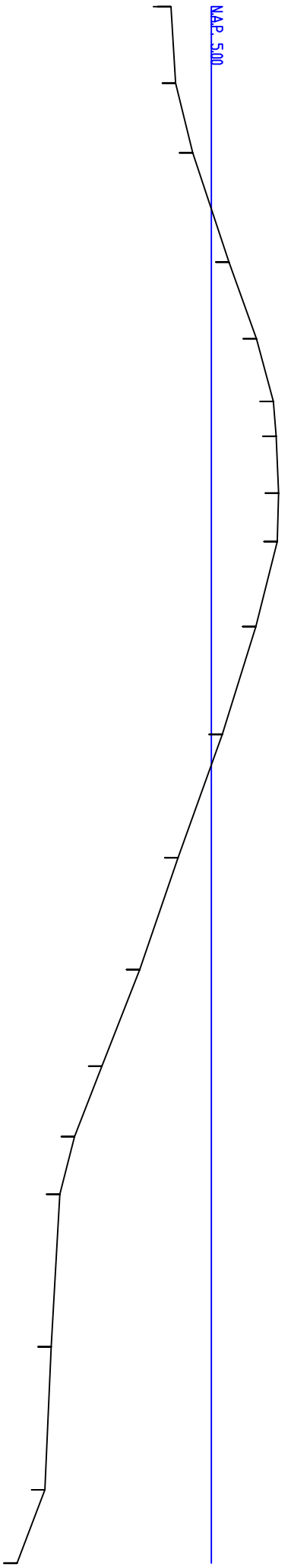
Afstand tov. nulpunt	Hoogte tov. N.A.P.
0.00	3.71
2.57	3.89
4.89	4.49
8.20	5.75
10.27	6.46
12.18	6.51
14.20	6.43
16.08	5.94
18.84	5.03
21.32	4.09
24.35	2.95
26.59	2.08
27.79	1.64
29.05	1.51
32.78	1.53

01 School th 100 Vt 100

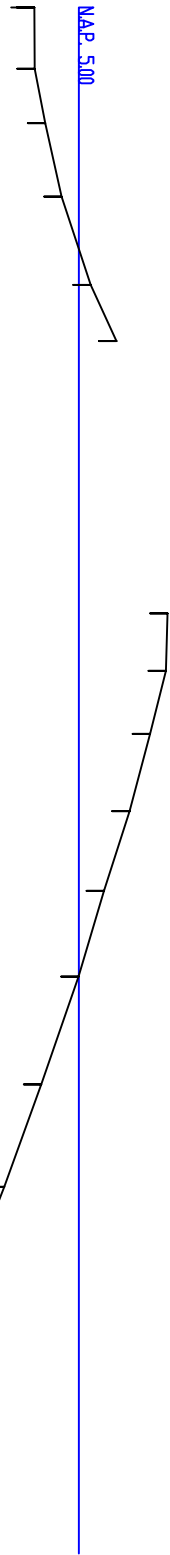


Afstand tov. nulpunt	Hoogte tov. N.A.P.
0.00	4.09
1.74	4.19
3.31	4.58
5.79	5.40
7.53	6.02
8.95	6.40
9.74	6.47
11.02	6.52
12.12	6.49
14.05	6.01
16.49	5.25
19.29	4.25
21.82	3.38
24.01	2.52
25.61	1.91
26.91	1.57
30.37	1.38
33.61	1.23
35.27	0.60

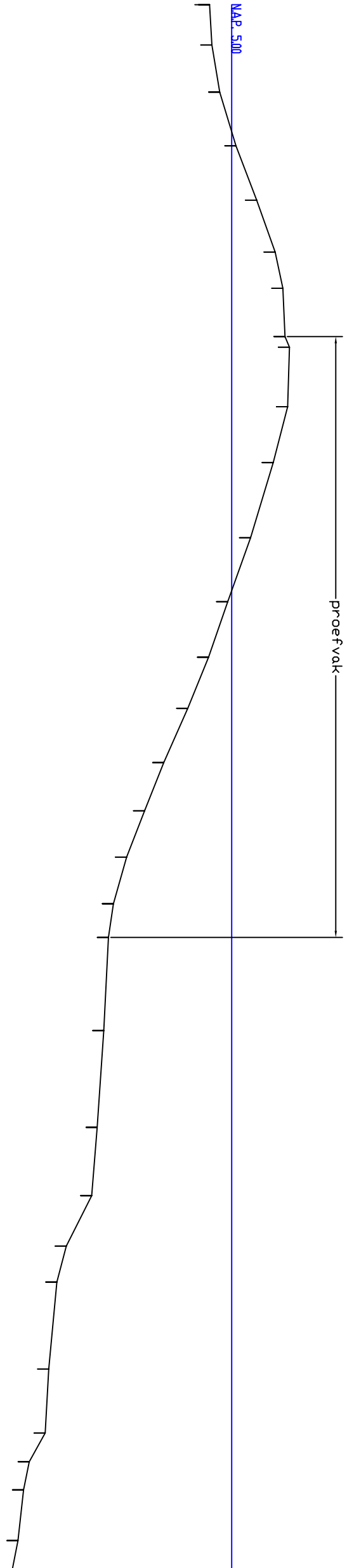
02 School th 100 Vt 100



03. School II 100 V. 100	
Afstand t.o.v. nulpunt	Hoogte t.o.v. NAP.
0.00	4.24
1.05	4.24
1.99	4.42
3.25	4.70
4.77	5.20
5.74	5.65
10.42	6.52
11.41	6.50
12.49	6.22
13.82	5.87
15.19	5.43
16.67	4.99
18.52	4.35
20.28	3.72
21.84	3.11
23.43	2.53
25.06	2.05
26.59	1.73

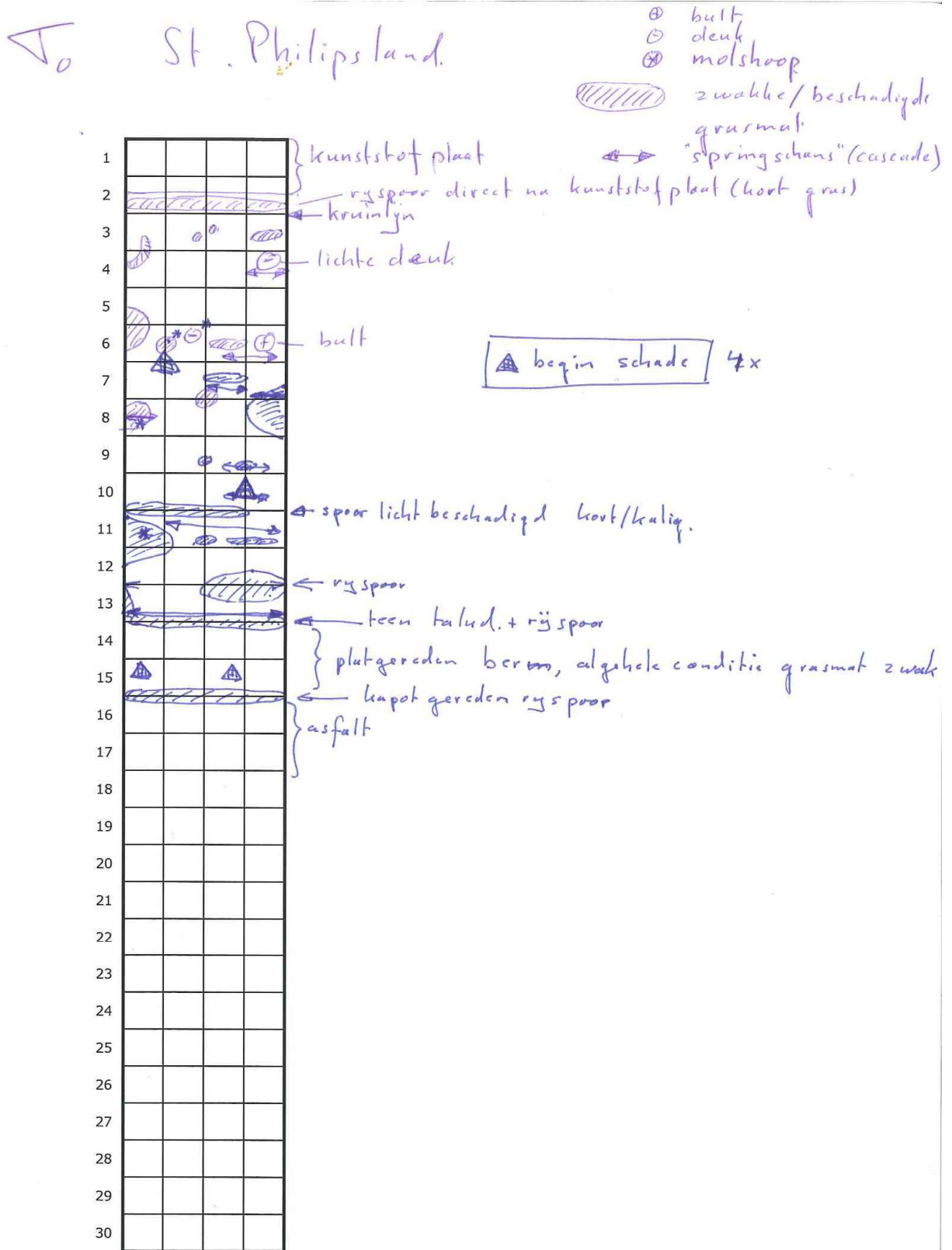


04. School II 100 V. 100	
Afstand t.o.v. nulpunt	Hoogte t.o.v. NAP.
0.00	4.40
1.09	4.46
2.37	4.67
3.83	5.11
5.30	5.68
6.71	6.18
7.70	6.38
9.01	6.44
9.30	6.56
10.91	6.51
12.43	6.13
14.47	5.51
16.20	4.89
17.71	4.37
19.10	3.81
20.57	3.16
21.88	2.64
23.14	2.15
24.41	1.79
25.32	1.66
27.85	1.53
30.47	1.35
32.33	1.20
33.70	0.52
34.68	0.26
37.04	0.04
38.77	-0.06
39.55	-0.49
40.32	-0.64
41.69	-0.79
42.46	-0.94



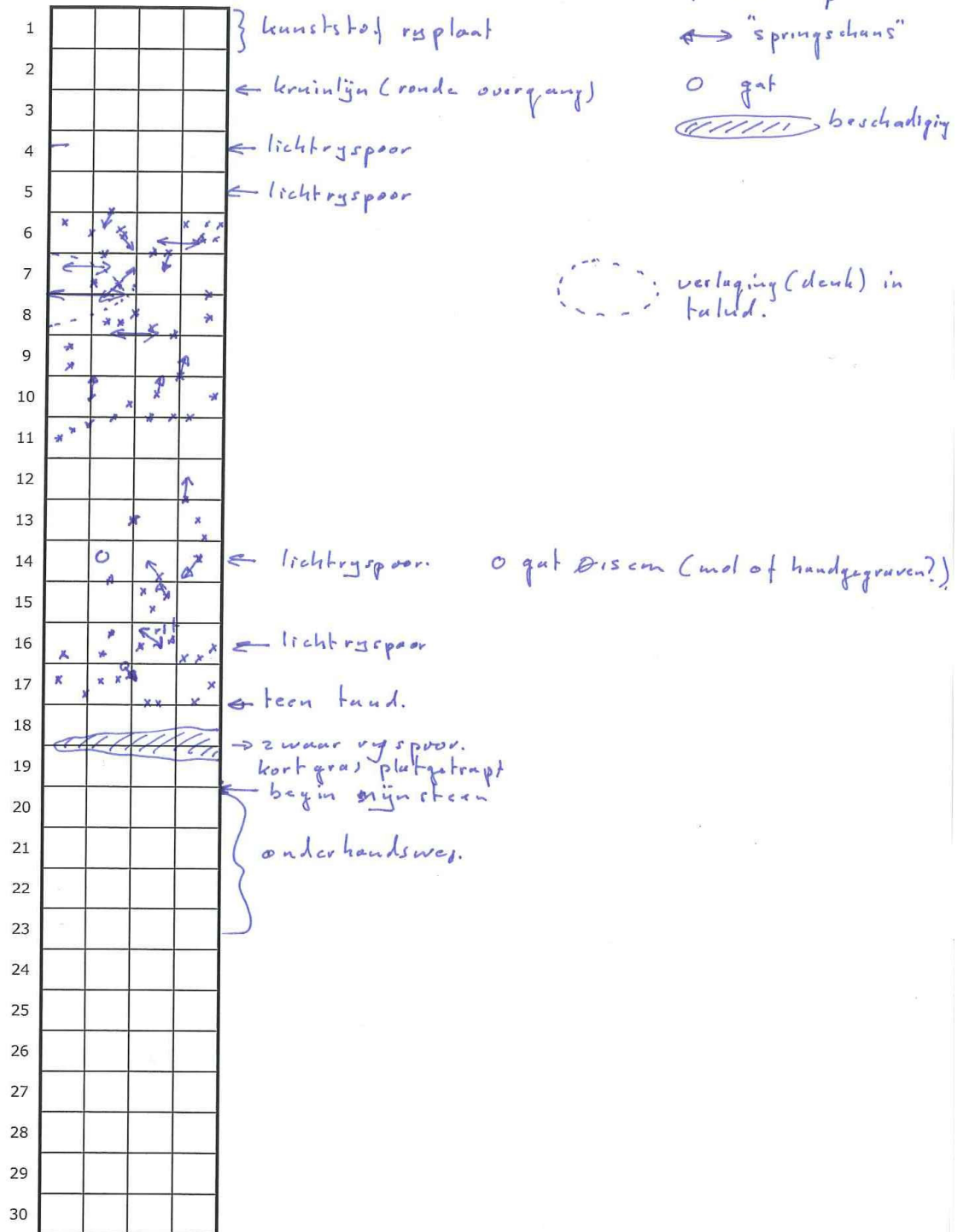
B. Nulmetingen

B.1 Proefstrook St. Philipsland

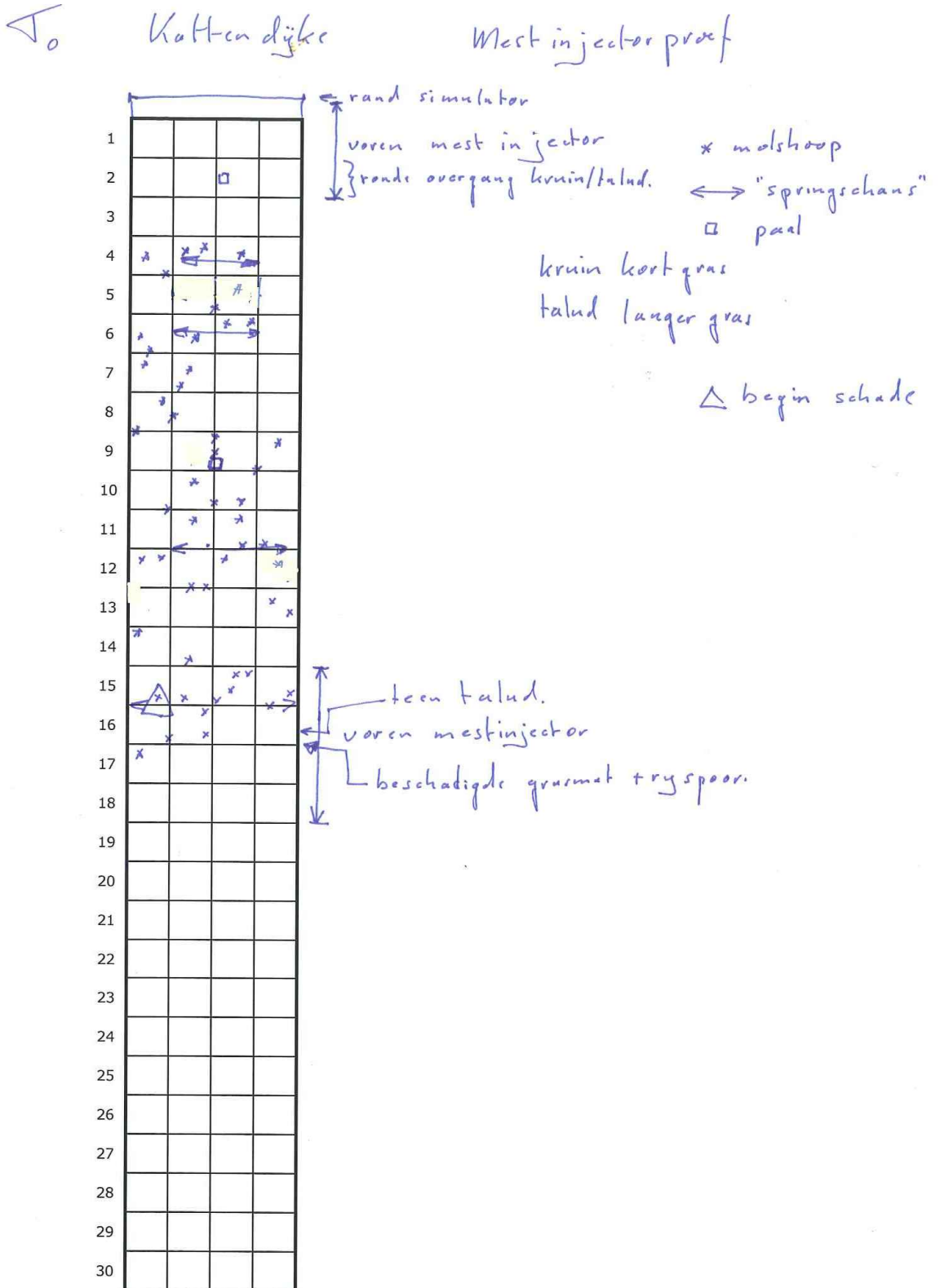


B.2 Proefstrook 1 Kattendijke

↖ Kattendijke Proefvak 1 (gras)



B.3 Proefstrook 2 Kattendijke



C. Samenvatting proeven

	Boonweg			
	<i>sectie 1</i>	<i>sectie 2</i>	<i>sectie 3</i>	<i>sectie 4</i>
Opbouw dijk				
kern	zand	zand	zand	zand
dikte kleilaag (m)	0,6	0,6	0,6	0,6
lengte binnentalud (m)	27	27	27	27
taludhelling	1:2,9	1:2,9	1:2,9	1:2,9
Beheer				
type grasland beheer volgens VTV	B	B	A	B
categorie beheer volgens VTV	I	WW	HH	HW
bemesting	<70 kg	geen	geen	geen
maaaien	1x	geen	2x hooien	1x hooien
beweiding	4x	2x	geen	1x hooien
bestrijding	geen	geen	geen	geen
categorie graszode	matig	matig	goed	matig
muizen/mollen	enkele	enkele	enkele	enkele
Kleikwaliteit				
vloeigrens Wi (%)	29	29	29	29
plasticiteitsindex Ip (%)	6	6	6	6
zandgehalte Zk (%)	60	60	60	60
lutum (%)	13	13	13	13
Categorie klei volgens VTV	c3	c3	c3	c3
Vegetatie				
vegetatietype volgens VTV	W2	W2	H3	W2
categorie graszode volgens VTV	matig	matig	goed	matig
geschatte bedekking (%)	99	99	90	90
gemeten bedekking (%)	97	94	92	88
beschadiging	zode gesloten	zode gesloten	zode pollig	zode gesloten
score doorworteling op basis van VTV2006	goed	goed	goed	goed
Maximum overslag				
maximum debiet (l/s per m)	75	75	75	75
duur maximum	6 uur	6 uur	6 uur	5 uur 50 minuten
Schadebeeld				
	geen schade talud; gat in teen	geen schade talud; gat in teen	ballon- mechanisme; groot grasoppervlak geërodeerd; geen gat in kleilaag;	ballon- mechanisme; gat in kleilaag tot aan zandkern; talud bezweken; gat in teen

D. Overzicht metingen

	Datum	Proef (l/s per m)	Proef- strook	Bekleding	Beheer	Sessie	Tijd		Visuele meting laagdikte	Controle pompdebiet	Data							
							Begin	Eind			Foto		Video	Laagdikte	Water- spanning	Tensio- meters	Theta- probes	
											Talud (einde sessie)	Details						
wo	12-mrt	0,1	1	Grasbekleding	Regulier	-	14:15		Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja		
		1,0				-	14:45		Nee	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja		
do	13-mrt	10,0				0 - 2	8:40	10:56	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
						2 - 4	11:23	13:23	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
		30,0				4 - 6	13:55	15:55	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
						0 - 2	16:25	18:25	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
ma	17-mrt	30,0				2 - 4	8:40	10:40	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
						4 - 6	11:15	13:15	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
		50,0				0 - 2	13:36	15:36	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee*	Ja	Ja	Ja	Ja	
						2 - 4	16:10	18:10	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee*	Ja	Ja	Ja	Ja	
di	18-mrt	50,0							4 - 6	8:20		Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

* bestand corrupt

Tabel D-1 Overzicht metingen St. Philipsland

	Datum	Proef (l/s per m)	Proefstrook	Bekleding	Beheer	Sessie	Tijd		Visuele meting laagdikte	Controle pompdebiet	Data							
							Begin	Eind			Foto		Video	Laagdikte	Water-spanning	Tensio-meters	Theta-probes	
											Talud (einde sessie)	Details						
do	20-mrt	0,1	1	Grasbekleding	Regulier	-	13:05		Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja		
		1,0				-	13:45	14:55	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	
		10,0				0 - 2	16:04	18:04	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	
vr	21-mrt	10,0				2 - 4	9:13	11:13	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja**	Nee	Ja	Ja	Ja	
		10,0				4 - 6	11:33	13:33	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja**	Nee	Ja	Ja	Ja	
		30,0				0 - 2	7:18	9:18	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
di	25-mrt	30,0				2 - 4	10:04	12:04	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
		30,0				4 - 6	12:28	14:28	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
		50,0				0 - 2	14:56	16:56	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
wo	26-mrt	50,0				2 - 4	8:31	10:31	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
		50,0				4 - 6	10:52	13:33	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
		75,0				0 - 2	13:33	15:16	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	
do	27-mrt	75,0	0 - 2	8:00	8:45	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja**	Nee	Ja	Ja	Ja				
		75,0	2 - 4	8:45	10:45	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja				
		75,0	4 - 6			Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja				
ma	31-mrt	10,0	2	Grasbekleding (simulatie mestinjectie overgangsstruc-tie)	Regulier	0 - 2	14:26	17:08	Nee	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	
di	1-apr	30,0				0 - 2	8:10	10:10	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
		30,0				2 - 4	10:20		Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	
		30,0				4 - 6	13:15	15:15	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	
		50,0				0 - 2	15:49	17:49	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	
wo	2-apr	50,0				2 - 4	18:10	18:30	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
		50,0				2 - 4	7:52	9:52	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja**	Ja	Nee	Nee	Nee	
		50,0				4 - 6	10:06	12:06	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	
		30,0				0 - 2	9:48	11:48	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	
do	3-apr	30,0				2 - 4	12:13	14:13	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
		30,0				4 - 6	14:50	16:50	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
		75,0				0 - 2	17:38	19:55	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
vr	4-apr	75,0	2 - 4	7:24	9:24	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee			
		75,0	4 - 6	9:43	11:43	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee				
		125,0	0 - 2	8:22	10:22	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee*	Nee	Nee	Nee	Nee				
ma	7-apr	125,0	2 - 4	10:22	12:22	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee*	Nee	Nee	Nee	Nee			
		125,0	4 - 6	12:22	14:22	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee*	Nee	Nee	Nee				
		125,0	0 - 2	12:02	14:02	Nee	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee				
di	8-apr	30,0	2 - 4	14:02	16:02	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee			
		30,0	4 - 6	16:02	18:02	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee				
		30,0	0 - 2	7:45		Nee	Nee	Nee	Nee	Nee*	Nee	Nee	Nee	Nee				
wo	9-apr	75,0	2 - 4			Nee	Nee	Nee	Nee	Nee*	Ja	Nee	Nee	Nee				
		75,0	4 - 6			Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee				
		125,0	0 - 2	18:07	20:07	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee				
do	10-apr	125,0	2 - 4	8:05	10:05	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee*	Nee	Nee	Nee	Nee				
		125,0	4 - 6	10:05	12:05	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee*	Nee	Nee	Nee	Nee				

* bestand corrupt

** gedeeltelijk gefilmd

E. Voorlopige conclusies golfverslagproeven

Voorlopige conclusies golfoverslagproeven

In het kader van ComCoast is in 2006 de golfoverslagsimulator ontwikkeld en gebouwd en zijn in maart 2007 de eerste proeven uitgevoerd naar sterkte van binnentaluds (erosie) door golfoverslag. Voor een deel was hier ook het SBW-programma van de Rijkswaterstaat betrokken. In februari-april 2008 is verder een redelijk aantal dijken onderzocht op, deels in het kader van SBW en deels in opdracht van het Projectbureau Zeeweringen in Zeeland. Doel van het SBW-programma is uiteindelijk een Technisch Rapport op te stellen omtrent sterkte van binnentaluds bij golfoverslag en nieuwe toetsregels te maken voor de VTV 2011.

Met name begin dit jaar is veel extra informatie verkregen, omdat de simulator was vergroot en er daardoor ook inderdaad schademechanismen zijn opgetreden. Er is echter nog geen tijd geweest om alle informatie van dit jaar te analyseren, na te rekenen, en conclusies uit te trekken.

In het kader van deze studie naar doorbraakvrije dijken is het echter wel gewenst om de resultaten mee te nemen en voorlopige conclusies te trekken op basis van wat we momenteel weten. Het trekken van voorlopige conclusies moet echter wel voorzichtig gebeuren, want in de praktijk zullen ze maar al te gemakkelijk voor definitieve conclusies doorgaan. Om deze reden is de volledige projectgroep, die bij de proeven was betrokken, geraadpleegd en zijn de voorlopige conclusies gezamenlijk vastgesteld. De status van deze voorlopige conclusies is niet anders dan een breed gedragen tussenstap op weg naar een nieuwe VTV 2011.

De proeven met de golfoverslagsimulator zijn in een bepaald kader uitgevoerd met bepaalde randvoorwaarden. De voorlopige conclusies zijn dan ook alleen toepasbaar binnen dit onderzochte kader. Dit kader ziet er als volgt uit.

- Het gaat uitsluitend om *erosie van binnentaluds* van dijken door golfoverslag. Het mechanisme grootschalig (oppervlakkig) afschuiven door infiltratie van overslaand water is uitdrukkelijk niet onderzocht. Dit onderzoek zal de komende jaren nog wel worden uitgevoerd. Afschuiven door infiltratie is belangrijk bij steile binnentaluds. In het algemeen worden binnentaluds van zee- en meerdijken ontworpen met een 1:3 talud, waarbij wordt aangenomen dat afschuiving dan niet zal optreden. Bij de voorlopige conclusies wordt dit mechanisme dus niet beschouwd.
- De proeven zijn uitgevoerd met als aanname een golfhoogte voor de dijk van ongeveer 2 m. Dit is een gemiddelde waarde voor toetsomstandigheden van zee- en meerdijken. Dijken met een veel grotere golfaanval (bijvoorbeeld bij Petten) of met een golfaanval die kleiner is dan ongeveer 1 m (veel rivierdijken), vallen daarmee niet in het onderzochte kader. Bij een grotere golfhoogte dan 2 m gaan er bij hetzelfde debiet minder golven over de dijk, maar dan wel met een groter volume per golf (waardoor de maximale belasting groter is). Bij kleinere golven gaan er veel meer golven overheen, maar met een kleiner volume. Bij grote overslagdebieten zal het al vrij gauw op overlopen lijken. De voorlopige conclusies gelden dus vooral voor *zee- en meerdijken met een gemiddelde golfaanval*.
- De binnentaluds hadden hellingen tussen 1:2,5 en 1:3. Steilere taluds met eventueel een berm aan de binnenzijde, zoals bij sommige bovenrivierdijken, vallen dus niet in het onderzochte kader.
- Er zijn alleen secties van 4 m breed onderzocht. De resultaten geven niet direct aanleiding dat dit een te smalle sectie was, alhoewel geïnfilterd water wel via de bodem zijdelings kon wegstromen. Alle schade ontstond in de sectie en niet tegen de sectiewanden.
- Elk beproefd overslagdebiet had een duur van 6 uur. Er werd met kleinere overslagdebieten begonnen en vervolgens werd na een elke 6 uur het overslagdebiet verhoogd, op dezelfde sectie. Een sectie die bijvoorbeeld met 75 l/s per m werd

beproefd, had al 6 uur lang 10; 30 en 50 l/s per m te verduren gekregen. Als de piek van de storm langer dan 6 uur duurt en de golfoverslag orde 30 l/s per m of meer bedraagt, dan zijn de voorlopige conclusies niet van toepassing.

In deze bijlage is een groot aantal foto's gegeven van resultaten van alle uitgevoerde proeven, zie figuren B1 – B32. Bij elke foto is extra informatie gegeven. Het doorneemen van deze fotocollage geeft een goed beeld van wat er allemaal is gebeurd op de diverse locaties. Een kort overzicht van uitgevoerde proeven, met de voornaamste kenmerken, is onderstaand gegeven.

Delfzijl (volledige kleidijk)

- ❖ Gewone grasbekleding
- ❖ Versterkte grasmat (geotextiel; Smart Grass Reinforcement - SGR)
- ❖ Kale klei (20 cm zode weg gehaald)

Boonweg (60 cm klei aan binnenzijde dijk op een zandkern)

- ❖ Normaal beheer, beweiding
- ❖ 2x weiden, geen kunstmest
- ❖ 1x weiden, 1x hooien, geen kunstmest
- ❖ 2x hooien, geen kunstmest

St Philipsland (60 cm klei op zandkern – ter plaatse van schade was dit 40 cm)

- ❖ 1x hooien, steil talud (1:2,5), slechte bedekking

Kattendijke (60 cm klei op een zandkern – ter plaatse van schade was dit 75 cm)

- ❖ 1x hooien, slechte bedekking, zeer veel mollen
- ❖ idem, beschadiging gierinjecteur; 2 palen in talud
- ❖ elastocoast en open asfaltbeton
- ❖ 20 minuten demonstratie voor watermanagers uit Florida

Een meer uitgebreid overzicht met kenmerken is gegeven in Tabel B1, waarbij Deltares de kenmerken met betrekking tot klei heeft toegeleverd en Alterra de kenmerken met betrekking tot de graszode en deels het beheer.

Als eerste worden hier de **observaties** gegeven van de proeven. Dit zijn beschrijvingen van wat er is voorgevallen en interpretaties zijn daarbij zoveel mogelijk weg gelaten. Deze observaties zijn niet voorlopig, alhoewel in de definitieve rapportage van de proeven wel nuance verschillen met deze rapportage kunnen ontstaan.

Op basis van de observaties worden **voorlopige interpretaties** en **conclusies** getrokken, welke binnen het onderzoekskader vallen, zoals boven geschetst.

De volgende **observaties** zijn gemaakt.

1. Geen enkel binnentalud van een proefvak gaf significante schade bij 30 l/s per m, gedurende 6 uur simulatie.
2. 1 proefvak gaf grote schade bij 50 l/s per m (St Philipsland). Het binnentalud was 1:2,5 met 0,4 m zandige klei op een zandkern en een open zode.
3. Pas bij 75 l/s per m ontstond bij een aantal proefvakken grote schade, maar een groot deel van de proefvakken doorstond ook deze belasting goed.
4. Aan de overgang van de kruin naar het binnentalud is nooit schade ontstaan.

5. Elastocoast en open asfaltbeton gaven geen schade bij 125 l/s per m. Een kleine reparatie met koud asfalt spoelde vrijwel direct weer weg.
6. Overgangen talud-horizontaal geven schade (in 6 van de 9 vakken); soms al bij 30 l/s per m, maar vooral bij 50 l/s per m of meer. Een onderhoudsweg van gravel is in droge omstandigheden hard en stabiel om op te rijden, maar er ontstaat uitspoeling en grote schade bij 30 l/s per m of meer overslag.
7. Een gat in de klei met een verticaal talud geeft het ontstaan van het mechanisme “head cut erosie”. Het verticale talud brokkelt af en het gat wordt naar boven toe groter. Dit mechanisme is in 4 proefvakken ontstaan.
8. Een beschadiging (gat) door de kleilaag heen tot op het zand (bij 50 l/s per m of meer) geeft direct grote schade, de zandkern spoelt zeer snel uit, ook volgens het head cut erosie mechanisme.
9. Goede kale klei, zoals de dijk bij Delfzijl, kan 6 uur 1 l/s per m golfoverslag aan, vervolgens 6 uur 5 l/s per m en daarna 6 uur 10 l/s per m. Bij elke belasting trad er erosie van kleideeltjes op. De voorgeschiedenis telt daarom mee bij de uiteindelijke schade bij 10 l/s per m. De resultaten gelden voor een volledige kleidijk. Als er een kleilaag op een zandkern ligt, dan is het kritieke punt wanneer het gat door de kleilaag heen gaat.
10. Aangebrachte gaten van 15x15 cm gaven in erosiebestendige klei bij 50 l/s per m geen verdergaande schade aan de grasmat. Bij gaten van 40x40 cm (15 cm diep) en 1x1 m (5 cm diep) ontstond uitschuring (geulvorming) aan de onderzijde van het gat tot aan de teen van de dijk.
11. De versterkte grasmat bij Delfzijl (SGR – Smart Grass Reinforcement) is bij schade aangebracht aan de grasmat sterker dan de gewone dijk.
12. Bij een aantal proefvakken kwamen veelvuldig mollen en soms ook muizen voor. De gangen werden duidelijker zichtbaar na overslag en de ingangen werden soms een beetje uitgehold, maar geen enkele beschadiging door deze dieren heeft tot initiële schade aan het talud geleid.
13. Op twee dijkvakken, (vrijwel) zonder beweiding en met een sterke zode, kwam het “ballonmechanisme” voor bij 75 l/s per m. Dit mechanisme was niet bekend.
14. Schade aangebracht door een gierinjecteur was geen aanleiding tot initialisatie van een schademechanisme bij golfoverslag.
15. Net geplaatste palen met een kleine diameter zijn in het algemeen geen obstakels die aanleiding geven tot schade. Eén paal (Kattendijke) werd uit het talud gerukt, met name omdat deze ondiep (30 cm) in of bij een stelsel van mollandingen was geplaatst. Er ontstond echter geen doorgaande schade. Palen of obstakels met grote diameter, zoals bijvoorbeeld dijpalen, zijn niet onderzocht.

Bovenstaande observaties leiden tot de volgende **voorlopige conclusies**, geldend binnen het omschreven kader.

1. Het lijkt aannemelijk dat een binnentalud van klei met gras bij een overslag van 30 l/s per m of minder nooit door erosie zal bezwijken. Alleen verder onderzoek kan deze conclusie meer definitief maken.
2. Het lijkt dat erosiebestendigheid van het binnentalud vooral wordt bepaald door het gras en minder door de kwaliteit klei. De variabiliteit van de graszode heeft wel invloed, maar mogelijk minder dan we hadden verwacht. Dit zou kunnen betekenen dat ook de wijze van beheer maar weinig invloed heeft op de sterkte van het binnentalud.
3. Overgangen talud-horizontaal zijn mogelijk de belangrijkste aanleiding voor initiële en doorgaande schade. Bij de proeven is dit vaak de overgang van benedentalud naar het horizontale maaiveld (teen van de dijk) of onderhoudsweg geweest. Schade ontstond altijd bij een overslagdebiet van 30 l/s per m of meer. Dan ontstaat de schade wel helemaal beneden aan de dijk en moet er veel tijd zijn om een doorbraak te veroorzaken. Andere overgangen van talud naar horizontaal zijn niet onderzocht, maar geven mogelijk hetzelfde beeld. Te denken valt aan fietspaden, hoger gelegen onderhoudswegen, binnenbermen, tractorsporen, schapenpaadjes, dijkovergangen, trappen, op- en afritten, etc. Verder onderzoek zou hier uitsluitsel kunnen geven.
4. Een gat in de kleilaag die de onderliggende zandkern bereikt, veroorzaakt bij een groot overslagdebiet (50 l/s per m of meer) een snelle doorgaande erosie. Dit is niet geconstateerd bij kleinere overslagdebieten om de eenvoudige reden dat bij kleinere overslagdebieten nooit wezenlijke schade aan het binnentalud is opgetreden.
5. Kleine obstakels als palen hebben geen erosie laten zien. Grotere niet waterkerende elementen, zoals dijkpalen of dijkstenen, of een afrastering die al lange tijd staat (met mogelijk muizen- en mollengaten in het niet gemaaid gras er om heen en een afwijkende bodemstructuur) zijn niet onderzocht en kunnen mogelijk wel aanleiding zijn tot schade. Ook hier is verder onderzoek nodig voor meer definitieve conclusies.

Met betrekking tot bovenstaande observaties en voorlopige conclusies, kan de volgende aanbeveling worden gemaakt:

Het verdient aanbeveling verdere proeven onder meer te richten op:

- rivierdijken met andere golfomstandigheden en andere binnentaluds, zodat ook voor rivierdijken meer definitieve conclusies kunnen worden getrokken;
- overgangen in het talud, zoals fietspaden, hoger gelegen onderhoudswegen, binnenbermen, tractorsporen, schapenpaadjes, dijkovergangen, trappen, op- en afritten, etc;
- grotere niet-waterkerende obstakels in het talud, zoals dijkpalen of dijkstenen, of een afrastering die al lange tijd staat.



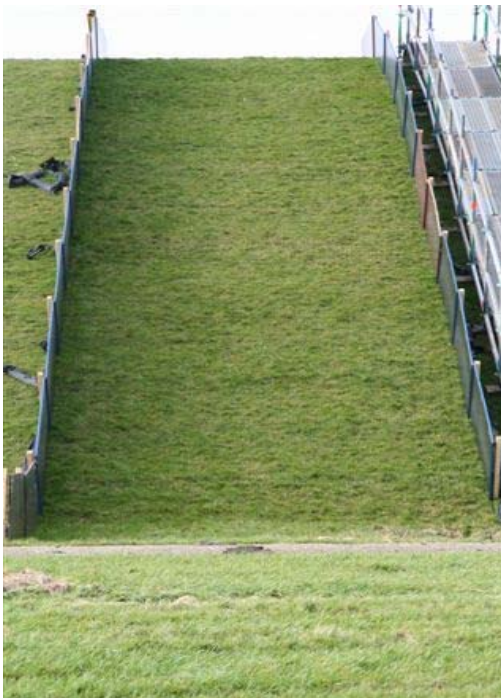
Figuur B1. Eindresultaat Delfzijl. Links de normale dijk na aanbrengen van beschadigingen (1x1x0,05 m; 0,4x0,4x0,15 m; bovenin 2 gaten 0,15x0,15x0,15 m; drie palen in talud) en na 6 uur met 50 l/s per m. Rechts de versterkte SGR-sectie, waarbij geen geulvorming optreedt (op het gewone dijkvak wel).



Figuur B2. Eindresultaat Delfzijl. Kale kleidijk (0,2 m grasbedekking weg gehaald). Debieten van 1; 5; en 10 l/s per m gedurende elk 6 uur. Erosie bij elke proef, bij het grootste gat uiteindelijk uitmondend in head cut erosie (horizontaal deel met verticaal talud; verticaal talud brokkelt af en het gat vergroot zich naar boven).



Figuur B3. Eindresultaat Boonweg, eerste sectie. Kleidek van 0,6 m op zandkern. Normaal beheer (hele zomerseizoen beweiden, bijmaaien en 70 kg/hectare stikstof). Geen schade aan talud na 75 l/s per m; Na 4 uur van 50 l/s per m beschadiging horizontale deel (teen), waar een oud klinkerpaadje aanwezig bleek. Deze schade zette zich door bij 75 l/s per m (foto rechts).



Figuur B4. Eindresultaat Boonweg; tweede sectie. Beheer: tweemaal beweiden, tweemaal hooien en geen stikstof gedurende 17 jaar. Geen schade talud na 75 l/s per m. In laatste uur van 75 l/s per m beschadiging aan de teen (klinkerpaadje, zie foto rechts).



Figuur B5. Initiële schade Boonweg; sectie 3. Tweemaal hooien, geen kunstmest en in 17 jaar geen beweiding. Schade op de foto in het tweede uur van 75 l/s per m. Op dat moment voelde de grasmat "sponzig" aan. Mogelijk is door de losse bovenstructuur klei geërodeerd tussen de wortels. De kracht van het water op het gras met het bovenste deel van de wortels werd zo groot dat onder de zode de wortels zijn geknapt. Er ontstond een "ballon", gevuld met water. Bij een van de volgende golven werd de ballon opengeslagen en verdween een deel van de grasmat.



Figuur B6. Eindresultaat Boonweg, sectie 3 (zie ook figuur 5). Het ballonmechanisme ontstond nogmaals in het laatste uur van 75 l/s per m en de twee beschadigingen kwamen uiteindelijk samen. Dit resulteerde in een groot stuk waar de grasmat was weggeslagen, inclusief de teen met klinkerpaadje. Er ontstond echter (nog) geen gat door de kleilaag heen. Resultaat na 75 l/s per m.



Figuur B7. Initiële schade Boonweg; sectie 4. Eenmaal beweiden, eenmaal hooien en geen stikstof gedurende 17 jaar. Ontstaan "ballonmechanisme" in laatste uur van de 75 l/s per m proef. In dit geval duurde het circa 5 minuten voordat de ballon door een grote golf openbrak.



Figuur B8. Boonweg; sectie 4. Direct na openbreken van ballon in figuur 7.



Figuur B9. Boonweg; sectie 4. Na het ontstaan van het gat in figuur 8, de onmiddellijke vorming van een tweede ballon, die aan de onderkant deels "lek" is.



Figuur B10. Boonweg; sectie 4. Het openslaan van de tweede ballon enkele minuten nadat deze was ontstaan. Er zit nog een kleilaagje aan de wortels, wat bevestigt dat de wortels zijn geknapt op de diepte waar het aantal wortels duidelijk minder is dan daarboven. Het aanwezig zijn van de kleilaag geeft de reden waarom de "ballon" zo waterdicht is, want de grasmat zelf is natuurlijk niet waterdicht.



Figuur B11. Boonweg; sectie 4. Ongeveer 5 minuten nadat de tweede ballon is losgeraakt. Links in het midden is een gat in de klei zichtbaar met een verticaal talud. Hier zal het gat zich uitbreiden en de zandkern worden bereikt.



Figuur B12. Eindresultaat Boonweg; sectie 4, na 5 uur en 51 minuten met 75 l/s per m. De zandkern is zeker 1 m diep weggespoeld en aan de rechter zijkant staat de zijwand van de goot op instorten. Eindresultaat na ongeveer 45 minuten na het ontstaan van de eerste "ballon".



Figuur B13. Initiële schade St Philipsland bij het begin van de 50 l/s per m proef. Een steil binnentalud 1;2,5 en een matige grasbedekking met enkele molshopen. De twee kleine gaten (linksboven tussen de frontnelheidsmeters en rechts beneden) ontstonden tegelijkertijd bij een grote golf aan het begin van de proef. Het gat linksboven heeft zich verder nauwelijks uitgebreid, het gat rechtsonder heeft aan het eind van de proef aanleiding gegeven tot falen.



Figuur B14. (Links). Eindresultaat St Philipsland, na 50 l/s per m. Het mollengat was vanaf het begin van de proeven zichtbaar, maar heeft nooit tot verdere schade geleid.

Figuur B15. (Rechts).Tussenresultaat St Philipsland, bij 50 l/s per m proef. Het gat heeft een verticaal talud gekregen en de zandkern is bereikt. Er bleek maar een laagdikte van 0,38 m klei aanwezig te zijn.



Figuur B16. Eindresultaat St Philipsland, na einde 50 l/s per m proef. Er was een gat in het horizontale gedeelte (de teen) van de dijk ontstaan, rechtsonder op de foto. Het gat op het talud was gegroeid en tenslotte heeft een grote golf het tussenliggende gedeelte naar beneden gedrukt. Duidelijk is de overgang klei/zand te zien en dat een diep gat in de zandkern is ontstaan.



Figuur B17. Kattendijke, sectie 1, begin proef met 10 l/s per m. Matige bedekking met gras. In de hele sectie zaten ongeveer 80 molshopen en in het begin van de proef zijn de molshopen zelf weggespoeld, zodat de gaten/ingangen zichtbaar werden en soms ook de gangen als deze aan de oppervlakte lagen. Bij het begin van de proef werd ingeschat dat dit talud de proef van 10 l/s per m niet zou doorstaan. Uiteindelijk heeft de 75 l/s per m kleine uithollingen laten zien, maar zeker geen initiatie van verdere schade.



Figuur B18. Kattendijke. Het zetten van een mollenklem, met het resultaat rechts.



Figuur B19. Kattendijke sectie 1. Schade aan de achterkant van de onderhoudsweg die begon bij 30 l/s per m (het talud ligt op de foto aan de andere kant van de meetwater). De meetwagen moest na 1 uur 75 l/s per worden weggehaald om niet in het gat te vallen (de foto is genomen net voordat de meetwagen is weggehaald).



Figuur B20. Kattendijke, sectie 1. Uitbreiding van het gat op de onderhoudsweg, halverwege 75 l/s per m. Het gat werd uiteindelijk 15 m breed en ongeveer 1 m diep.



Figuur B21. Eindresultaat Kattendijke, sectie 1. Proef 75 l/s per m gestopt na 5 uur en 40 minuten. Het gat in de onderhoudsweg had het talud bereikt en kroop omhoog langs het talud (head cut erosie). De zandkern was ook hier duidelijk bereikt en de schadeontwikkeling ging vlak voor het stoppen van de proef erg snel. Het talud zelf heeft echter geen wezenlijk schade ondervonden.



Figuur B22. Kattendijke, sectie 2, voor begin proef. Sneden van een gierinjecteur, aangebracht op kruin, teen en ondertalud, niet op het middelste deel van het talud.



Figuur B23. Eindresultaat Kattendijke; sectie 2, na 50 l/s per m. Beschadiging door gierinjecteur geeft geen aanleiding tot schade. Verder geen schade aan talud zelf.



Figuur B24. Eindresultaat Kattendijke; sectie 2, na 50 l/s per m. Er waren twee palen geplaatst, een op de kruin en een midden op het talud. Rondom de paal op de kruin ontstond hele lichte erosie, geen doorgaande schade.



Figuur B25. Kattendijke; sectie 2, na 2 uur van 50 l/s per m. De paal op het talud werd eruit geslagen. Deze paal stond verticaal (dus niet loodrecht op het talud), 30 cm diep, en door de overslaande golf werd een moot klei met gras omhoog gedrukt en iets naar beneden.



Figuur B26. Kattendijke; sectie 2, bij doorzetten proef 50 l/s per m na initiële schade door uitgeslagen paal. De verwachting was dat de plag eruit zou slaan.



Figuur B27. Eindresultaat Kattendijke; sectie 2, na 50 l/s per m. Uiteindelijk werd klei onder de plag geërodeerd, maar zat de plag voldoende vast om er niet uit te slaan. Uiteindelijk zakte de plag na erosie van klei naar beneden en kwam weer gelijk met het talud te liggen. Rechts na uitgraving (dus niet ontstaan door de proef!). De paal was precies in een stelsel van mollengangen gezet, die wel 50 cm diep gingen.



Figuur B28. Eindresultaat Kattendijke; sectie 2, na 50 l/s per m. Schade aan de teen van de dijk (de grindkoffer) begon al bij 30 l/s per m. De verwachting was dat deze schade zich bij 75 l/s per m drastisch zou uitbreiden, gelijk aan sectie 1. Besloten werd deze schade niet opnieuw te laten ontstaan. Verwachting was dat het talud niet verdere schade zou hebben gegeven en belangrijkste doelstelling (effect van gierinjecteur) was bereikt.



Figuur B29. Kattendijke, aanleg secties met elastocoast en open asfaltbeton. De grasmat werd ongeveer over 5 cm weg gehaald, een open geotextiel werd gelegd en daarop 10-15 cm bedekking met elastocoast of open asfaltbeton.



Figuur B30. Kattendijke, laatste proef op elastocoast. Met twee extra pompen werd een overslagdebiet gehaald van 125 l/s per m. Hierbij moet worden bedacht dat overslagvolumes groter dan 5,5 m³ per m niet konden worden gesimuleerd (maximum inhoud van de simulator). Bij 125 l/s per m komen gedurende 2 uur 10 overslagen voor die groter zijn, 4 daarvan groter dan 7 m³ per m. Zowel de elastocoast als de open asfaltbeton gaven geen schade te zien.



Figuur B31. Eindresultaat Kattendijke; sectie met open asfaltbeton, na 125 l/s per m. Er ontstond een groot erosiegat na de onderhoudsweg van orde 1,5 m diep. De onderhoudsweg zelf was beschermd door platen en kon niet eroderen.



Figuur B32. Kattendijke, demonstratie na afloop van de proeven. Op 16 april zijn 17 watermanagers uit Florida op bezoek geweest. Op een nieuwe sectie werd gedurende 20 minuten ter demonstratie met 75 l/s per m gegolfd. In deze tijd ontstond een gat in de onderhoudsweg met een diepte van orde 0,5 m.

Tabel B1. Overzicht van kenmerken van alle onderzochte proefvakken

	Delfzijl dijksectie	Delfzijl versterkt	Delfzijl kale klei	Boonweg sectie 1	Boonweg sectie 2	Boonweg sectie 3	Boonweg sectie 4	St Philipsland sectie	Kattendijke sectie 1	Kattendijke sectie 2	Kattendijke elastocoast	Kattendijke steenasfalt
Opbouw dijk												
kern	klei	klei	klei	zand	zand	zand	zand	zand	zand	zand	zand	zand
dikte kleilaag (m)	> 2m	> 2m	> 2m	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.75	0.75	0.75	0.75
lengte binnentalud (m)	16	16	16	27	27	27	27	13	15	15	15	15
taludhelling	1:3	1:3	1:3	1:2.9	1:2.9	1:2.9	1:2.9	1:2.4	1:3	1:3	1:3	1:3
Beheer												
type grasland beheer volgens VTV	B	B	-	B	B	A	B	A	D	D		
categorie beheer	gazon	gazon	nvt	I	WW	HH	HW	HH	HH	HH	nvt	nvt
bemesting	geen	geen	nvt	<70 kg	geen	geen	geen	geen	300 kg	300 kg	nvt	nvt
maaaien	elke 14 d	elke 14 d	nvt	1x	-	2x hooien	1x hooien	1 x hooien	3x	3x	nvt	nvt
beweiding	geen	geen	nvt	4x	2x	geen	1x	geen	geen	geen	nvt	nvt
bestrijding	geen	geen	nvt	geen	geen	geen	geen	geen	geen	geen	nvt	nvt
categorie graszode	matig	matig	nvt	matig	matig	goed	matig	goed	slecht	slecht	nvt	nvt
muizen/mollen	geen	geen	nvt	enkele	enkele	enkele	enkele	veel	zeer veel	zeer veel	nvt	nvt
Kleikwaliteit												
Vloeigrens Wi (%)	57	57	57	29	29	29	29	27	30	30	30	30
Plasticiteitsindex Ip (%)	35	35	35	6	6	6	6	9	10	10	10	10
Zandgehalte Zk (%)	28	28	28	60	60	60	60	51	52	52	52	52
lutum (%)				13	13	13	13	14	15	15	15	15
Categorie	c1	c1	c1	c3	c3	c3	c3	c3	c3	c3	c3	c3
Vegetatie												
vegetatietype volgens VTV	W1	W1	nvt	W2	W2	H3	W2	H3	H3	H3	nvt	nvt
categorie graszode	slecht	slecht	nvt	matig	matig	goed	matig	goed	goed	goed	nvt	nvt
bedekking (%)	80	80	nvt	99	99	99	90	80	75	75	nvt	nvt
beschadiging	geen	open plekkjes	nvt	zode gesloten	zode gesloten	zode pollig	zode gesloten	zode vrij open	zode vrij open	zode vrij open	nvt	nvt
doorworteling	slecht	slecht	nvt	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed	nvt	nvt
categorie graszode	slecht	slecht	nvt	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed	nvt	nvt
Opmerkingen		SGR									zode eraf bekleding erop	zode eraf bekleding erop
Maximum overslag												
maximum debiet (l/s/m)	50	50	10	75	75	75	75	50	75	50	125	125
duur maximum (uur)	12	12	6	6	6	6	5:50	6	5:40	6	6	6
Schade	geen; geulvorming na aanbrengen schade	geen; geen verdere schade na aan- brengen schade	voortdurende erosie; 2 diepe gaten	geen schade aan talud; gat in teen	geen schade aan talud; gat in teen	ballonmechanisme; geen gat in kleilaag; groot grasoppervlak weg; gat in teen	ballonmechanisme; gat 1,5 m diep in zandkern; talud bezweken	2 gaten aan begin proef; 1 gat werd groot; talud bezweken; gat in teen	geen schade aan talud; onderhoudsweg en teen bezweken	initiele schade paal op talud; schade stopte; gat in teen en daarom gestopt	geen schade	geen schade; zeer groot gat achter onderhouds- weg

F. Fotoreportage

Schadebeelden proefstroken

St. Philipsland



Foto F-1 Randeffecten ter plaatse van de geleideschotten. Om te voorkomen dat als gevolg van deze randeffecten het talud verder zou eroderen zijn deze "gaten" opgevuld met klei en daarna aangetrapt.



Foto F-2 Vrijwel aan het begin van de proef met 50 l/s per m vond op een tweetal plekken gelijktijdig substantiële erosie plaats door één enkele grote golf.

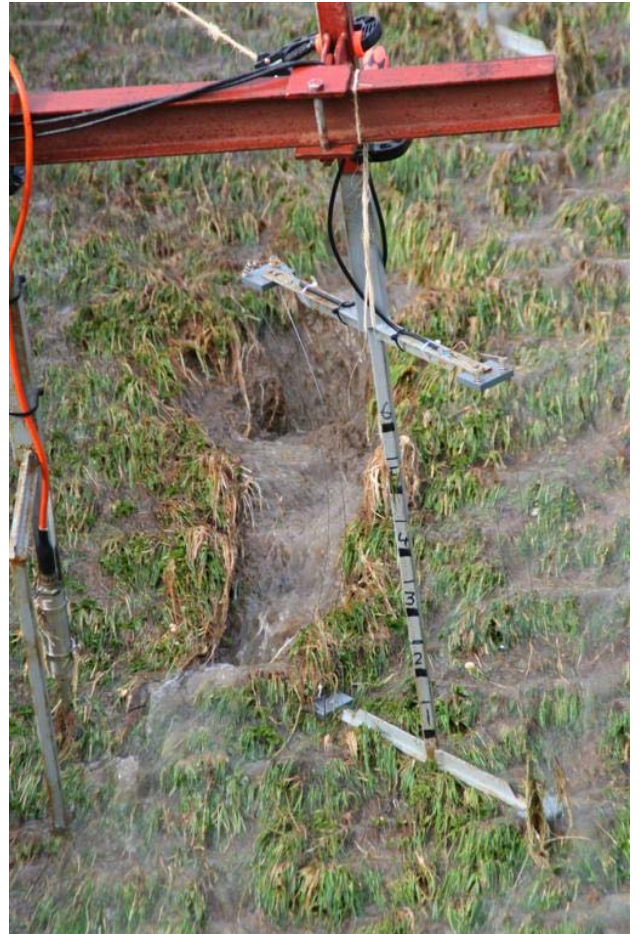


Foto F-3 Het schadebeeld ter plaatse van de meetinstrumenten is tijdens de sessies met 50 l/s per m langzaam langer en breder geworden. De schade is voornamelijk oppervlakkig.



Foto F-4 Het schadebeeld rechts op het talud is gedurende de eerste twee sessies van de proef met 59 l/s per m langzaam groter geworden. In tegenstelling tot het schadebeeld ter plaatse van de meetinstrumenten heeft de schade zich langzaam naar beneden uitgebreid. Ook hier was de schade voornamelijk oppervlakkig.



Foto F-5 Het schadebeeld aan de rechterkant van het talud werd langzaam een steeds dieper wordend gat met steile wand aan de bovenstroomse kant (zie ook Figuur 7-6). Hierdoor ontstond langzaam een gat in de kleilaag, waardoor de zandkern bloot kwam te liggen. Toen dit gebeurde versnelde de gatontwikkeling door uitspoelen van zand



Foto F-6 Omdat inmiddels rechts in de teen van de dijk een gat zich in de richting van de overgang (talud – teen) heeft kunnen uitbreiden, werd het tussenliggende gedeelte tussen beide gaten, bij een van de laatste grote golven, naar beneden gedrukt. Besloten is om de proef te stoppen en de proef met 75 l/s per m niet meer uit te voeren.



Foto F-7 Uiteindelijk bleek de op de zandkern aangebrachte kleilaag slechts 40 cm dik te zijn in plaats van de voorgeschreven 60 cm

Kattendijke: proefstrook 1



Foto F-8 Gedurende de proeven met 30 l/s per m ontstonden er erosiegaten op het horizontale vlak ter plaatse van de overgang talud – teen. Ook achter de onderhoudsweg (mijnsteen op een met zand opgevuld cunet) ontstond schade.



Foto F-9 Aan het eind van de proef met 50 l/s per m was een groot gedeelte van de grasbekleding op het horizontale vlak voor de onderhoudsweg geërodeerd.



Foto F-10 Tijdens de eerste twee uur van de proef met 75 l/s per m is de proef onderbroken omdat het gevaar bestond dat de meetcabine ondermijnd zou worden.



Foto F-11 Het gat achter de onderhoudsweg werd opgevuld met mijnsteen, welke na hervatting van de proef bij enkele grote golven al weer was verdwenen. Het gat in de onderhoudsweg kon zo gedurende de sessie groter en dieper worden.



Foto F-12 Als gevolg van terugschrijdende erosie "kroop" het gat langzaam richting het talud (met kleidam en grindkoffer).



Foto F-13 Zodra de zandkern bloot kwam te liggen ontstond door het uitspoelen van het zand snelle doorgaande erosie het talud op. Het talud brokkelde daarna snel af, waardoor het ontstane gat naar boven toe snel groter kon worden. Om verdere schade te voorkomen is de proef gestopt.



Foto F-13 Het eindresultaat na bijna 6 uur "golven" met 75 l/s per m.

Kattendijke: proefstrook 2



Foto F-13 Het aanbrengen van initiële schade op de kruin en teen van het talud met behulp van een mestinjecteur.



Foto F-14 Gedurende de proeven met 30 l/s per m ontstond links onder aan het talud, net boven de teen en ter plaatse van de eerste injectorsnede een gat dat langzaam in omvang toenam.



Foto F-15 Aan het begin van de tweede twee uur van de proef met 50 l/s per m sloeg de laagste paal, die verticaal in het midden van het talud was geslagen, eruit. Hierbij werd een moot klei met bekleding iets naar beneden en omhoog gedrukt



Foto F-16 Ondanks het feit dat klei onder de moot erodeerde, zat de moot voldoende vast om er niet door de golven uitgeslagen te worden. De moot zakte uiteindelijk na erosie van de klei weer langzaam in en stroomde het water weer over het talud zonder verder schade te veroorzaken.



Foto F-17 Aan het einde van de proeven is de moot uitgegraven. Rondom en onder de moot grond bevonden zich mollengaten die tot diep in de kleilaag reikten



Foto F-18 De in de teen aanwezig grindkoffer is aan het einde van de proef met 50 l/s per m zichtbaar. Een groot gedeelte van de grasbekleding op het horizontale vlak voor de onderhoudsweg was geërodeerd. Het gat links onder aan het talud was echter gedurende de sessie niet groter geworden. Om te voorkomen dat de schade zich bij de proef met 75 l/s per m drastisch zou uitbreiden is besloten de proef te stoppen.

Kattendijke: Elastocoast® en open steenasfalt



Foto F-19 Daar waar bij de proeven met 125 l/s per m op Elastocoast® geen schade was opgetreden is bij de proeven op het open steenasfalt op enkele plekken schade aan de randen geconstateerd. Deze schade was een gevolg van slechte randafwerking door de aannemer en heeft uiteindelijk niet geleid tot schade bij de grote overslagdebieten.



Foto F-20 Ondanks stevige maatregelen ter voorkoming van erosie van de onderhoudsweg waren getroffen was de onderhoudsweg licht beschadigd.



Foto F-21 In tegenstelling tot de schade aan de onderhoudsweg was als gevolg van de grote overslaggebieden een groot gat ontstaan achter de onderhoudsweg.

G. Rapportage Alterra (Grasonderzoek)

Bepaling van doorworteling en zodeparameters van dijkgrasland in Zeeland

Bepaling van doorworteling en zodeparameters ten behoeve van de golfoverslagproef in Wilhelminapolder en de Oude Polder van St Philipsland, 2008



M.H.C. van Adrichem
J.Y. Frissel
H.P.J. Huiskes
Alterra, Wageningen UR, 2008

1 Inleiding

Dit onderzoek is uitgevoerd van februari tot en met maart 2008 in opdracht van Infram BV. Ten behoeve van de Golfverslagproef in de Wilhelminapolder (Zuid-Beveland) en de Oude Polder van St Philipsland in Zeeland zijn in beide polders de doorworteling en de zodeparameters van een dijkvak bepaald en is de vegetatie beschreven.



Foto 1: Proefvak Wilhelminapolder, Zeeland, februari 2008



Foto 2: Proefvak St Philipsland, Zeeland, februari 2008

Locatie en uitgevoerde werkzaamheden

De proefvakken liggen in Zeeland op de zeedijken nabij Kattendijke en St Philipsland. Het beheer van het proefvak nabij Kattendijke bestaat uit drie maal per jaar maaien en bemesting. Het beheer van het proefvak bij St Philipsland bestaat uit één maal per jaar maaien.

In februari 2008 is de doorworteling van de twee dijkvakken bepaald. De doorworteling is bepaald met behulp van de 'handmethode' volgens het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid' (Min V&W, 2007; Sprangers & Arp, 1999).

In maart 2008 zijn naast de doorworteling het wortelgewicht en de zodedichtheid bepaald. De zodedichtheid is bepaald aan de hand van de parameters: bedekking, gemiddelde grootte van open plekken en plantdichtheid.

Verder is tijdens deze ronde de vegetatie beschreven volgens de methode van Braun-Blanquet met aangepaste schaal (Braun-Blanquet, 1932).

Algemeen

De proefvakken op de dijken van Wilhelminapolder en St Philipsland liggen op de binnenzijde van het talud. Het vak bij Wilhelminapolder is naar het zuidwesten geïmponeerd en heeft een helling van 1:3. Het vak bij St Philipsland is naar het noordoosten geïmponeerd en heeft een helling van 1:2,5. In beide vakken is muisactiviteit en veel mollenactiviteit waargenomen.

Bebeer

De dijken bij Wilhelminapolder en St Philipsland zijn eigendom van Waterschap Zeeuwse Eilanden, maar worden in de praktijk beheerd door pachters. De dijken worden gemaaid. Mollen worden niet of nauwelijks weggevangen.

Tabel 1: Coördinaten en bebeer van de proefvelden bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland

Proefvak	Bemest	Maaien	Beweiden	X-coördinaat	Y-coördinaat
Wilhelminapolder	> 100 kg/ha/jaar	2/3x per jaar	niet	54.309	394.304
St Philipsland	niet	1x per jaar	niet	67.635	403.571

Doorworteling van de bodem

De doorworteling is op twee verschillende tijdstippen bepaald: in februari en in maart 2008. Per proefvak zijn vier wortelmonsters gestoken met een gutsboor van drie cm in diameter. De bovenste 20 cm van de monsters zijn opgedeeld in stukken van 2,5 cm (foto 3). In elk stukje is het aantal wortels geschat. Het aantal wortels geeft aan in welke categorie de worteldichtheid van het betreffende stuk valt.



Foto 3: 'Handmethode'; de bovenste 20 cm van de wortelmonsters worden opgedeeld in stukken van 2,5 cm

Tabel 2: Gebruikte categorieën voor worteldichtheid

Categorie	Worteldichtheid
0	geen wortels aanwezig
1	1-5 wortels
2	6-10 wortels
3	11-20 wortels
4	21-40 wortels
5	Wortelmatje; of meer dan 40 wortels

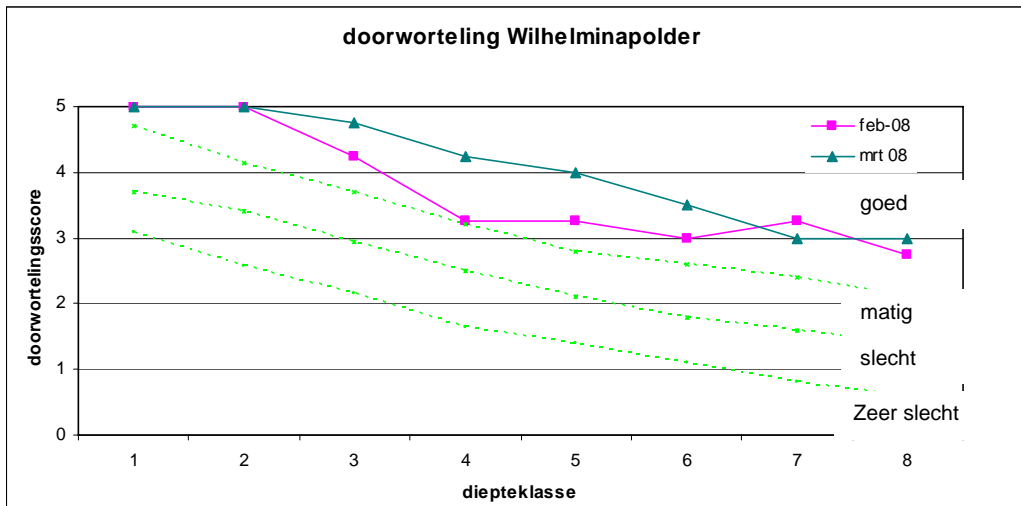
Tabel 3: Gebruikte categorieën voor diepteklassen

Categorie	Diepte (cm)
1	0 - 2,5
2	2,5 - 5
3	5 - 7,5
4	7,5 - 10
5	10 - 12,5
6	12,5 - 15
7	15 - 17,5
8	17,5 - 20

De klassen voor worteldichtheid en diepte zijn weergegeven in tabel 2 en tabel 3. Met het toenemen van de bodemdiepte neemt het aantal wortels snel af. De snelheid van afname van het wortelpakket is een maat voor de erosiebestendigheid van de zode. Hoe dichter en dieper de doorworteling, des te beter is de erosiebestendigheid van de grasmat (Sprangers, 1996). De resultaten van de vier worteldichtheidsschattingen worden gemiddeld en uitgezet in een grafiek, waarbij ze per diepteklasse een score goed, matig, slecht of zeer slecht toegekend krijgen. De uiteindelijke kwaliteitsscore voor de doorworteling per proefvak is afhankelijk van de individuele score per diepteklasse. Als de score op verschillende diepten niet eenduidig is, geldt bij minimaal twee afwijkende punten de laagste score als kwaliteitsscore voor de gehele wortelsteek.

Na bepaling van de doorworteling met de 'handmethode' zijn de monsters meegenomen om in het laboratorium het gewicht van de wortelmassa te bepalen. De monsters zijn daartoe gespoeld om zand en klei te verwijderen. Vervolgens zijn de wortels over een 0,25 mm zeef verzameld. De wortels zijn bij 40^o C gedroogd en vervolgens gewogen. Via deze wortelgewichten en de specifieke wortellengte die bij het desbetreffende beheer hoort, zijn de wortellengten van de wortelmonsters bepaald.

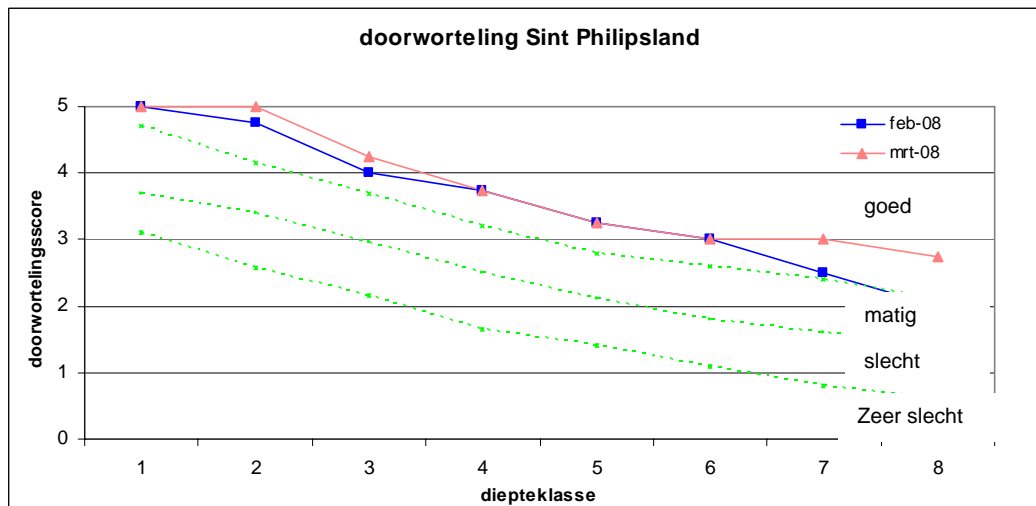
In figuur 1 is de doorworteling van Wilhelminapolder weergegeven op twee tijdstippen. Alle wortelscores krijgen de waarde 'goed' toegekend. Verder is te zien dat de doorworteling van 5 tot en met 15 centimeter in maart hoger scoort dan in februari. Dit is te verklaren doordat in maart de groei van de vegetatie en de doorworteling op gang is gekomen, vooral door de hoge temperatuur in februari en maart. Hoogstwaarschijnlijk is de doorworteling in de eerste twee diepteklassen ook toegenomen. Bij de toegepaste methode komt dit echter niet naar voren aangezien score 5 de hoogst haalbare score is.



Figuur 1. Worteldichtheidsscore Wilhelminapolder, Zeeland, op 2 verschillende tijdstippen

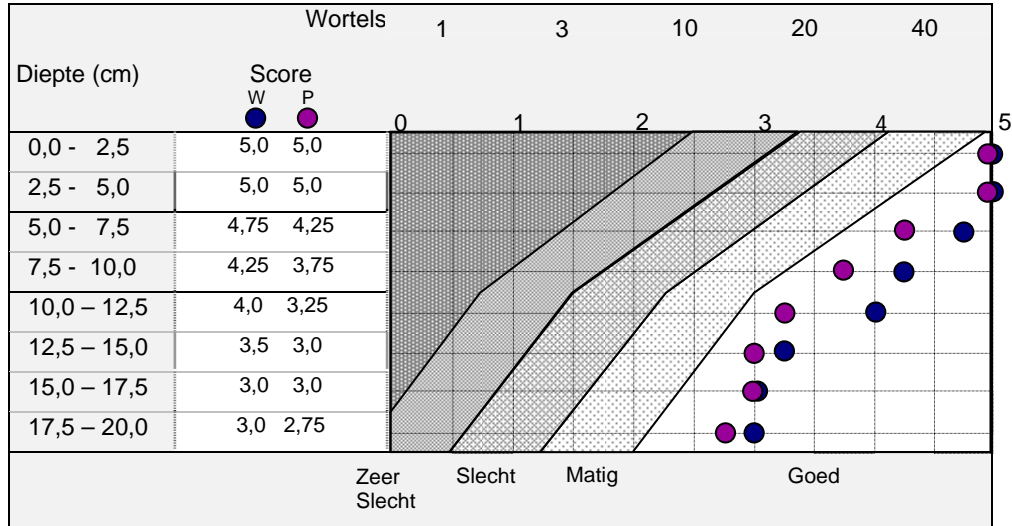
- | | |
|---|-----------------------------|
| score: 0 = geen wortels aanwezig | Diepte: 1 = 0 - 2,5 cm diep |
| 1 = zeer weinig wortels aanwezig, 1-5 wortels | 2 = 2,5 - 5,0 cm diep |
| 2 = weinig wortels aanwezig, 6 - 10 wortels | 3 = 5,0 - 7,5 cm diep |
| 3 = redelijk aantal wortels aanwezig, 11 - 20 wortels | 4 = 7,5 - 10,0 cm diep |
| 4 = veel wortels aanwezig, 21 - 40 wortels | 5 = 10,0 - 12,5 cm diep |
| 5 = zeer veel wortels, matje, >40 wortels | 6 = 12,5 - 15,0 cm diep |
| | 7 = 15,0 - 17,5 cm diep |
| | 8 = 17,5 - 20 cm diep |

In figuur 2 is de doorworteling van de Oude Polder van St Philipsland weergegeven op twee tijdstippen. Ook hier krijgen bijna alle wortelscores de waarde 'goed' toegekend. De doorworteling scoort in maart iets hoger (2,5-7,5 cm en 15-20 cm) of even hoog in vergelijking met de doorworteling in februari.



Figuur 2. Worteldichtheidsscore St Philipsland, Zeeland, op 2 verschillende tijdstippen

In het standaardbeoordelingsdiagram conform het voorschrift ‘Toetsen op Veiligheid’ (figuur 5 en 6), worden de kwaliteitsscores van de doorworteling per twee vakken weergegeven van maart 2008. Dit diagram geeft eveneens een goed beeld van de doorworteling in de gehele steek (20 cm diepte).



Figuur 3. Worteldichtheidsscore Zeeland maart 2008: Wilhelminapolder (W) en Oude Polder van St Philipsland (P) met $n=4$ in een beoordelingsdiagram van de VTV

In de grafiek is te zien dat de doorworteling van beide proefvakken in maart 2008 de kwaliteitsscore ‘goed’ krijgt. Verder valt op dat de bewortelingsscore van Wilhelminapolder hoger is dan die van de Oude polder van St Philipsland.

Wortellengte

Om de wortellengte te kunnen bepalen zijn het wortelgewicht en de specifieke wortellengte nodig. Het wortelgewicht is per diepteklasse per wortelmonster bepaald. In tabel 4 zijn de gemiddelde wortelgewichten per diepteklasse per proefvak weergegeven. Het totale gemiddelde wortelgewicht van de gehele steek is voor Wilheminpolder 47,0 g/dm³ en voor St Philipsland 41,9 g/dm³.

Tabel 4: Gemiddelde wortelgewichten in gram per dm³ van de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

Diepteklasse	Proefvakken	
	Wilhelminapolder	St Philipsland
1	16.0	22.0
2	11.4	5.3
3	6.7	3.8
4	3.5	2.8
5	2.9	2.8
6	2.2	1.9
7	1.6	2.2
8	2.6	1.2

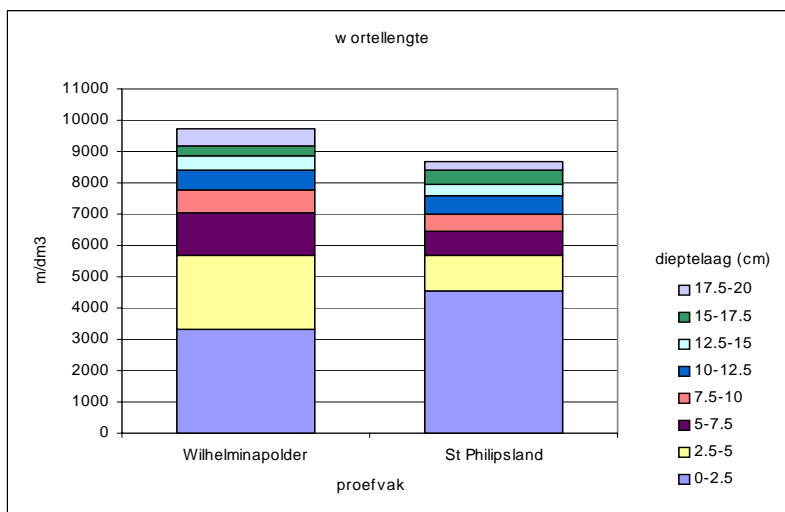
De specifieke wortellengte is de lengte van de wortels per wortelgewicht. Elk type beheer heeft zijn eigen specifieke wortellengte. De lengte, noch het gewicht alleen zijn goede aanduidingen voor de mate van doorworteling. Een hoog gewicht kan bij een hoge gemiddelde worteldiameter al snel bereikt zijn. In tabel 5 wordt de specifieke wortellengte (SWL) per beheersvorm weergegeven. Hoge waarden voor de SWL in combinatie met een laag wortelgewicht duiden op dunne wortels. Een hoge SWL waarde in combinatie met een laag wortelgewicht duidt op veel dunne wortels. Voor de omrekening van gewicht naar lengte is in dit rapport gebruik gemaakt van de HI variant (Wilhelminapolder) en de HE variant (St Philipsland). Beheersvorm HE houdt in dat de vegetatie 1 (eventueel 2) maal per jaar gemaaid wordt en dat er geen bemesting plaats vindt. Het maai-beheer wordt al langere tijd op deze wijze uitgevoerd. Bij beheersvorm HI vindt er bemesting plaats, en wordt er 2 á 3 maal per jaar gemaaid. Bij deze hooivarianten zijn dikke wortels aanwezig, waardoor de SWL-waarde laag is.

Tabel 5 *Cumulatieve wortellengte (WLT), wortelgewicht (WGT) en hun procentuele verdeling; specifieke wortellengte (SWL) en spruit/wortelratio (SWR) per beheersvorm*

parameter n	I 13	WW 6	HW 5	HH 11	HI 5	HE 5	he 3
WLT (m/5dm ³)	1600	1522	1754	1716	1615	1640	2172
% 0-10 cm	62	64	62	62	58	59	65
% 10-20 cm	16	18	17	15	18	19	16
% 20-50 cm	22	18	21	23	24	22	19
WGT (g/5dm ³)	5,9	5,9	5,6	7,4	7,8	8,2	7,7
% 0-10 cm	64	68	62	58	60	65	68
% 10-20 cm	15	15	16	18	17	16	13
% 20-50 cm	21	17	22	24	23	19	19
SWL (m/g)	291 ^b	267 ^{ab}	309 ^b	282 ^b	210 ^a	207 ^a	283 ^{ab}
SWR	0,94	0,73	--	0,7	0,91	0,62	0,46

(Sprangers, 1996)

Via bovenstaande tabel en het gemiddelde gewicht per diepteklasse is de lengte van de wortels berekend.



Figuur 4: Wortellengte in m/dm^3 per diepteklasse in de proefvelden bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008, berekend met behulp van gewicht en specifieke wortellengte

De wortellengte neemt in alle proefvelden af met de diepte. De eerste bodemlagen hebben een gemiddelde lengte van meer dan 3300 meter per dm^3 . Sprangers & Raemakers (1998) vonden eveneens dit soort hoge waarden in de eerste bodemlaag. Deze hoge waarden, worden veroorzaakt door de grote hoeveelheid aan zeer kleine, vaak opgerolde wortels. Deze wortels zijn bij het bepalen van de SWL ook gemeten. De wortellengte neemt bij Wilhelminapolder geleidelijker af met de diepte dan bij St Philipsland. Dit betekent dat de wortels bij Wilhelminapolder iets gelijkmatiger over de gehele wortelsteek verdeeld zitten. Het proefveld bij St Philipsland heeft in de eerste diepteklasse duidelijk meer lengte aan wortels dan Wilhelminapolder. Het proefveld in Wilhelminapolder bevat in de volgende lagen echter een grotere wortellengte. De totale wortellengte is bij het proefveld in Wilhelminapolder iets hoger.

Vegetatie

Het vegetatietype is bepaald volgens het cursusboek “kwaliteitsherkenning dijkgrasland” (2004). De coördinaten zijn in het midden van het proefveld bepaald, met behulp van GPS (tabel 1).

Tabel 6: Karakteristieke soorten van proefvelden Wilhelminapolder en St Philipsland in Zeeland, maart 2008

Soort	Proefvak		Nederlandse naam
	Wilhelminapolder	St Philipsland	
<i>Achillea millefolium</i>		X	Gewoon duizendblad
<i>Agrostis stolonifera</i>		X	Fioringras
<i>Allium vineale</i>	X	X	Kraailook
<i>Daucus carota</i>		X	Peen
<i>Festuca rubra</i>		X	Rood zwenkgras s.s.
<i>Lolium perenne</i>	X	X	Engels raaigras
<i>Plantago lanceolata</i>	X	X	Smalle weegbree
<i>Ranunculus acris</i>	X	X	Scherpe boterbloem
<i>Senecio erucifolius</i>		X	Viltig kruiskruid
<i>Trifolium dubium</i>	X		Kleine klaver
<i>Trifolium pratense</i>	X		Rode klaver

Wilhelminapolder

Dit proefvak valt binnen de VTV-graslandtypeindeling in de categorie soortenrijk hooiland. Een combinatie van Rietzwenkgras en Engels raaigras geeft de vegetatie een ruig aanzicht. Het aandeel kruiden is redelijk. De lage bedekking door kruiden laat zien dat deze vegetatie waarschijnlijk naar een minder soortenrijk vegetatietype overgaat. In het oog springende soorten op deze locatie zijn Kraailook en Scherpe boterbloem.

St Philipsland

Dit proefvak valt binnen de VTV-graslandtypeindeling eveneens in de categorie soortenrijk hooiland. Het is een soortenrijk type grasland dat onder een maai-beheer langjarig in stand kan blijven. In deze vegetatie wordt het aanzicht bepaald door een combinatie van grassen en kruiden. Het voorkomen van Viltig kruiskruid zou op termijn een probleem kunnen vormen wanneer het maaisel als hooi wordt gebruikt. Dit vanwege de giftigheid van deze soort voor evenhoevigen. Bij begrazing en voldoende aanbod van gras laten grazers de plant staan. De mosbedekking op deze locatie is aanzienlijk. Erg in het oog springende soorten op deze locatie zijn Kraailook, Viltig kruiskruid en Veldlathyrus.

Zodedichtheid

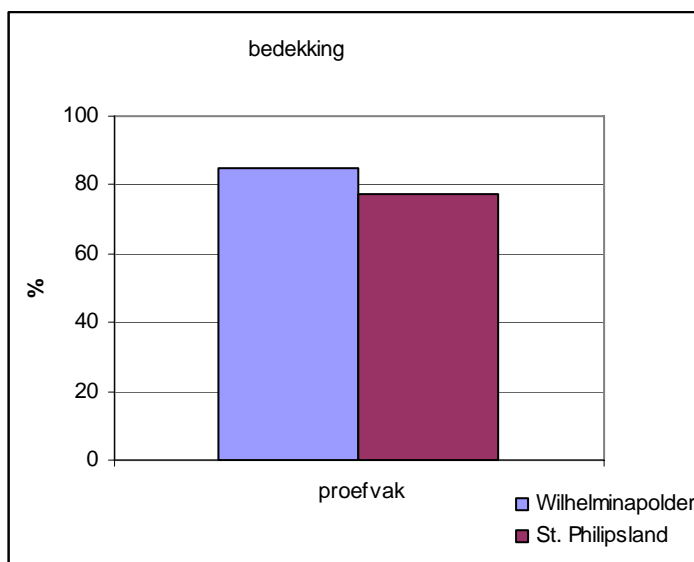
De bedekking kan nog opgesplitst worden in geschatte bedekking, en gemeten bedekking. De *geschatte bedekking* wordt geschat bij de vegetatieopname, waarbij het aandeel grassen, kruiden en mossen wordt genoteerd. Bij de *gemeten bedekking* wordt geen onderscheid gemaakt tussen gras of kruid, en worden mossen buiten beschouwing gelaten. Deze bedekking wordt bepaald met behulp van een raster met 81 meetpunten. Per meetpunt wordt bepaald of er sprake is van 'grascontact'. De meting wordt viermaal uitgevoerd in een proefvak. Het gemiddelde procentuele aantal meetpunten met 'grascontact', ten opzichte van het totaal aantal meetpunten is een maat voor de bedekking. De *gemiddelde grootte van open plekken* is bepaald met

behulp van ringetjes met oplopende diameter (Sprangers, 1996). Bij honderd meetpunten wordt bepaald in welke ring de afstand tot de eerstvolgende spruit in de bodem valt. Uit de verdeling van meetpunten over de verschillende ringetjes (diameterklassen) kan de gemiddelde open-plek-grootte worden berekend. Veel metingen in grote ringen betekent een hoger gemiddelde voor de open-plekken-grootte. De plantdichtheid wordt eveneens met deze ringmetingen bepaald. De *plantdichtheid* is een maat voor de verdeling van spruiten over het proefvak. De spruiten kunnen homogeen verdeeld zijn, of in polletjes over het vak verdeeld staan. Veel metingen in kleine ringen betekent een hoge plantdichtheid. De plantdichtheid wordt weergegeven door middel van de curve (figuur 7) met bijbehorende richtingscoëfficiënt (RICO) die de afname van het aantal spruiten weergeeft in ringen met oplopende diameter. Uitgezet wordt de logaritme van $(100-F)$, met F = de score per ring, tegen de diameter van de ring. Hoe steiler het verloop van de curve en dus hoe negatiever de waarde voor de richtingscoëfficiënt, hoe dichter spruiten op elkaar staan en dus homogener verdeeld zijn over het proefvak.

Bedekking

De geschatte bedekking in beide proefvakken is redelijk. Voor het proefvak bij Wilhelminapolder is de bedekking geschat op 80%. Voor het proefvak bij St Philipsland is de bedekking geschat op 75%.

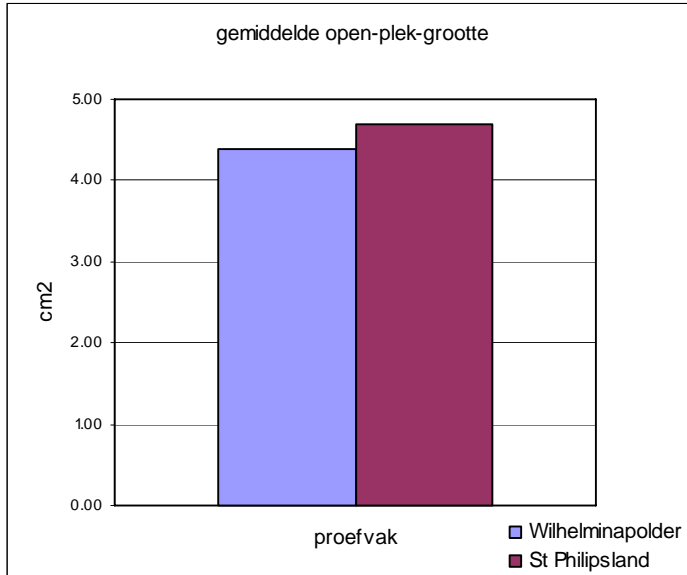
Ook de gemeten bedekking is redelijk. Het proefvak bij Wilhelminapolder heeft een bedekking van 85%. Het proefvak bij St Philipsland heeft een bedekking van 77% (figuur 5). Beide proefvakken voldoen hierdoor aan de bedekkingnorm van 70% volgens het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid'.



Figuur 5: Gemeten gemiddelde bedekking op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

Gemiddelde grootte van open plekken

De gemiddelde open-plek-grootte (OPG) in de proefvakken is af te lezen uit figuur 6. Voor beide proefvakken zijn de open plekken groot. Het proefvak in de Wilhelminapolder heeft gemiddeld iets kleinere open plekken ($4,4 \text{ cm}^2$), dan het proefvak bij St Philipsland ($4,7 \text{ cm}^2$). De open-plek-grootte van bemest grasland is meestal kleiner dan 2 cm^2 .



Figuur 6: Gemeten gemiddelde open-plek-grootte op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

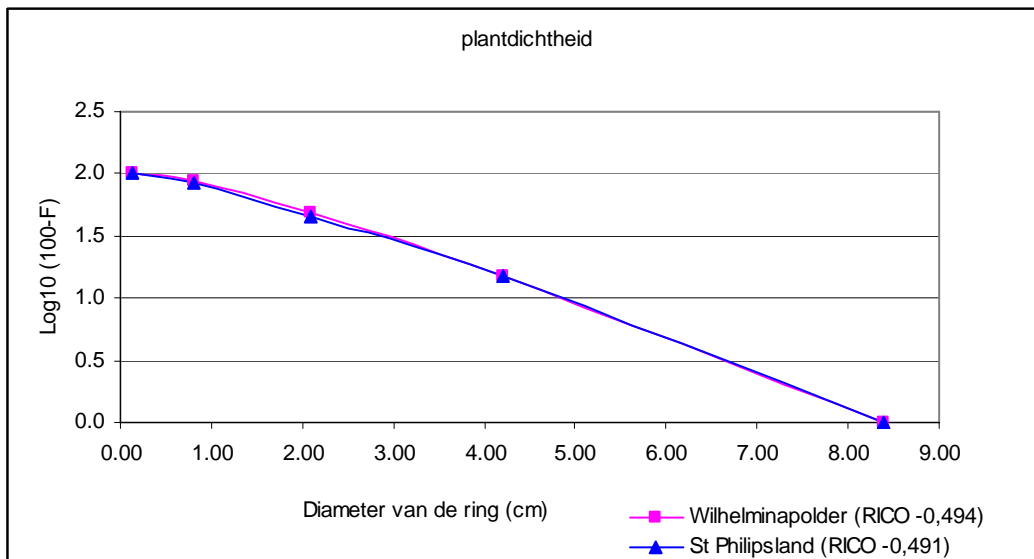


Foto 4: Open plekken in het proefvak bij Wilhelminapolder, Zeeland, februari 2008

Spruitdichtheid

Figuur 7 laat de spruitdichtheid van de proefvakken in Zeeland in maart 2008 zien. De richtingscoëfficiënt is voor beide proefvakken vrijwel gelijk. (Wilhelminapolder: -0,494, St Philipsland: -0,491).

Deze lage negatieve richtingscoëfficiënten betekenen dat de spruiten niet homogeen over het vlak verdeeld staan.



Figuur 7: Richtingscoëfficiënten van de curven voor plantdichtheid op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008.

In de tabel hieronder staat een overzicht van de gemeten zodedichtheidsparameters.

Tabel 7: Gemeten gemiddelde bedekking, gemiddelde open-plek-grootte (OPG) en richtingscoëfficiënt (RICO) op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

	Bedekking (%)	OPG (cm ²)	RICO
Wilhelminapolder	85	4.4	-0.494
St. Philipsland	77	4.7	-0.491

Discussie

De worteldichtheid in het proefvak bij Wilhelminapolder neemt met de diepte veel geleidelijker af dan in het proefvak bij St Philipsland. Een reden daarvoor kan zijn dat er meer kruiden aanwezig zijn bij Wilhelminapolder. Daar staan vooral kruiden van voedselrijke gronden. Kruiden wortelen over het algemeen dieper dan grassen.

Wortellengten uit dit onderzoek kunnen niet zonder meer vergeleken worden met de wortellengten van Sprangers (1996). Destijds werd de zode (circa 1 cm) verwijderd en werd van het onderliggende monster de doorworteling bepaald. In de bovenste centimeter zitten juist de meeste wortels, waardoor de wortellengten uit 2008 hoger zijn dan de wortellengten van Sprangers in 1996. Een andere reden waarom de wortellengten van Sprangers (1996) niet met dit onderzoek vergeleken kunnen worden, is dat de specifieke wortellengten die we gebruiken, voor een wortelkolom van 50 cm diep bepaald zijn, terwijl in dit experiment de doorworteling slechts tot 20 cm diep bepaald is. De reden dat voor dit onderzoek een andere methode is gebruikt, is dat deze methode sneller is en voor iedereen uitvoerbaar. De resultaten tussen de twee proefvakken zijn onderling wel goed te vergelijken.

Het optimale tijdstip om vegetatieopnamen van dijkgraslanden te maken voor het bepalen van het vegetatietype is half juni. Gezien het relatief vroege tijdstip van deze proef (eind maart) kan het voorkomen, dat vooral jonge grassoorten verkeerd zijn benoemd of over het hoofd zijn gezien. Bepaling van het vegetatietype volgens de VTV vond wel plaats, omdat de belangrijkste bedekkende grassen en kruiden op dat moment al wel te onderscheiden zijn. Indien er een volledige vegetatieopname van deze proefvakken gewenst is, zal in juni de soortensamenstelling nogmaals genoteerd moeten worden.

Conclusie

De doorworteling scoort in februari 2008 volgens de VTV in beide proefvakken 'goed'. Van de twee wortelmetingen laten de metingen van maart 2008 de hoogste doorworteling zien. De doorworteling is in vier weken tijd zichtbaar toegenomen.

Beide locaties vallen bij de VTV-graslandtypeindeling in de categorie soortenrijk hooiland H3.

Beide proefvakken voldoen aan de bedekkingsnorm van 70% volgens het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid'. Wel zijn voor beide proefvakken de open plekken groot en staan de spruiten niet homogeen over het vlak verdeeld.

Literatuur:

Alterra, 2006. Cursusboek 'kwaliteitsherkenning dijkgrasland'. Alterra, Wageningen.

Braun-Blanquet J., 1932. Plant Sociology. The study of plant communities. New York, London: McGraw Hill Book Company.

Hennekens, S.M. & J.H.J. Schaminée, 2001. TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. Journal of Vegetation Science 12: 589-591.

Meijden, R. van der. 2005. Heukels' flora van Nederland. Drieëntwintigste druk..

Min V&W, 2007. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de toetsronde 2001 - 2006 (VTV). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Delft.

Sprangers, J.T.C.M., 1996. Extensief graslandbeheer op zeedijken. Effecten op vegetatie, wortelgroei en erosiebestendigheid. Landbouw Universiteit, Wageningen, Rijkswaterstaat, Dienst Weg en waterbouwkunde, Delft.

Sprangers, J.T.C.M & W.J. Arp, 1999. Toetsingsparameters dijkgrasland. *Indicatorsoorten dijkgraslandtopen en worteldichtheidsbepalingen (handmethode)*. IBN-Rapport, Wageningen.

Sprangers, J.T.C.M & I.P. Raemakers, 1998. Extensief graslandbeheer op zeedijken. Effecten op sterkte en samenstelling van de graszode na een periode van 7 jaar. Landbouw Universiteit, Wageningen, Rijkswaterstaat, Dienst Weg en waterbouwkunde, Delft.

H. **Rapportage Deltares (Grondonderzoek en monitoring)**

Zie separaat rapport Deltares, 432850-0008 v01, 23 juni 2008 (tevens digitaal opgenomen op de bij dit rapport behorende cd-rom).

Bijlage 2 Grondonderzoek

Golfverslagproeven Zeeland

Grondonderzoek en monitoring

Ons kenmerk
432850-0008

Versie
01 Definitief

Datum
juni 2008

Opgesteld in opdracht van
Infram b.v.

Rapportnummer
432850-0008 v01

Datum
juni 2008

Versie
01 Definitief

Aantal pagina's
5

Samenvatting rapport: **Vooraf aan en tijdens het uitvoeren van golfverslagproeven door Infram op dijken bij Sint Philipsland en bij Kattendijke is daarvoor door Deltares grond- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Tevens is op beide locaties een proefstrook geïnstrumenteerd en zijn tijdens de golfverslagproeven waterspanningen en vochtgehalten gemeten in en onder de kleibekleding.**

Titel / subtitel
**Golfverslagproeven Zeeland /
Grondonderzoek en monitoring**

Projectleider(s)
E.H. van Waardenberg

Projectbegeleider(s)
**ing A.J.M Peters
R.J.G. van Etten**

Opgesteld in opdracht van
Infram b.v.

Verspreiding
**opdrachtgever 5 ex.
Deltares 3 ex.**

<u>Versie</u>	<u>Datum</u>	<u>Opgesteld door</u>	<u>Paraaf</u>	<u>Gecontroleerd door</u>	<u>Paraaf</u>
01	23-6-2008	E.H. van Waardenberg		R.J.G. van Etten	

--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Resultaten	2
2.1	Grond- en laboratoriumonderzoek	2
2.1.1	Grondonderzoek Sint Philipsland	2
2.1.2	Grondonderzoek Kattendijke	2
2.1.3	Laboratoriumonderzoek	2
2.2	Monitoring	4
2.2.1	Installatie van de meetapparatuur.	4
2.2.2	Proefstrook bij Sint Philipsland	4
2.2.3	Proefstrook bij Kattendijke	5

Bijlage(n)

Bijlage 1	Locatiegegevens
Bijlage 2	Veldonderzoek
Bijlage 3	Laboratoriumonderzoek
Bijlage 4	Monitoring Sint Philipsland
Bijlage 5	Monitoring Kattendijke

1 Inleiding

Infram b.v. heeft Deltares op 27 februari 2008 telefonisch opdracht gegeven voor het uitvoeren van metingen en grondonderzoek ten behoeve van de golfverslagproeven in Zeeland. Het werk valt onder onze offerte met kenmerk 432850/2 d.d. 21 februari 2008.

De werkzaamheden zijn op Philipsland bij Sint Philipsland en op Zuid Beveland bij Kattendijke uitgevoerd. De locaties zijn aangegeven in bijlage A1 en bijlage A2.

De resultaten van het grondonderzoek en de monitoring tijdens de golfverslagproeven zijn in dit feitelijke rapport opgenomen.

2 Resultaten

2.1 Grond- en laboratoriumonderzoek

Het grondonderzoek omvatte per locatie:

- 1 sondering met waterspanningmeting in de teen en 1 in de kruin.
- 6 grondbeschrijvingen op basis van handboringen tot 2 meter min maaiveld verdeeld over de kruin (1), het talud (4) en de teen (1) van de dijk.
- 4 keer monsternamen van de toplaag van het talud voor laboratoriumonderzoek.
- Inmeten locaties met RTK-GPS in RD en NAP
- 4 kleikeuringen op de monsters van de toplaag.

2.1.1 Grondonderzoek Sint Philipsland

Op 5 maart 2008 is het grondonderzoek uitgevoerd op de locatie Sint Philipsland. Het terrein was goed bereikbaar. Het werk is uitgevoerd met een rupsvoertuig. Het werk is zo uitgevoerd dat het voertuig niet in de te beproeven stroken kwam. De locaties van de proefstroken waren door Infram aangegeven.

De plots van de sonderingen van S01 in de kruin en S02 in de teen zijn opgenomen in bijlage 2 'veldonderzoek'. Sondering S01 heeft bijlagenummer CS01. Sondering S02 heeft bijlagenummer CS02. De sonderingen zijn beëindigd na het bereiken van de gewenste einddiepte van circa 20 meter min maaiveld.

Aan de binnenzijde van de dijk zijn verdeeld over de kruin (1), het talud (4) en de teen (1) zes handboringen uitgevoerd en beschreven tot 2 meter min maaiveld. De veldbeschrijvingen van handboringen HB01 tot en met HB06 zijn opgenomen in bijlage 2 'veldonderzoek' in bijlagen H1 tot en met H6.

Van de bovenste 0.60 m van de toplaag zijn bij handboring HB02 tot en met HB05 geroerde monsters genomen voor laboratoriumonderzoek.

De locaties van het grondonderzoek zijn aangegeven in bijlage 1 'locatiegegevens' in tabel A3.

2.1.2 Grondonderzoek Kattendijke

Op 17 maart 2008 is het grondonderzoek uitgevoerd op de locatie Kattendijke. Ook hier waren de terreinomstandigheden goed. Het werk is uitgevoerd met een rupsvoertuig. Het werk is zo uitgevoerd dat het voertuig niet in de te beproeven stroken kwam. De locaties van de proefstroken waren door Infram aangegeven.

De plots van de sonderingen van S03 in de kruin en S04 in de teen zijn opgenomen in bijlage 2 'veldonderzoek'. Sondering S03 heeft bijlagenummer CS03. Sondering S04 heeft bijlagenummer CS04. De sonderingen zijn beëindigd na het bereiken van de gewenste einddiepte van circa 20 meter min maaiveld.

Aan de binnenzijde van de dijk zijn verdeeld over de kruin (1), het talud (4) en de teen (1) zes handboringen uitgevoerd en beschreven tot 2 meter min maaiveld. De veldbeschrijvingen van handboringen HB07 tot en met HB12 zijn opgenomen in bijlage 2 'veldonderzoek' in bijlagen H7 tot en met H12. Van de bovenste 0.50 m van de toplaag zijn bij handboring HB08 tot en met HB11 geroerde monsters genomen voor laboratoriumonderzoek.

De locaties van het grondonderzoek zijn aangegeven in bijlage 1 'locatiegegevens' in tabel A4.

2.1.3 Laboratoriumonderzoek

Ten behoeve van de beoordeling van de kwaliteit van de bekleding van de dijk is een aantal monsters genomen van de toplaag. Van de locatie Sint Philipsland zijn op monsters uit de bovenste 0.60 meter van handboringen HB02 tot en met HB05 kleikeuringen uitgevoerd. Voor

de locatie Sint Philipsland is dat gebeurt op monsters uit de bovenste 0.50 meter van handboringen HB08 tot en met HB11. De monsters zijn beschreven in het laboratorium.

Op de monsters zijn de volgende laboratoriumproeven uitgevoerd:

- Plasticiteitsindex (vloiegrens en uitrolgrens)
- Korrelverdeling
- Humusgehalte
- Kalkgehalte
- Zoutgehalte volgens RAW160

De beproefde monsters kunnen worden ingedeeld in erosiebestendigheidscategorie 1, 2 of 3. Op basis van de uitkomsten van het laboratoriumonderzoek en de onderstaande criteria vallen alle beproefde monsters in erosiebestendigheidscategorie 3.

erosiebestendigheidscategorie	Criteria
1 (erosiebestendige klei)	$w_l > 45\%$
	En
	$I_p > 0.73*(w_l-20\%)$
	En
	zandgehalte < 40%
	En
2 (matig erosiebestendige klei)	$w_l < 45\%$
	En
	$I_p > 18\%$
	En
	zandgehalte < 40%
3 (weinig erosiebestendige klei)	$I_p < 0.73*(w_l-20\%)$
	en/of
	$I_p < 18\%$
	en/of
	zandgehalte > 40%

Criteria erosiebestendigheidscategorieën

Waarin:

w_l = vloiegrens

I_p = plasticiteitsindex

$0.73*(w_l-20\%)$ = de zogenaamde A-lijn in het plasticiteitsdiagram

Verder geldt dat:

Humusgehalte < 5%

Kalkgehalte < 25%

De resultaten van het bepalen van de Attenbergse grenzen zijn opgenomen in bijlage 3 'laboratoriumonderzoek' voor de monsters uit handboringen (H)B02 tot en met (H)B05 en HB08 tot en met HB11. De korrelgrootteverdelingsdiagrammen zijn per handboring opgenomen in bijlage 3 'laboratoriumonderzoek' voor de monsters uit handboringen (H)B02 tot en met (H)B05 en HB08 tot en met HB11.

In bijlage 3 'laboratoriumonderzoek' is tevens een samenvatting van bovenstaande resultaten inclusief humus en kalkgehalte en de het resultaat van de bepalingen van de zoutgehaltes voor de monsters uit handboringen (H)B02 tot en met (H)B05 en HB08 tot en met HB11 opgenomen.

2.2 Monitoring

2.2.1 Installatie van de meetapparatuur.

Bij iedere proefstrook zijn 2 PR-waterspanningmeters, 6 tensiometers en 3 thetaprobes geplaatst. De 250 kPa PR-waterspanningmeter meet waterspanningen in een verzadigde omgeving. De tensiometers kunnen ook zuigspanningen meten en hebben een bereik van +100 tot -85 kPa. Beide types waterspanningmeters zijn barometer gecompenseerd.

Met de thetaprobes wordt met een serie van 4 in de grond stekende pennen de impedantie van de grond gemeten. Uit deze meting is het vochtgehalte van grond af te leiden omdat de diëlektrische constante van water veel hoger is dan die van grond(korrels). De diëlektrische constante van grond wordt dus voornamelijk bepaald door het watergehalte.

De PR-waterspanningmeters zijn weggedrukt met een rupstrekker. Ze zijn naast de proefstroken op 1/3 vanaf de kruin en op circa 1 meter vanaf de teen in het talud geplaatst. Voor het plaatsen van de tensiometers en de thetaprobe's zijn op circa 0.25 meter vanaf de zuidoostelijke grens van de proefstrook bij Sint Philipsland en vanaf de noordwestelijke grens van de proefstrook bij Kattendijke kuilen gegraven van waaruit met een lepelboor schuine gaten zijn gemaakt naar de geplande instrumentlocaties onder de proefstroken. Op 1/3 van het talud is eerst de thetaprobe in het boorgat gedrukt. De tensiometer is geplaatst met de filtertip in een gewezen doorlatende kous gevuld met synthetisch zand met een korrelgrootte van 73 µm. Deze manier van plaatsen zorgt er voor dat de opnemers goed contact met de omringende grond hebben. De tensiometers zijn achter de thetaprobe's in hetzelfde boorgat geïnstalleerd. De boorgaten zijn vervolgens in laagjes aangevuld met uitgekomen grond vermengd met kleikorrels (zwellklei) en water en voorzichtig aangedrukt. Per locatie zijn de instrumenten aangesloten op een halverwege het talud geplaatste CR10 logger. De instrumenten bij Sint Philipsland zijn 5 maart 2008 geplaatst. De instrumenten bij Kattendijke zijn 12 maart 2008 geplaatst.

De loggers zijn één keer per dag vanuit Delft gebeld om de laatste metingen op te halen. De meetgegevens zijn per proefstrook uitgewerkt in een excelbestand. De data van de tensiometers zijn gecorrigeerd voor de nulpunafwijkingen en de calibratie van 23-01-2008. De tensiometers met serienummer 2621, 2622 en 2641 zijn nieuw. Voor deze opnemers gelden de fabriekscalibraties. De thetaprobe vochtsensoren zijn ingezet om er achter te komen of bij drukveranderingen ook gelijktijdig veranderingen in het volumevochtgehalte te meten zijn. Deze opnemers zijn niet gecalibreerd voor de lokale grondsoort. De uitkomsten van de metingen zijn daarom een indicatie van het volumevochtgehalte in m^3/m^3 . De PR-waterspanningmeters zijn in de onder de dijk doorlopende zandlaag geplaatst om een eventuele verhoging van de stijghoogte van het grondwater door de proeven te meten.

2.2.2 Proefstrook bij Sint Philipsland

Het meetsysteem bij de proefstrook bij in Sint Philipsland heeft continue gemeten van 5 maart 2008 tot 7 april 2008. Om de hoeveelheid data te beperken was gepland dat de logger alleen tijdens de overslagproeven door Infram op een meetfrequentie van 1 keer per 10 seconden zou worden ingesteld vanaf de pc op locatie. Bij aansluiten van de pc bleek communicatie met de logger niet te werken. Bij beoordeling ter plaatse door een meettechnicus van Deltares bleek de pc niet defect en is de logger op een meetinterval van 1 meting per 10 seconden ingesteld. Door een foute klepinstelling was een eerste golf om de golfoverslagsimulator in te regelen al over het talud gestroomd voordat de logger op de hogere meetinterval was ingesteld. Op 16 maart 2008 is om circa 04:30 uur een piek in de aflezingen van de tensiometers te zien. Mogelijk is regenval daar de oorzaak van. Voor en na de overslagproeven zijn meer verhogingen in de waarnemingen te zien.

De resultaten van de metingen zijn gepresenteerd in een aantal plots in bijlage 4 'monitoring Sint Philipsland'. Een overzicht van de gepresenteerde periodes en de bijbehorende bijlagennummers is opgenomen in onderstaande tabel.

	tensiometer	PR-wsm	Thetaprobe
Complete meetperiode 5-3 t/m 7-4-2008	WT01	W01	X01
Metingen in week 10	WT02	W02	X02
Metingen in week 11	WT03	W03	X03
Metingen in week 12	WT04	W04	X04
Metingen in week 13	WT05	W05	X05
Metingen in week 14	WT06	W06	X06
Metingen op 12-3-2008	WT07	W07	X07
Metingen op 13-3-2008	WT08	W08	X08
Metingen op 16-3-2008	WT09	W09	X09
Metingen op 17-3-2008	WT10	W10	X10
Metingen op 18-3-2008	WT11	W11	X11

Tabel 1 overzicht bijlage nummers Sint Philipsland

Ruim twee weken na het beëindigen van de overslagproeven zijn de metingen gestopt en zijn de instrumenten uitgegraven. Hierbij zijn van de instrumenten de RD-coördinaten en de hoogtes ten opzichte van NAP bepaald met RTK-GPS.

In bijlage 1 'locatiegegevens' zijn in tabel A3 de plaatsingsgegevens van de instrumenten opgenomen. Bij het opgraven van de instrumenten is geconstateerd dat de afdichting van de boorgaten er goed uit zag.

2.2.3 Proefstrook bij Kattendijke

Het meetsysteem bij de proefstrook bij Kattendijke heeft gemeten van 12 maart 2008 tot 7 april 2008. Om de hoeveelheid data te beperken is de logger alleen tijdens de golfoverslagproeven vanuit Delft ingesteld op een meetfrequentie van 1 keer per 10 seconden. Zes dagen na het beëindigen van de proeven is de accuspanning gedurende ruim anderhalve dag te laag geweest en zijn geen metingen gedaan. Na laden van de accu is de logger weer gestart en is nog 4 dagen gemeten. De resultaten van de metingen zijn gepresenteerd in een aantal plots in bijlage 5 'monitoring Kattendijke'. Een overzicht van de gepresenteerde periodes en de bijbehorende bijlagennummers is opgenomen in onderstaande tabel.

	Tensiometer	PR-wsm	Thetaprobe
Complete meetperiode 12-3 t/m 7-4-2008	WT12	W12	X12
Metingen in week 11	WT13	Nog niet geplaatst	X13
Metingen in week 12	WT14	W13	X14
Metingen in week 13	WT15	W14	X15
Metingen in week 14	WT16	W15	X16
Metingen op 20-3-2008	WT17	W16	X17
Metingen op 21-3-2008	WT18	W17	X18
Metingen op 25-3-2008	WT19	W18	X19
Metingen op 26-3-2008	WT20	W19	X20
Metingen op 27-3-2008	WT21	W20	X21

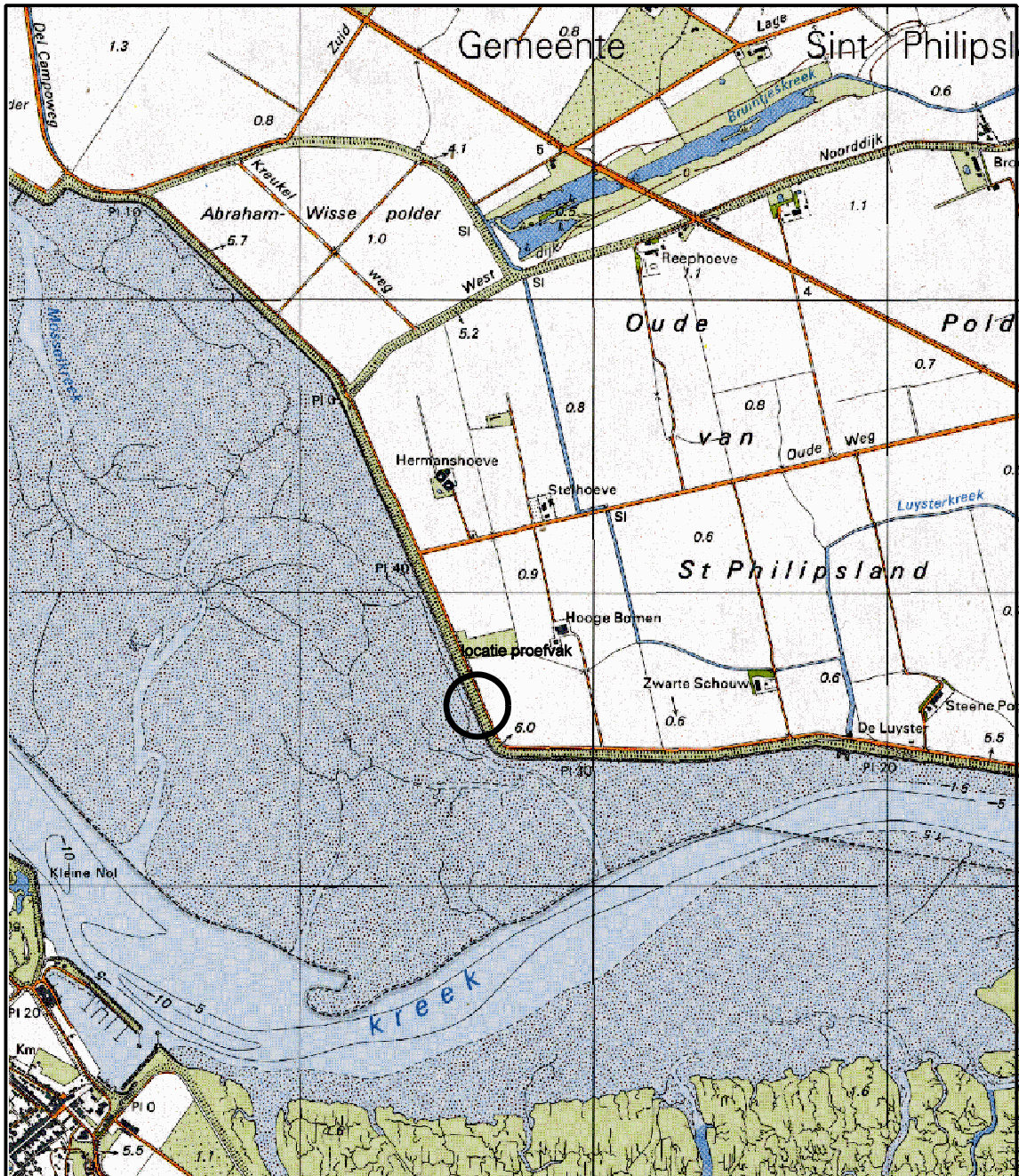
Tabel 1 overzicht bijlage nummers Sint Philipsland

Ruim een week na het beëindigen van de golfoverslagproeven op de proefstrook zijn de metingen gestopt en zijn de instrumenten uitgegraven. Hierbij zijn van de instrumenten de RD-coördinaten en de hoogtes ten opzichte van NAP bepaald met RTK-GPS.

In bijlage 1 'locatiegegevens' zijn in tabel A4 de plaatsingsgegevens van de instrumenten opgenomen. Bij het opgraven van de instrumenten is geconstateerd dat de afdichting van de boorgaten er goed uit zag.

Bijlage 1 Locatiegegevens

- Bijlage A1 Situatie Sint Philipsland
- Bijlage A2 Situatie Kattendijke
- Bijlage A3 Tabel plaatsingsgegevens Sint Philipsland
- Bijlage A4 Tabel plaatsingsgegevens Kattendijke



kaartblad 43C

schaal 1:25.000

Deltares Postbus 177, 2600 MH DELFT Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT Golfroverslagproeven Zeeland St Philipsland LOCATIE PROEFVAK ST PHILIPSLAND	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 06 21	Homepage: www.geodelft.nl	datum 2008-06-23	get. Rtrn
			CO- 432850	gez.
			BIJL. A1	form. A4



kaartblad 65F en 65H

schaal 1:25.000

Deltares Postbus 177, 2600 MH DELFT Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT Golfverslagproeven Zeeland Zuid Beveland LOCATIE PROEFVAK KATTENDIJKE	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Homepage: www.geodelft.nl	datum 2008-06-23	get. Rtm
				gez. CO- 432850
				form. BIJL. A2

Opdrachtnummer : CO-432850

hoofdtitel : Golfverslagproeven Zeeland

Locatie : Sint Philipsland

subtitel : Monitoring

Bijlage: A3

positie opnemers en grondonderzoek

punt	serienummer	RD-coördinaat		hoogte opnemer tov. NAP [m]	maaiveld tov. NAP [m]	diepte tov maaiveld [m]	afstand vanaf kruinlijn langs talud gemeten [m]	opnemer is geplaatst in	opmerkingen
		X [m]	Y [m]						
T1	S/N2446	67608.20	403625.36	4.67	4.85	0.18	3.75	dijkbekleding	
T2	S/N2440	67607.78	403625.76	4.41	4.98	0.57	3.60	dijkbekleding	
T3	S/N2451	67607.67	403625.65	4.09	5.06	0.97	3.36	zandkern	
T4	S/N2450	67611.01	403626.74	3.02	3.34	0.32	7.42	dijkbekleding	
T5	S/N2443	67610.81	403626.69	3.10	3.47	0.37	7.20	dijkbekleding	
T6	S/N2442	67610.70	403626.72	2.82	3.54	0.72	7.09	zandkern	
PR-wsm	PR-346	67609.20	403623.37	-4.25	4.93	4.78	3.60	zand	bovenkant buis NAP +5.95 m lengte buis is 10.20 m
PR-wsm	PR-333	67614.07	403625.81	-3.94	2.31	2.14	9.80	zand	bovenkant buis NAP +3.26 m lengte buis is 7.20 m
thetaprobe 1	S/N 2	67608.20	403625.36	4.67	4.85	0.18	3.80	dijkbekleding	In hetzelfde gat geplaatst als T1
thetaprobe 2	S/N 3	67607.78	403625.76	4.41	4.98	0.57	3.60	dijkbekleding	In hetzelfde gat geplaatst als T2
thetaprobe 3	S/N 6	67607.67	403625.65	4.09	5.06	0.97	3.40	zandkern	In hetzelfde gat geplaatst als T3
teen									
Sondering S01									
Sondering S02		67592.62	403647.94		6.45				
Handboring HB01		67603.78	403652.44		1.88				
Handboring HB02		67595.54	403643.73		6.36				
Handboring HB03		67597.40	403644.41		5.75				
Handboring HB04		67599.40	403645.99		4.65				
Handboring HB05		67601.22	403646.73		3.76				
Handboring HB06		67603.52	403647.67		2.57				
		67606.11	403648.53		1.86				

Bijlage: A4

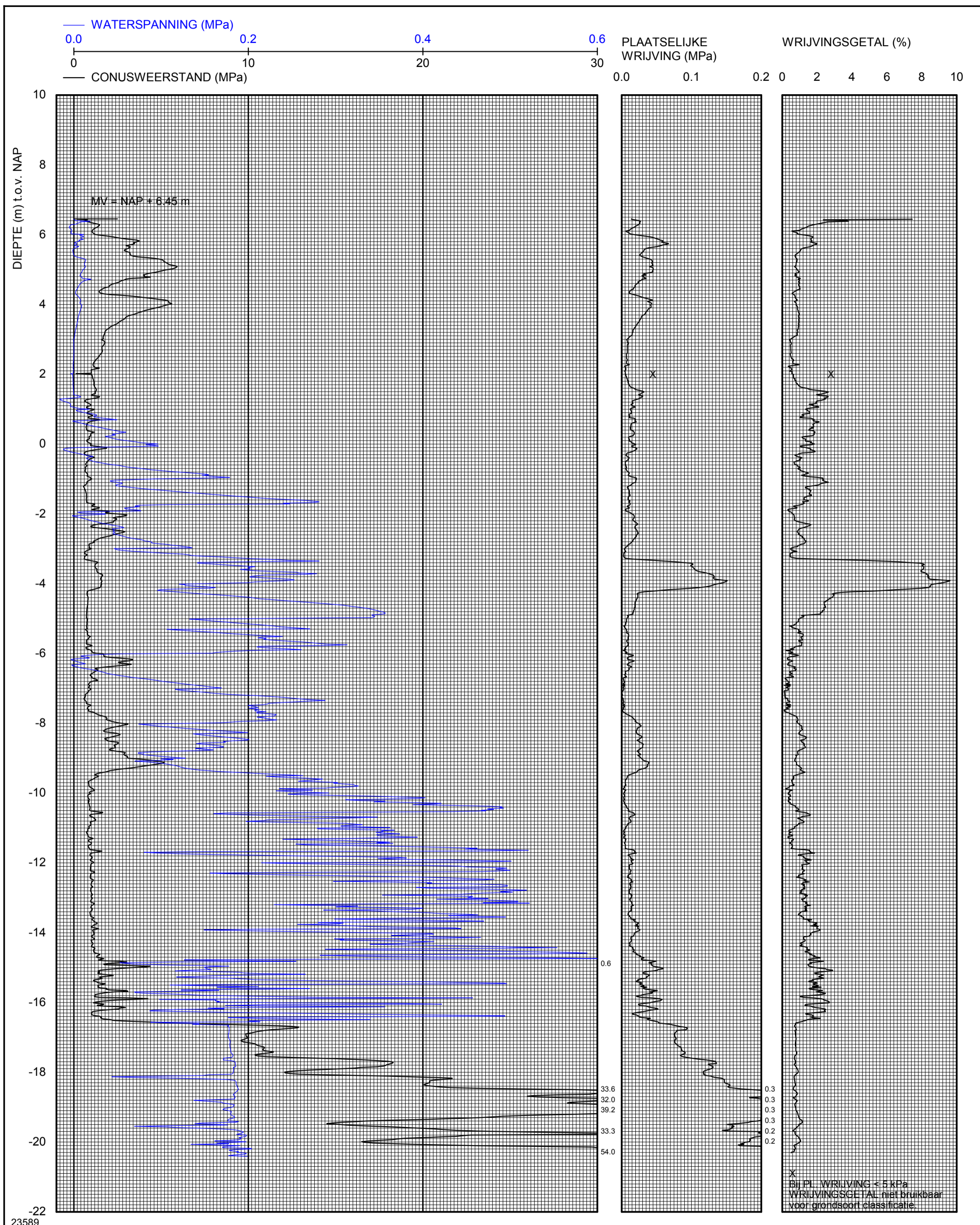
Oprichtnummer : CO-432850
 hoofdtitel : Golfverslagproeven Zeeland
 Locatie : Kattendijke
 subtitel : Monitoring

positie opnemers en grondonderzoek

punt	serienummer	RD-coördinaat		hoogte opnemer tov. NAP [m]	maaiveld tov. NAP [m]	diepte tov maaiveld [m]	afstand vanaf kruinlijn langs talud gemeten [m]	opnemer is geplaatst in	opmerkingen
		X [m]	Y [m]						
T1	S/N2621	54331.88	394275.83	4.78	5.03	0.25	5.20	dijkbekleding	
T2	S/N2641	54332.18	394275.81	4.71	5.16	0.45	5.00	dijkbekleding	
T3	S/N2448	54332.38	394275.83	4.56	5.26	0.70	4.80	zandkern	
T4	S/N2449	54328.44	394272.86	3.22	3.47	0.25	10.20	dijkbekleding	
T5	S/N2444	54328.71	394272.91	3.10	3.60	0.50	10.00	dijkbekleding	
T6	S/N2441	54328.89	394272.96	2.99	3.69	0.70	9.80	zandkern	
PR-wsm	PR-364	54330.99	394277.41	-1.56	5.16	6.72	5.00	zand	bovenkant buis NAP +6.14 m
PR-wsm	PR-339	54325.03	394272.57	-1.39	2.31	3.70	13.30	zand	lengte buis is 7.70 m bovenkant buis NAP +3.31 m
thetaprobe 1	S/N 1	54331.88	394275.83	4.78	5.05	0.27	5.20	dijkbekleding	lengte buis is 4.70 m In hetzelfde gat geplaatst als T1
thetaprobe 2	S/N 5	54332.32	394275.85	4.71	5.21	0.50	5.00	dijkbekleding	In hetzelfde gat geplaatst als T2
thetaprobe 3	S/N 8	54332.38	394275.83	4.56	5.29	0.73	4.80	zandkern	In hetzelfde gat geplaatst als T3
teen							15.00		
Sondering S03		54365.61	394244.76		6.46				
Sondering S04		54352.85	394234.60		1.66				
Handboring HB07		54360.08	394252.02		6.40				
Handboring HB08		54357.02	394249.42		5.69				
Handboring HB09		54354.67	394247.85		4.76				
Handboring HB10		54352.44	394246.03		3.74				
Handboring HB11		54350.18	394244.37		2.71				
Handboring HB12		54347.14	394242.23		1.66				

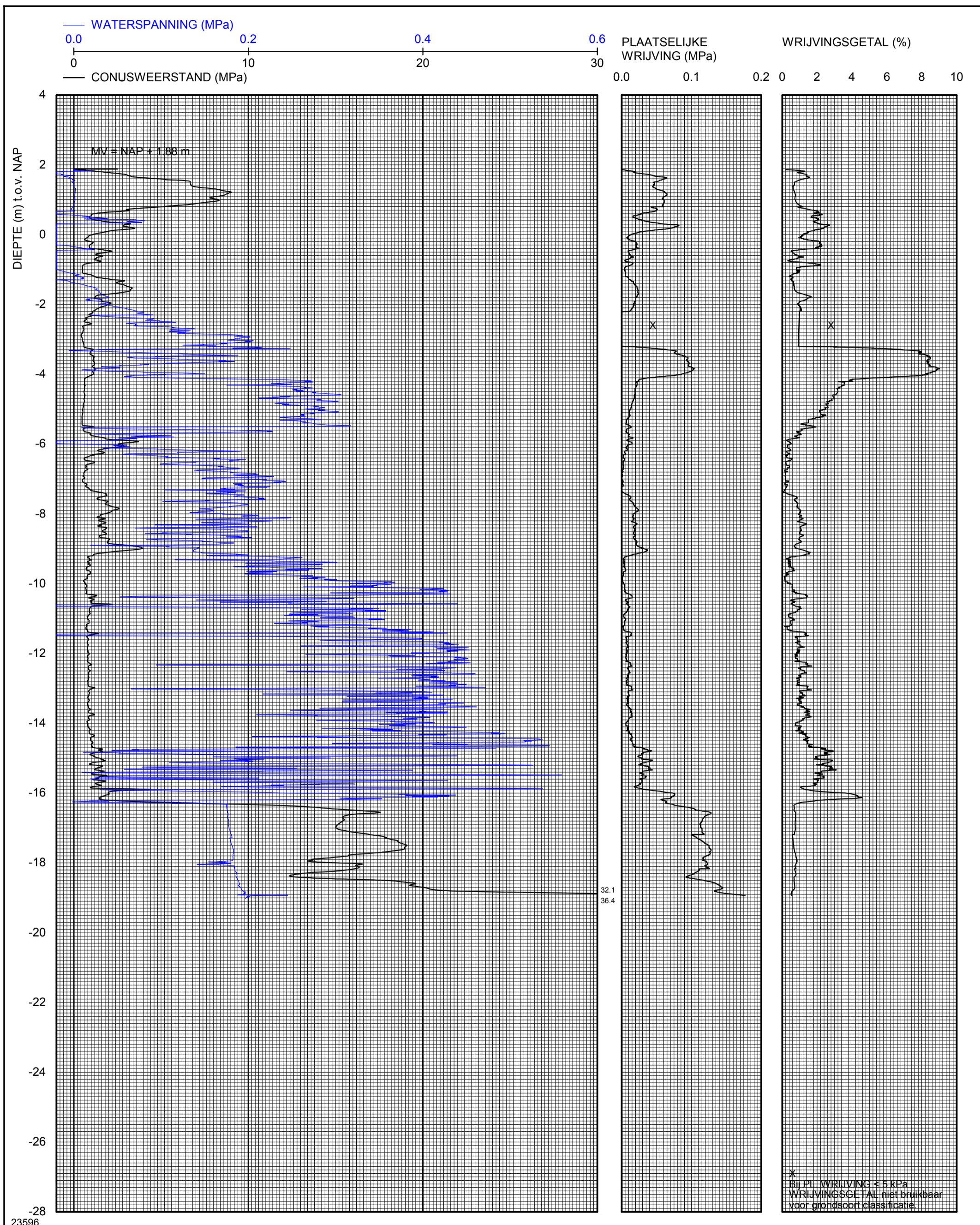
Bijlage 2 Veldonderzoek

- Bijlage CS01 Sondering S01 Sint Philipsland
- Bijlage CS02 Sondering S02 Sint Philipsland
- Bijlage H1 Veldbeschrijving HB01 Sint Philipsland
- Bijlage H2 Veldbeschrijving HB02 Sint Philipsland
- Bijlage H3 Veldbeschrijving HB03 Sint Philipsland
- Bijlage H4 Veldbeschrijving HB04 Sint Philipsland
- Bijlage H5 Veldbeschrijving HB05 Sint Philipsland
- Bijlage H6 Veldbeschrijving HB06 Sint Philipsland
- Bijlage CS03 Sondering S03 Kattendijke
- Bijlage CS04 Sondering S04 Kattendijke
- Bijlage H7 Veldbeschrijving HB07 Kattendijke
- Bijlage H8 Veldbeschrijving HB08 Kattendijke
- Bijlage H9 Veldbeschrijving HB09 Kattendijke
- Bijlage H10 Veldbeschrijving HB10 Kattendijke
- Bijlage H11 Veldbeschrijving HB11 Kattendijke
- Bijlage H12 Veldbeschrijving HB12 Kattendijke



	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2008-03-05	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-296, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
	Golfoverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland SONDERING S01_KRUIJN			CO-432850/360	gez.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 6.45 m X = 67592.62 m Y = 403647.94 m
			BIJL. CS1	form. A3		

*) Vrijgegeven door Maa op 2008-03-17 14:43




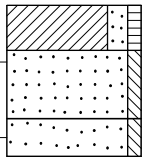
	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2008-03-05	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-296, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
	Golfoverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland SONDERING S02_TEEN	CO-432850/360	BIJL. CS2	form. A3	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 1.88 m X = 67603.78 m Y = 403652.44 m

*) Vrijgegeven door Vin op 2008-03-31 11:38


DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
			VAN	TOT		
MV (6.36)6		1	1	6.36	5.86	KLEI, matig zandig, zwak humeus Kleur: bruin
5		2	2	5.86	5.36	KLEI, matig zandig, zwak humeus Lichte roest, bruin
	Geboord tot NAP 4.36 m	3	3	5.36	4.36	ZAND, zwak siltig Matig fijn. licht grijs
Einde Boring HB01 (Veldbeschrijving)						

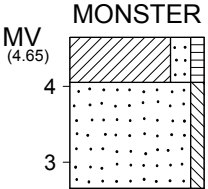
X = 67595.54 m Y = 403643.73 m (RD)

 Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-05	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB01 (Veldbeschrijving)		CO-432850/360	gez.
	BIJL. H1		fom. A4


DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
			VAN	TOT		
MV (5.75)		1	1	5.75	5.15	KLEI, matig zandig, zwak humeus Bruin (laag bemonsterd)
5		2	2	5.15	4.25	ZAND, zwak siltig Licht grijs
4		3	3	4.25	3.75	ZAND, zwak siltig Licht beige
Geboord tot NAP 3.75 m						
Einde Boring HB02 (Veldbeschrijving)						

X = 67597.40 m Y = 403644.41 m (RD)

	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2008-03-05	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philippsland / Zuid Beveland Handboring HB02 (Veldbeschrijving)			CO-432850/360	gez.
	BIJL.	H2		fom. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
		LAAG	VAN TOT	
MV (4.65) 4		1	1 4.65 4.05	KLEI, matig zandig, zwak humeus Bruin (laag bemonsterd)
3		2	2 4.05 2.65	ZAND, zwak siltig Matig fijn, licht grijs, (laag bemonsterd)
	Geboord tot NAP 2.65 m			Einde Boring HB03 (Veldbeschrijving)

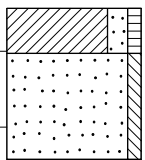
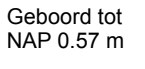
X = 67599.40 m Y = 403645.99 m (RD)

	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2008-03-05	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philippsland / Zuid Beveland Handboring HB03 (Veldbeschrijving)			gez.	
	CO-432850/360			
	BIJL. H3		fom.	A4


DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING		
		↓LAAG↓	VAN		TOT	
MV (3.76)		1	1	3.76	3.16	KLEI, matig zandig, zwak humeus Bruin (laag bemonsterd)
3		2	2	3.16	1.76	ZAND, zwak siltig Matig fijn, licht grijs
2	Geboord tot NAP 1.76 m				Einde Boring HB04 (Veldbeschrijving)	

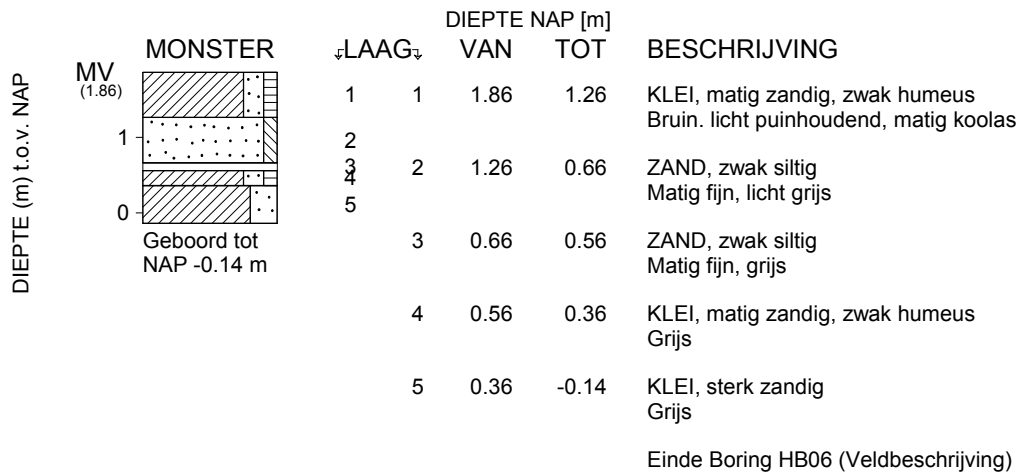
X = 67601.22 m Y = 403646.73 m (RD)

	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2008-03-05	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philippsland / Zuid Beveland Handboring HB04 (Veldbeschrijving)			CO-432850/360	gez.
	BIJL.	H4		fom. A4


DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING		
		↓LAAG↓	VAN		TOT	
MV (2.57) 2		1	1	2.57	1.97	KLEI, matig zandig, zwak humeus Bruin (laag bemonsterd)
1		2	2	1.97	0.57	ZAND, zwak siltig Matig fijn, licht grijs
Geboord tot NAP 0.57 m				Einde Boring HB05 (Veldbeschrijving)		

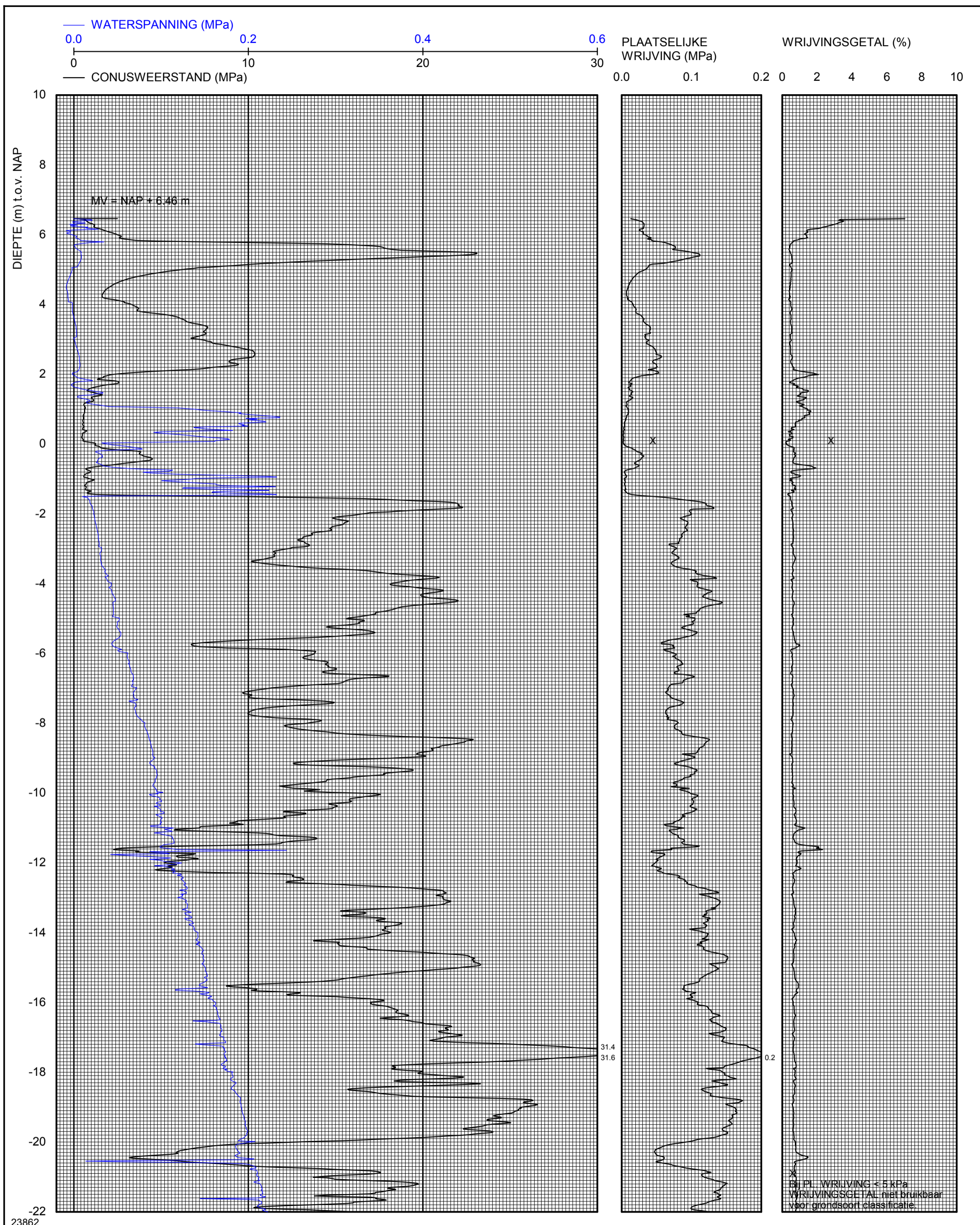
X = 67603.52 m Y = 403647.67 m (RD)

	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
			2008-03-05	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philippsland / Zuid Beveland Handboring HB05 (Veldbeschrijving)			CO-432850/360	gez.
			BIJL. H5	fom. A4



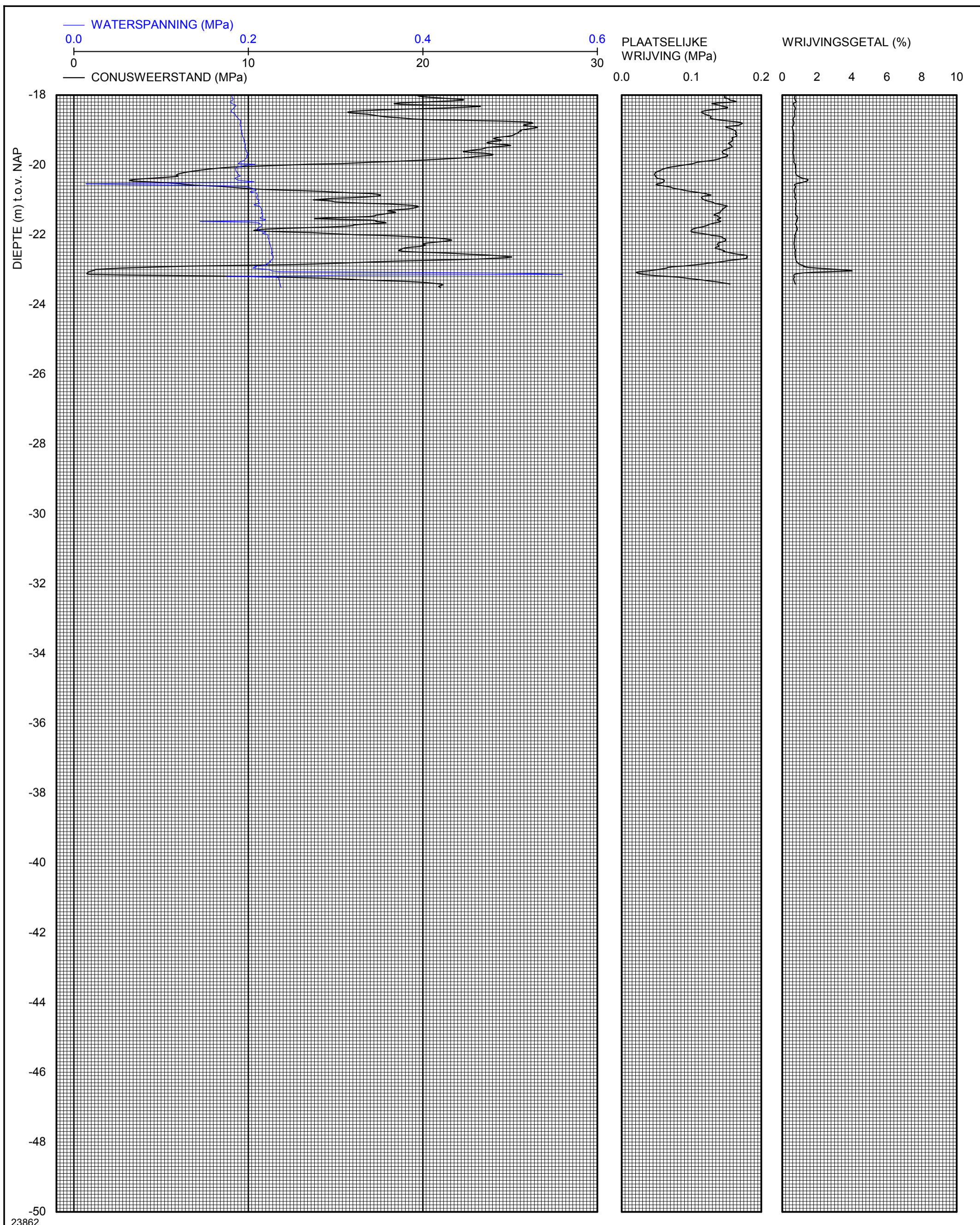
X = 67606.11 m Y = 403648.53 m (RD)

 Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-05	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB06 (Veldbeschrijving)		CO-432850/360	gez.
	BIJL. H6		fom. A4



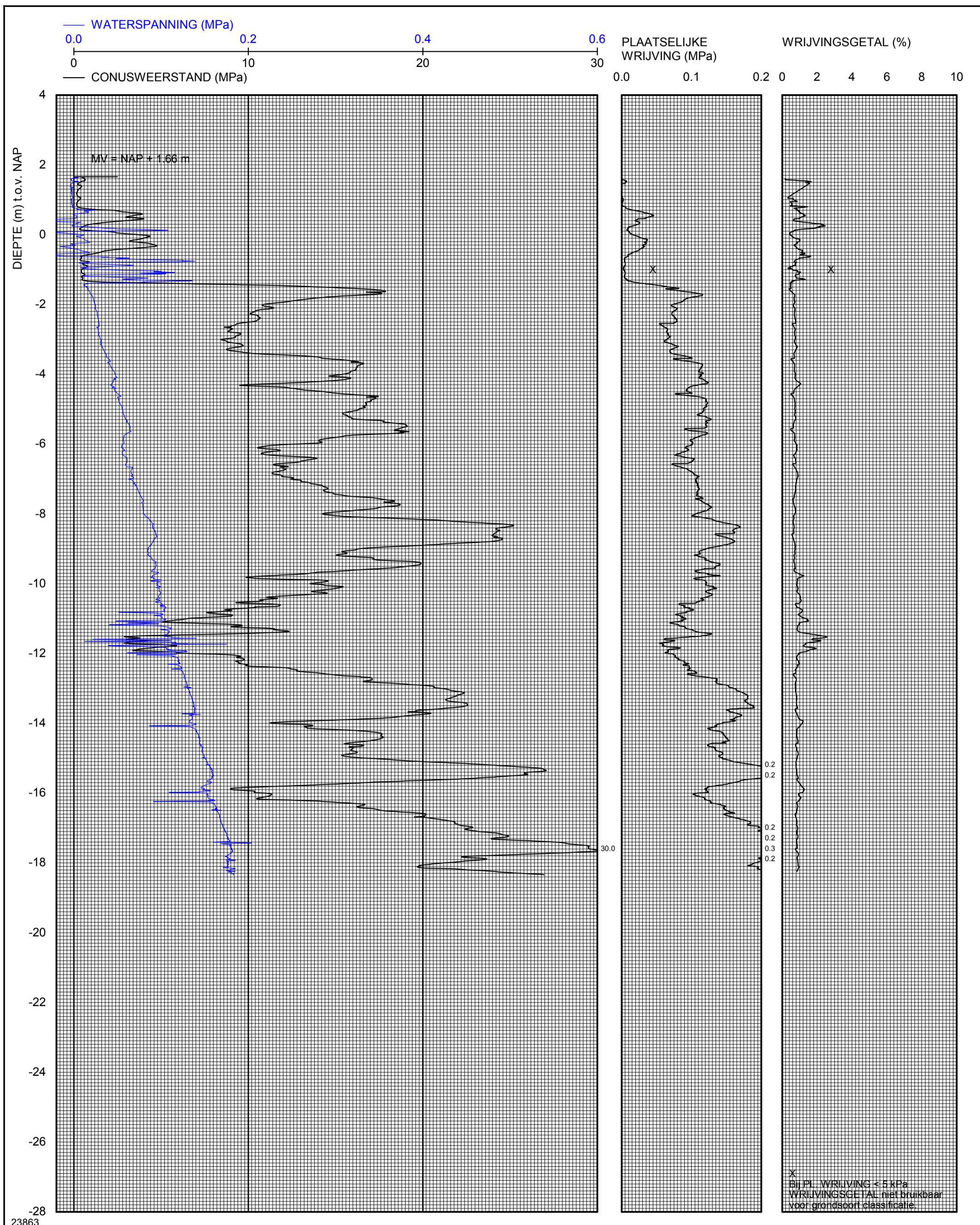
Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2	
		2008-03-17	Lws	Conus nr. CKR10/1-260, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
Golfoverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland SONDERING S03_KRUIJN [Blad 1 / 2]	BIJL. CS3	CO-432850/360	gez.	Geodetische bijzonderheden:	Meetbereiken:
		form. A3		MV = NAP + 6.46 m X = 54365.61 m Y = 394244.76 m	Conusweerstand: 50 MPa Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa Waterspanning: 1 MPa Conushelling: 350 mRad

*) Vrijgegeven door Vin op 2008-03-31 13:35



Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-260, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
	2008-03-17	Lws		
Golfoverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland SONDERING S03_KRUIJN [Blad 2 / 2]	CO-432850/360	gez.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 6.46 m X = 54365.61 m Y = 394244.76 m	
	BIJL. CS3	form. A3		

*) Vrijgegeven door Vin op 2008-03-31 13:35



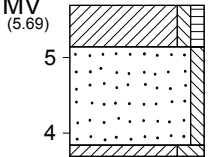
Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2008-03-17	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-260, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
	CO-432850/360	gez.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 1.66 m X = 54352.85 m Y = 394234.60 m	Meetbereiken: Conusweerstand: 50 MPa Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa Waterspanning: 1 MPa Conushelling: 350 mRad
Golfoverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland SONDERING S04_TEEN	BIJL. CS4	form. A3		

*) Vrijgegeven door Vin op 2008-03-31 13:36



X = 54360.08 m Y = 394252.02 m (RD)

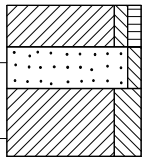
Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-17	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB07 (Veldbeschrijving)	CO-432850/360		gez.
	BIJL. H7	fom.	A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
			VAN	TOT	
5		1	5.69	5.14	KLEI, zwak siltig, zwak humeus
		2	5.14	3.84	ZAND, zwak siltig
4		3	3.84	3.69	KLEI, sterk siltig
	Geboord tot NAP 3.69 m				Einde Boring HB08 (Veldbeschrijving)

X = 54357.02 m Y = 394249.42 m (RD)

Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-17	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB08 (Veldbeschrijving)		CO-432850/360	gez.
	BIJL. H8		fom. A4

*) Vrijgegeven door Vin op 2008-03-31 11:37

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
			VAN	TOT	
MV (4.76)		1	4.76	4.21	KLEI, zwak siltig, zwak humeus
4		2	4.21	3.66	ZAND, zwak siltig
3		3	3.66	2.76	KLEI, sterk siltig
Geboord tot NAP 2.76 m					Einde Boring HB09 (Veldbeschrijving)

X = 54354.67 m Y = 394247.85 m (RD)

Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-17	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB09 (Veldbeschrijving)		CO-432850/360	gez.
	BIJL. H9		fom. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG		DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
		↓	↑	VAN	TOT	
3		1	1	3.74	2.44	KLEI, zwak siltig, zwak humeus
2		2	2	2.44	1.74	KLEI, matig siltig
Geboord tot NAP 1.74 m						Einde Boring HB10 (Veldbeschrijving)

X = 54352.44 m Y = 394246.03 m (RD)

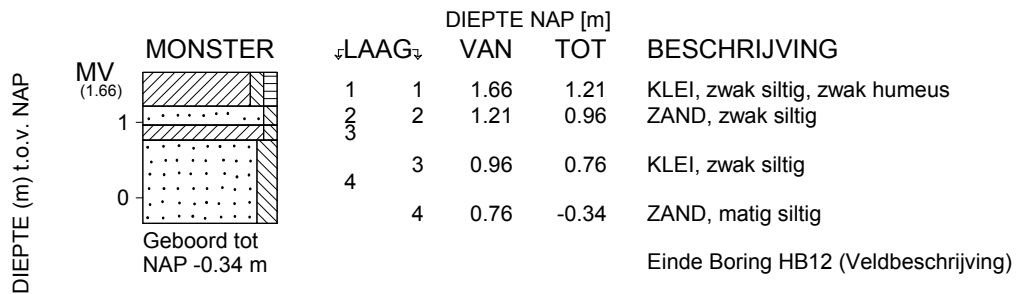
Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2008-03-17	get. Lws
	Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB10 (Veldbeschrijving)	CO-432850/360 BIJL. H10	gez. fom. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
			VAN	TOT		
MV (2.71)		1	1	2.71	2.16	KLEI, zwak siltig, zwak humeus
2		2	2.16	1.91	ZAND, zwak siltig	
3		3				
4		4	3	1.91	1.61	KLEI, matig siltig
1		5	4	1.61	1.21	ZAND, zwak siltig
	Geboord tot NAP 0.71 m	5	1.21	0.71	KLEI, sterk siltig	

Einde Boring HB11 (Veldbeschrijving)

X = 54350.18 m Y = 394244.37 m (RD)

Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-17	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB11 (Veldbeschrijving)		gez.	
	CO-432850/360		
	BIJL. H11	fom.	A4



X = 54347.14 m Y = 394242.23 m (RD)

Deltares Deltares Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.
		2008-03-17	Lws
Golfverslagproeven Zeeland Philipsland / Zuid Beveland Handboring HB12 (Veldbeschrijving)		gez.	
		CO-432850/360	fom.
		BIJL. H12	A4

Bijlage 3 Laboratoriumonderzoek

- Bijlage AA1 overzicht consistentiegrenzen, kalk en humusgehalte
- Bepalingen zoutgehalte handboringen (H)B02 tot en met (H)B05, Sint Philipsland, en handboringen HB08 tot en met HB11, Kattendijke
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring (H)B02 Sint Philipsland
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring (H)B03 Sint Philipsland
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring (H)B04 Sint Philipsland
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring (H)B05 Sint Philipsland
- Korrelverdelingsdiagram handboring (H)B02 Sint Philipsland
- Korrelverdelingsdiagram handboring (H)B03 Sint Philipsland
- Korrelverdelingsdiagram handboring (H)B04 Sint Philipsland
- Korrelverdelingsdiagram handboring (H)B05 Sint Philipsland
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring HB08 Kattendijke
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring HB09 Kattendijke
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring HB10 Kattendijke
- Bepaling Attenbergse grenzen handboring HB11 Kattendijke
- Korrelverdelingsdiagram handboring HB08 Kattendijke
- Korrelverdelingsdiagram handboring HB09 Kattendijke
- Korrelverdelingsdiagram handboring HB10 Kattendijke
- Korrelverdelingsdiagram handboring HB11 Kattendijke



Ons kenmerk : 2008-144
Aantal/hoeveelheid : 8 zakjes met klei
Ontvangst d.d. : 19 maart 2008 Onderzoek d.d.: Maart 2008
Omschrijving en conditie : In goede staat aangeleverd
Herkomst : Kattendijke en St-Philipsland
Werkwijze monsterneming : N.v.t.
Bijzonderheden : Geen
Gewenst onderzoek(en) : Atterbergsegrenzen, Korrelverdeling, Chloridebepaling
Referentiemethode(n) : Standaard RAW Bepalingen 2005 proef 15 (Q),
NEN5753(Q), Standaard RAW Bepalingen 2005 proef 160
(Q),

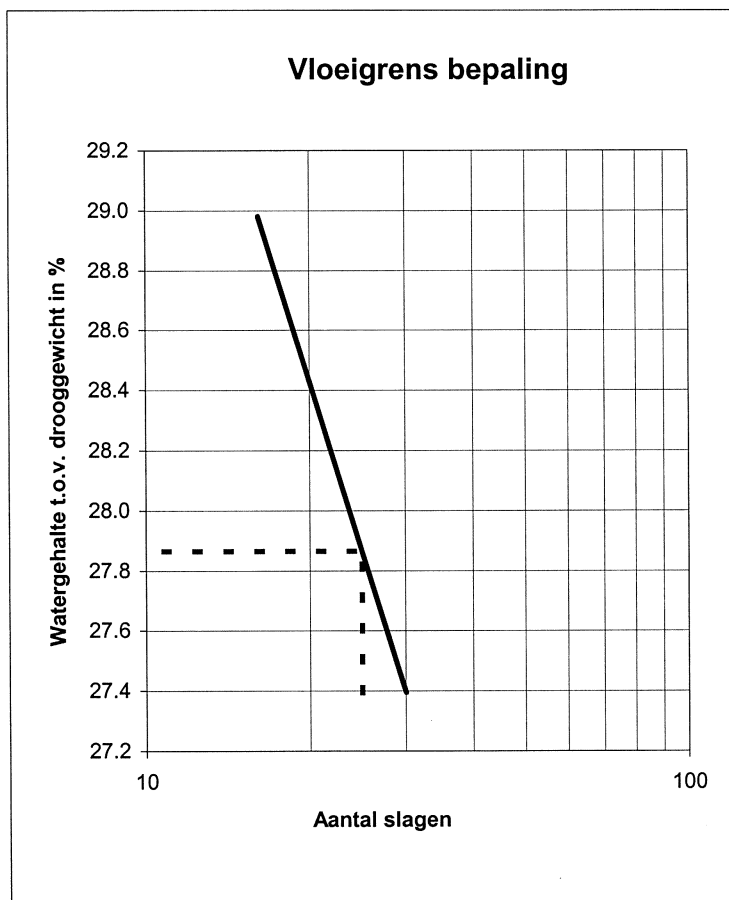
RESULTATEN

De resultaten van de korrelverdeling, atterbergsegrenzen zijn weergegeven in de bijlagen.

Monster nummer	Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht [g/l]
B02	0,8
B03	0,3
B04	0,4
B05	0,4
HB8	0,9
HB9	1,5
HB10	1,4
HB11	1,4

Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	27.9
Uitrofgrens	%	19.3
Plasticiteitsindex	%	8.6



File naam: M:\IGWR-MROVLG\08_Lab\3_Projectresultaten\Standaardrapportages\Geo werkbladen\138.001 Q\raw15 Atterbergse grenzenw2000.xls]twerkingsdatum: 27-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,6 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E.Middelburg	KOSTENDRAGER: .	BLAD NR.:	BORING NR.: B02
TEAMLEIDER:	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM
INGENIEURSBUREAU
VELD- EN LABORATORIUMGROEP

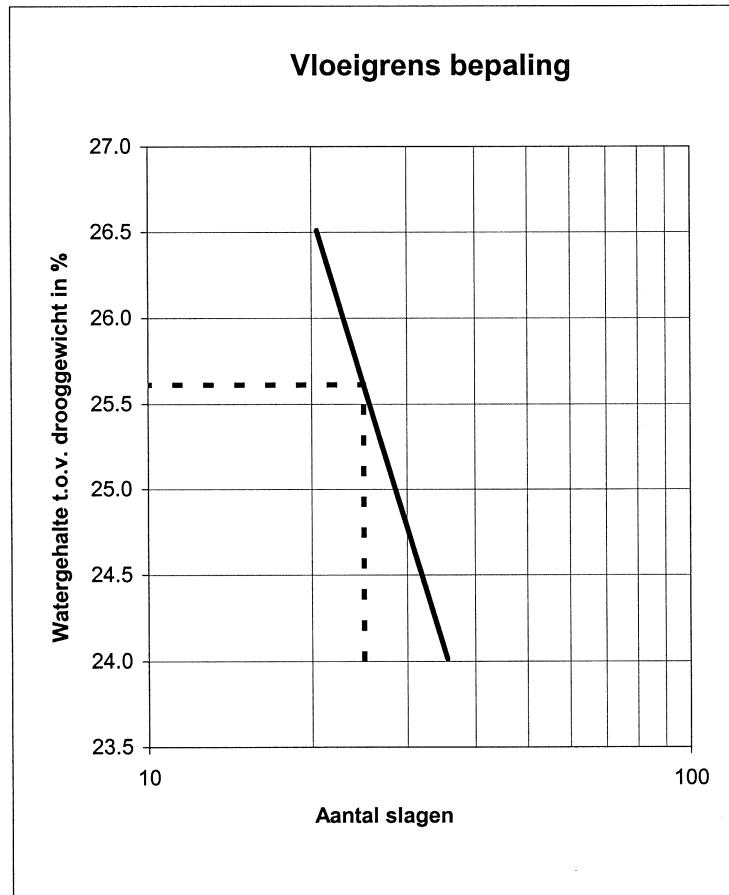


PROJECT: Phillippsland 432850

ATTERBERGSE GRENZEN

Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	25.6
Uitrolgrens	%	18.3
Plasticiteitsindex	%	7.3

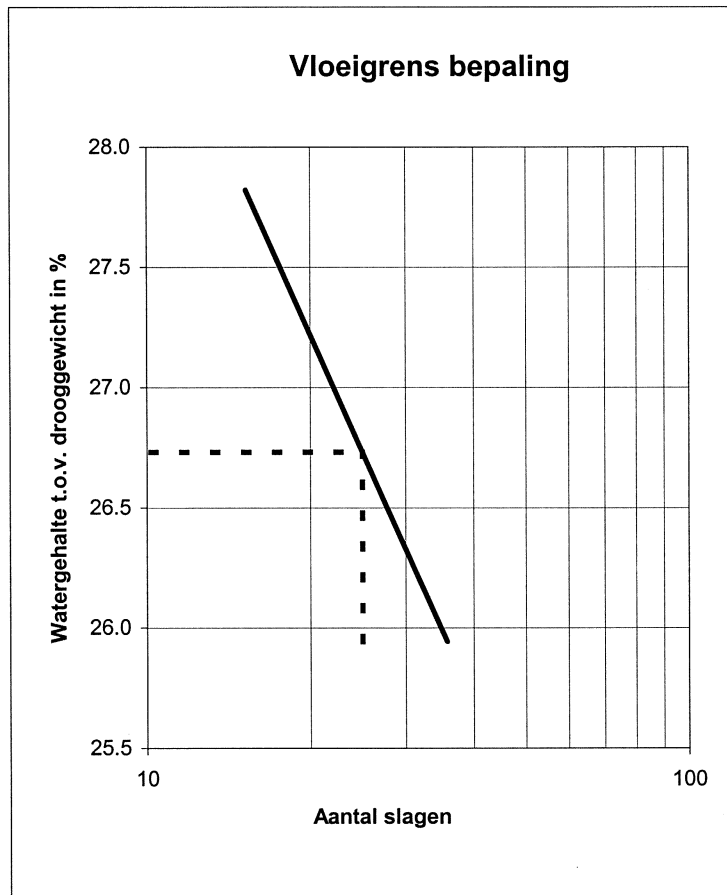


File naam: M:\GWR-MROVLG\08_Lab\3_Projectresultaten\rapportage concept\2008\2008-144 b03 deltares raw15 Atterbergse .xls\Uitwerkingsstaat\Uitwerkingsdatum: 27-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,6 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E. Middelburg	KOSTENDRAGER: .	BLAD NR.:	BORING NR.: B03
TEAMLEIDER:	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU VELD- EN LABORATORIUMGROEP		 PROJECT: Phillipsland 432850 ATTERBERGSE GRENZEN	

Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	26.7
Uitrolgrens	%	17.7
Plasticiteitsindex	%	9.1

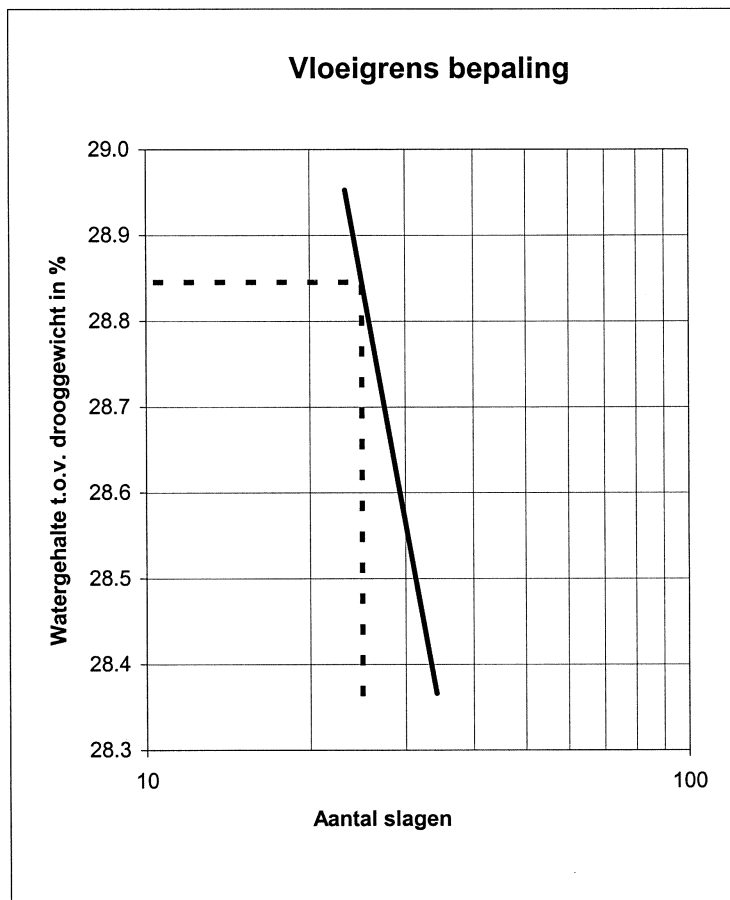


File naam: M:\IGWR-MROVLG\08_Lab\3_Projectresultaten\rapportage concept\2008\2008-144 b04 deltares raw15 Atterbergse .xls\Invoer Uitwerkingsdatum: 27-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,6 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E.Middelburg	KOSTENDRAGER: .	BLAD NR.:	BORING NR.: B04
TEAMLEIDER:	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU VELD- EN LABORATORIUMGROEP		 PROJECT: Phillipsland 432850 ATTERBERGSE GRENZEN	

Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	28.8
Uitrolgrens	%	18.1
Plasticiteitsindex	%	10.7



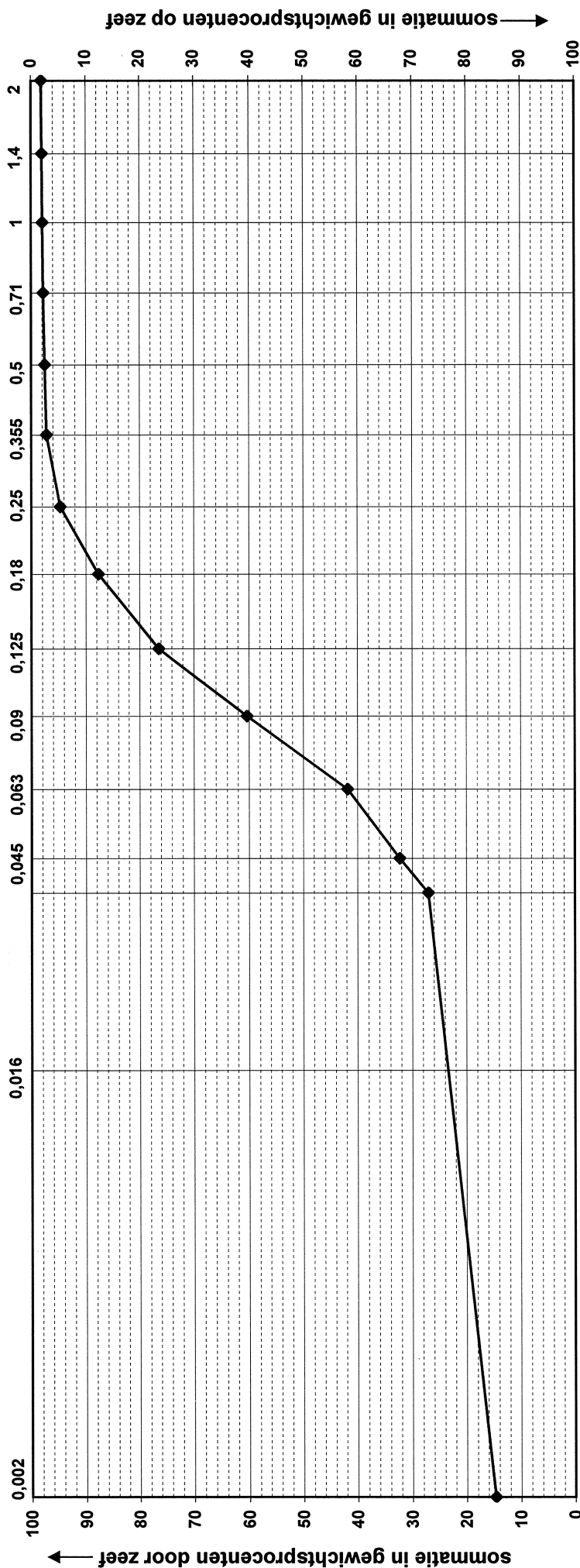
File naam: M:\IGWR-MROVLG\08_Lab\3_Projectresultaten\rapportage concept\2008\2008-144 b05 deltares raw15 Atterbergse .xls]Echo waarnemiditwerkingsdatum: 27-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,6 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E.Middelburg	KOSTENDRAGER: .	BLAD NR.:	BORING NR.: B05
TEAMLEIDER: <i>[Handwritten Signature]</i>	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU VELD- EN LABORATORIUMGROEP		PROJECT: Phillipsland 432850 <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;"> ATTERBERGSE GRENZEN </div>	



korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korrel diameter in mm



0,038

samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

identificatie monster	grond >2 mm %	zand 0.063-2mm %	silt 0.002-0.063mm %	lutum <0.002 mm %	humus %	CaCO3 %	D50 mm	M50 (0.063-2mm) mm	D60/D10 (0.063-2mm)	grondsoort volgens NEN5104
0,0-0,6 m-mv	1,7	51,8	24,9	13,4	2,1	6,1	0,074	0,110	1,75	Kz2(110), h1, g1 ,Ca3

H:\OfficeXP\Outlook[Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xls]Blad1

adviseur: H. van Essen

laborant: T. Piket

van de stofdruge grond

datum uitwerking: 1-4-2008

monsterklasse(NEN5119): 1

teamleider:

datum: 25-3-2008

mapnr.: 2008-144

project: 432850-360 St-Philipsland

boringsnummer: B02

hoogteligging mv tov NAP: onbekend



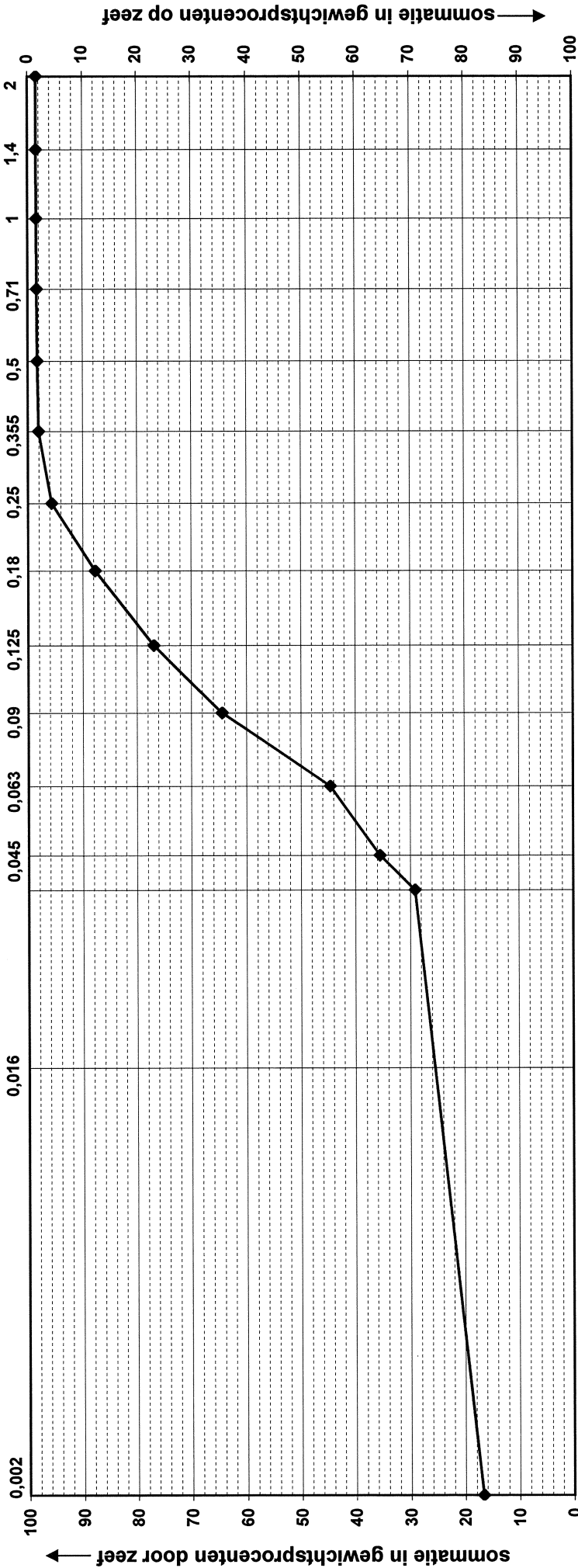
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM
INGENIEURSBUREAU

Veld- en Laboratorium Gww

KORRELGROOTTEVERDELING

korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korrel diameter in mm



0,038

samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

identificatie monster	grind >2 mm %	zand 0.063-2mm %	silt 0.002-0.063mm %	lutum <0.002 mm %	humus %	CaCO3 %	D50 mm	M50 (0.063-2mm) mm	D60/D10 (0.063-2mm)	grondsoort volgens NEN5104
0,0-0,6 m-mv	1,4	48,9	25,4	15,1	0,7	8,5	0,069	0,109	1,80	Kz2(109), h1, g1 ,Ca3

Hi:\OfficeXP\Outlook\Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xis\Blad1

adviseur: H. van Essen

laborant: T. Piket

van de stoffproge grond

datum uitwerking: 1-4-2008

monsterklasse(NEN5119): 1

teamleider: Ø

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

INGENIEURSBUREAU

Veld- en Laboratorium Gww

monsterklasse(NEN5119): 1

teamleider: Ø

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

INGENIEURSBUREAU

Veld- en Laboratorium Gww

datum: 25-3-2008

mapnr.: 2008-144

project: 432850-360 St-Philipsland

boringsnummer: B03

hoogtelegging mv

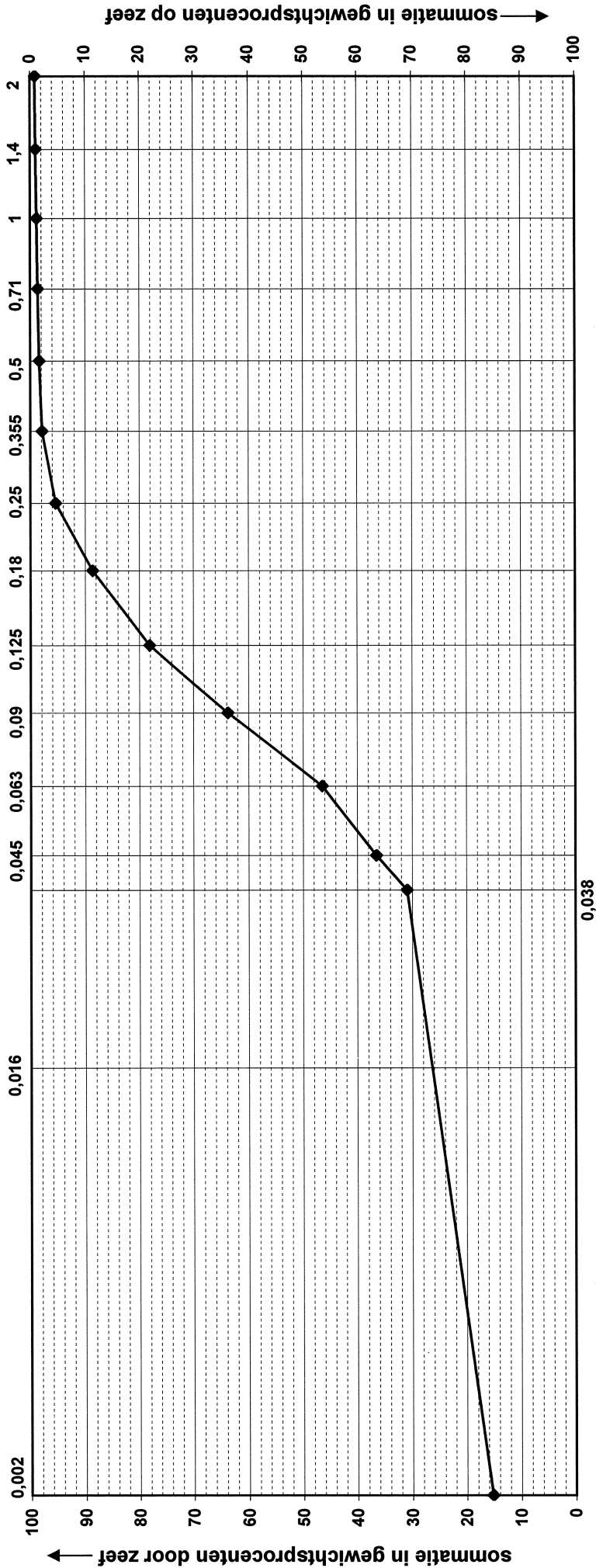
toev NAP: onbekend



KORRELGROOTTEVERDELING

korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korrel diameter in mm



samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

identificatie monster	grind	zand	silt	lutum	humus	CaCO3	D50	M50	D60/D10	grondsoort
0,0-0,6 m-mv	>2 mm %	0.063-2mm %	0.002-0.063mm %	<0.002 mm %	%	%	mm	mm	(0.063-2mm) (0.063-2mm)	volgens NEN5104 Kz2(111), h1, g1, Ca3
	0,8	49,5	29,4	14,3	0,7	5,3	0,068	0,111	1,78	

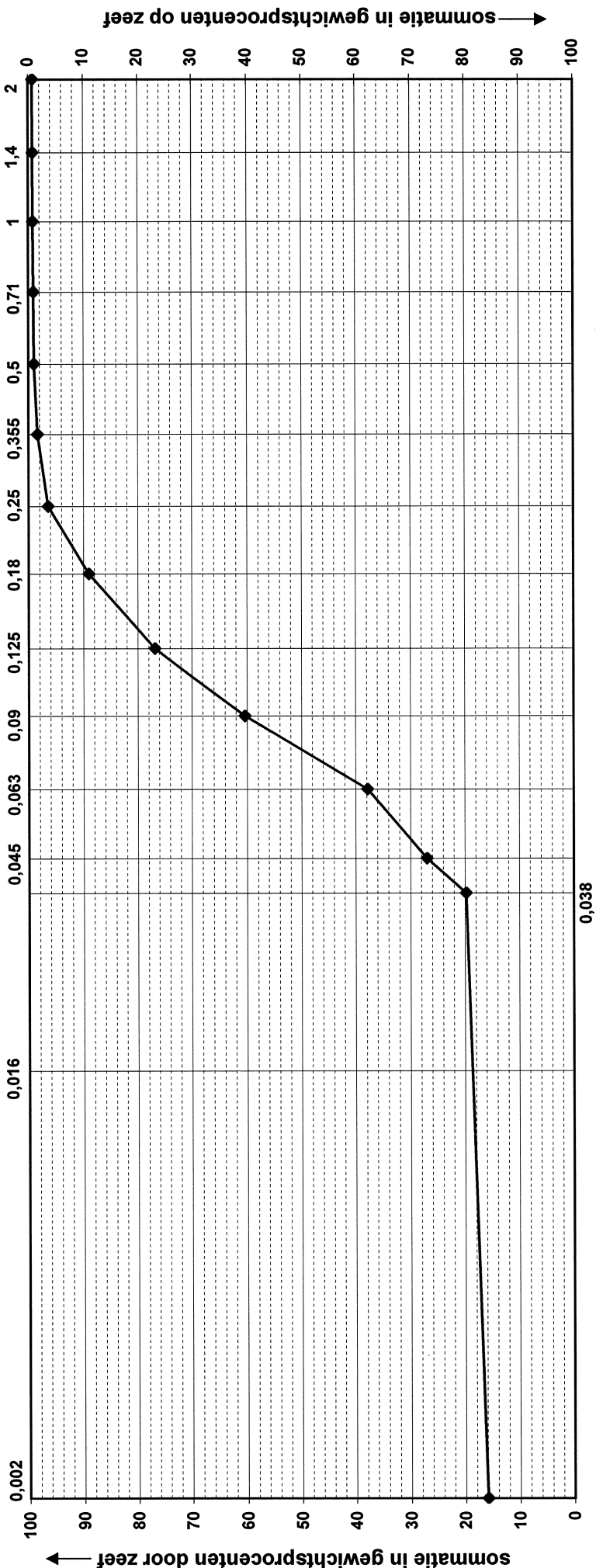
H:\OfficeXP\Outlook\Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xls\Blad1

Zeving droog uitgevoerd	adviseur: H. van Essen	monsterklasse(NEN5119): 1	datum: 25-3-2008	boringnummer: B04
Tabel uitgedrukt in massapercentages	laborant: T. Piket	teamleider:	mapnr.: 2008-144	hoogtelegging mv tov NAP: onbekend
van de stofdrome grond	GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM		project: 432850-360 St-Philipsland	
datum uitwerking: 1-4-2008	INGENIEURSBUREAU			
	Veld- en Laboratorium Gww	RVA L 134		
				KORRELGROOTTEVERDELING

*) Vrijgegeven door Bjl op 2008-06-23 13:13

korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korreldiameter in mm



samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

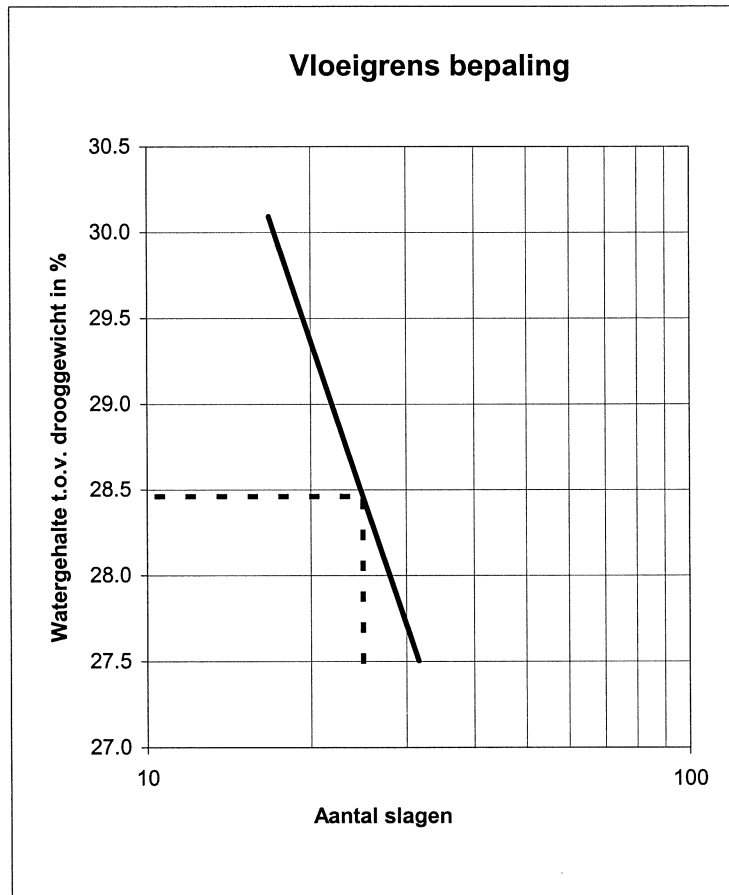
identificatie monster	grind	zand	silt	lutum	humus	CaCO3	D50	M50	D60/D10	grondsoort
0,0-0,6 m-mv	>2 mm %	0,063-2mm %	0,002-0,063mm %	<0,002 mm %	%	%	mm	mm	(0,063-2mm) (0,063-2mm)	volgens NEN5104
	0,6	50,4	18,0	13,0	1,1	16,9	0,076	0,106	1,73	Kz2(106), h1, g1, Ca3

H:\OfficeXP\Outlook[Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xis]Blad1

Zeving droog uitgevoerd	adviseur: H. van Essen	monsterklasse(NEN5119): 1	datum: 25-3-2008	boringnummer: B05
Tabel uitgedrukt in massapercentages	laborant: T. Piket	teamleider:	mapnr.: 2008-144	hoogtelegging mv tov NAP: onbekend
van de stoffdroge grond	project: 432850-360 St-Philipsland			
datum uitwerking: 1-4-2008				
filenr. 137 versie 003	GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU Veld- en Laboratorium Gww			
	KORRELGROOTTEVERDELING			

Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	28.5
Uitrolgrens	%	19.1
Plasticiteitsindex	%	9.4



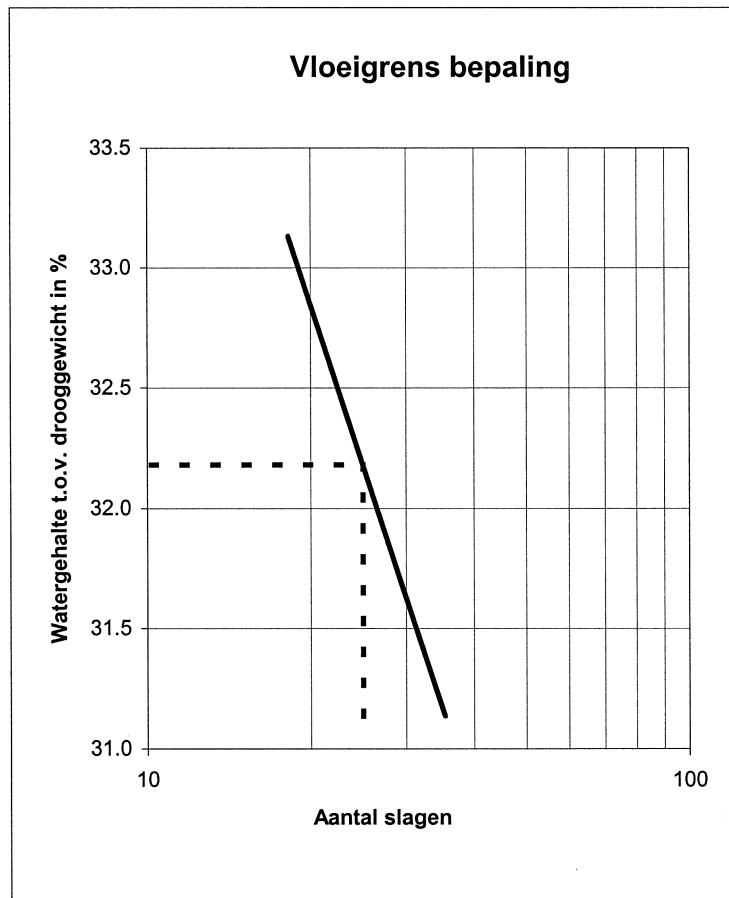
File naam: M:\IGWR-MROVLG\08_Lab\3_Projectresultaten\rapportage concept\2008\2008-144 b08 deltares raw15 Atterbergse .xls]Echo waarnemiditwerkingsdatum: 28-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,5 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E.Middelburg	KOSTENDRAGER:	BLAD NR.:	BORING NR.: HB08
TEAMLEIDER: <i>[Signature]</i>	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU VELD- EN LABORATORIUMGROEP		PROJECT: Phillipsland 432850 <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;"> ATTERBERGSE GRENZEN </div>	




Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	32.2
Uitrolgrens	%	19.3
Plasticiteitsindex	%	12.9

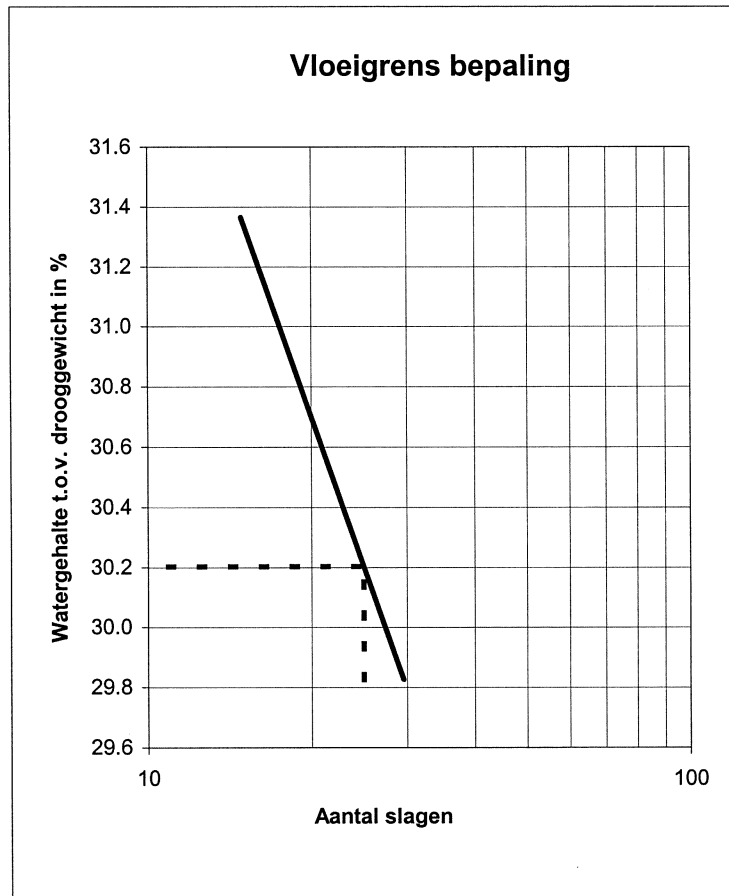


File naam: M:\IGWR-MRO\VLG\08_Lab\3_Projectresultaten\rapportage concept\2008\2008-144 b09 deltares raw15 Atterbergse .xls\Invoer Uitwerkingsdatum: 27-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,5 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E.Middelburg	KOSTENDRAGER: .	BLAD NR.:	BORING NR.: HB09
TEAMLEIDER: <i>Y</i>	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU VELD- EN LABORATORIUMGROEP		PROJECT: Phillippsland 432850 <div style="text-align: center;">  ATTERBERGSE GRENZEN </div>	

Vloeigrensmethode	driepunts
-------------------	-----------

Vloeigrens (bij 25 slagen uit grafiek)	%	30.2
Uitrolgrens	%	19.1
Plasticiteitsindex	%	11.1

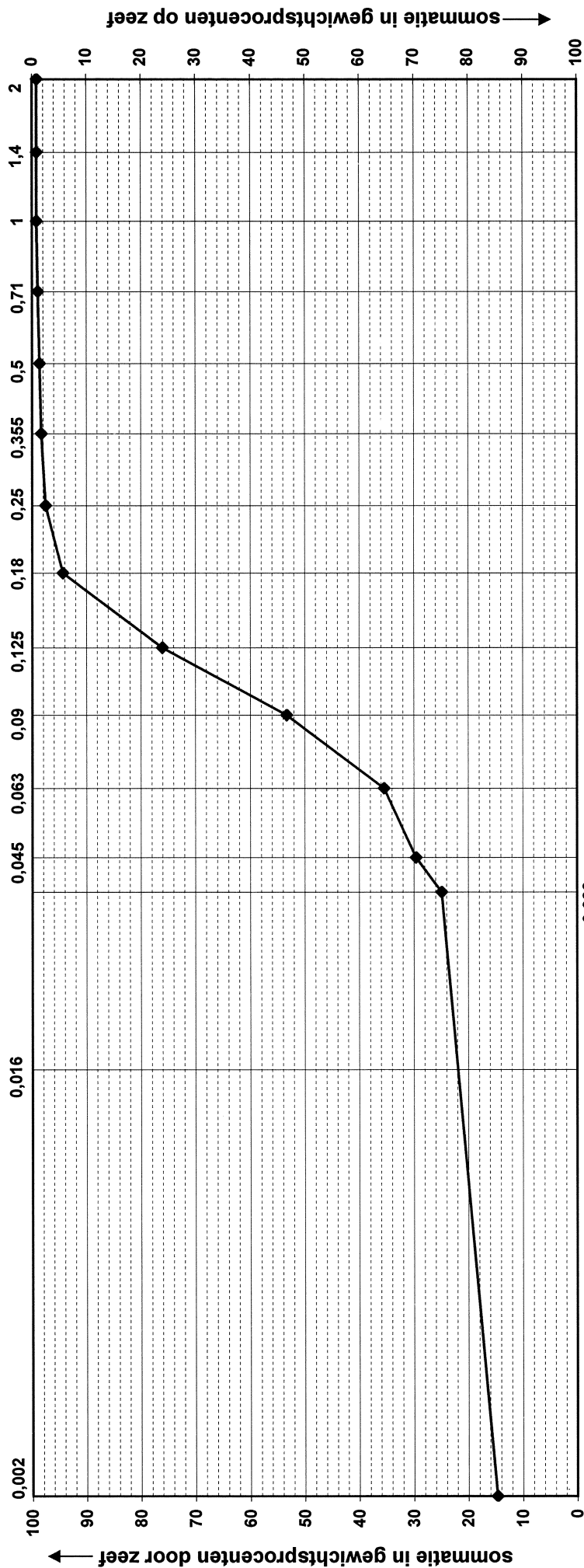


File naam: M:\GWR-MRO\VLG\08_Lab\3_Projectresultaten\rapportage concept\2008\2008-144 b10 deltares raw15 Atterbergse .xls\Echo waarnemidjtwerkingsdatum: 28-3-2008

GRONDSOORT: Klei, sterk siltig, matig humeus		MONSTERDIEPTE: 0,0-0,5 m-mv	
OPDRACHTGEVER: H. van Essen	MONSTERKLASSERING (NEN 5119): 1	HOOGTE mv	NAP nvt
LABORANT: E.Middelburg	KOSTENDRAGER: .	BLAD NR.:	BORING NR.: HB10
TEAMLEIDER:	DATUM: 26-3-2008	BIJL NR.:	MAP NR.: 08-144
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM INGENIEURSBUREAU VELD- EN LABORATORIUMGROEP		 PROJECT: Phillipsland 432850 ATTERBERGSE GRENZEN	

korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korreldiameter in mm



0,038

samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

identificatie monster	grind >2 mm %	zand 0.063-2mm %	silt 0.002-0.063mm %	lutum <0.002 mm %	humus %	CaCO3 %	D50 mm	M50 (0.063-2mm) mm	D60/D10 (0.063-2mm)	grondsoort volgens NEN5104
0,0-0,5 m-mv	0,7	57,3	18,7	13,1	1,0	9,2	0,084	0,110	1,69	Kz2(110), h1, g1, Ca3

H:\OfficeXP\Outlook[Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xls]Blad1

adviseur: H. van Essen

laborant: T. Piket

van de stofdrome grond

datum uitwerking: 1-4-2008

monsterklasse(NEN5119):

1

boringsnummer: HB08

mapnr.: 2008-144

hoogteligging mv

toev NAP: onbekend

project: 432850 Kattendijkje



teamleider:

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

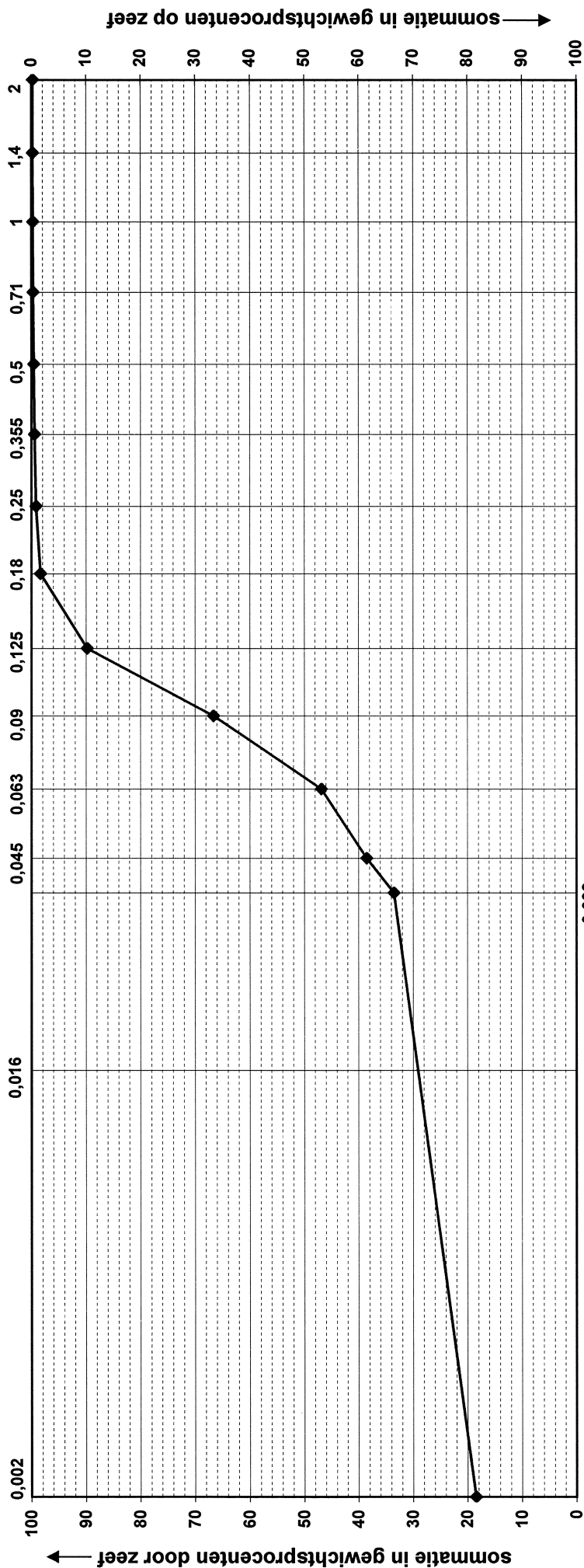
INGENIEURSBUREAU

Veld- en Laboratorium Gww

KORRELGROOTTEVERDELING

korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korrel diameter in mm



samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

identificatie monster	grind	zand	silt	lutum	humus	CaCO3	D50	M50	D60/D10	grondsoort
0,0-0,5 m-mv	>2 mm %	0,063-2mm %	0,002-0,063mm %	<0,002 mm %	%	%	mm	mm	(0,063-2mm) (0,063-2mm)	volgens NEN5104
	0,2	47,6	25,4	16,6	0,9	9,3	0,067	0,099	1,54	Kz1(99), h1, g1, Ca3

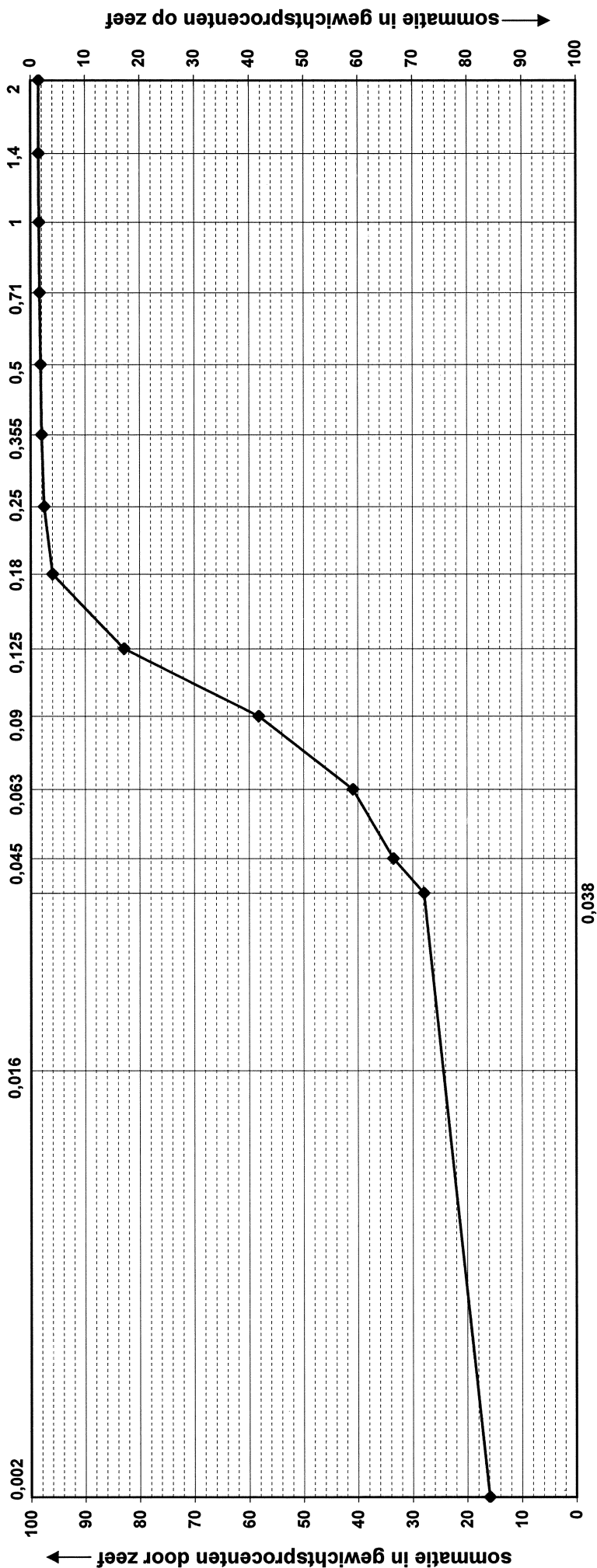
H:\OfficeXPI\Outlook[Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xls]Blad1

adviseur: H. van Essen	monsterklasse(NEN5119): 1	datum: 25-3-2008	boringsnummer: HB09
laborant: T. Piket	teamleider:	mapnr.: 2008-144	hoogteligging mv tov NAP: onbekend
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM	project: 432850 Kattendijkje		
INGENIEURSBUREAU			
Veld- en Laboratorium Gww	KORRELGROOTTEVERDELING		

filenr.137 versie 003

korrelgrootteverdelingsdiagram(exclusief humus, exclusief CaCO3 en inclusief Fe2O3)

korrel diameter in mm →



samenstelling monster (inclusief humus, CaCO3 en Fe2O3)

identificatie monster	grind >2 mm %	zand 0.063-2mm %	silt 0.002-0.063mm %	lutum <0.002 mm %	humus %	CaCO3 %	D50 mm	M50 (0.063-2mm) mm	D60/D10 (0.063-2mm)	grondsoort volgens NEN5104
0,0-0,5 m-mv	1,3	51,5	22,4	14,2	1,0	9,6	0,076	0,105	1,60	Kz2(105), h1, g1, Ca3

H:\OfficeXP\Outlook[Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht.xls]Blad1

adviseur: H. van Essen

laborant: T. Piket

datum uitwerking: 1-4-2008

monsterklasse(NEN5119):

teamleider:

1

datum: 25-3-2008

mapnr.: 2008-144

boringsnummer: HB10

hoogteligging mv tov NAP: onbekend

project: 432850 Kattendijkje



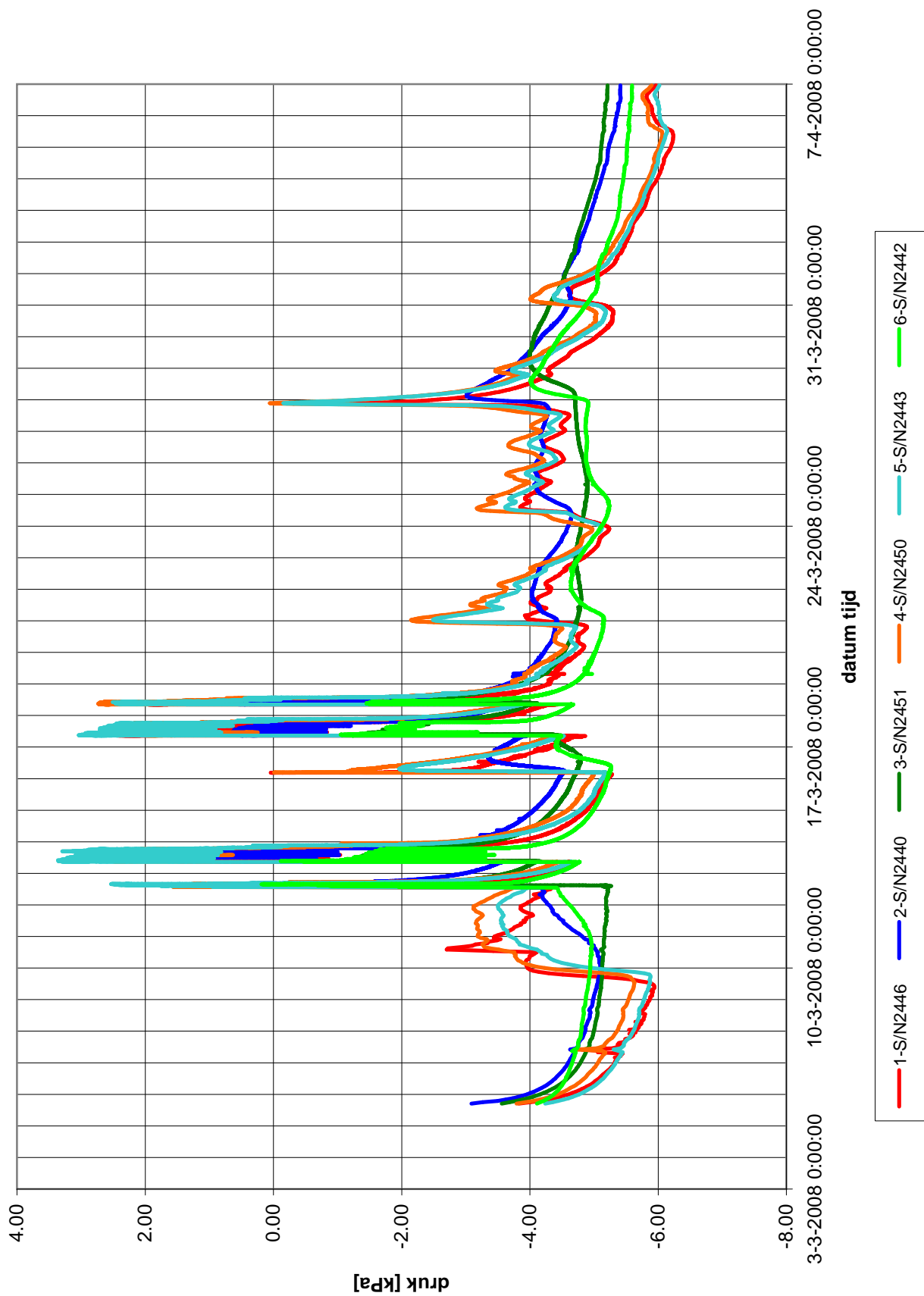
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM
INGENIEURSBUREAU

Veld- en Laboratorium Gww

KORRELGROOTTEVERDELING

Bijlage 4 Monitoring Sint Philipsland

- Bijlage WT01 tot en met WT11 Resultaten van de metingen met tensiometers
- Bijlage W01 tot en met W11 Resultaten van de metingen met PR-waterspanningmeters
- Bijlage X01 tot en met X11 Resultaten van de metingen met thetaprobes



Deltares

PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

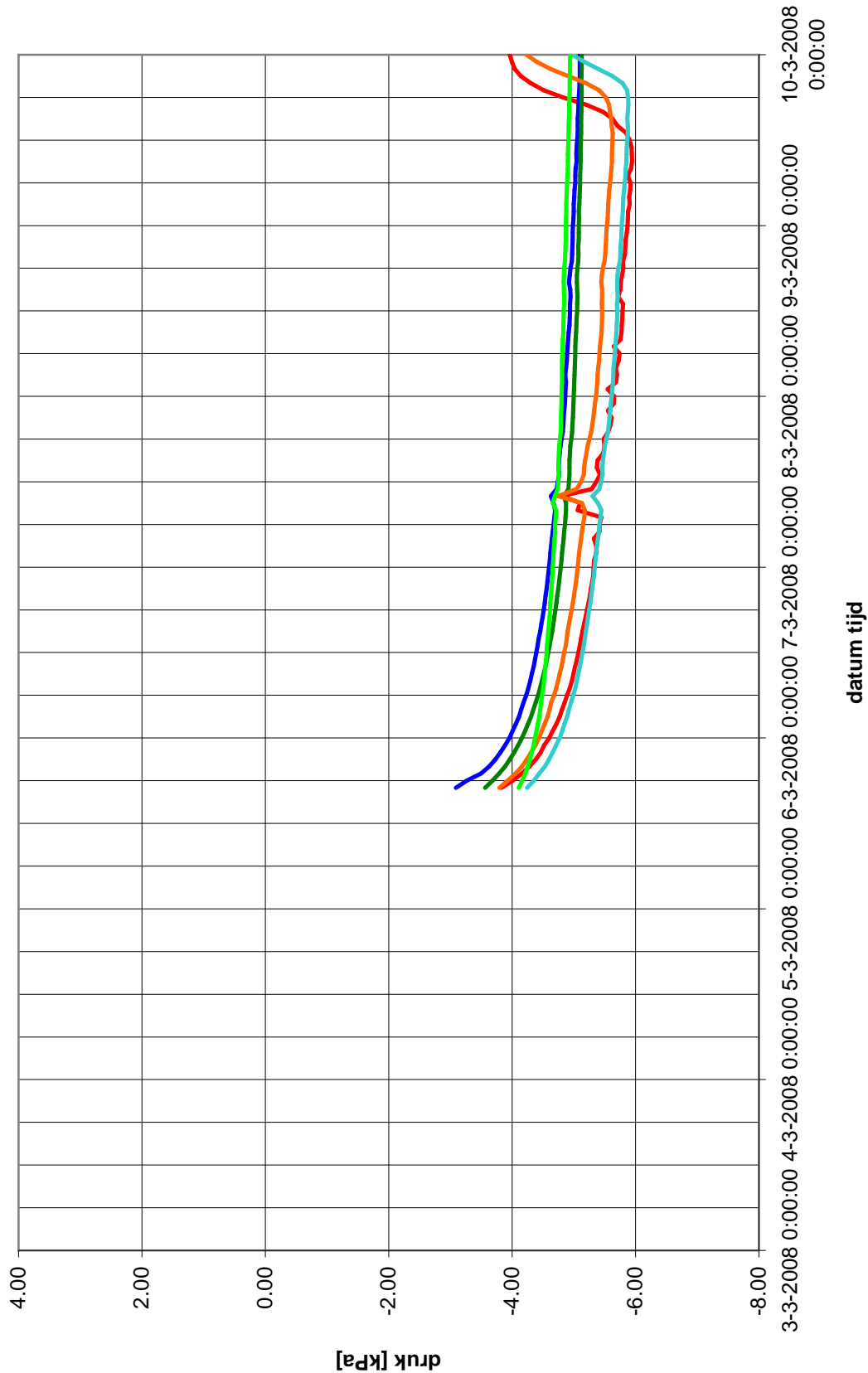
T +31 (0)15 269 35 00
F +31 (0)15 261 08 21

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIMETERS 5-3-2008 T/M 7-4-2008

datum	23-6-2008	Get.	Waar
	CO-432850	Gez.	*
BIJL.	WT01	form.	A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIMETERS WEEK 10

CO-432850

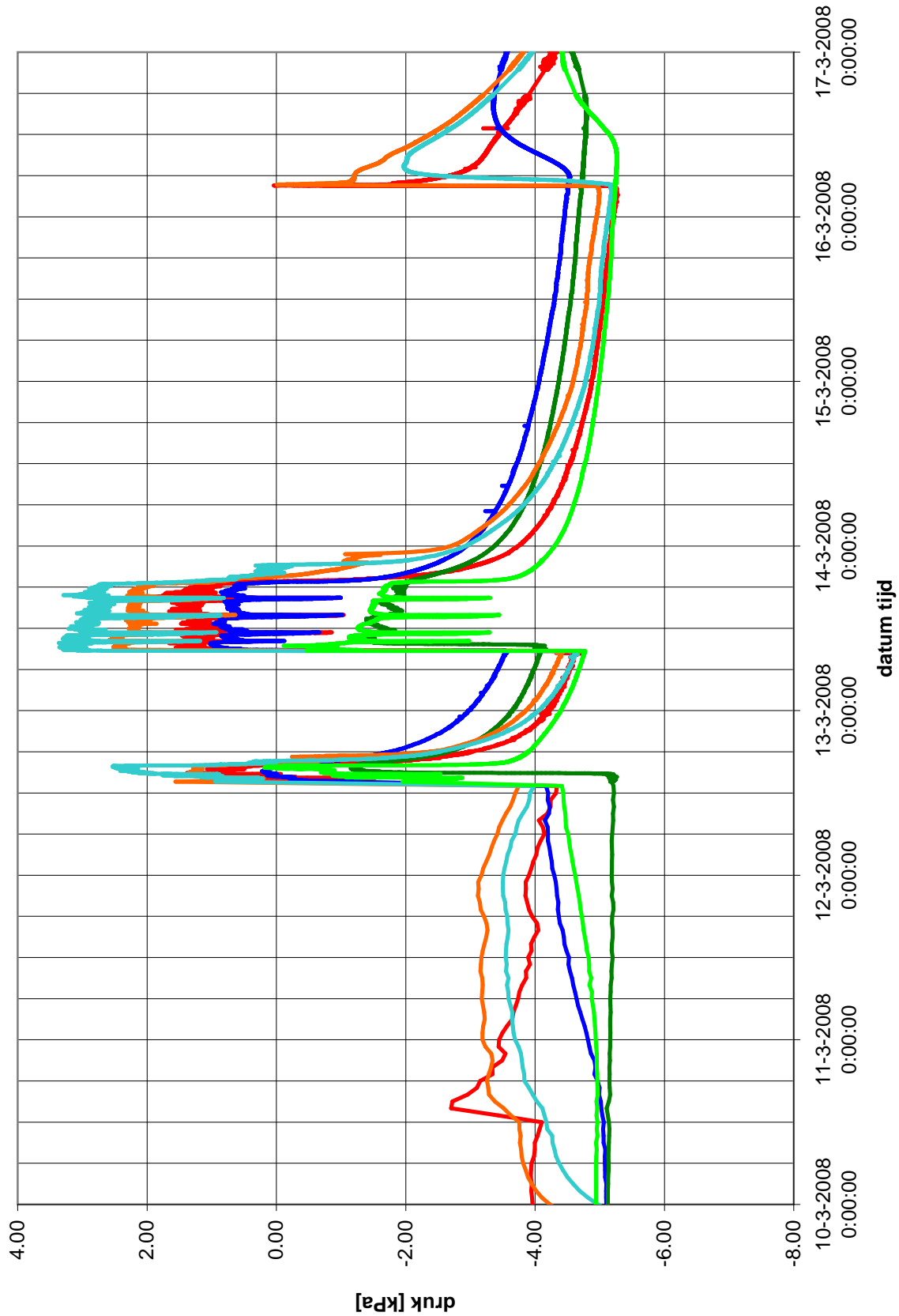
Gez.

*

BIJL. **WT02**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIMETERS WEEK 11

CO-432850

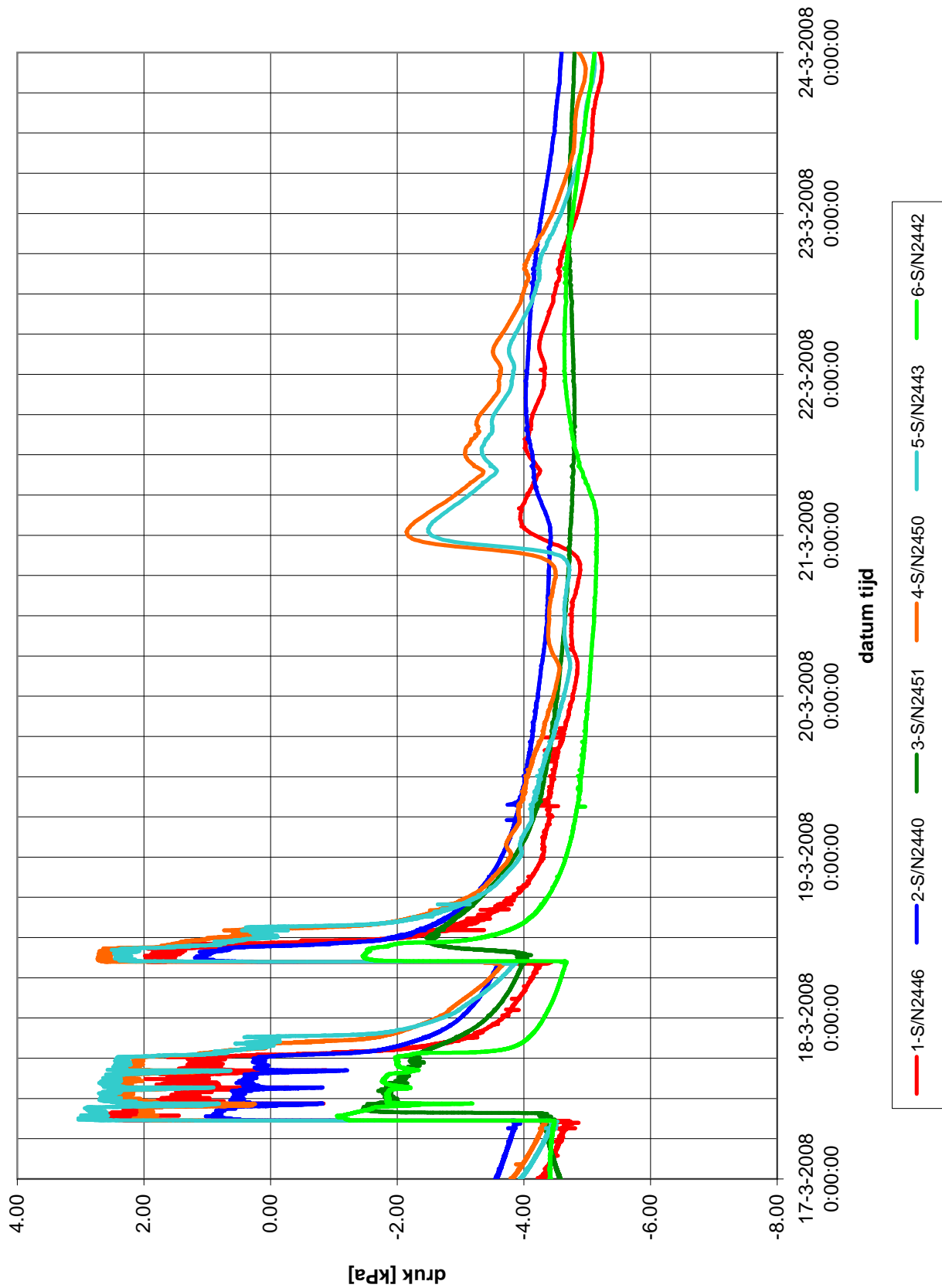
Gez.

*

BIJL. **WT03**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIO METERS WEEK 12

CO-432850

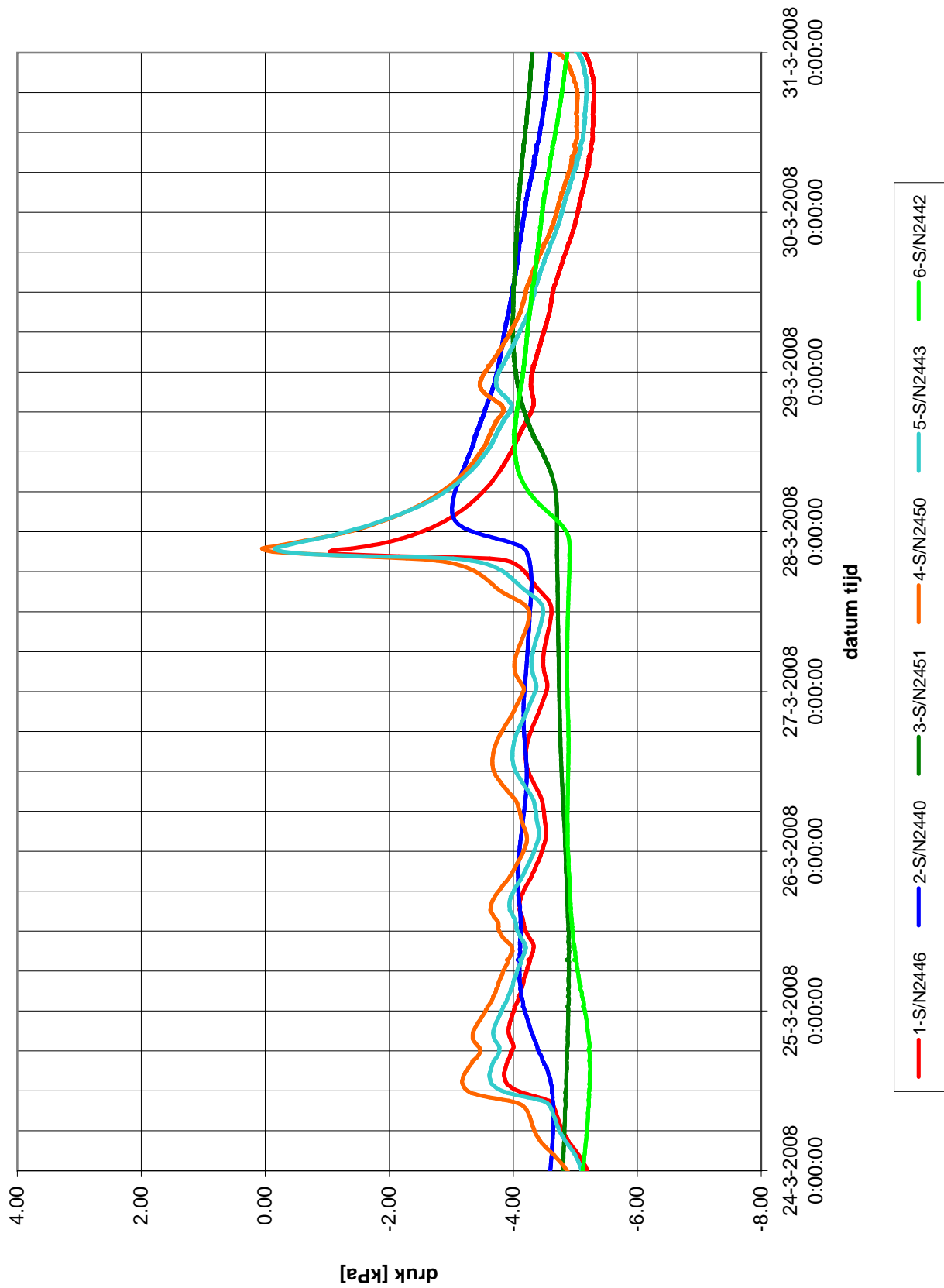
Gez.

*

BIJL. **WT04**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIO METERS WEEK 13

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

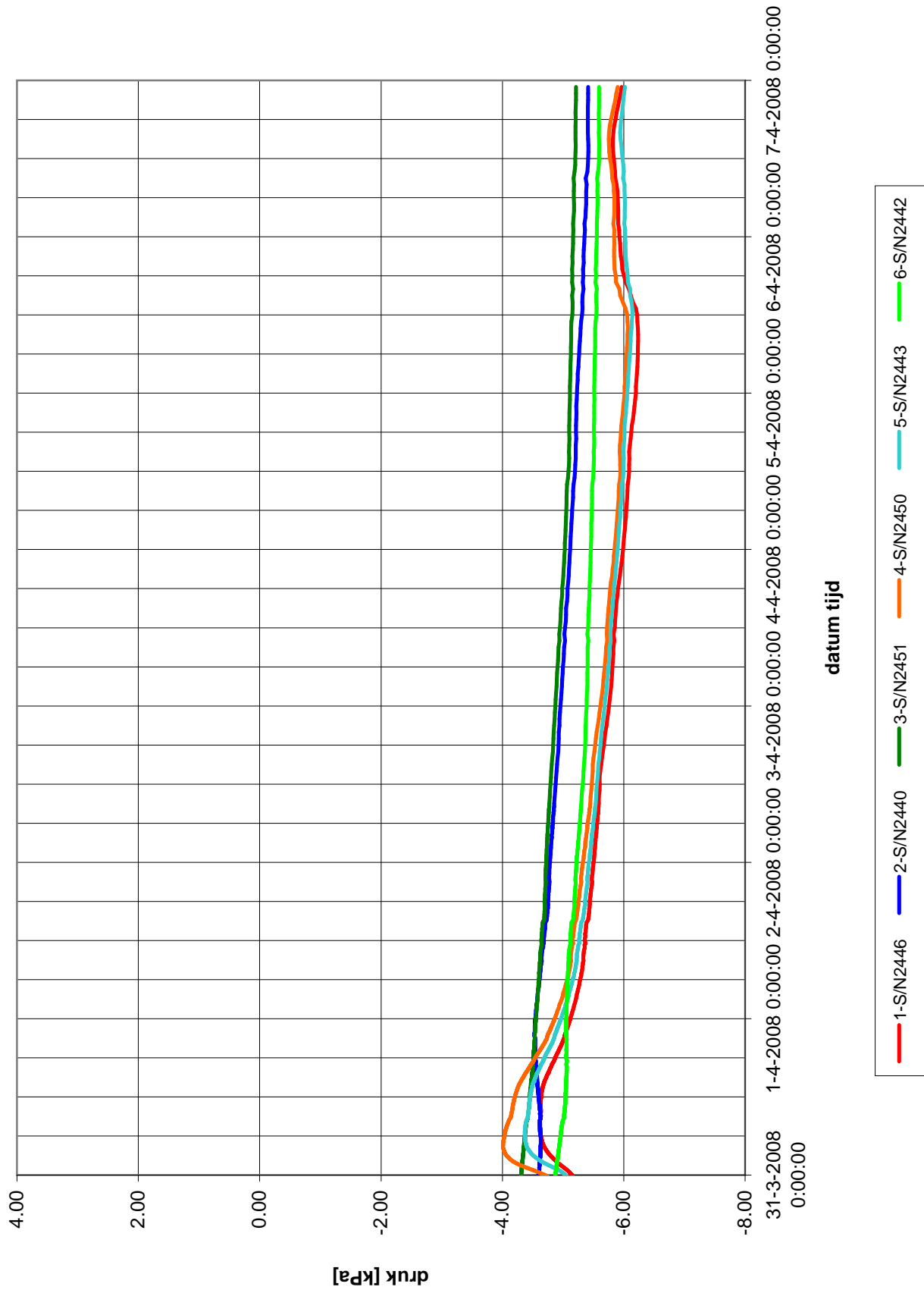
Gez.

*

BIJL. **WT05**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIMETERS WEEK 14

CO-432850

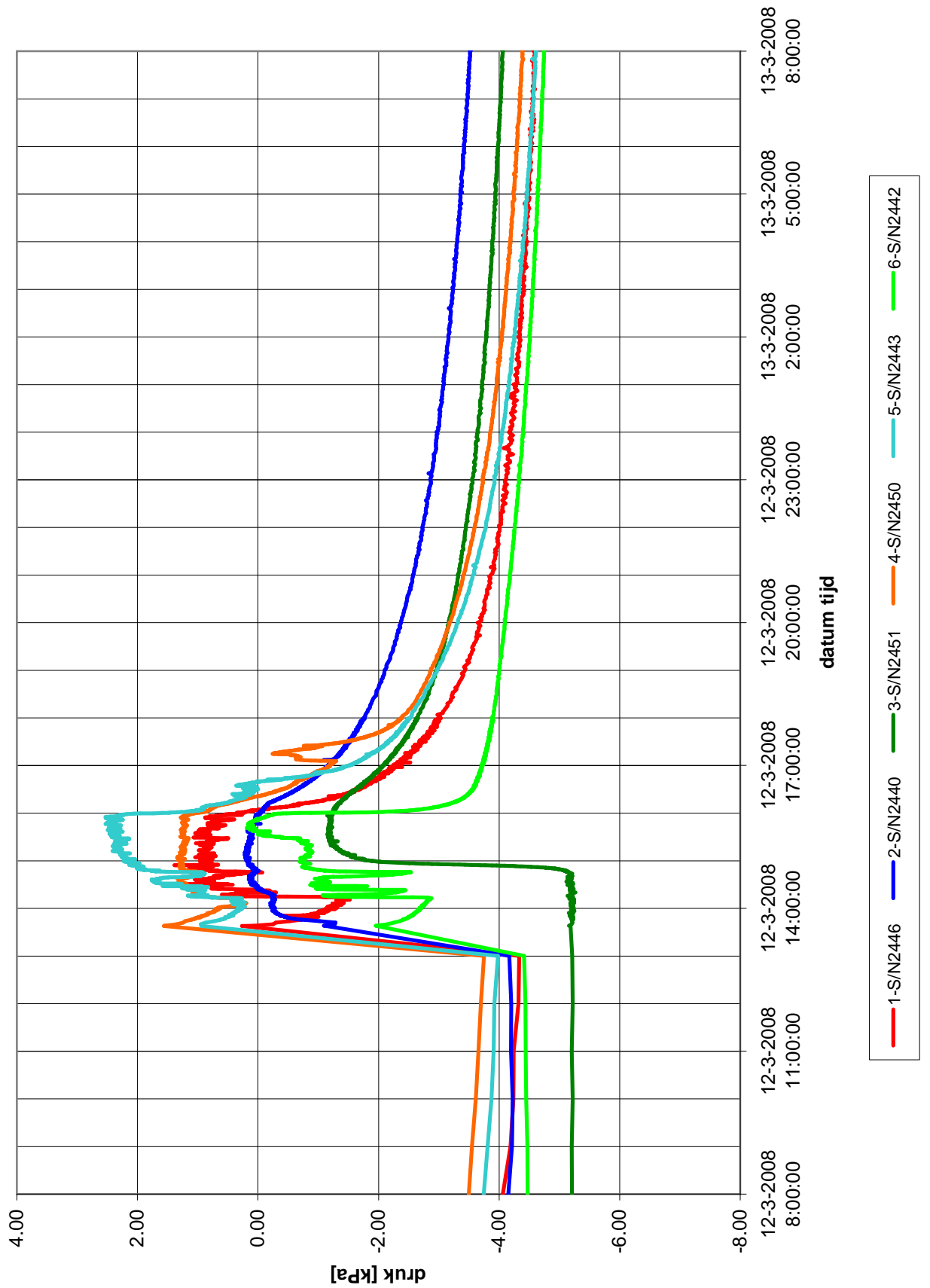
Gez.

*

BIJL. **WT06**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIMETERS, 12-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

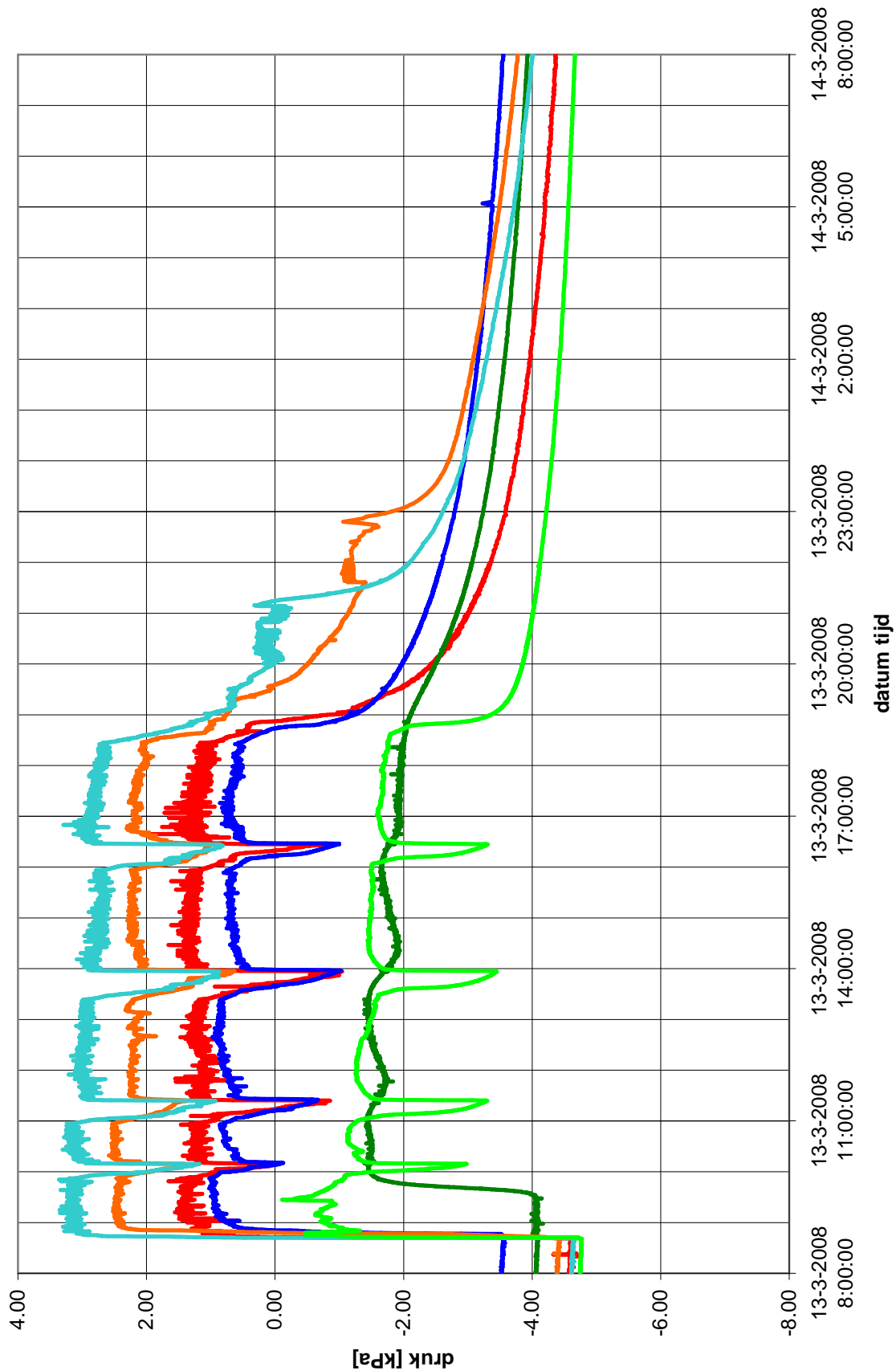
Gez.

*

BIJL. **WT07**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIOETERS, 13-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

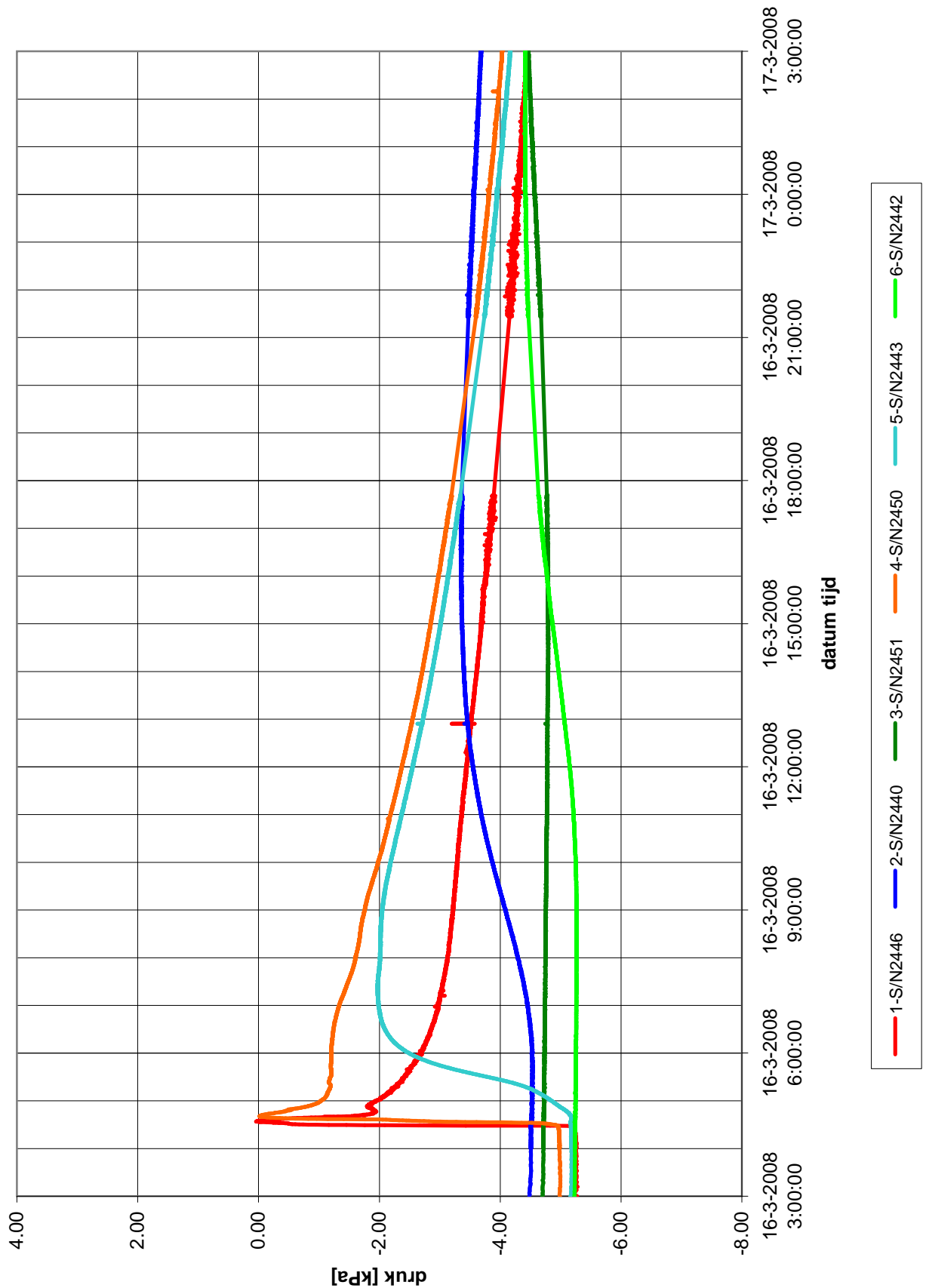
Gez.

*

BIJL. **WT08**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIO METERS, 16-03-2008

CO-432850

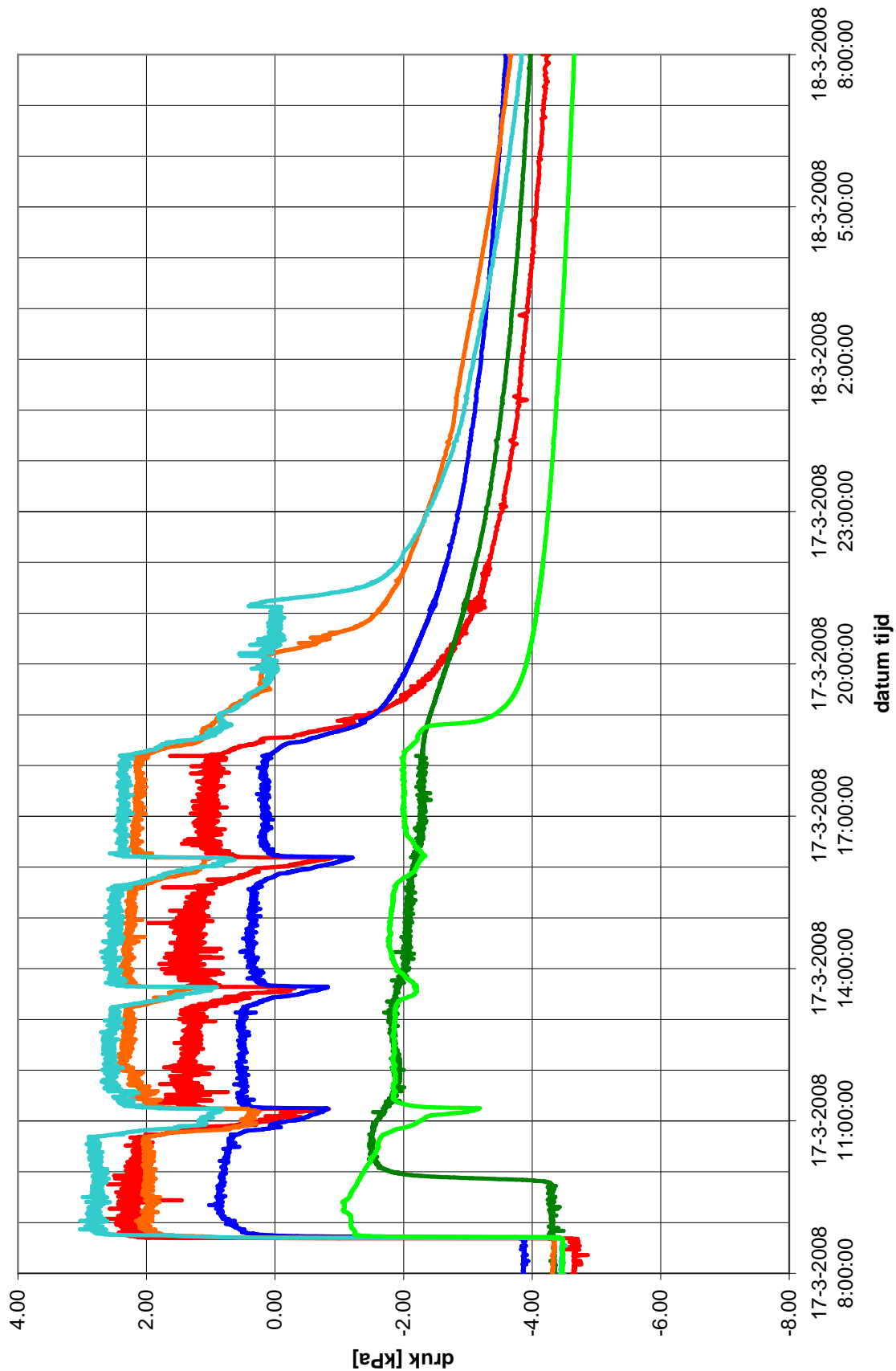
Gez.

*

BIJL. **WT09**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIO METERS, 17-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

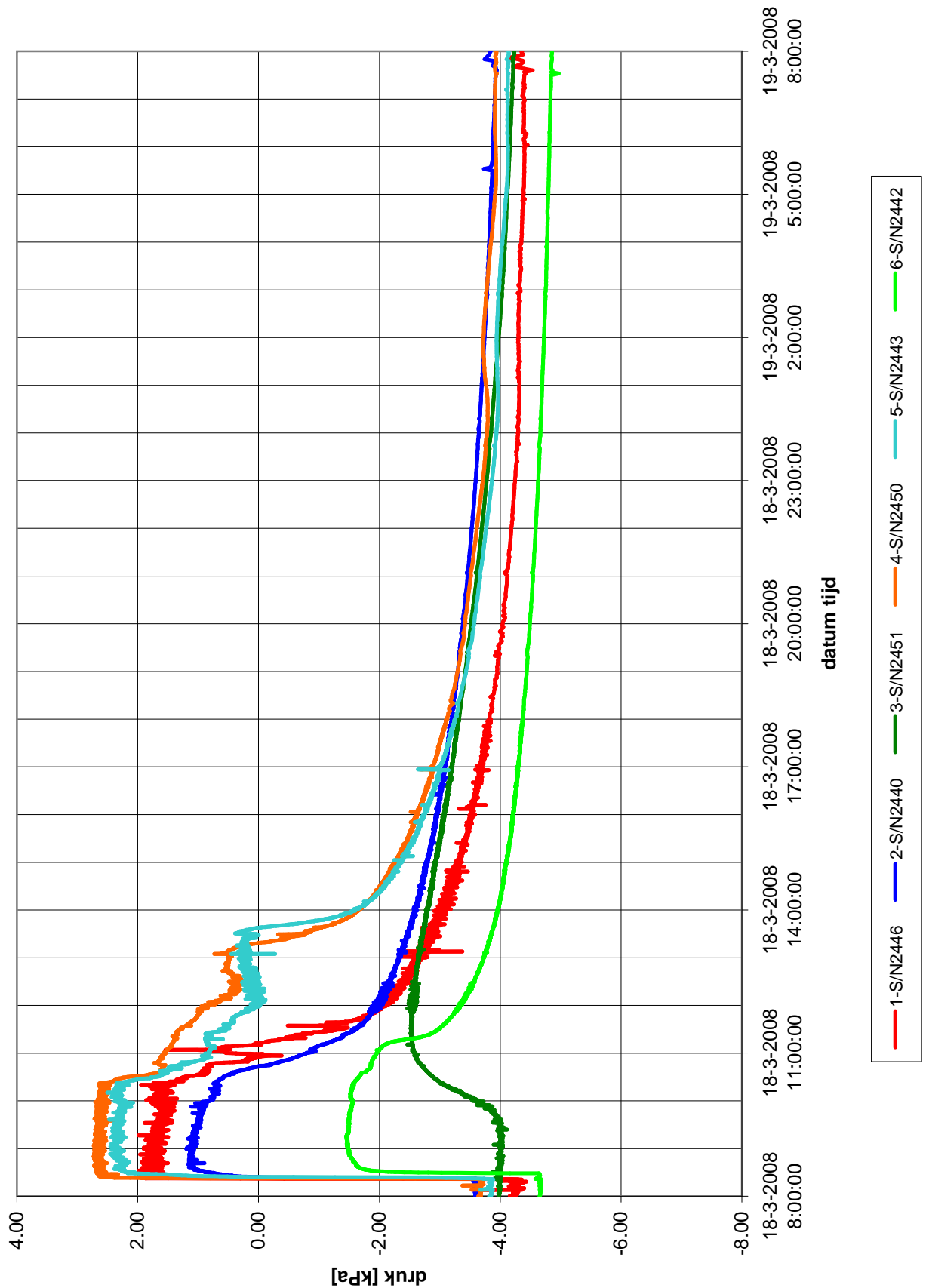
Gez.

*

BIJL. **WT10**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Sint Philipsland

REGISTRATIE TENSIO METERS, 18-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

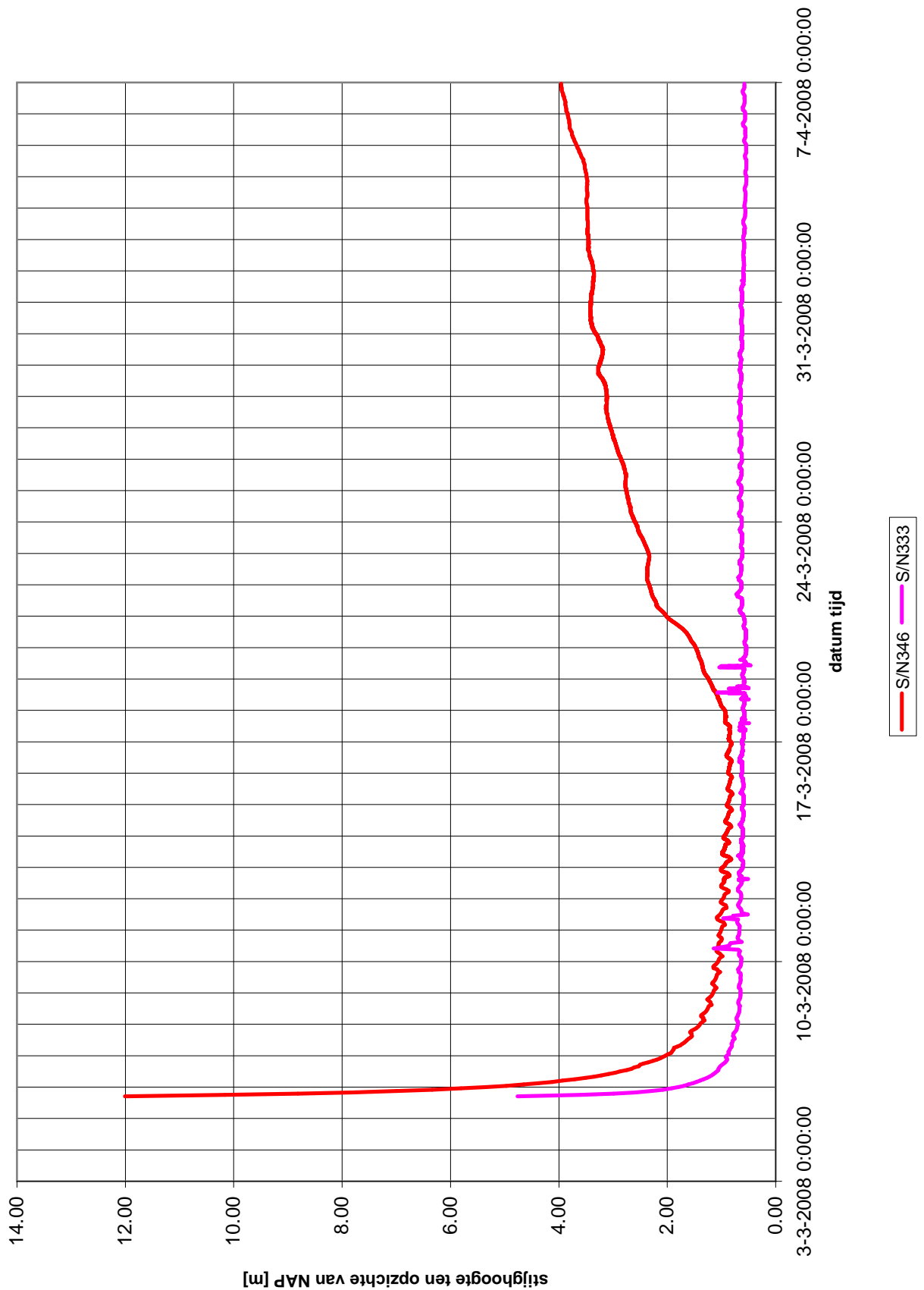
Gez.

*

BIJL. WT11

form.

A4



Deltares

PO Box 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
23-6-2008

Get.
Waar

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

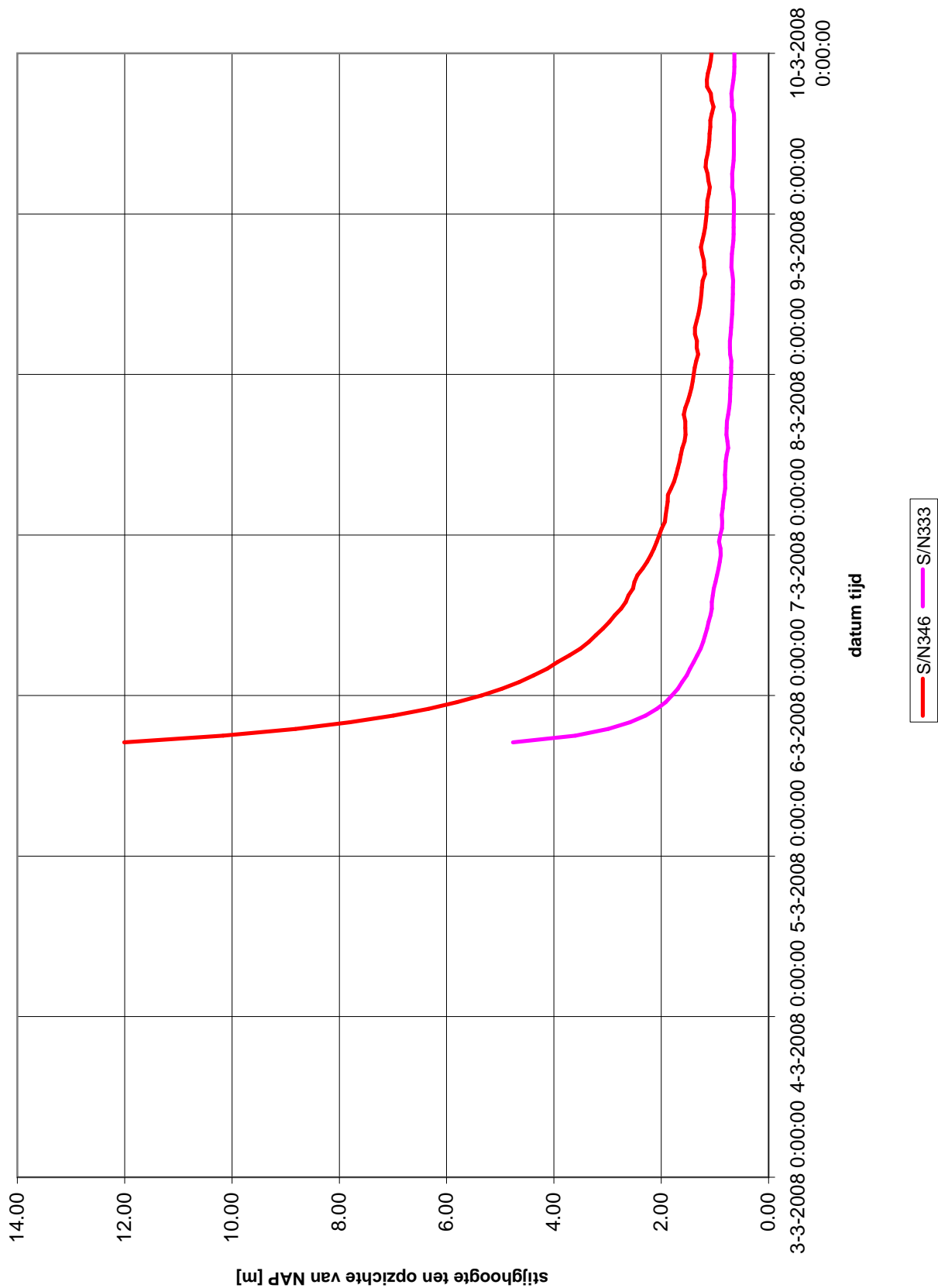
CO-432850

Gez.
*

REGISTRATIE PR 5-3-2008 T/M 7-4-2008

BIJL. **W01**

form.
A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

REGISTRATIE PR WEEK 10

CO-432850

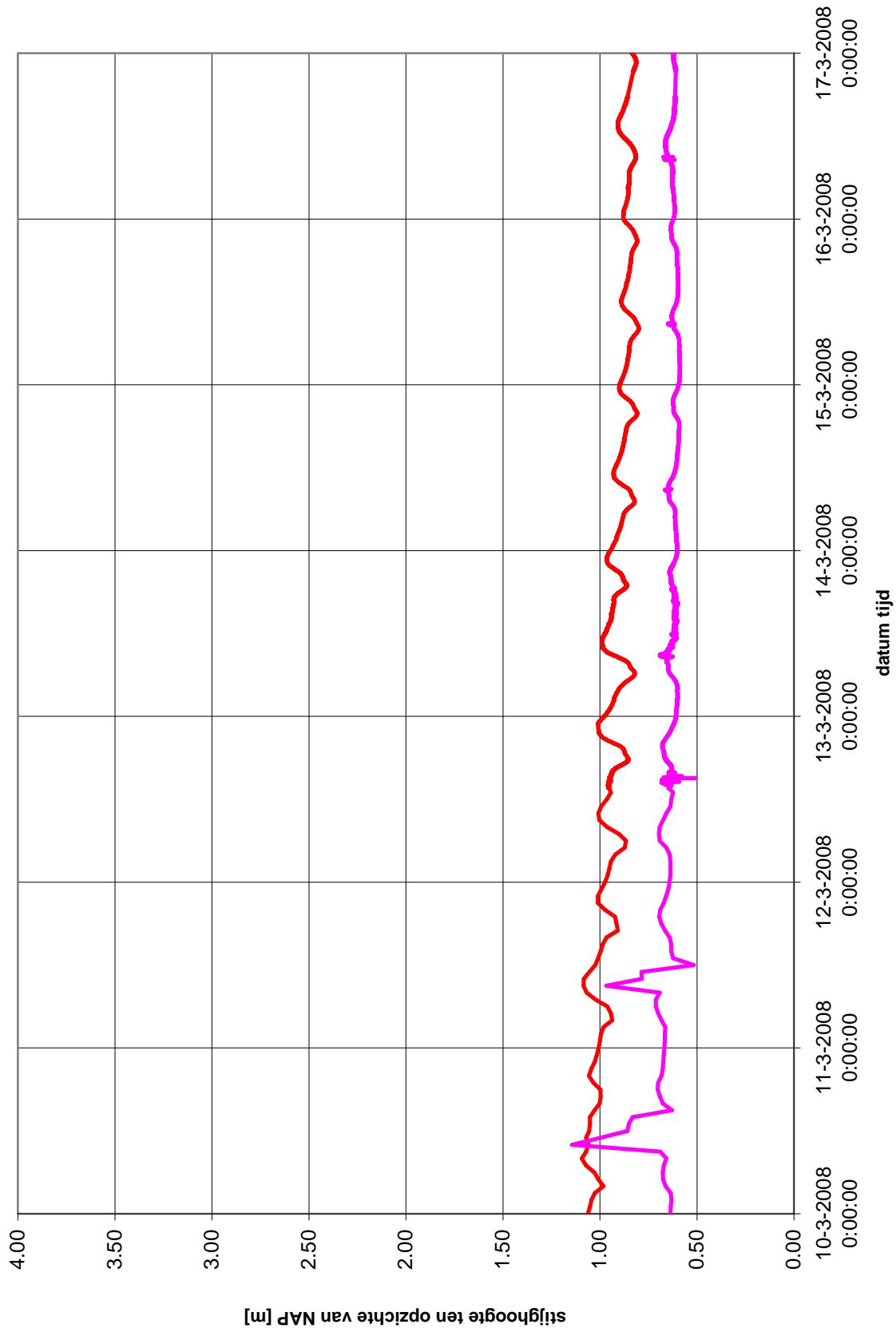
Gez.

*

BIJL. **W02**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

REGISTRATIE PR WEEK 11

CO-432850

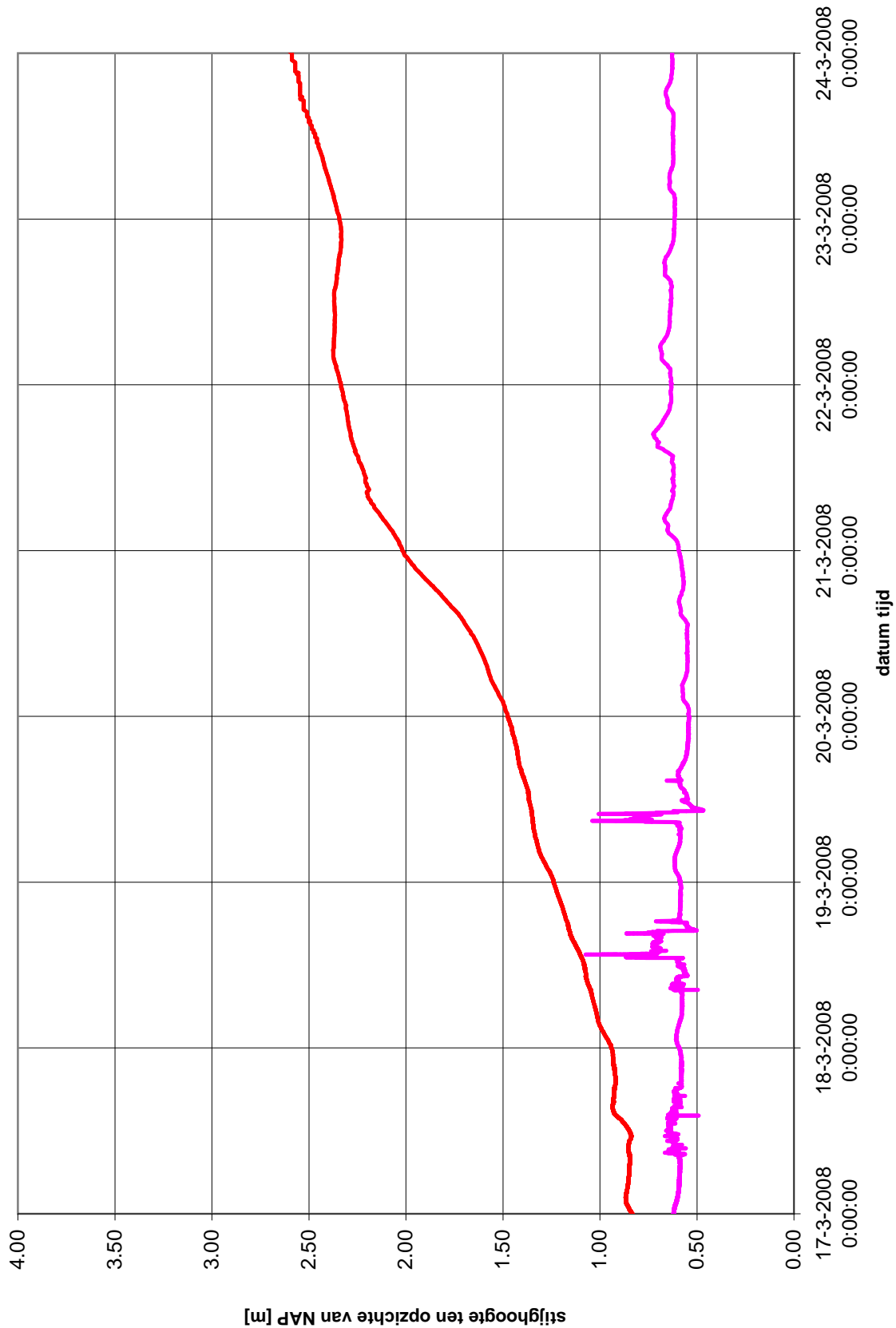
Gez.

*

BIJL. **W03**

form.

A4



Deltares

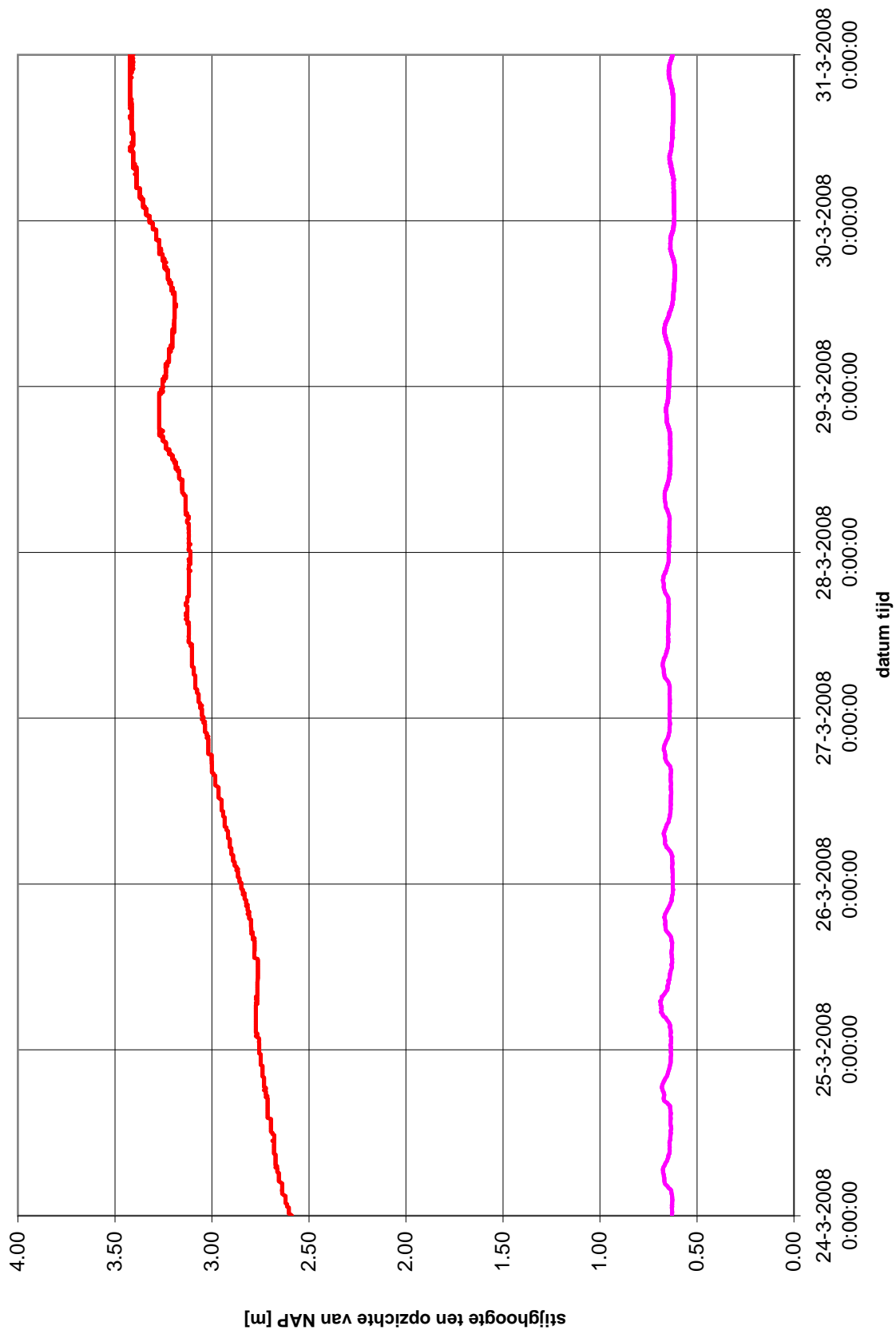
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland
REGISTRATIE PR WEEK 12

datum	Get.
23-6-2008	Waar
CO-432850	Gez. *
BIJL. W04	form. A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

REGISTRATIE PR WEEK 13

CO-432850

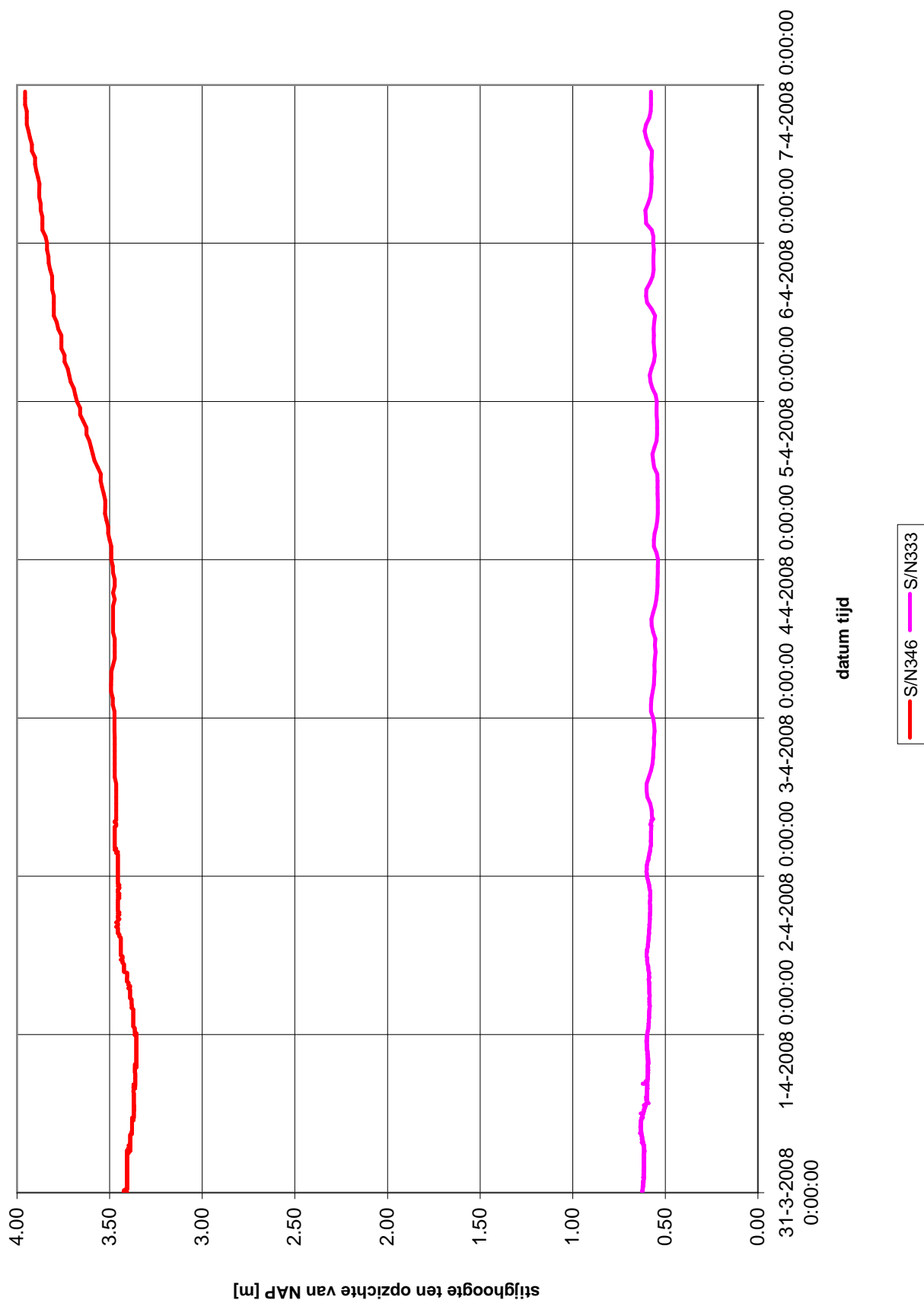
Gez.

*

BIJL. **W05**

form.

A4



Deltares

PO Box 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
23-6-2008

Get.
Waar

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

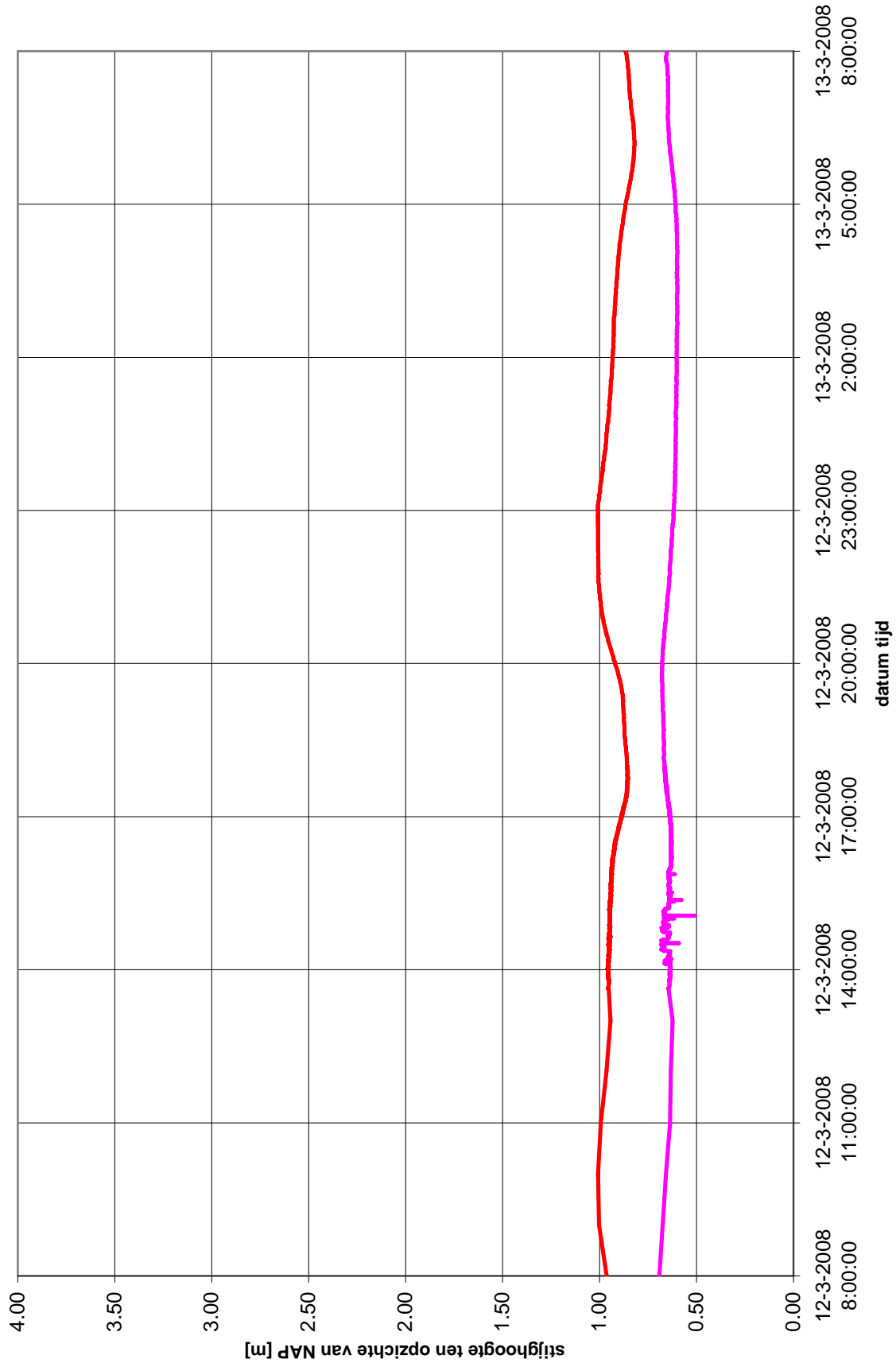
CO-432850

Gez.
*

REGISTRATIE PR WEEK 14

BIJL. **W06**

form.
A4



— S/N346 — S/N333

Deltares

PO Box 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
23-6-2008

Get.
Waar

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

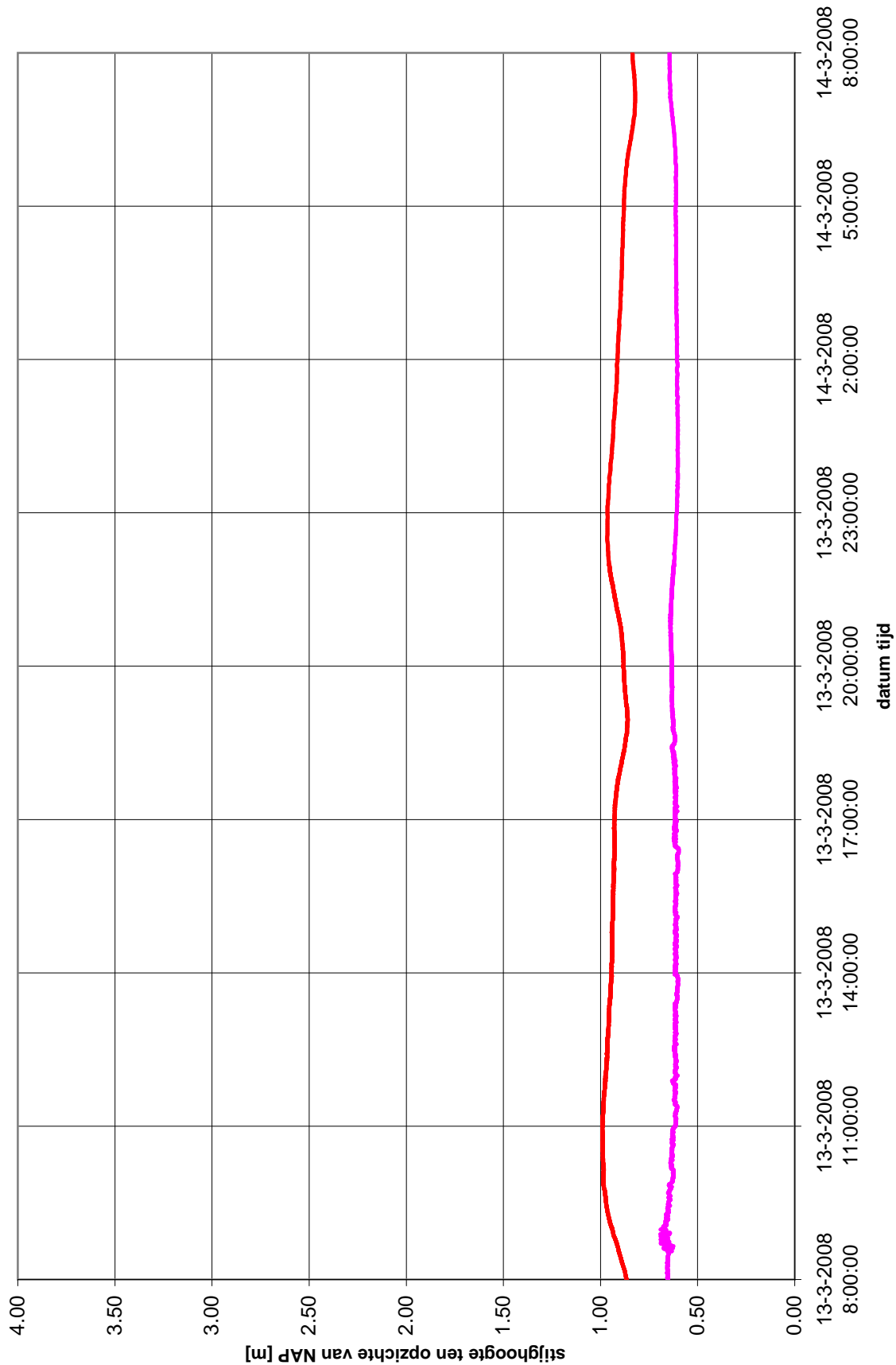
CO-432850

Gez.
*

REGISTRATIE PR, 12-03-2008

BIJL. **W07**

form.
A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland

REGISTRATIE PR, 13-03-2008

CO-432850

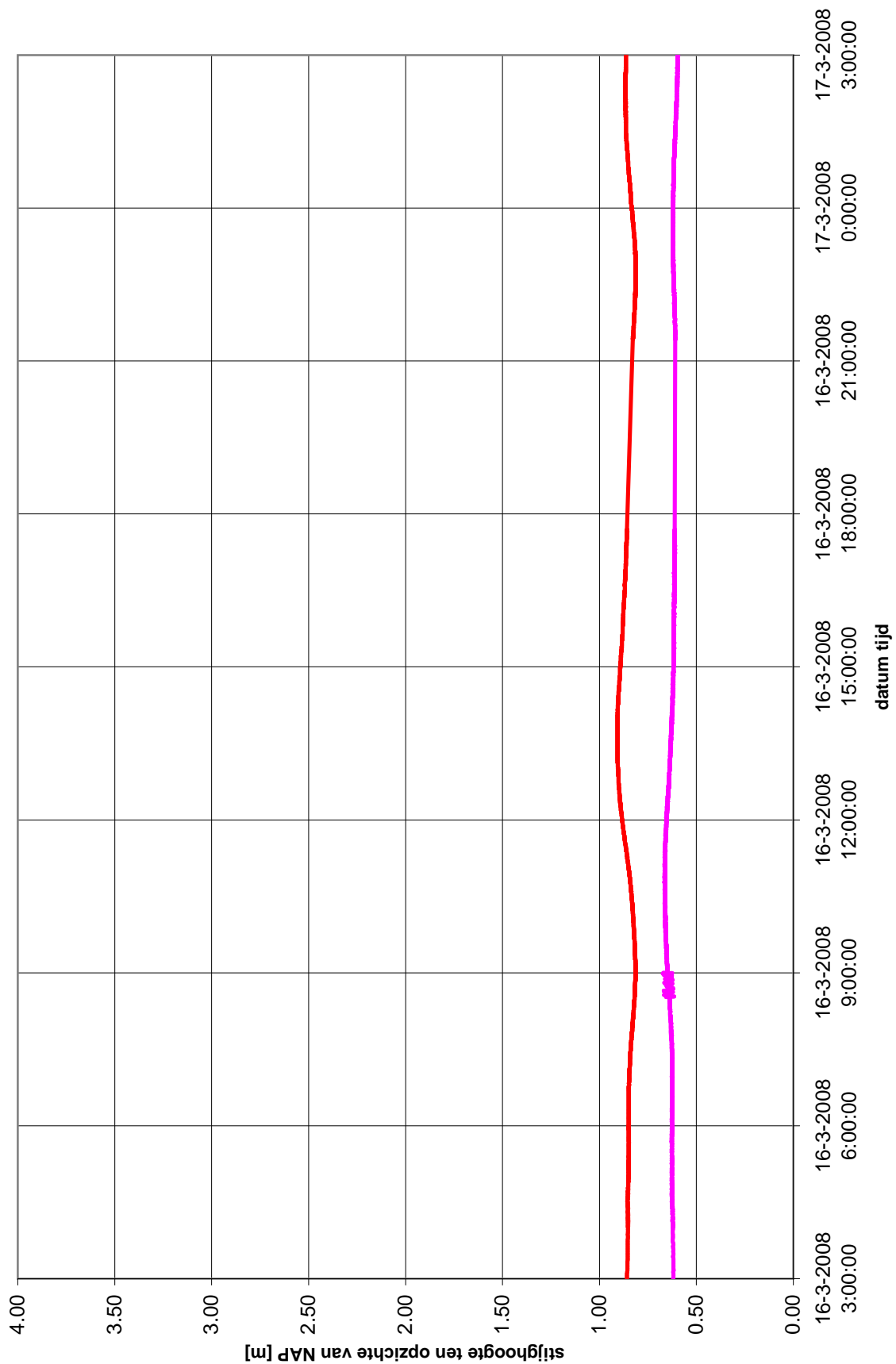
Gez.

*

BIJL. **W08**

form.

A4



Deltares

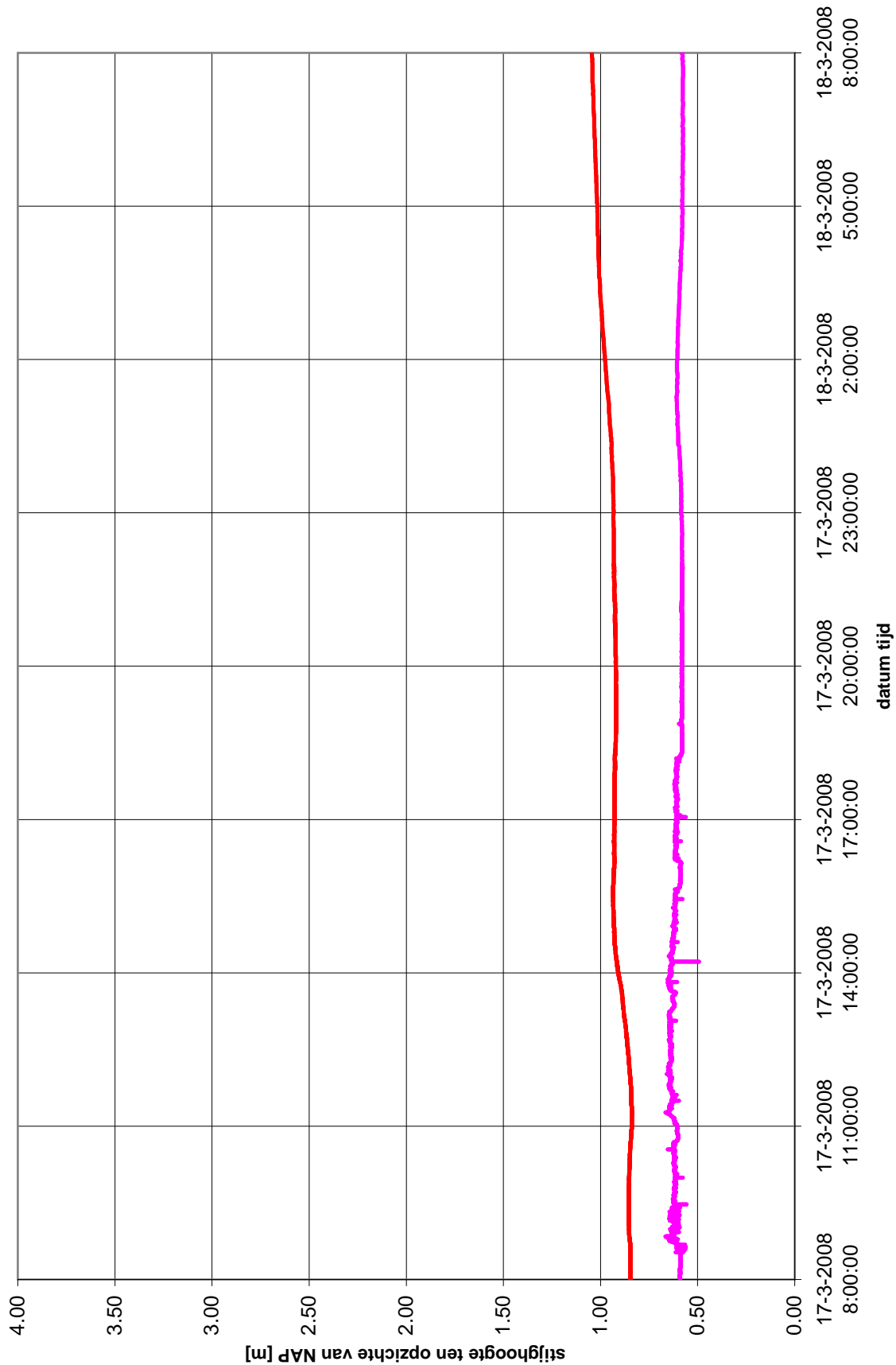
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland
REGISTRATIE PR, 16-03-2008

datum	Get.
23-6-2008	Waar
CO-432850	Gez.
	*
BIJL. W09	form.
	A4



Deltares

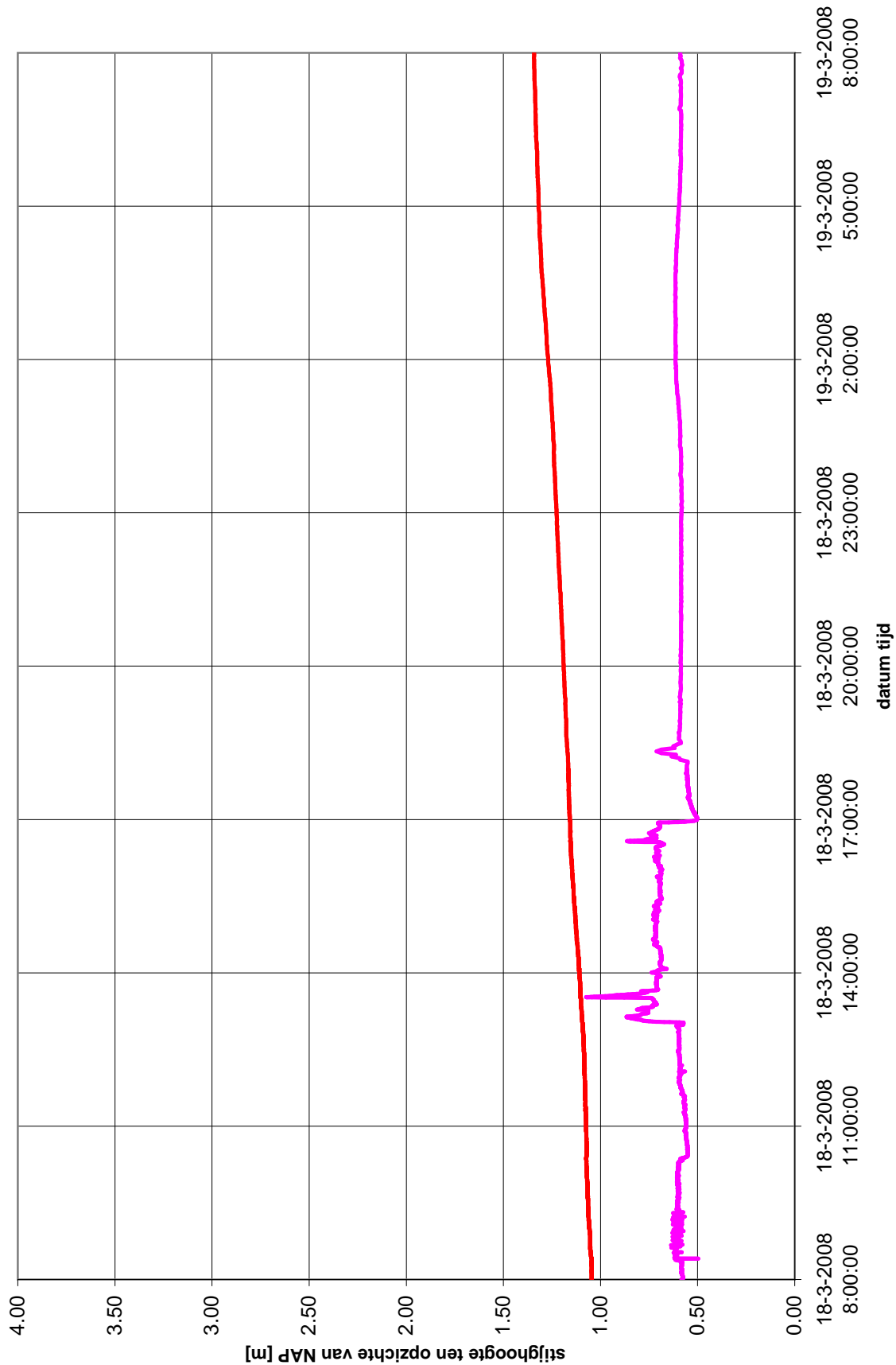
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland
REGISTRATIE PR, 17-03-2008

datum	Get.
23-6-2008	Waar
CO-432850	Gez. *
BIJL. W10	form. A4



Deltares

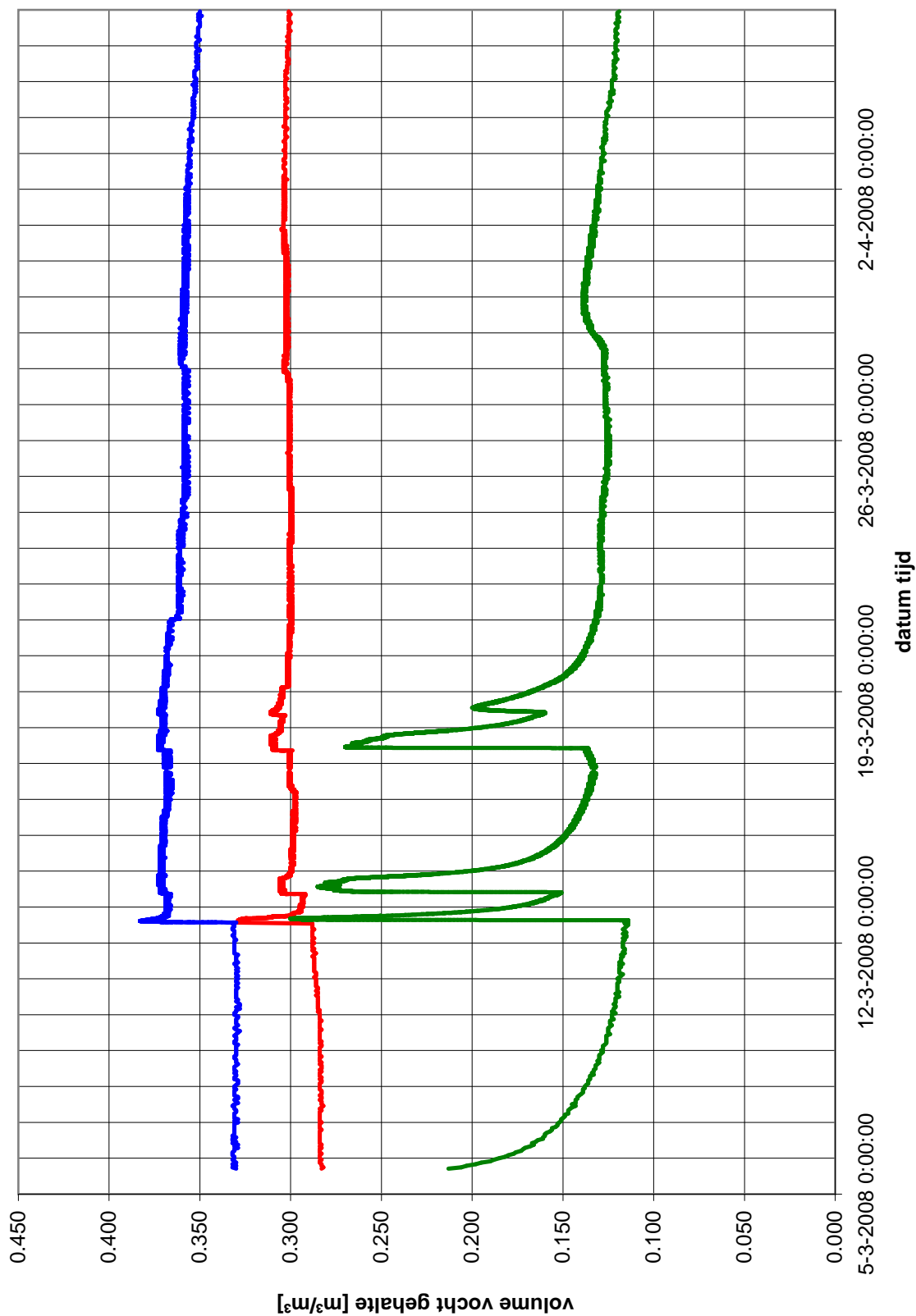
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Sint Philipsland
REGISTRATIE PR, 18-03-2008

datum	23-6-2008	Get. Waar
	CO-432850	Gez. *
BIJL. W11		form. A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES 5-3-2008 T/M 7-4-2008

CO-432850

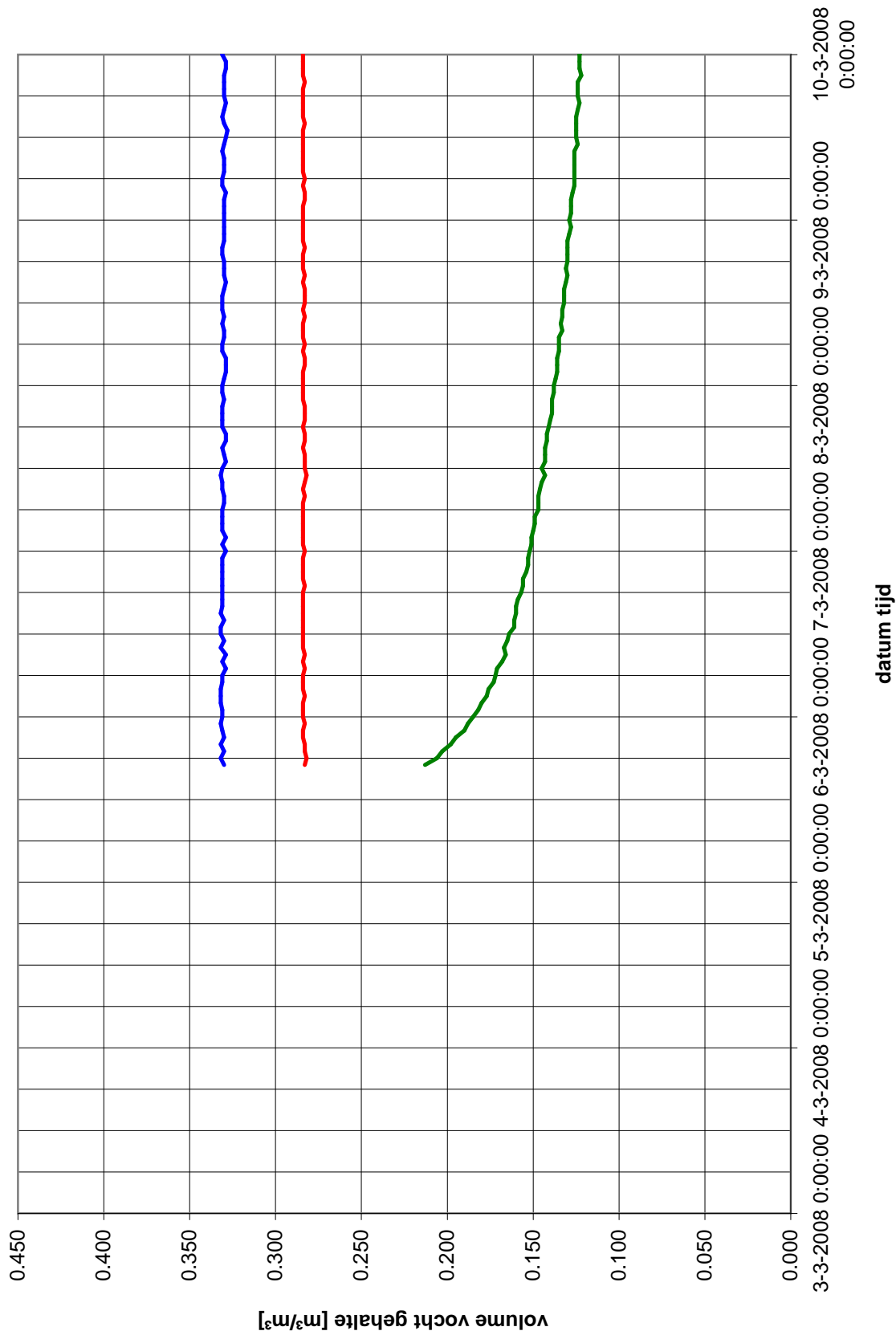
Gez.

*

BIJL. X01

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 10

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

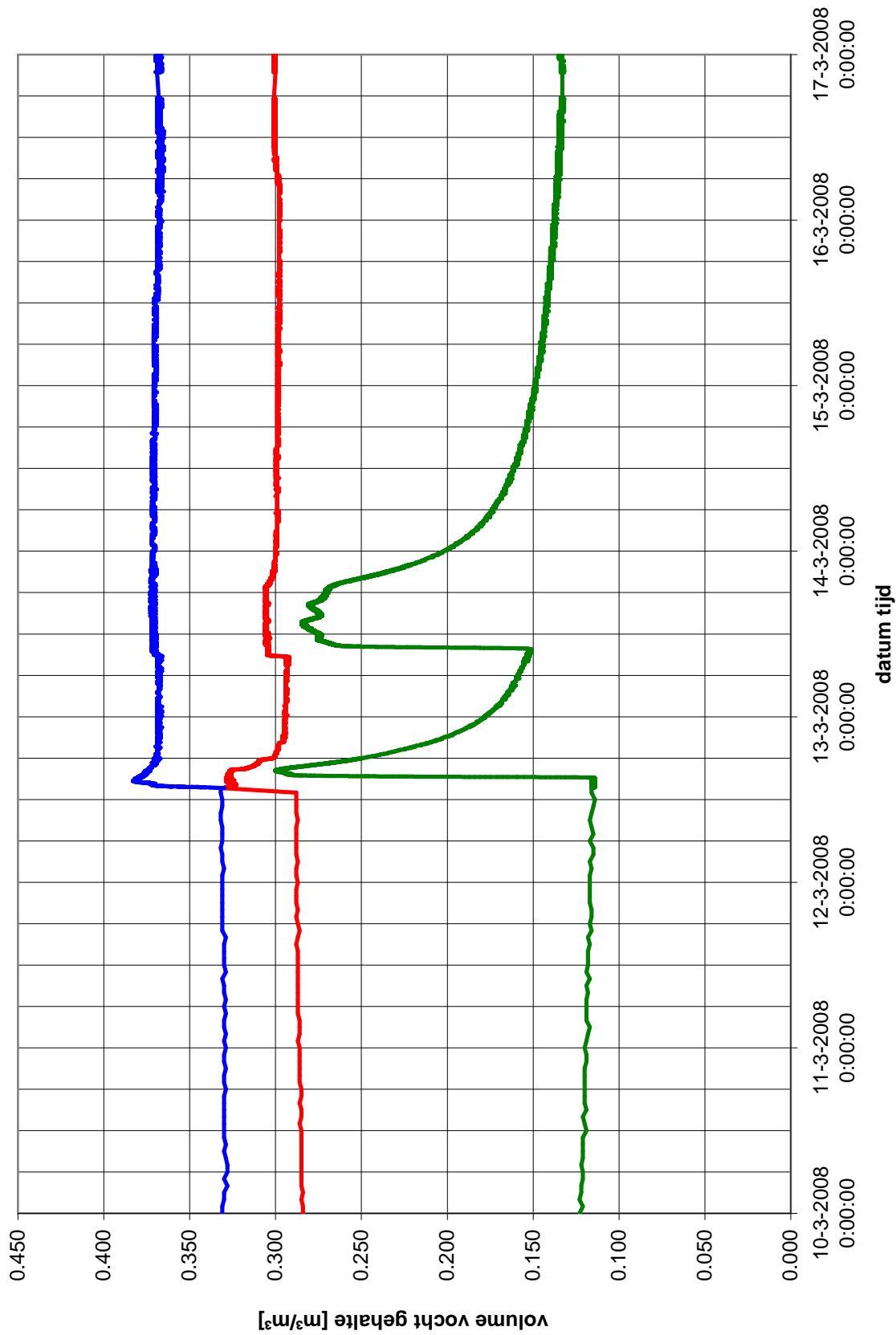
Gez.

*

BIJL. **X02**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 11

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

Gez.

*

BIJL. **X03**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 12

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

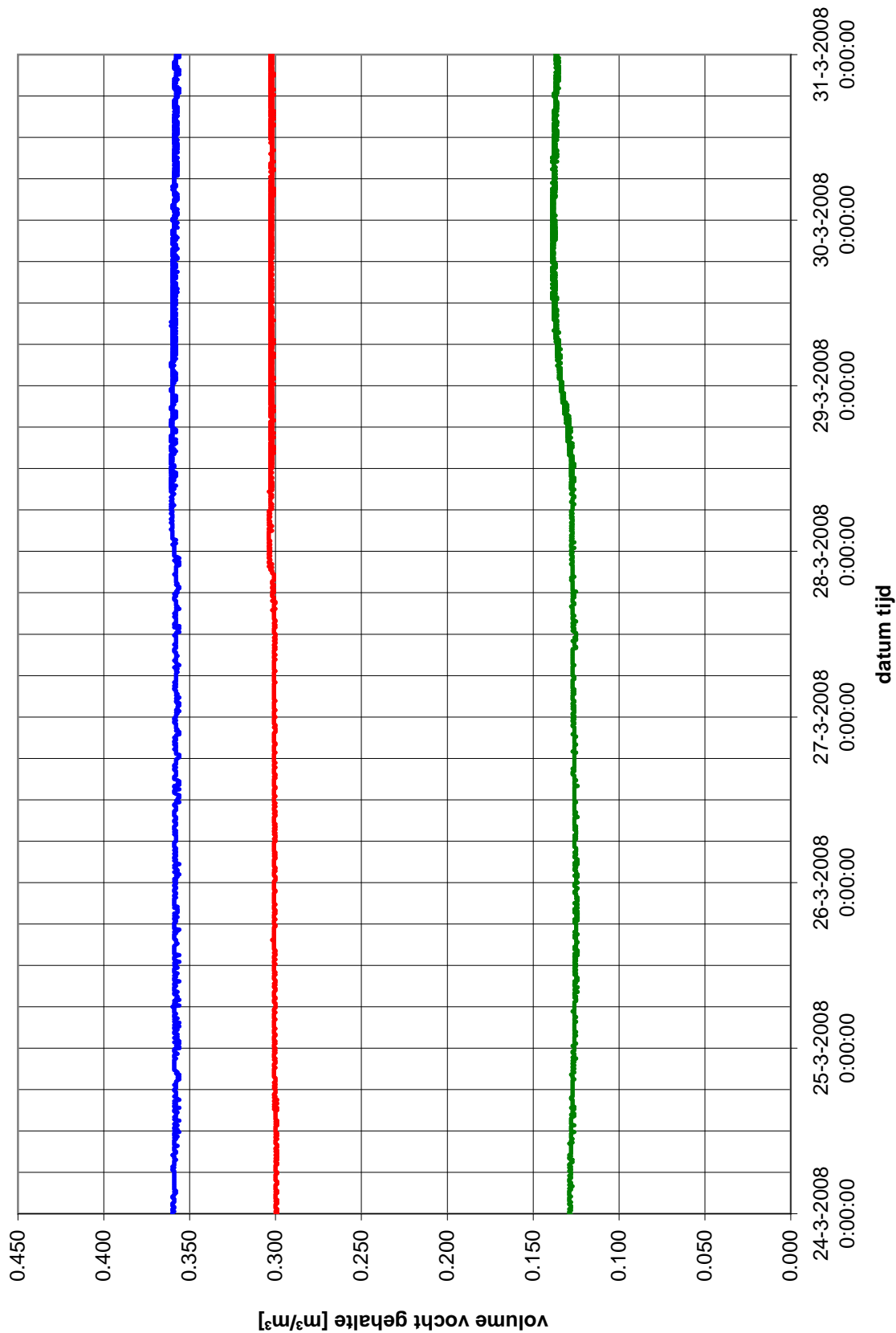
Gez.

*

BIJL. **X04**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 13

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

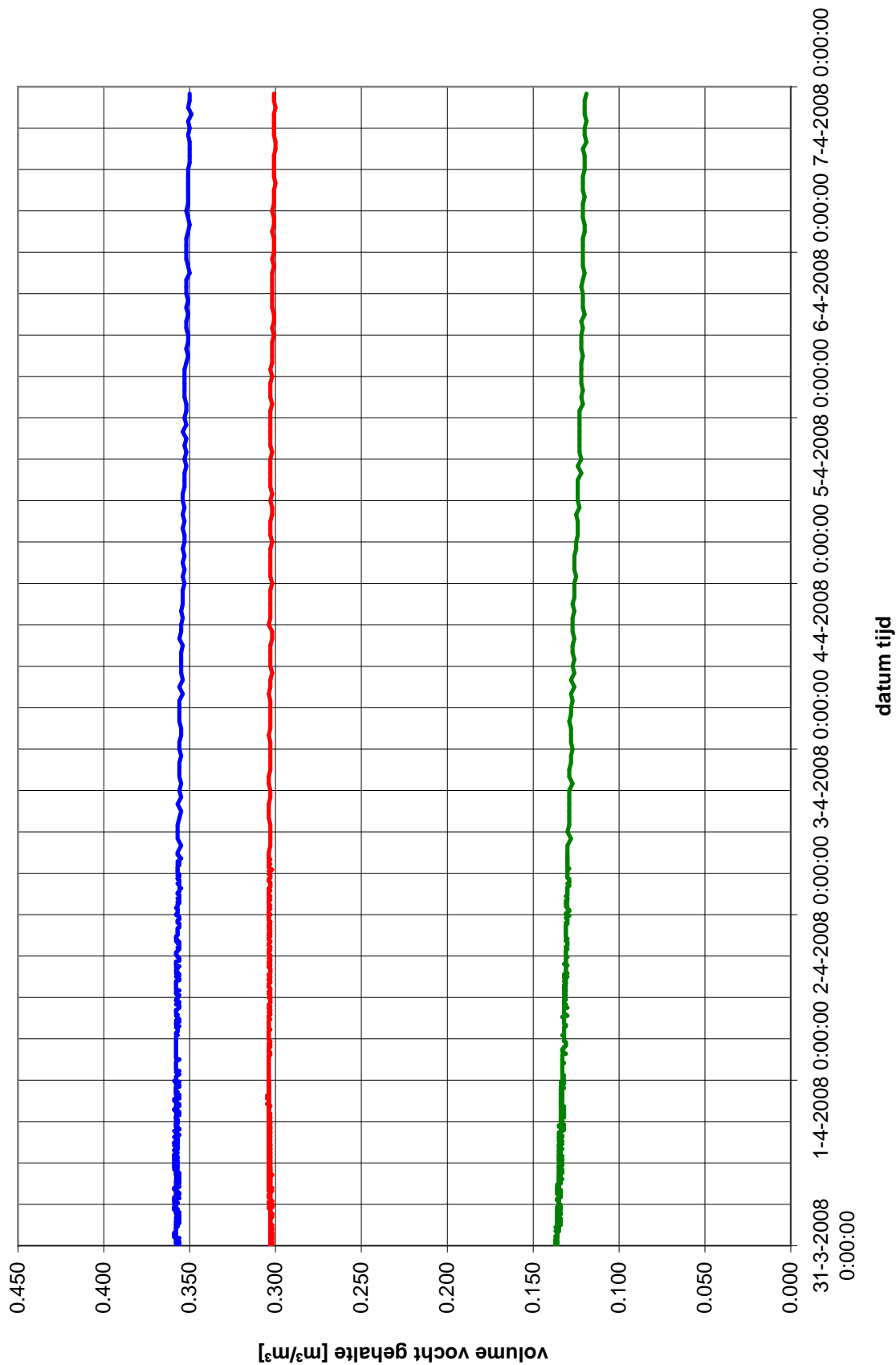
Gez.

*

BIJL. **X05**

form.

A4



datum tijd



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 14

CO-432850

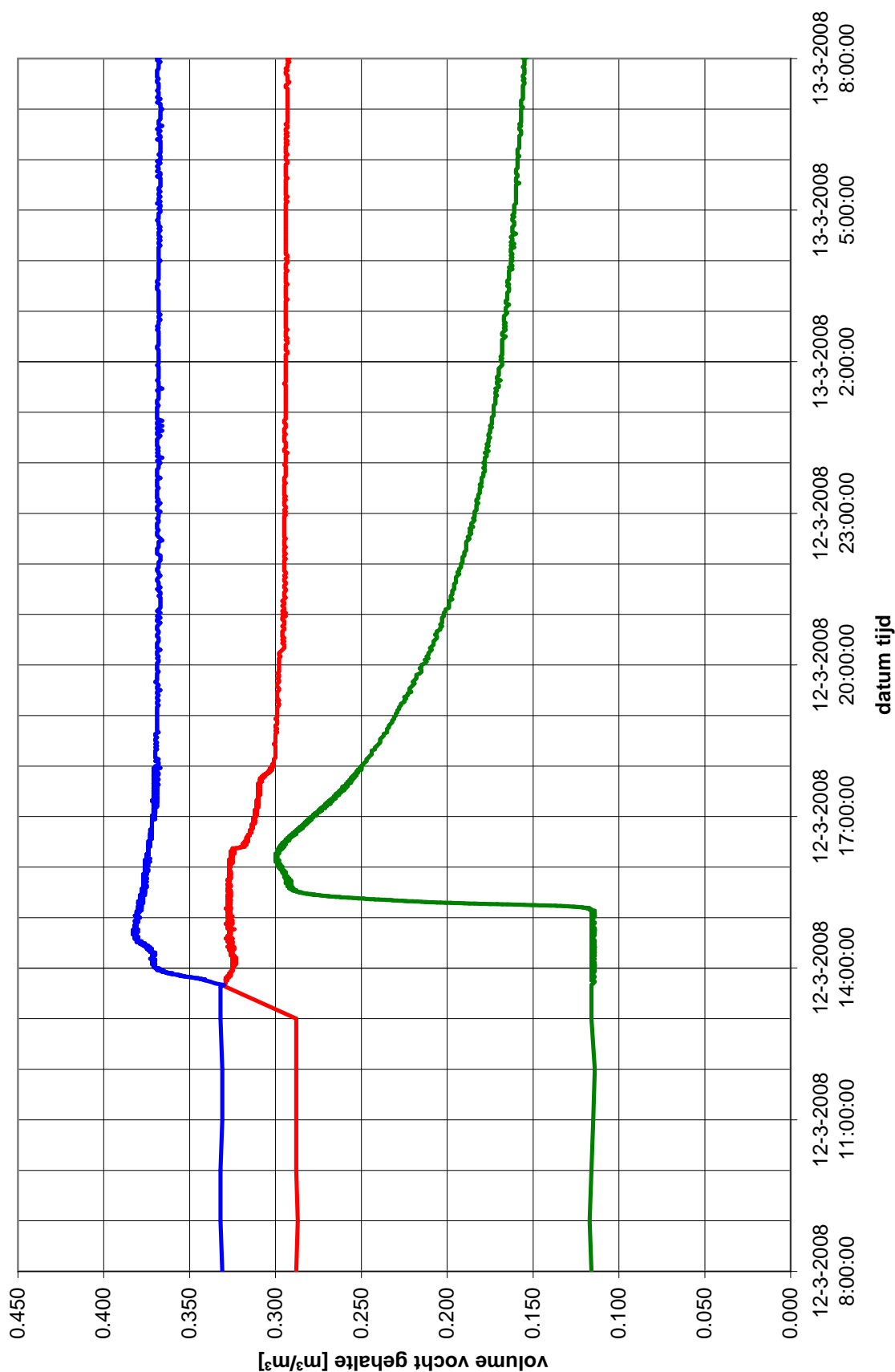
Gez.

*

BIJL. **X06**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES 12-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

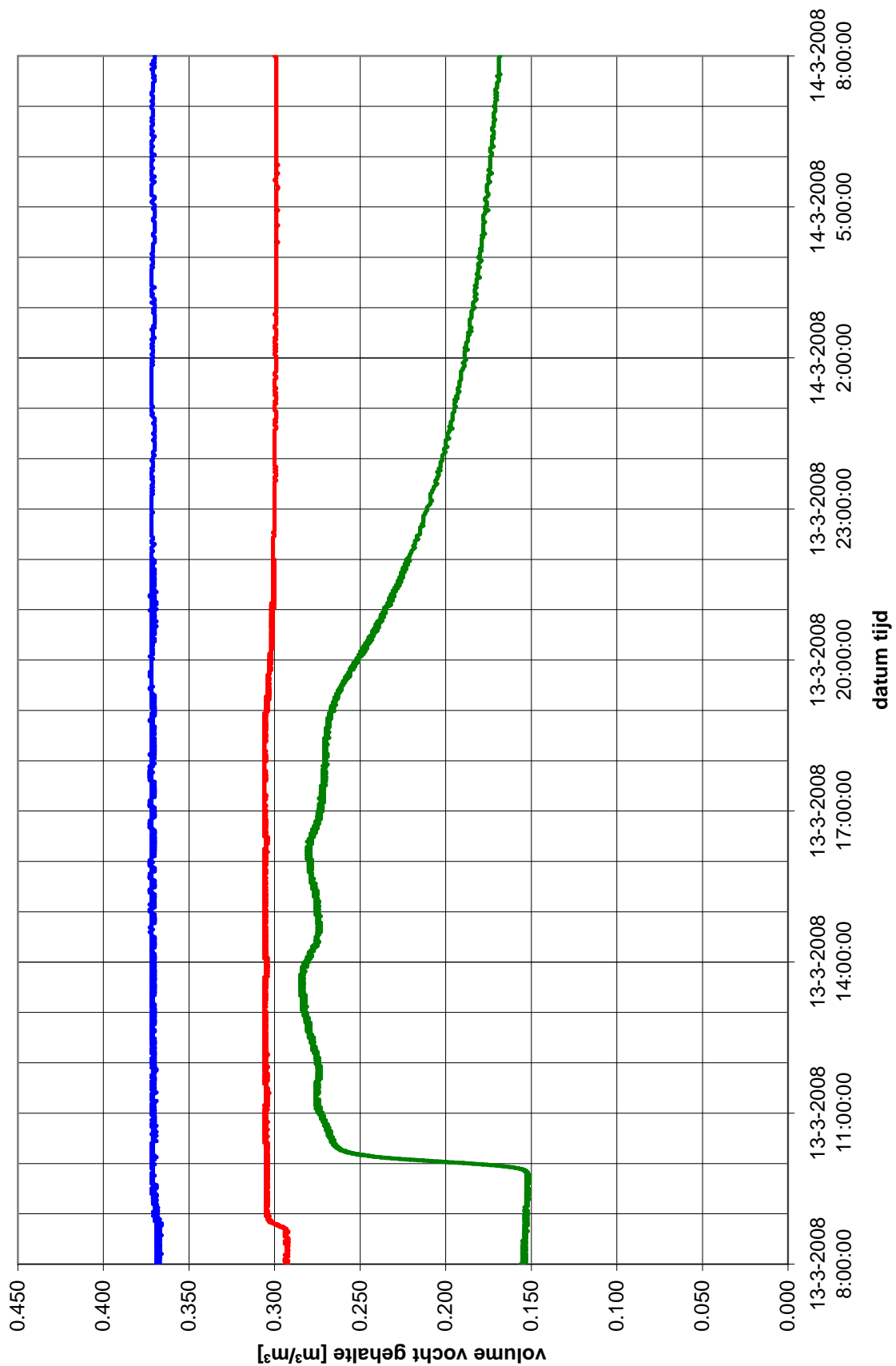
Gez.

*

BIJL. X07

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES 13-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

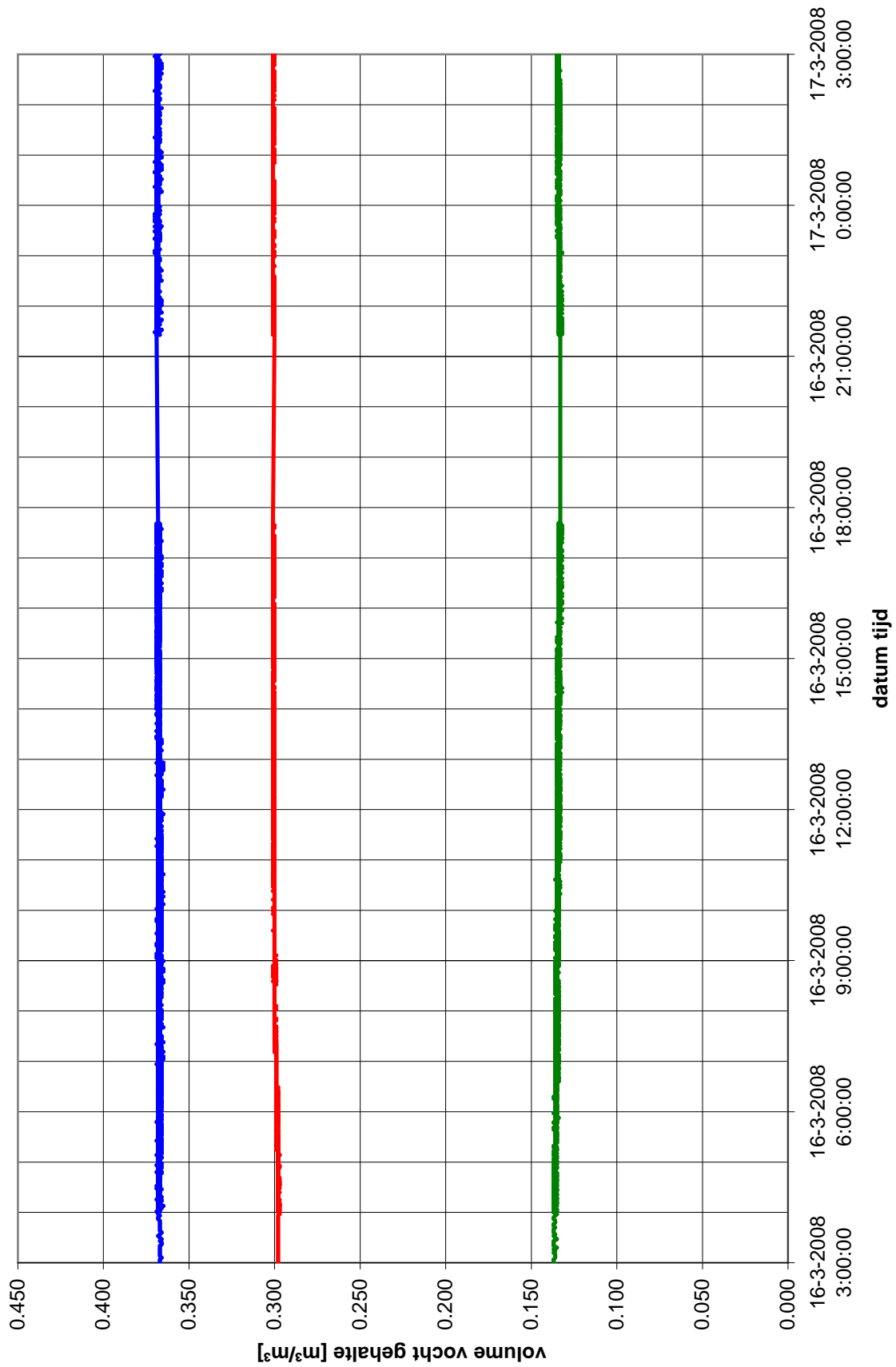
Gez.

*

BIJL. X08

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES 16-03-2008

datum
23-6-2008

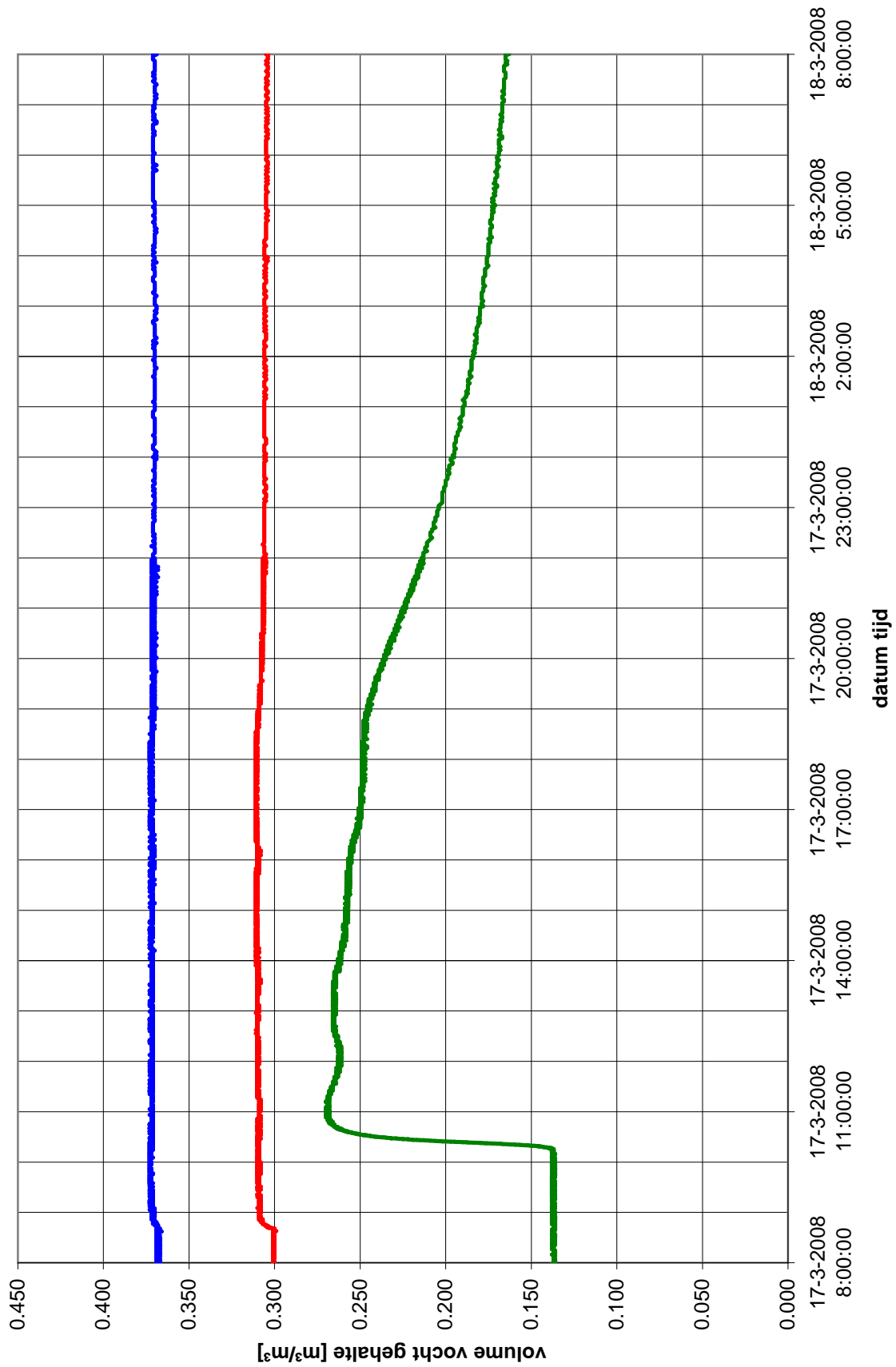
Get.
Waar

CO-432850

Gez.
*

BIJL. X09

form.
A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES 17-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

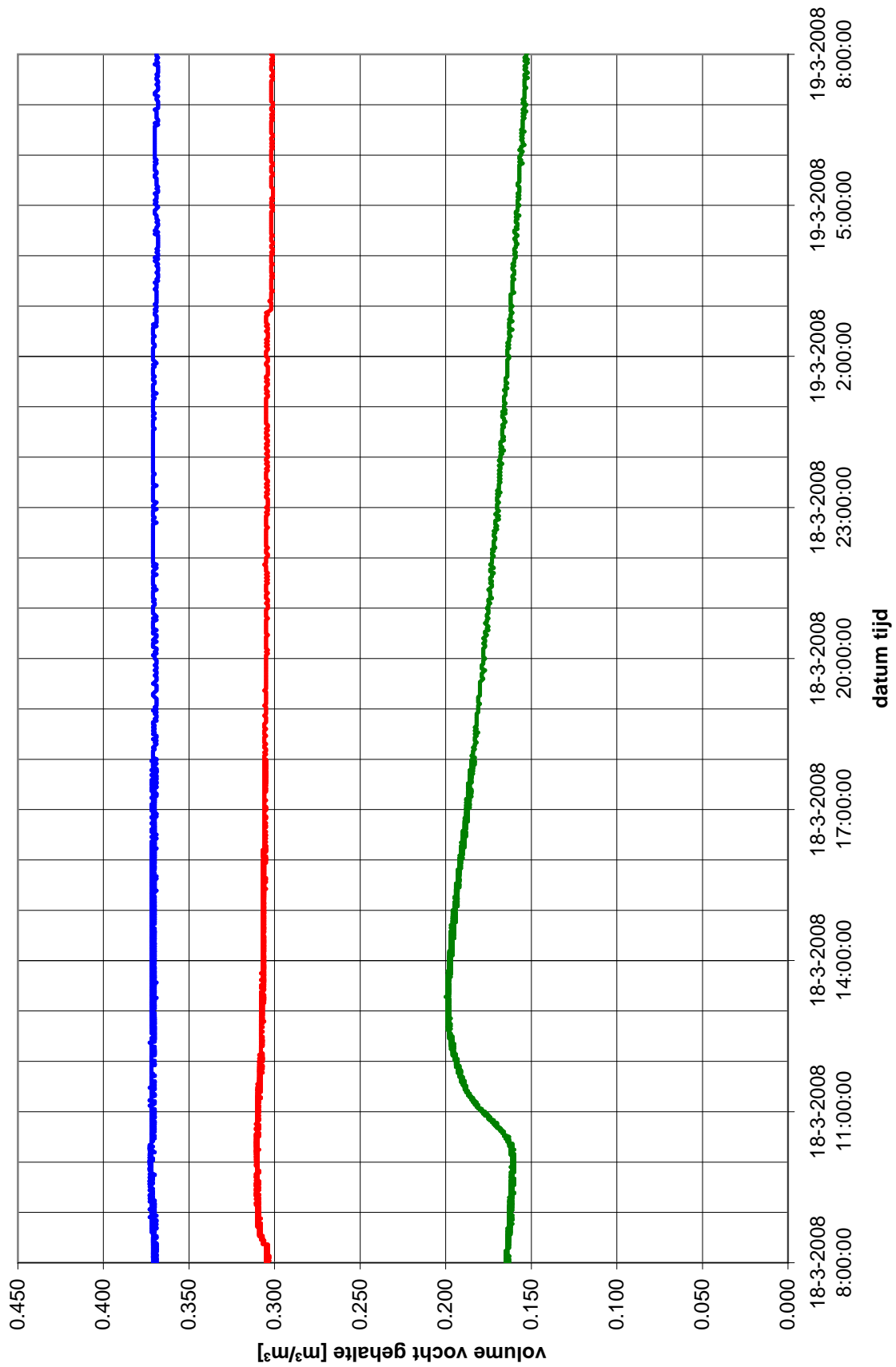
Gez.

*

BIJL. X10

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Sint Philipsland

REGISTRATIE THETAPROBES 18-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

Gez.

*

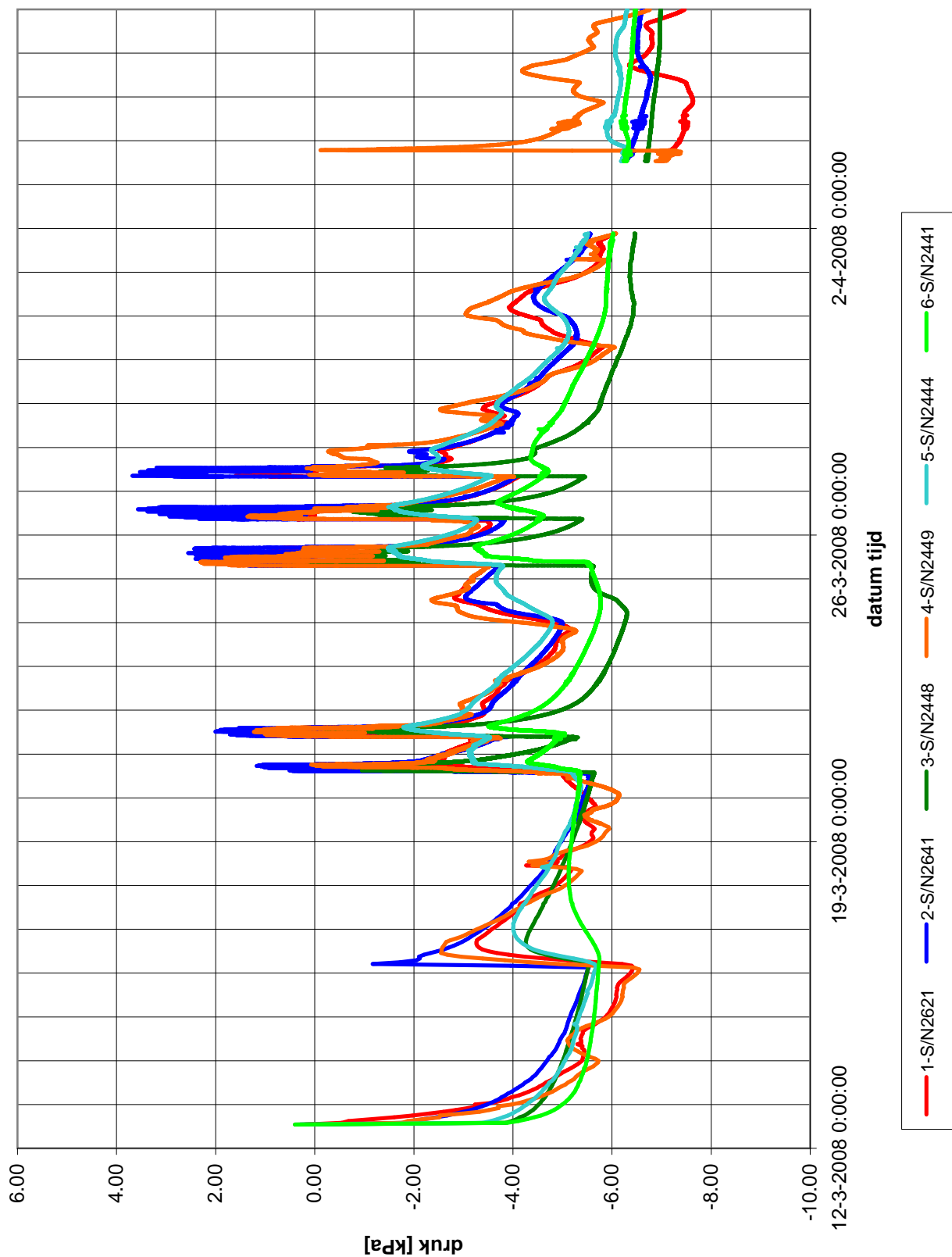
BIJL. X11

form.

A4

Bijlage 5 Monitoring Kattendijke

- Bijlage WT12 tot en met WT21 Resultaten van de metingen met tensiometers
- Bijlage W12 tot en met W20 Resultaten van de metingen met PR-waterspanningmeters
- Bijlage X12 tot en met X21 Resultaten van de metingen met thetaprobes



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIMETERS 12-3-2008 T/M 7-4-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

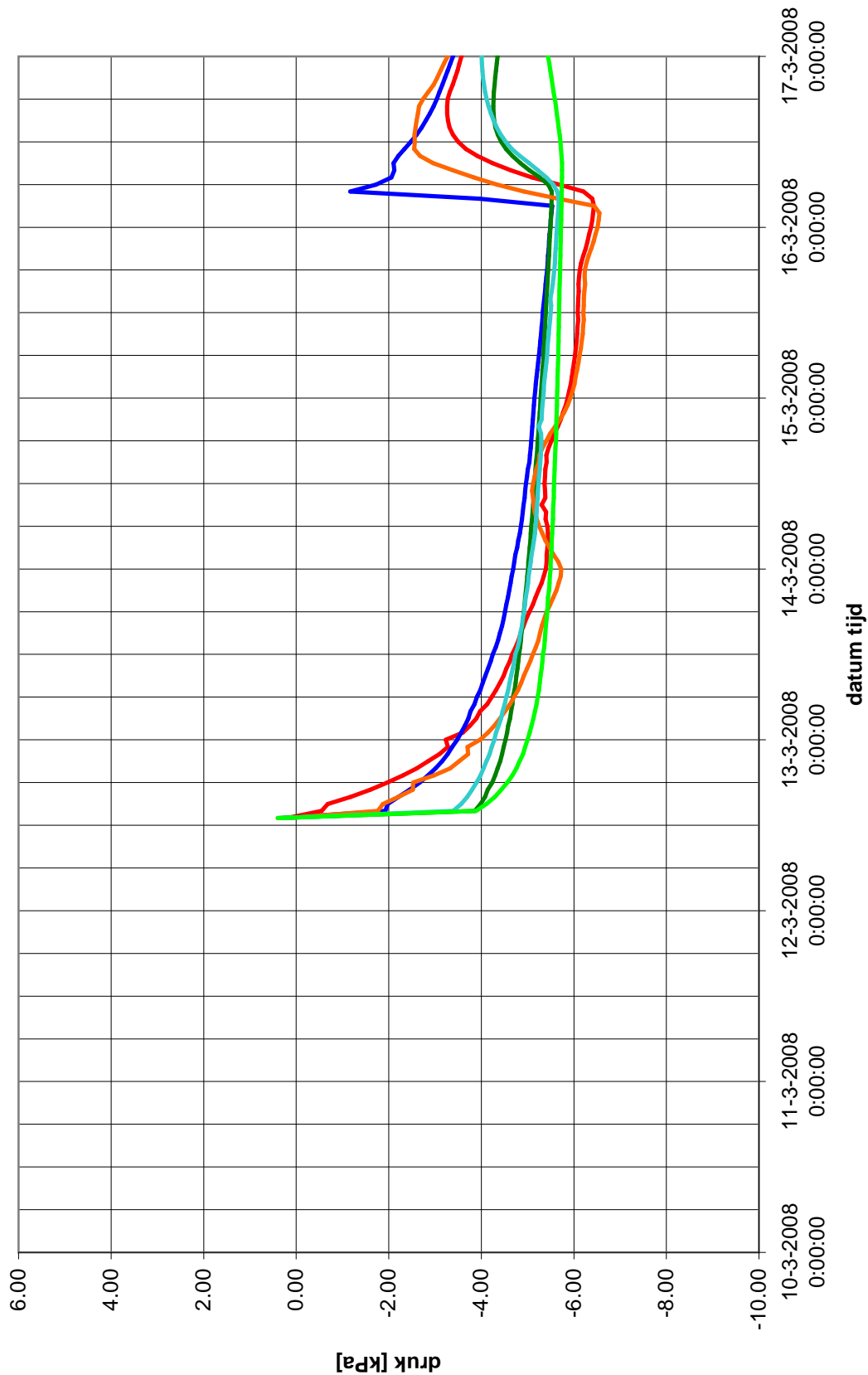
Gez.

*

BIJL. WT12

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIO METERS WEEK 11

CO-432850

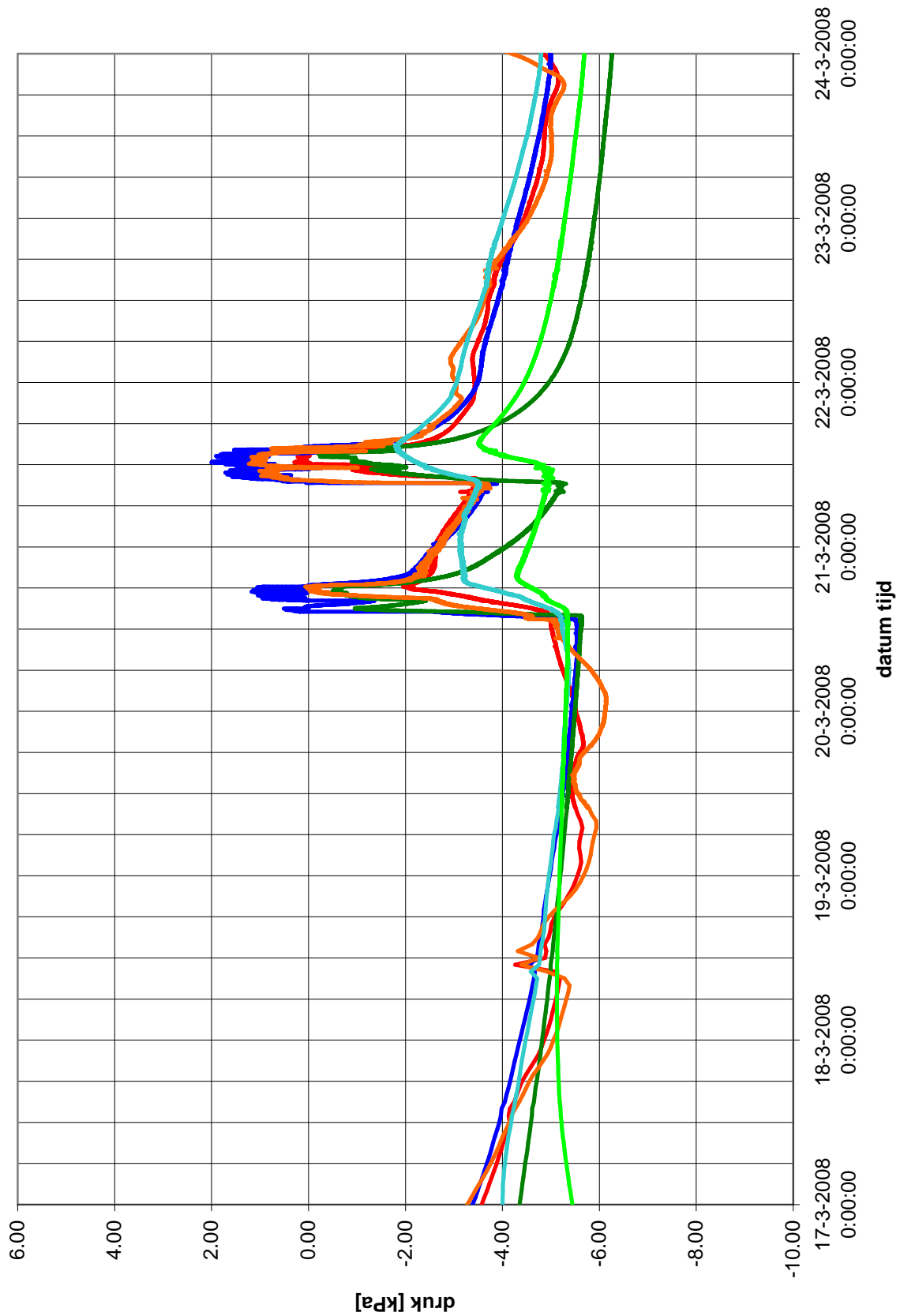
Gez.

*

BIJL. **WT13**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIMETERS WEEK 12

datum
23-6-2008

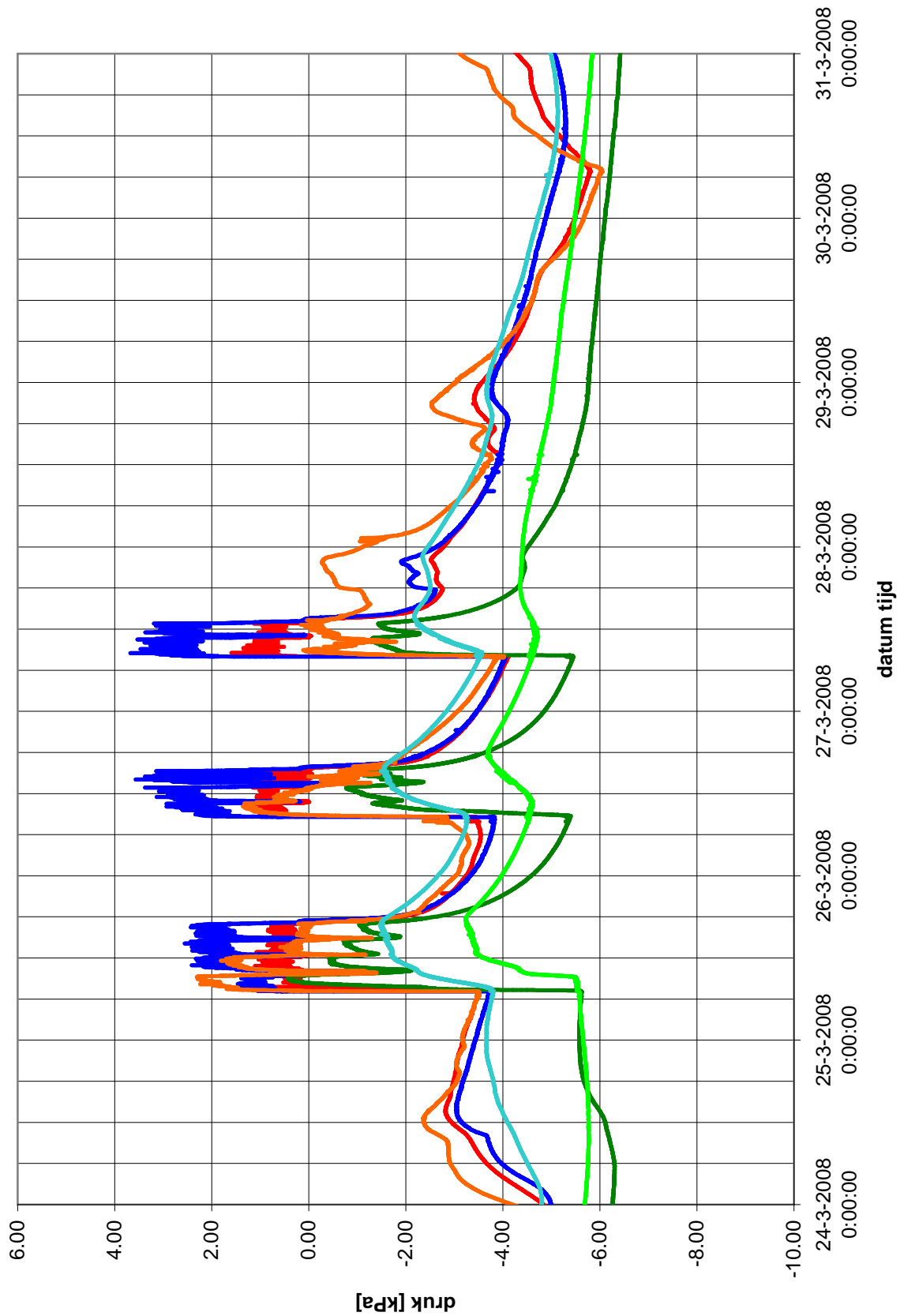
Get.
Waar

CO-432850

Gez.
*

BIJL. **WT14**

form.
A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIO METERS WEEK 13

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

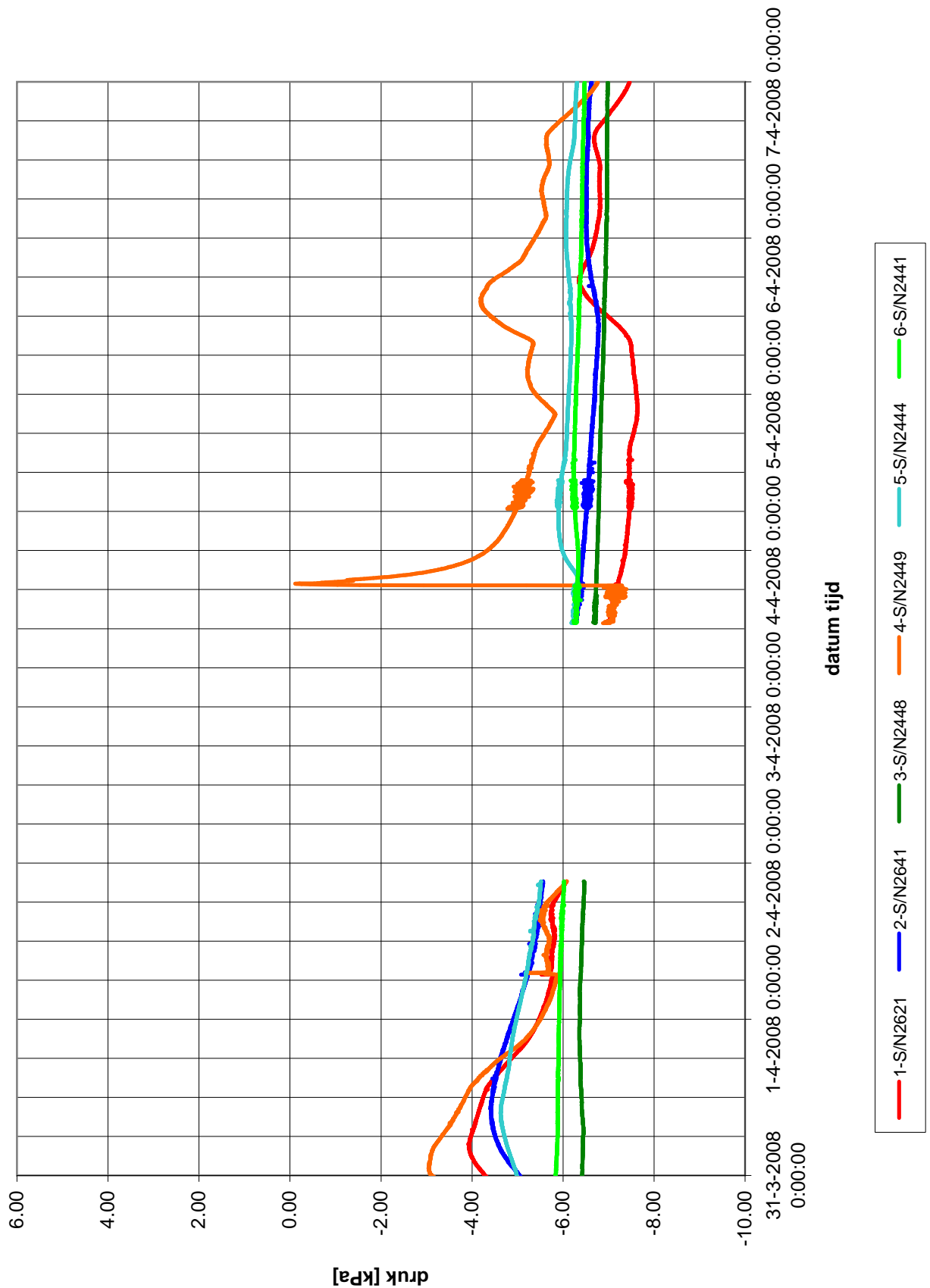
Gez.

*

BIJL. **WT15**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIMETERS WEEK 14

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

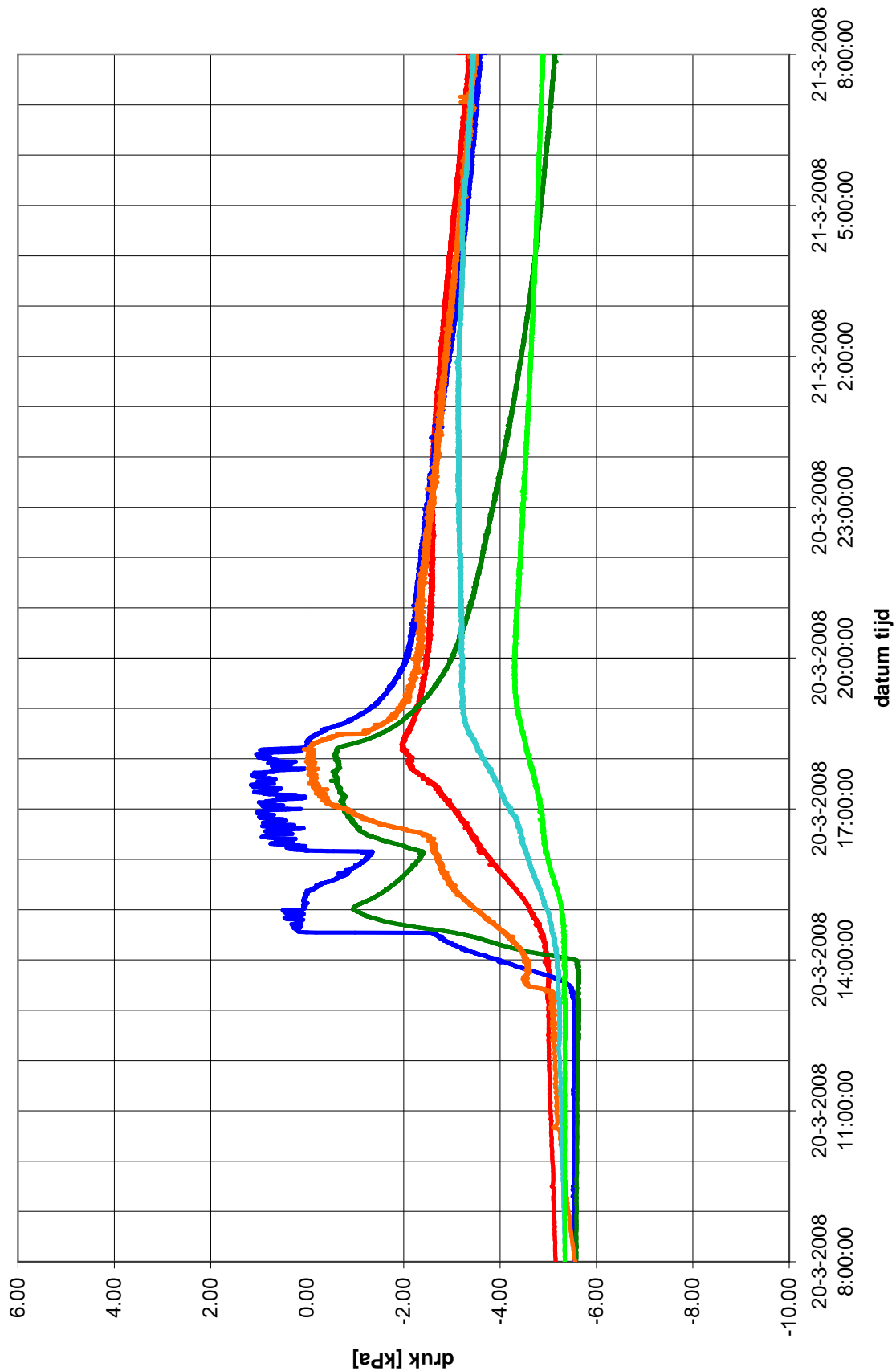
Gez.

*

BIJL. **WT16**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIO METERS, 20-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

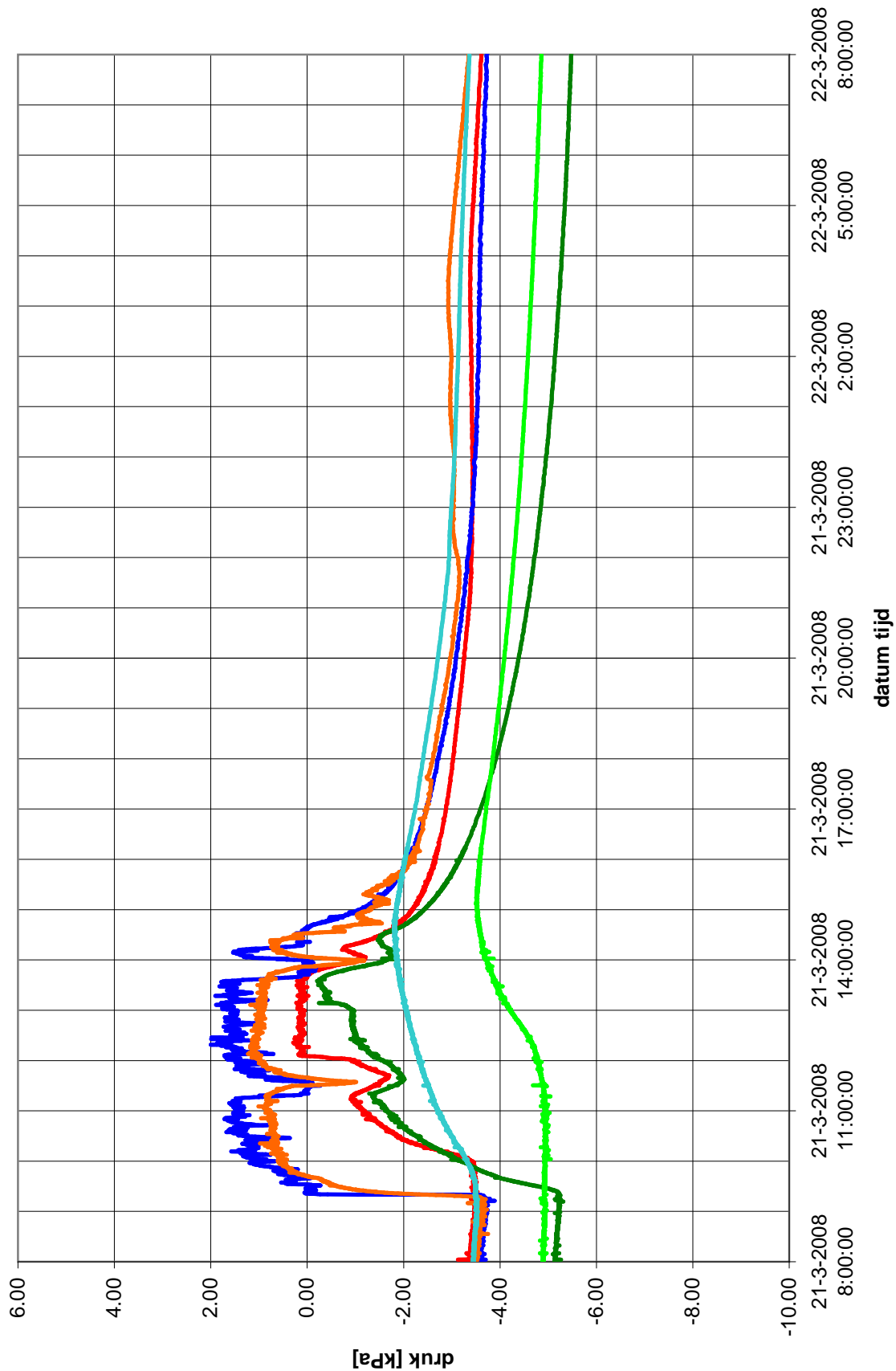
Gez.

*

BIJL. WT17

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIMETERS, 21-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

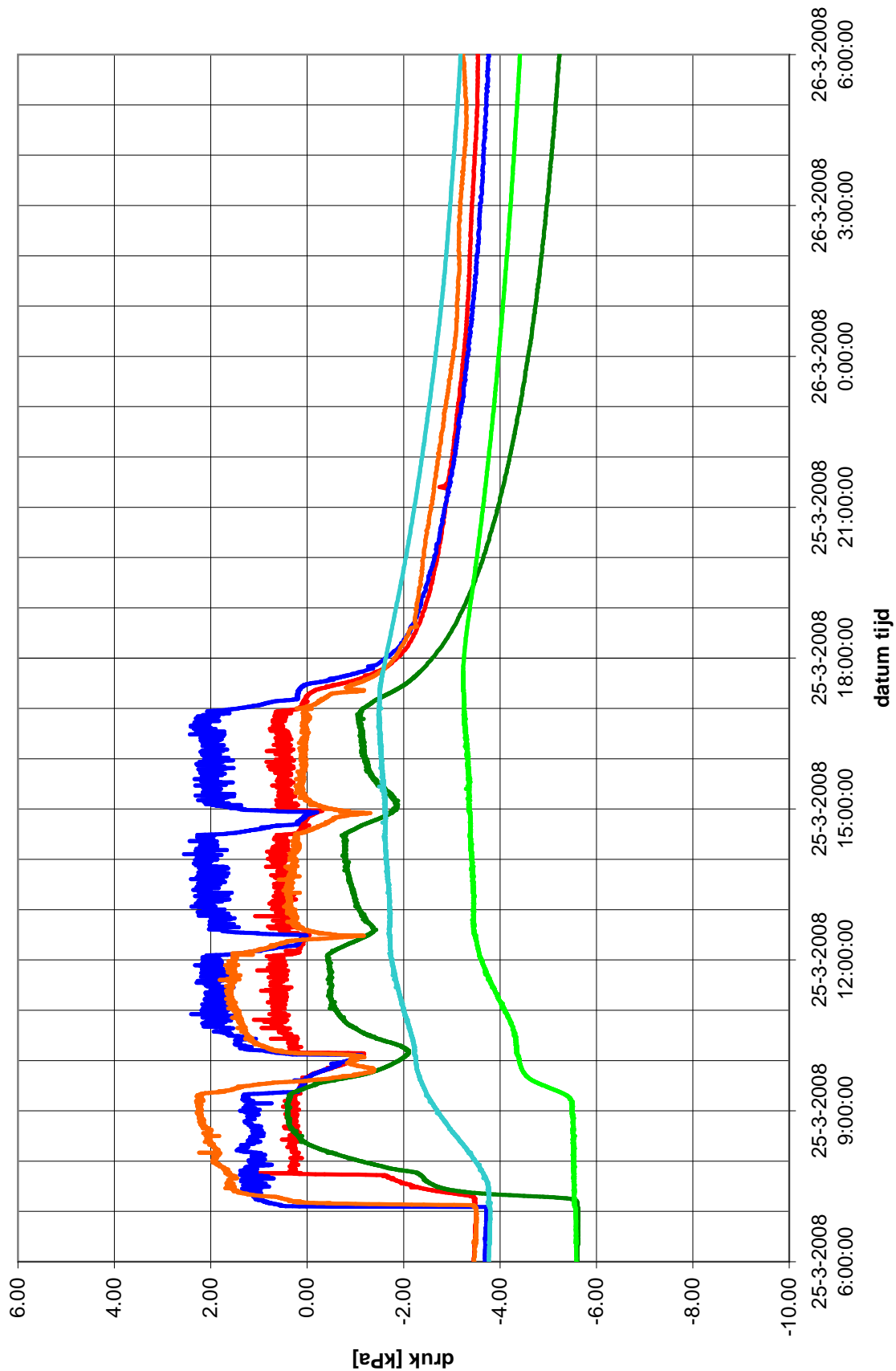
Gez.

*

BIJL. **WT18**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIO METERS, 25-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

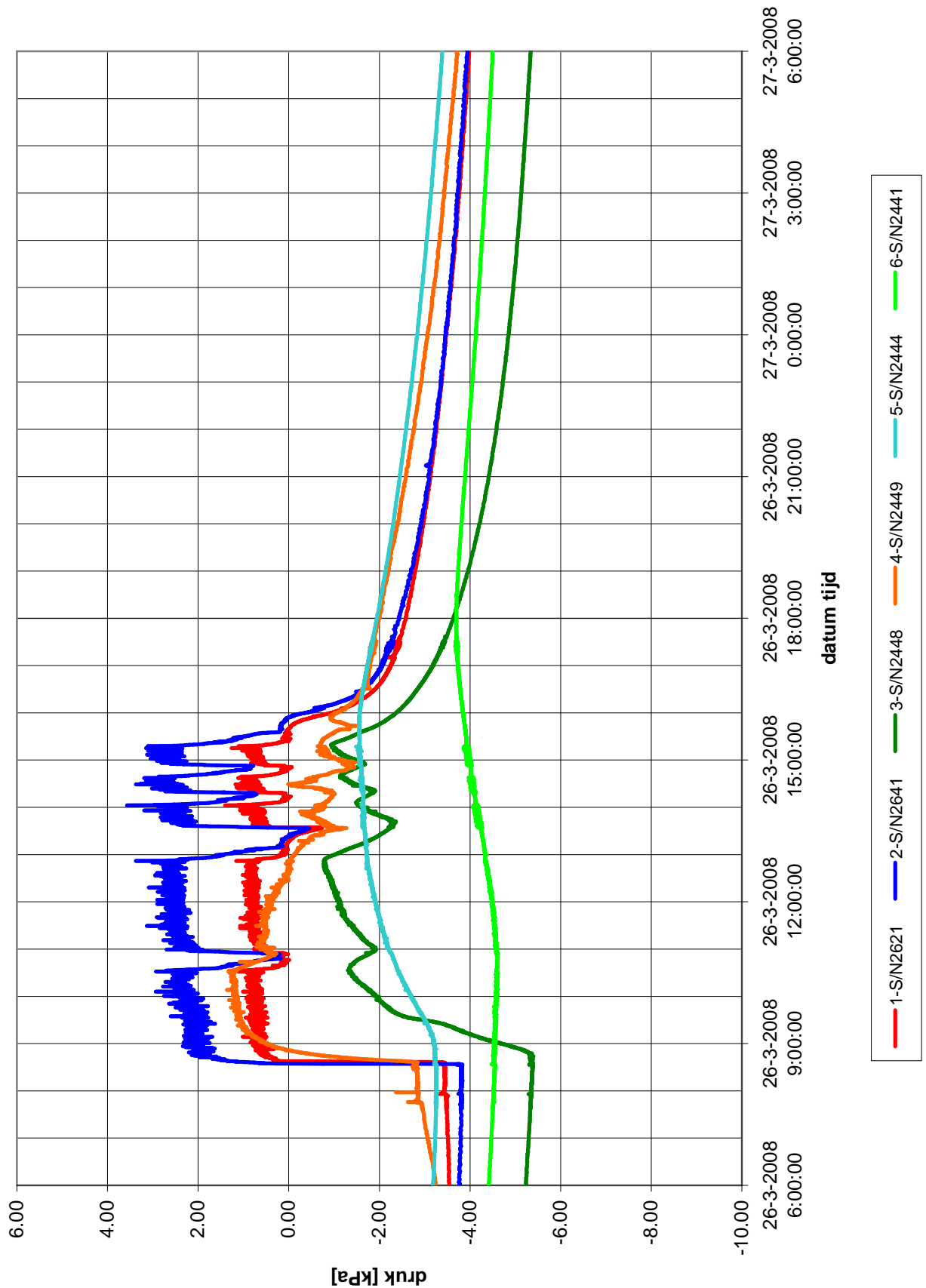
Gez.

*

BIJL. **WT19**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIOETERS, 26-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

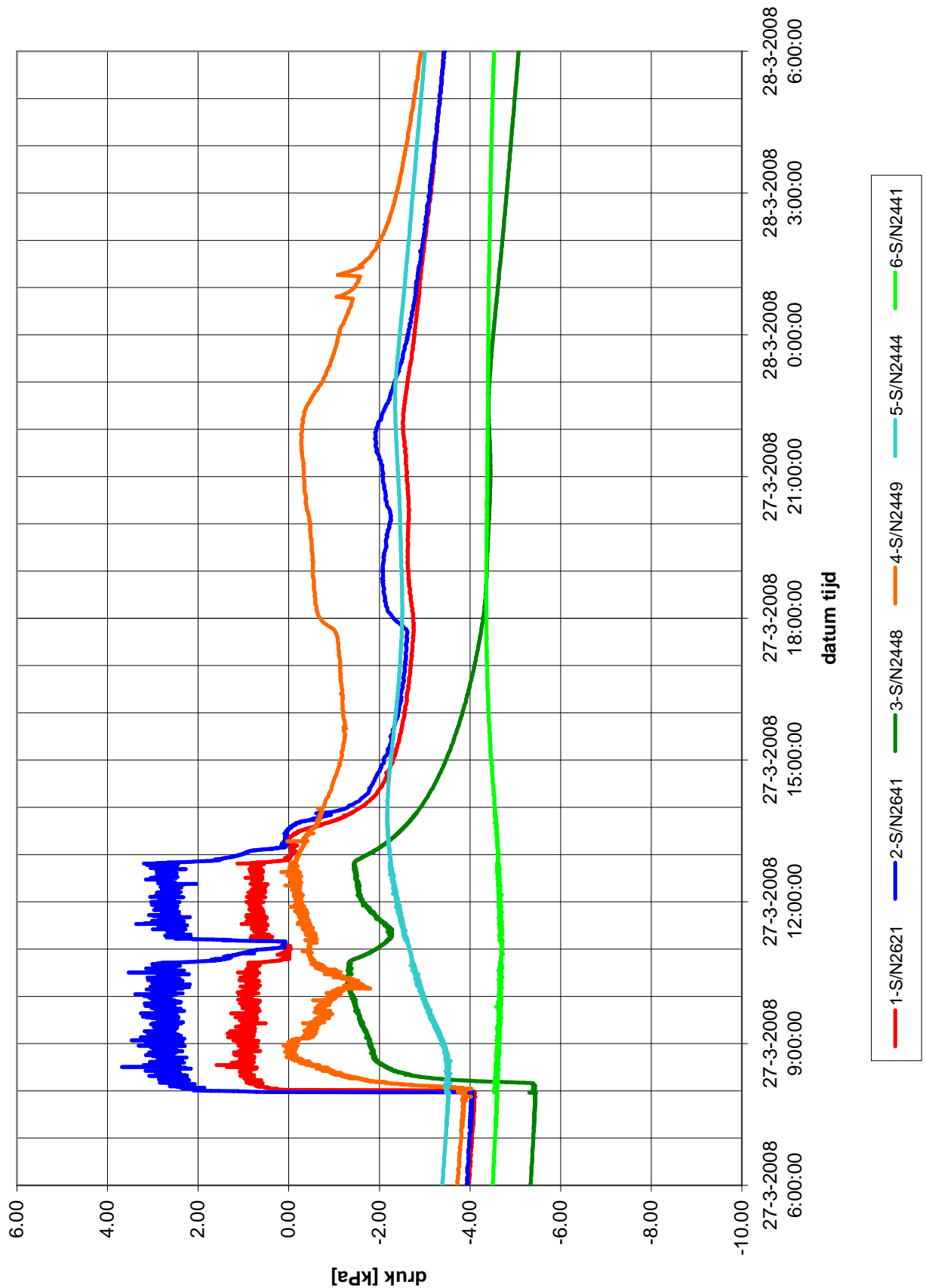
Gez.

*

BIJL. **WT20**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfoverslagproeven Zeeland

Monitoring tensiometers Kattendijke

REGISTRATIE TENSIMETERS, 27-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

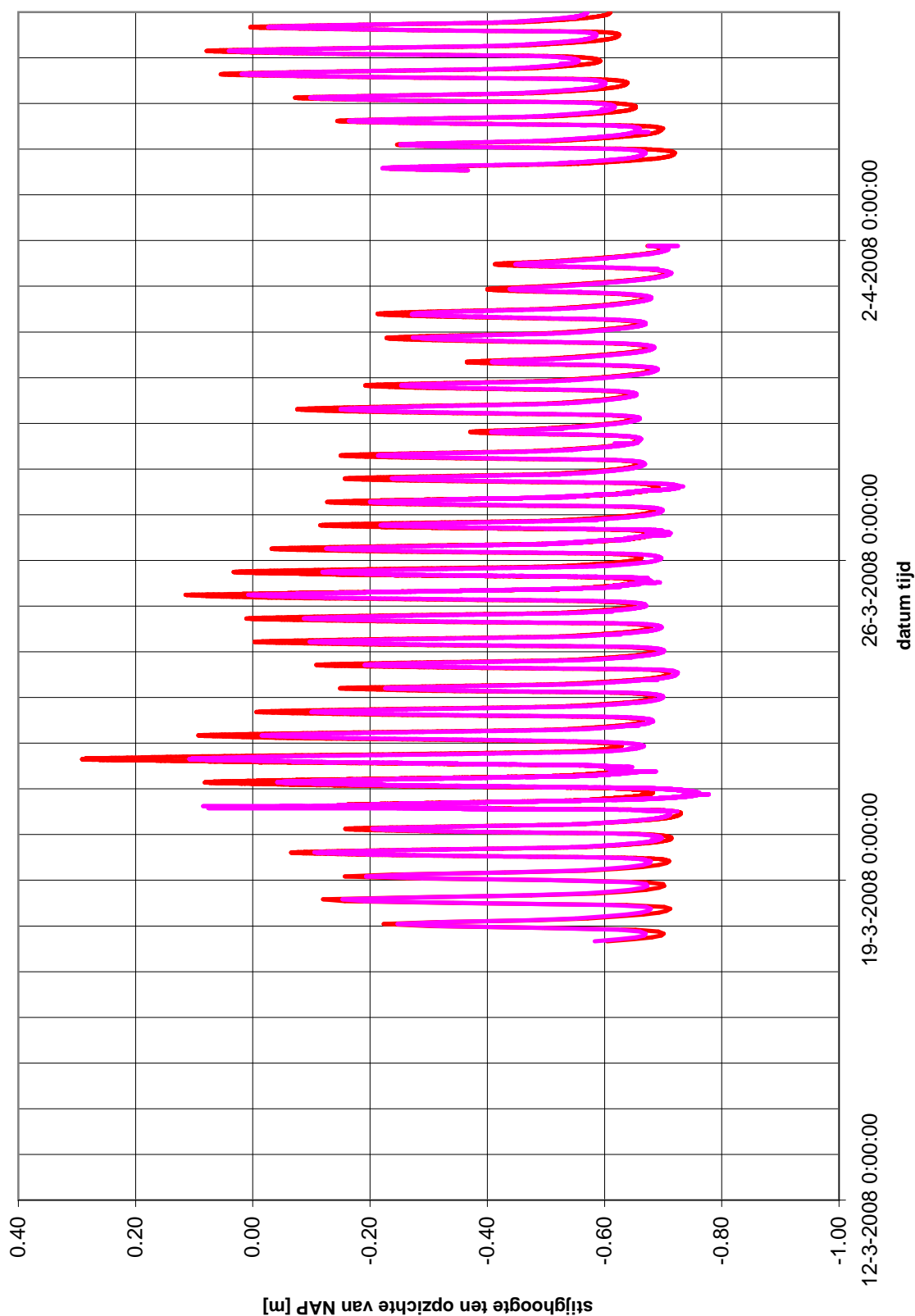
Gez.

*

BIJL. WT21

form.

A4



Deltares

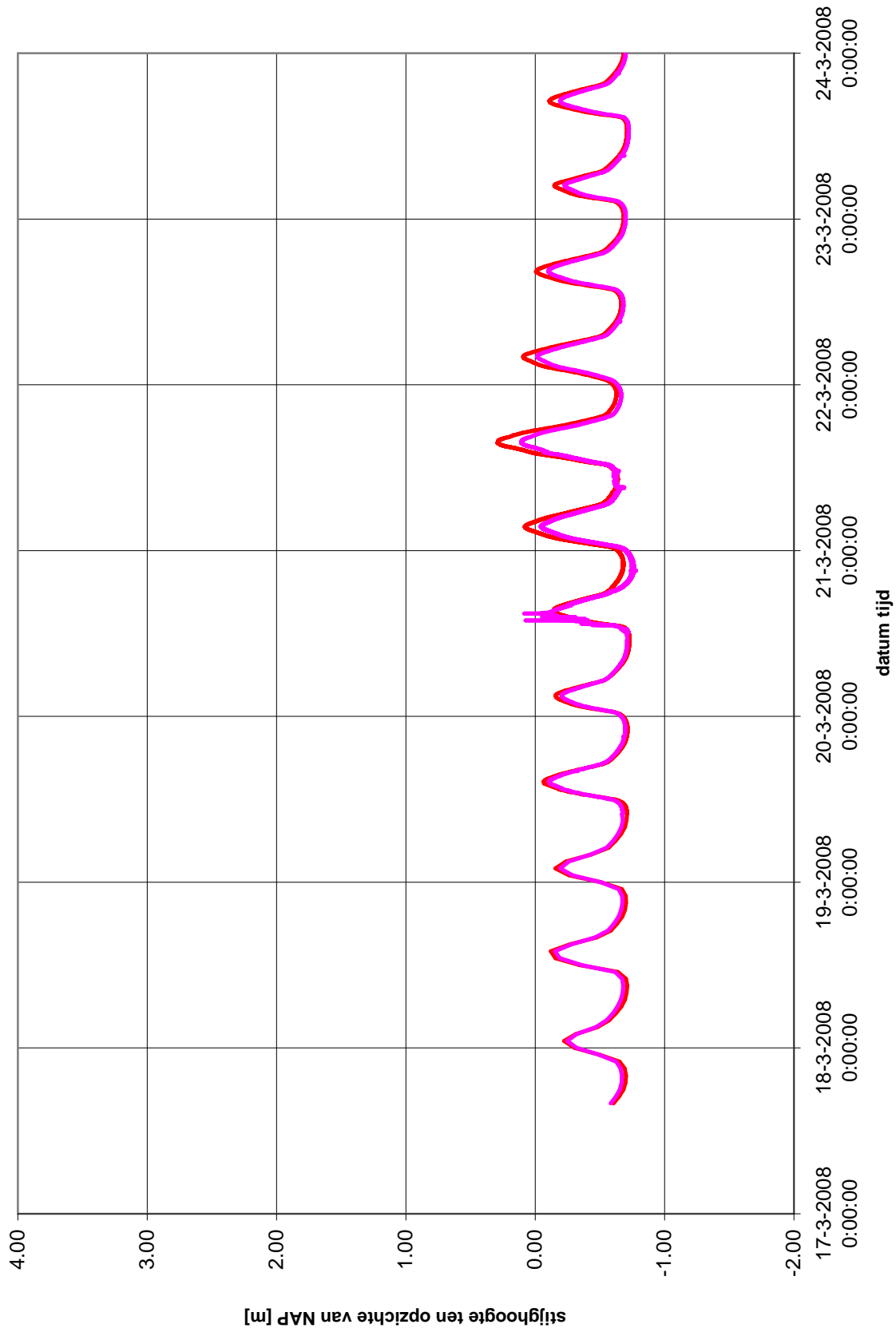
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-watervoltingen Kattendijke
REGISTRATIE PR 12-3-2008 T/M 7-4-2008

datum	23-6-2008	Get.	Waar
	CO-432850	Gez.	*
BIJL.	W12	form.	A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijkse

REGISTRATIE PR WEEK 12

CO-432850

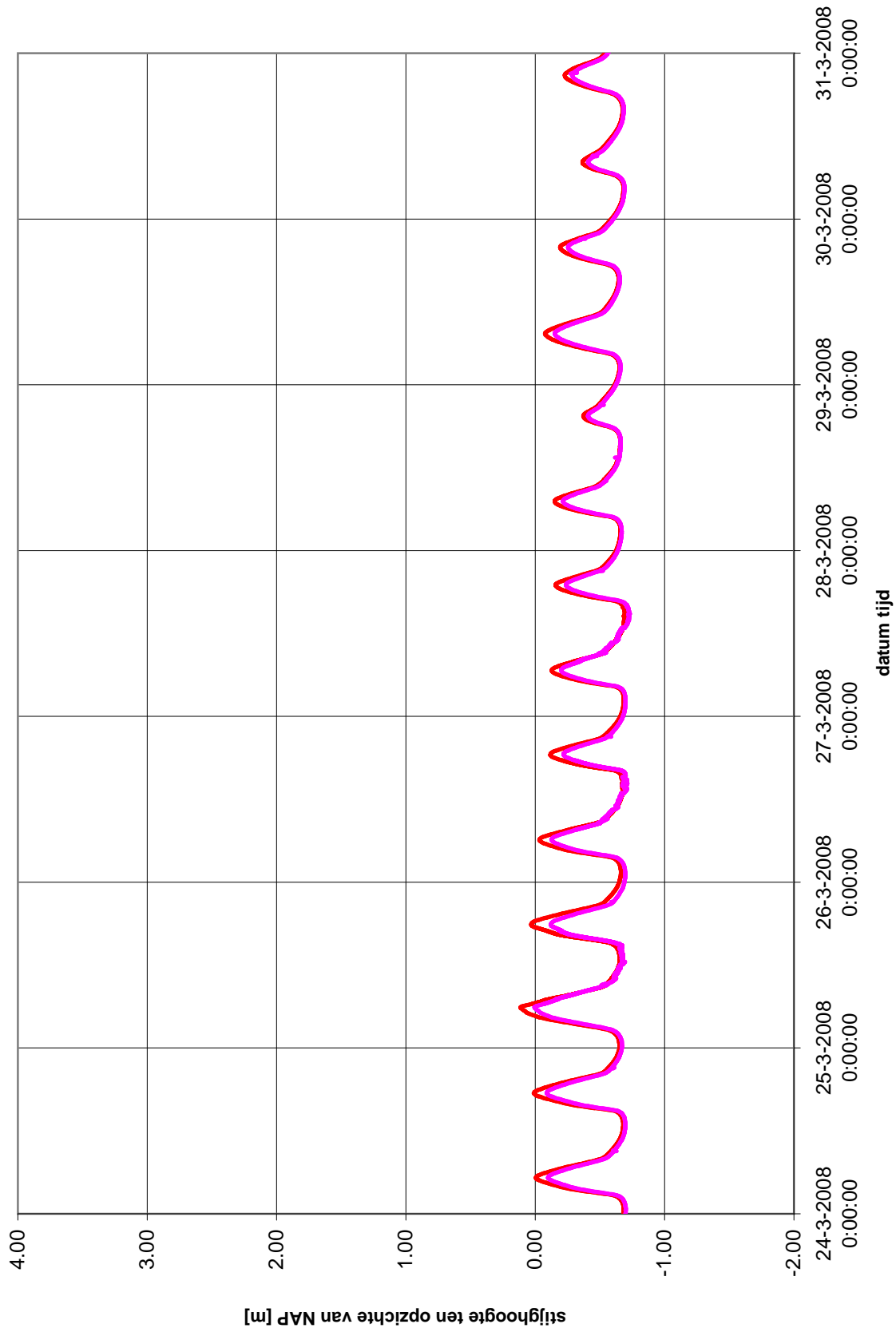
Gez.

*

BIJL. **W13**

form.

A4



Deltares

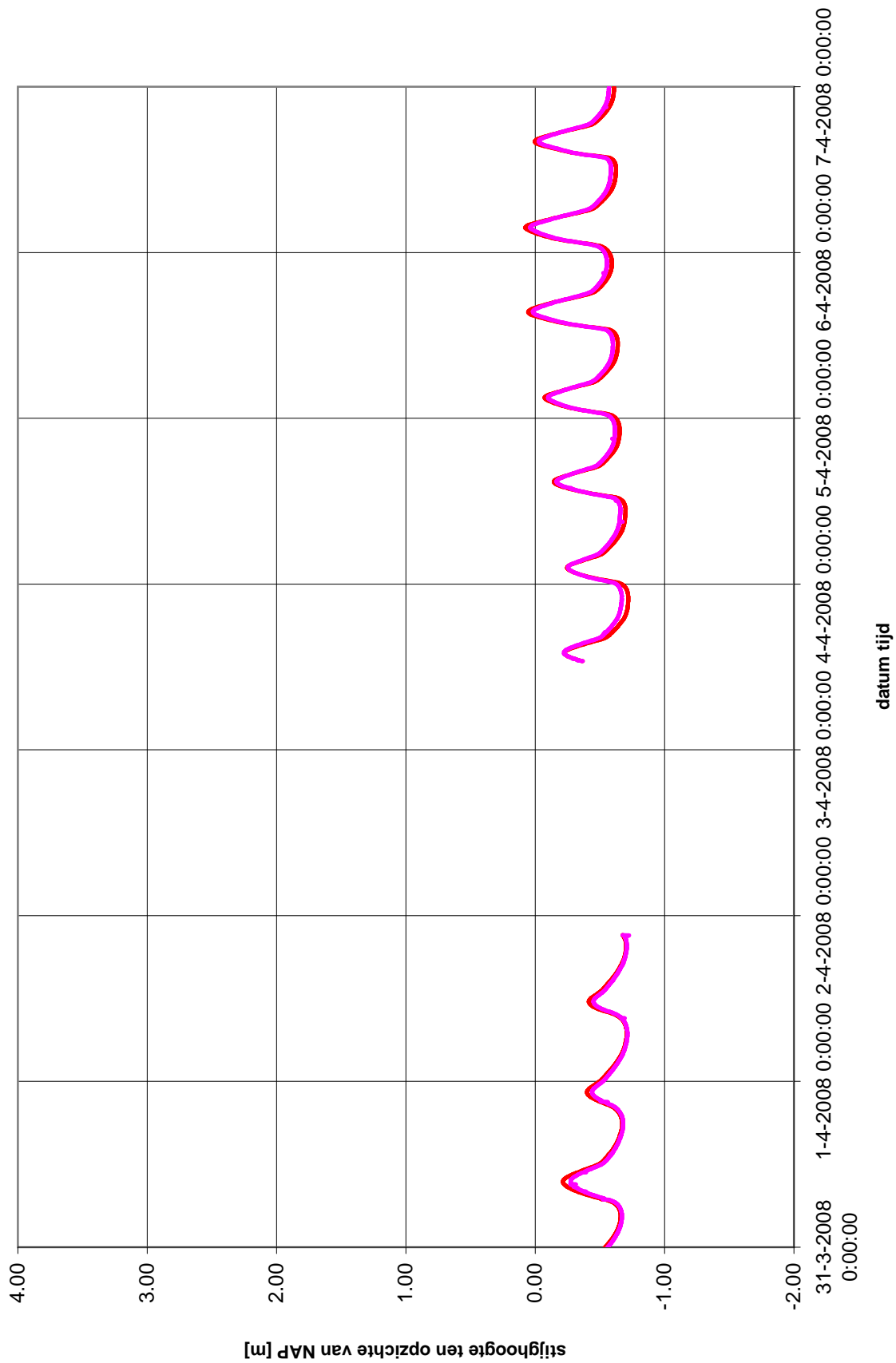
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijke
REGISTRATIE PR WEEK 13

datum	Get.
23-6-2008	Waar
CO-432850	Gez. *
BIJL. W14	form. A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijkse

REGISTRATIE PR WEEK 14

CO-432850

Gez.

*

BIJL. **W15**

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijke

REGISTRATIE PR, 20-03-2008

CO-432850

Gez.

*

BIJL. **W16**

form.

A4



S/N364 S/N339

Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijke

REGISTRATIE PR, 21-03-2008

CO-432850

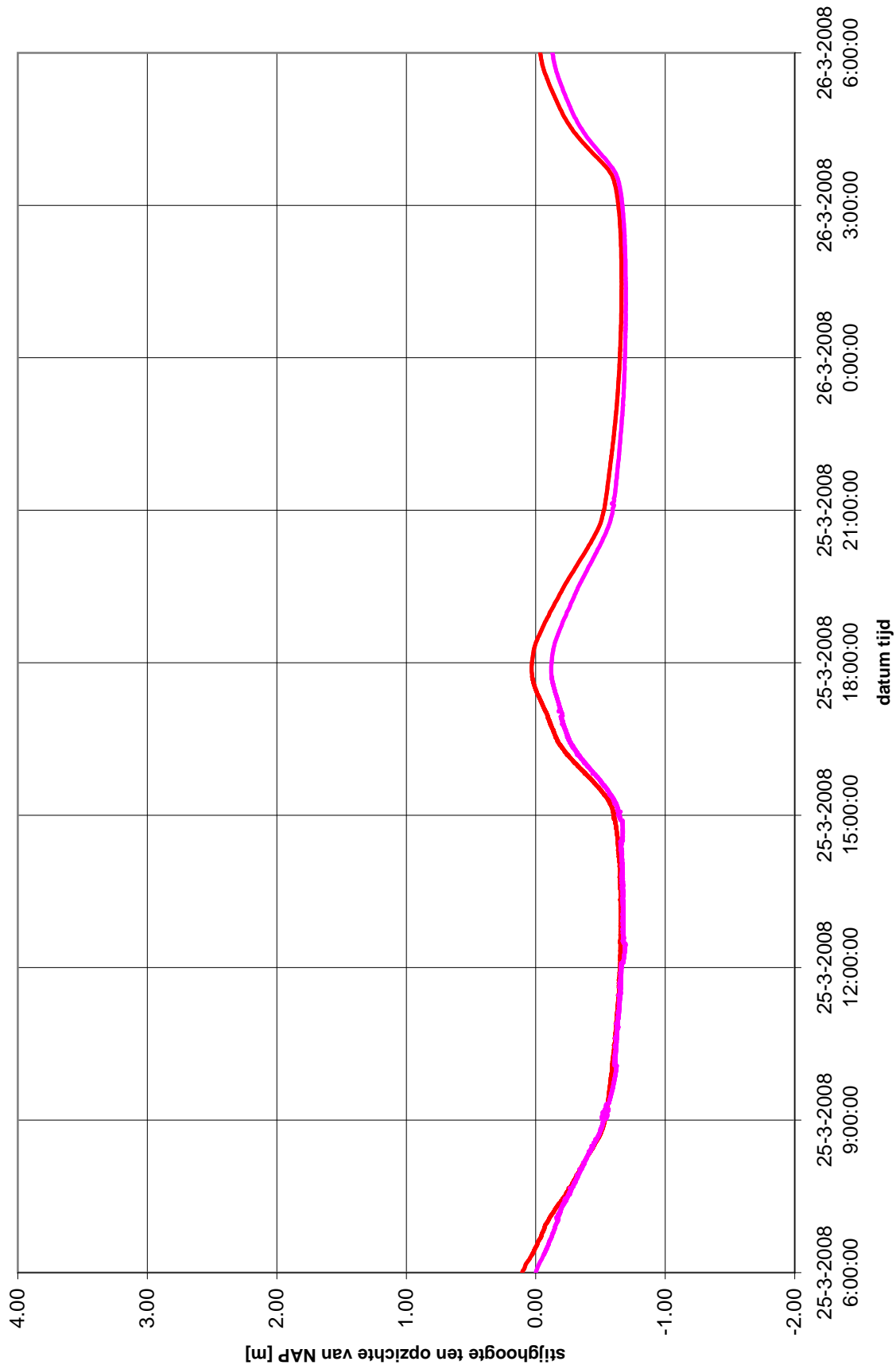
Gez.

*

BIJL. **W17**

form.

A4



Deltares

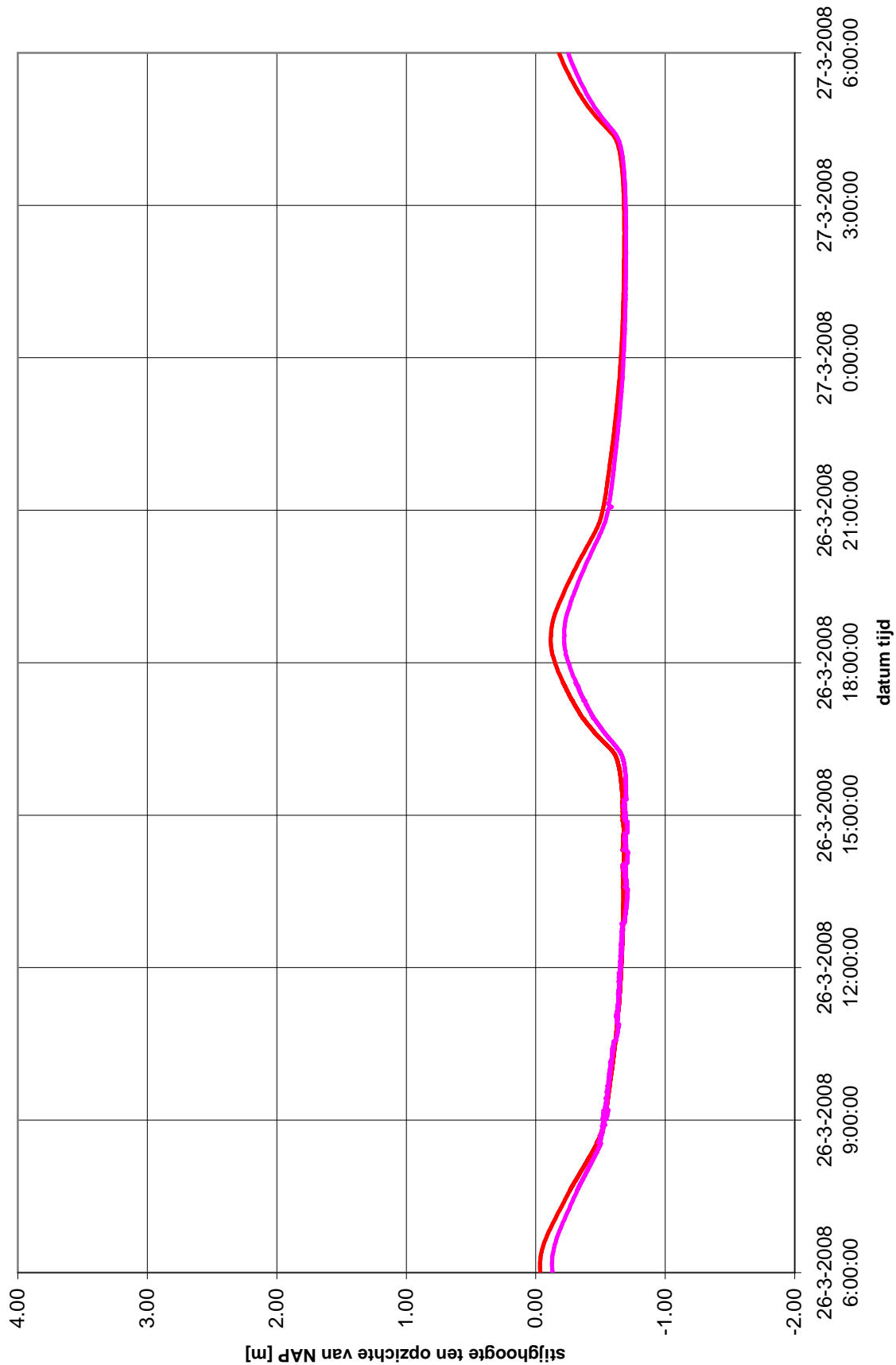
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijke
REGISTRATIE PR, 25-03-2008

datum	23-6-2008	Get.	Waar
	CO-432850	Gez.	*
BIJL.	W18	form.	A4



Deltares

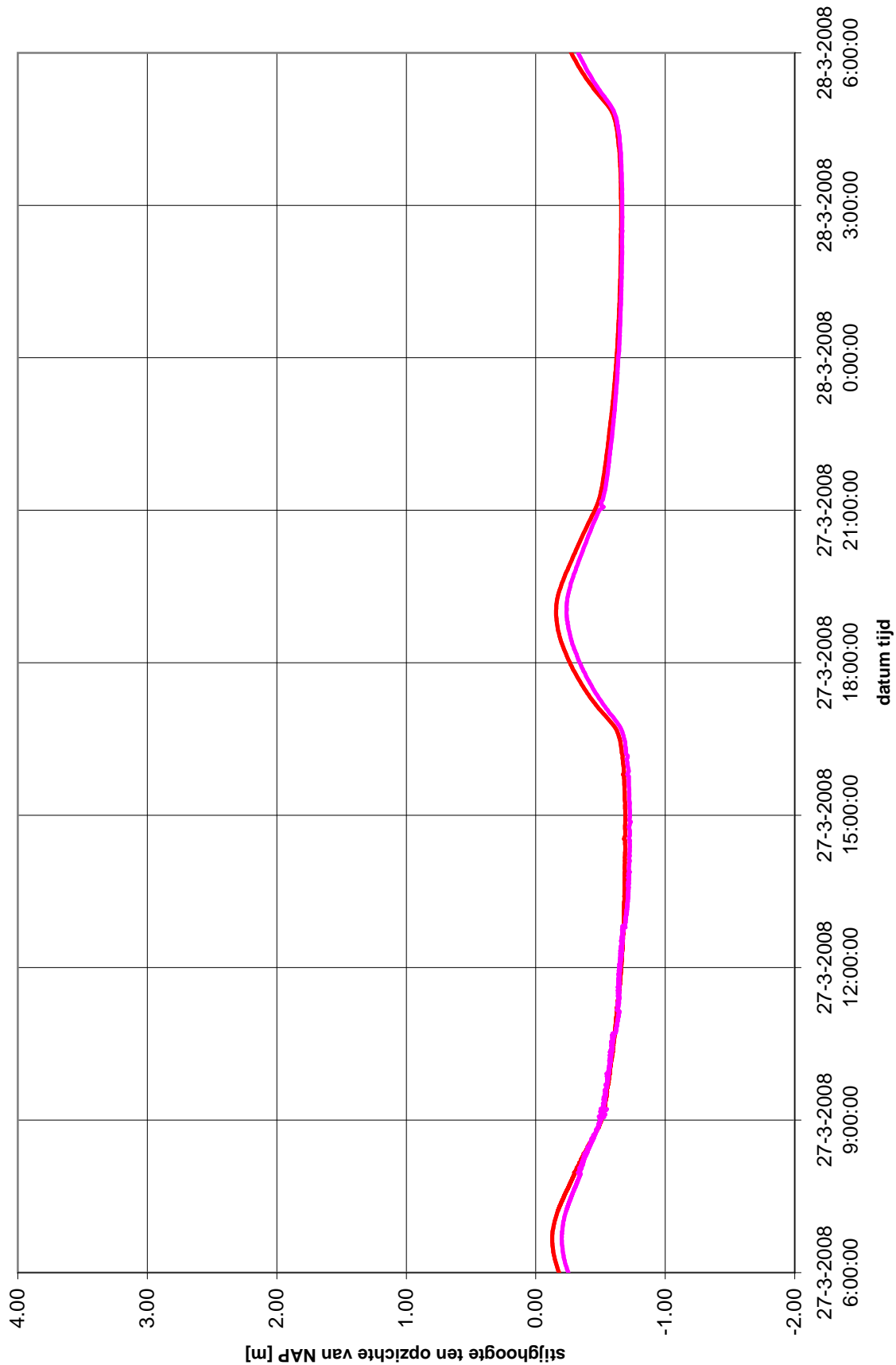
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijke
REGISTRATIE PR, 26-03-2008

datum	23-6-2008	Get. Waar
	CO-432850	Gez. *
BIJL.	W19	form. A4



Deltares

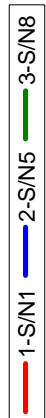
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfoverslagproeven Zeeland
Monitoring PR-waterspanningsmeters Kattendijkje
REGISTRATIE PR, 27-03-2008

datum	23-6-2008	Get. Waar
	CO-432850	Gez. *
BIJL. W20		form. A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volume vochtgehalte sensoren Kattendijke

REGISTRATIE THETAPROBES 12-3-2008 T/M 7-4-2008

CO-432850

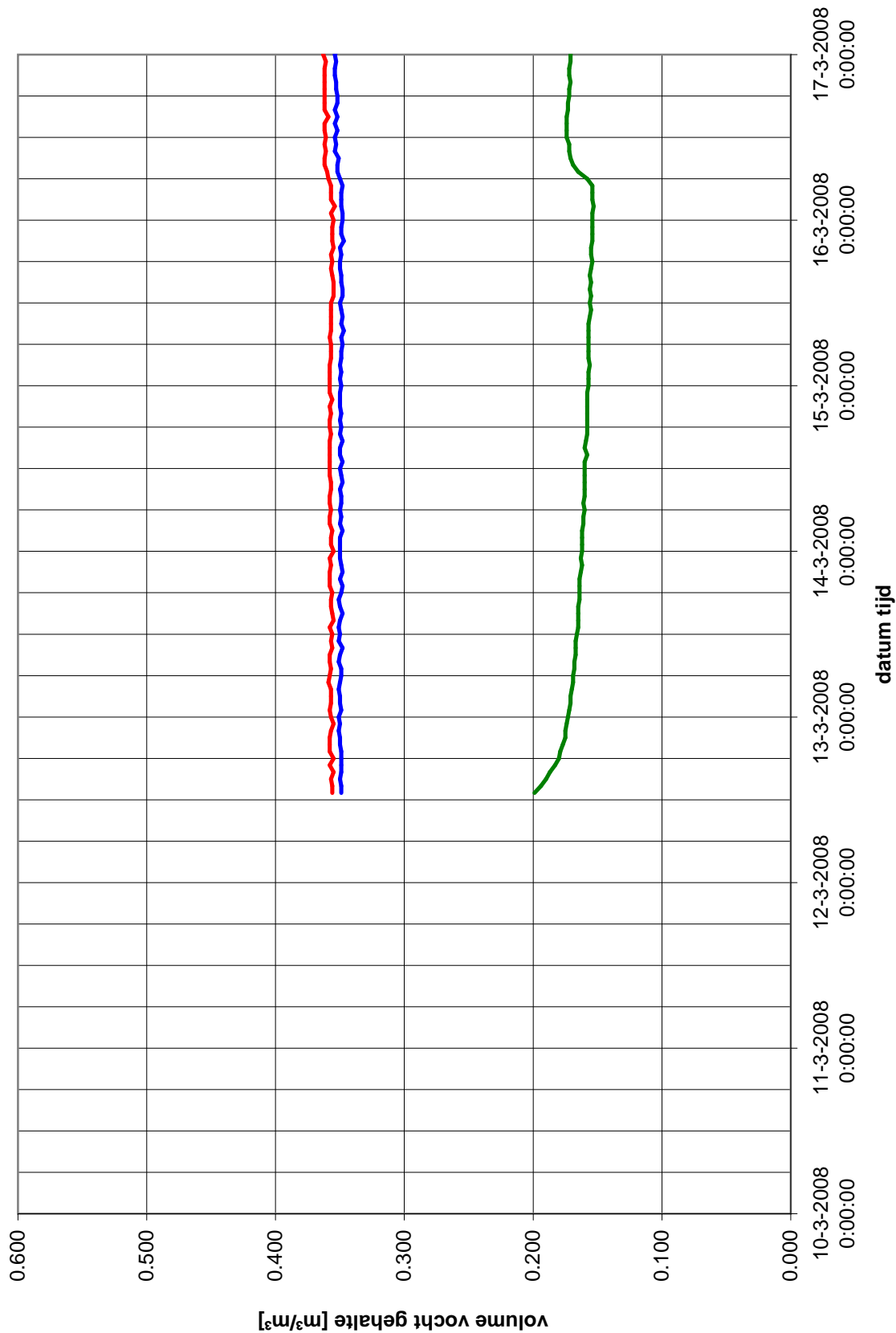
Gez.

*

BIJL. X12

form.

A4



Deltares

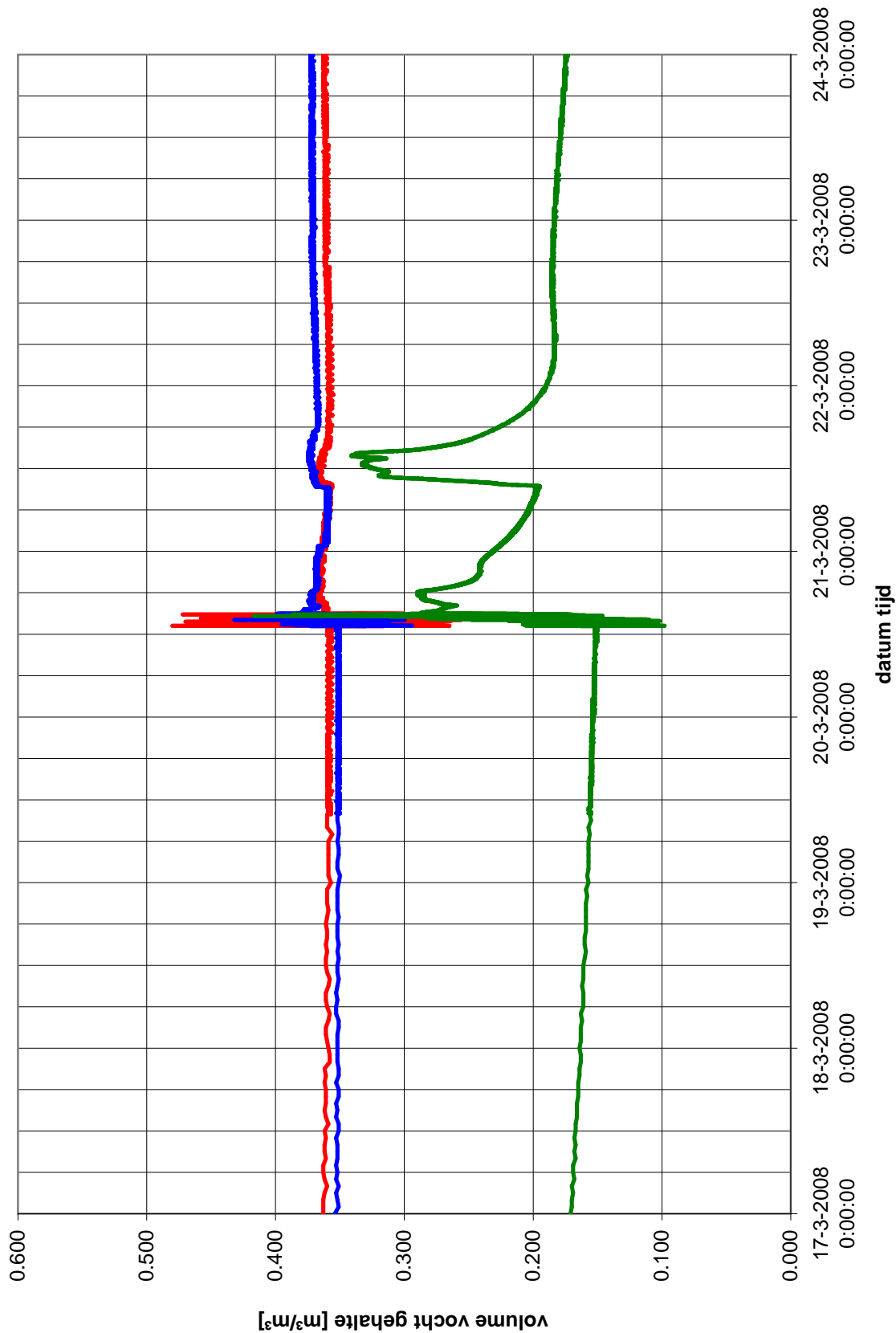
PO Box 177, 2600 MH, Delft, The Netherlands
Stieltjesweg 2, 2628 CK, Delft, The Netherlands

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

Golfverslagproeven Zeeland
Monitoring volume vochtgehalte sensoren Kattendijkje
REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 11

datum	23-6-2008	Get.	Waar
	CO-432850	Gez.	*
BIJL.	X13	form.	A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijkje

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 12

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

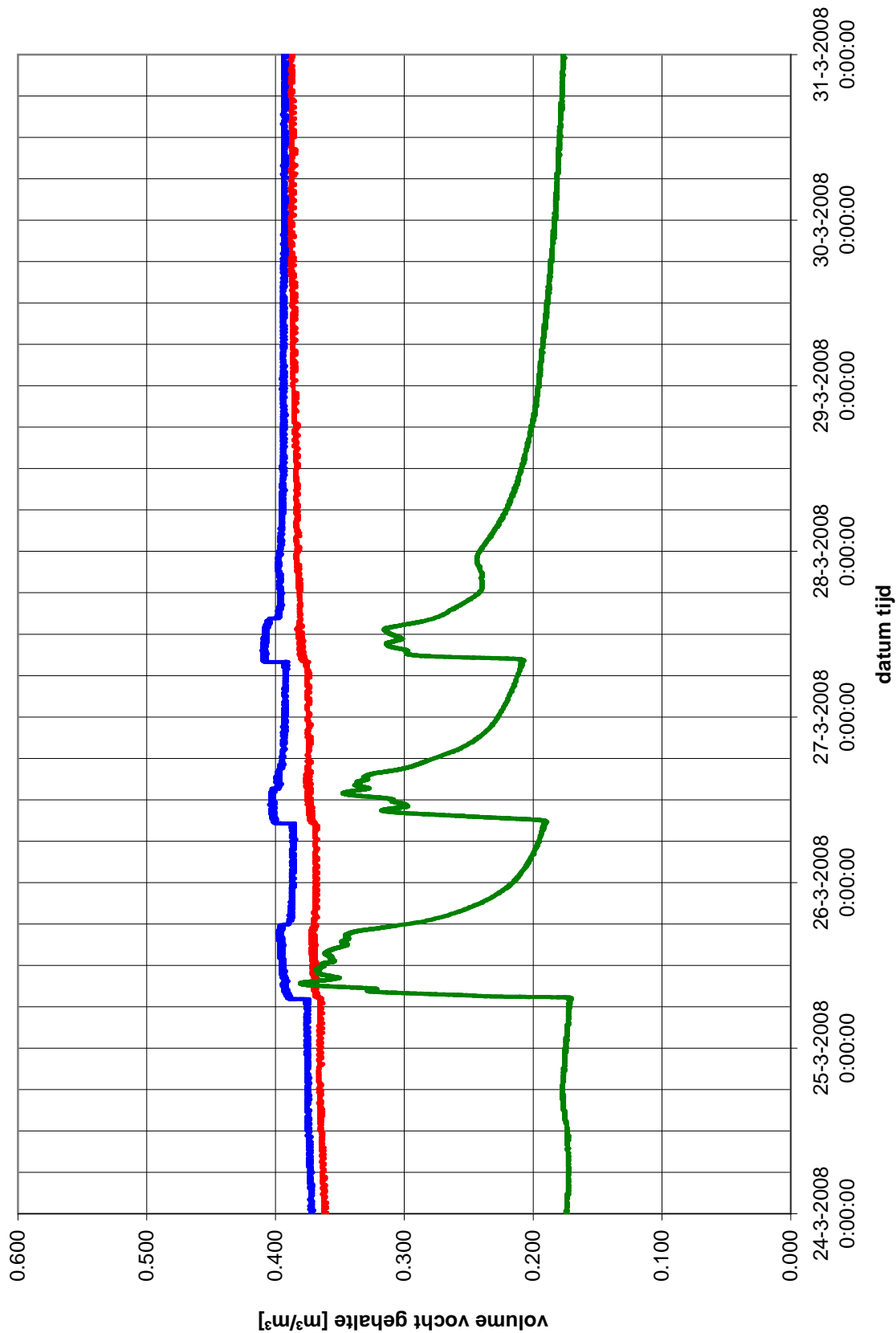
Gez.

*

BIJL. X14

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijkje

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 13

CO-432850

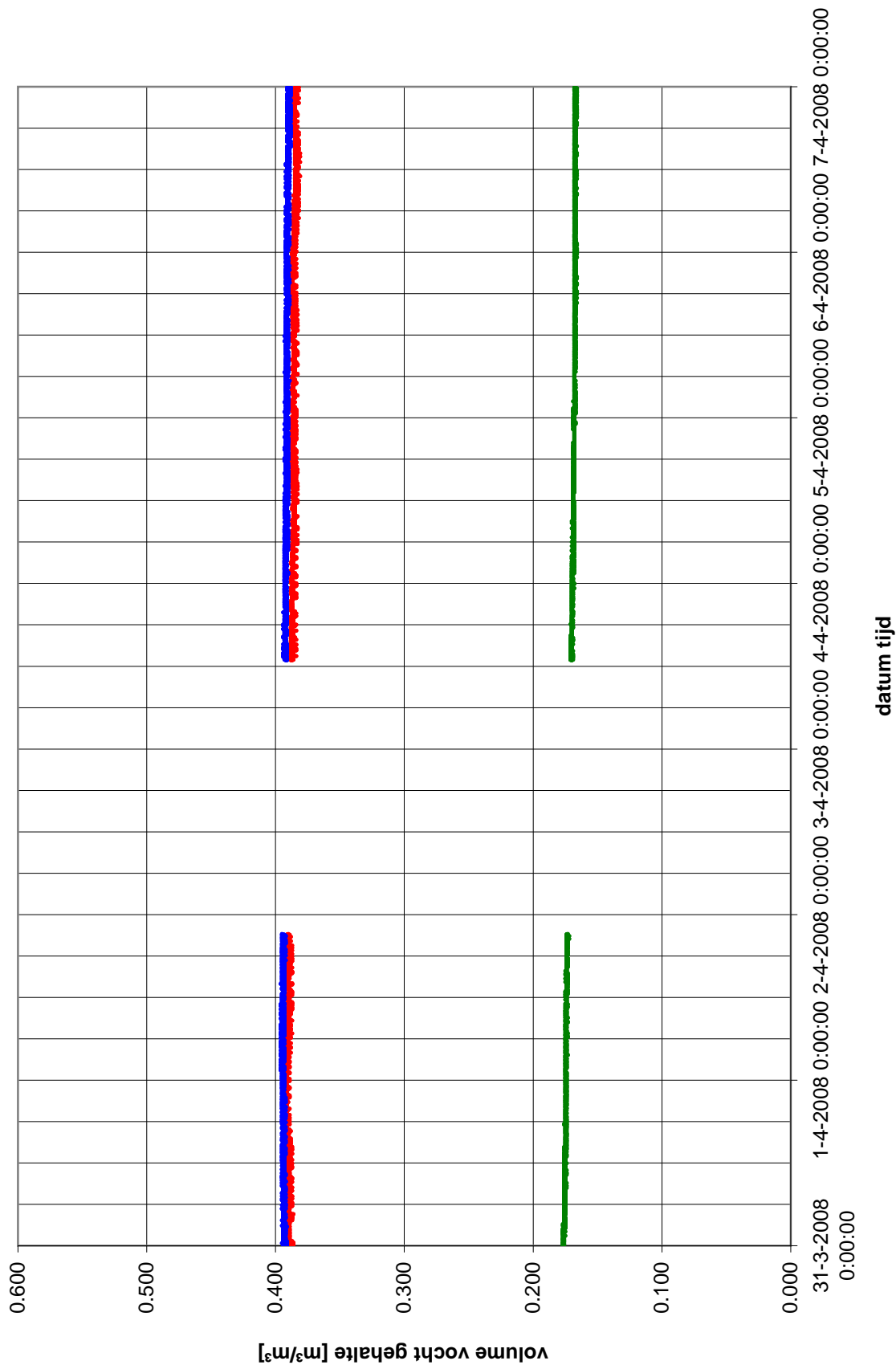
Gez.

*

BIJL. X15

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijkje

REGISTRATIE THETAPROBES WEEK 14

CO-432850

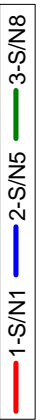
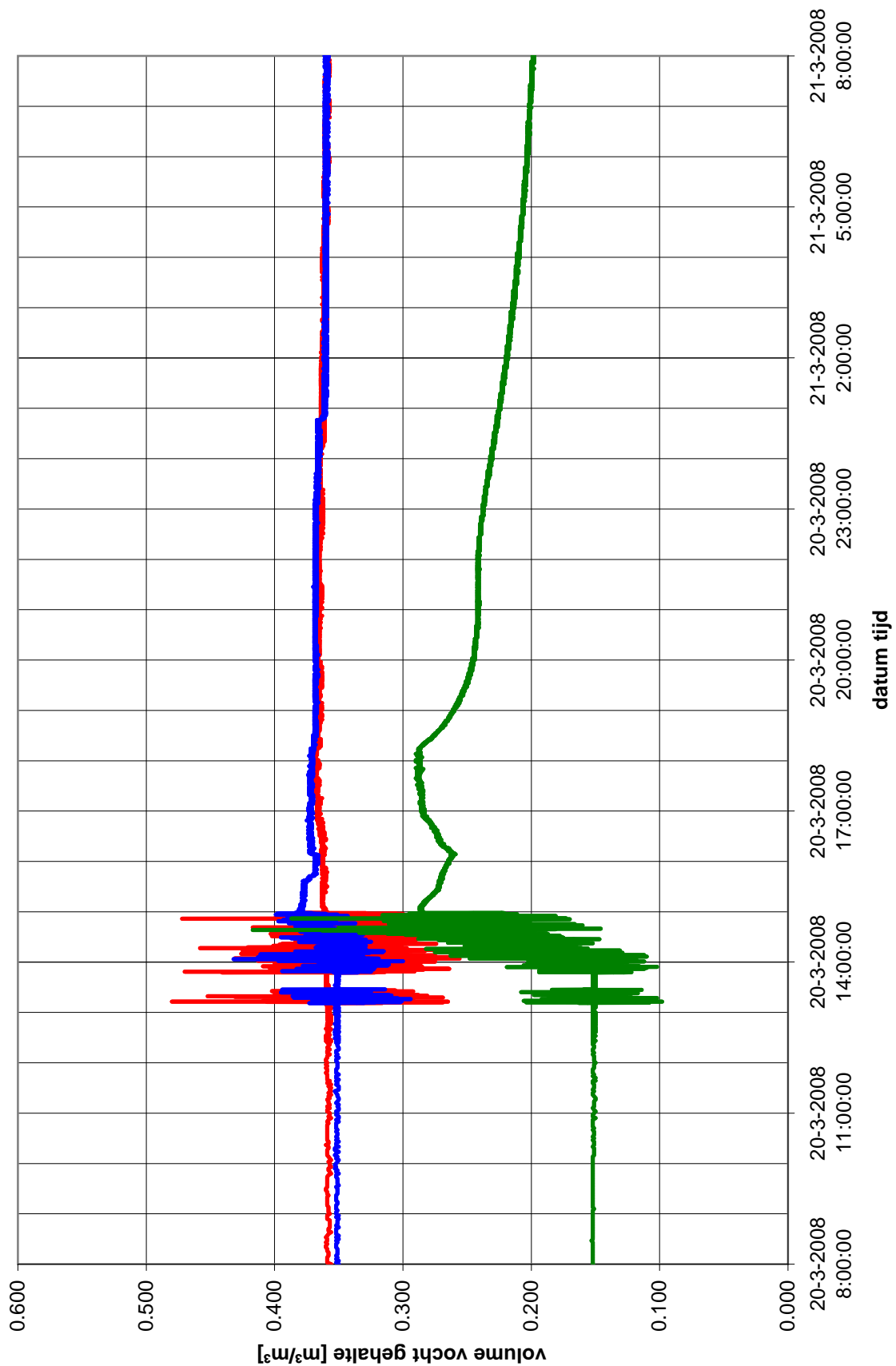
Gez.

*

BIJL. X16

form.

A4



Deltares

PO Box 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

23-6-2008

Get.

Waar

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volume vochtgehalte sensoren Kattendijke

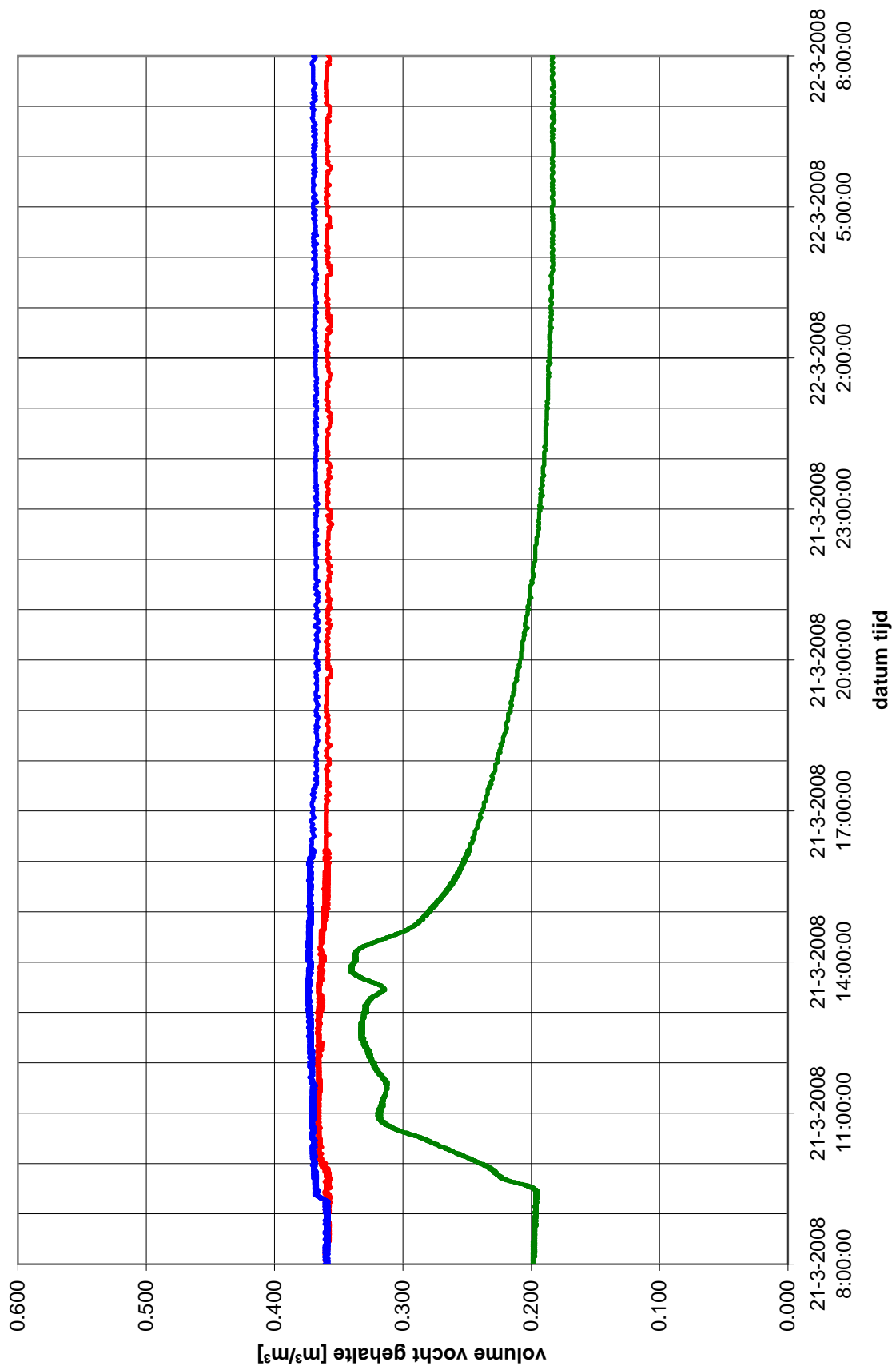
REGISTRATIE THETAPROBES 20-03-2008

CO-432850

Gez.
*

BIJL. X17

form.
A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijke

REGISTRATIE THETAPROBES 21-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

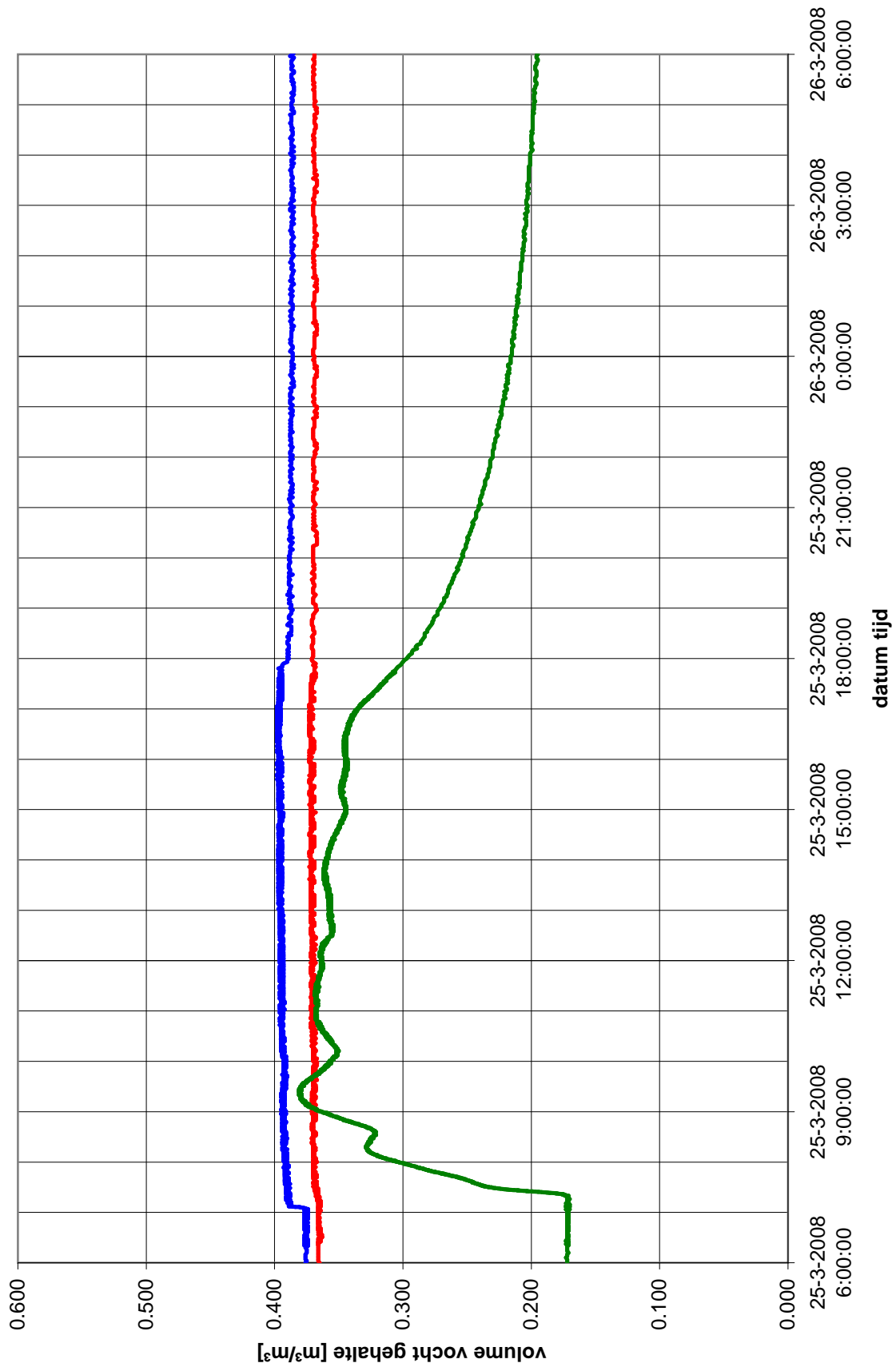
Gez.

*

BIJL. X18

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijkje

REGISTRATIE THETAPROBES 25-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

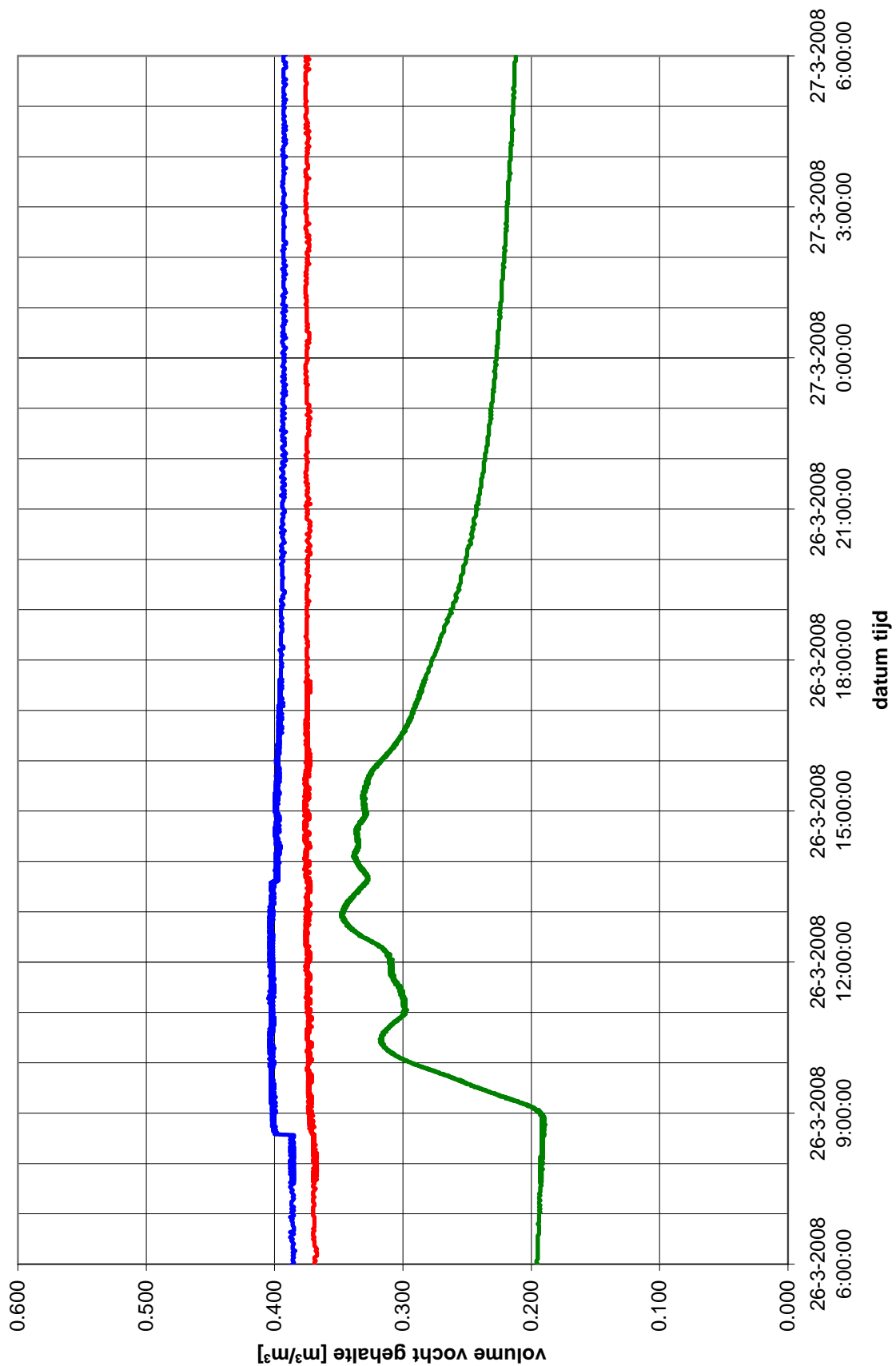
Gez.

*

BIJL. X19

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijke

REGISTRATIE THETAPROBES 26-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

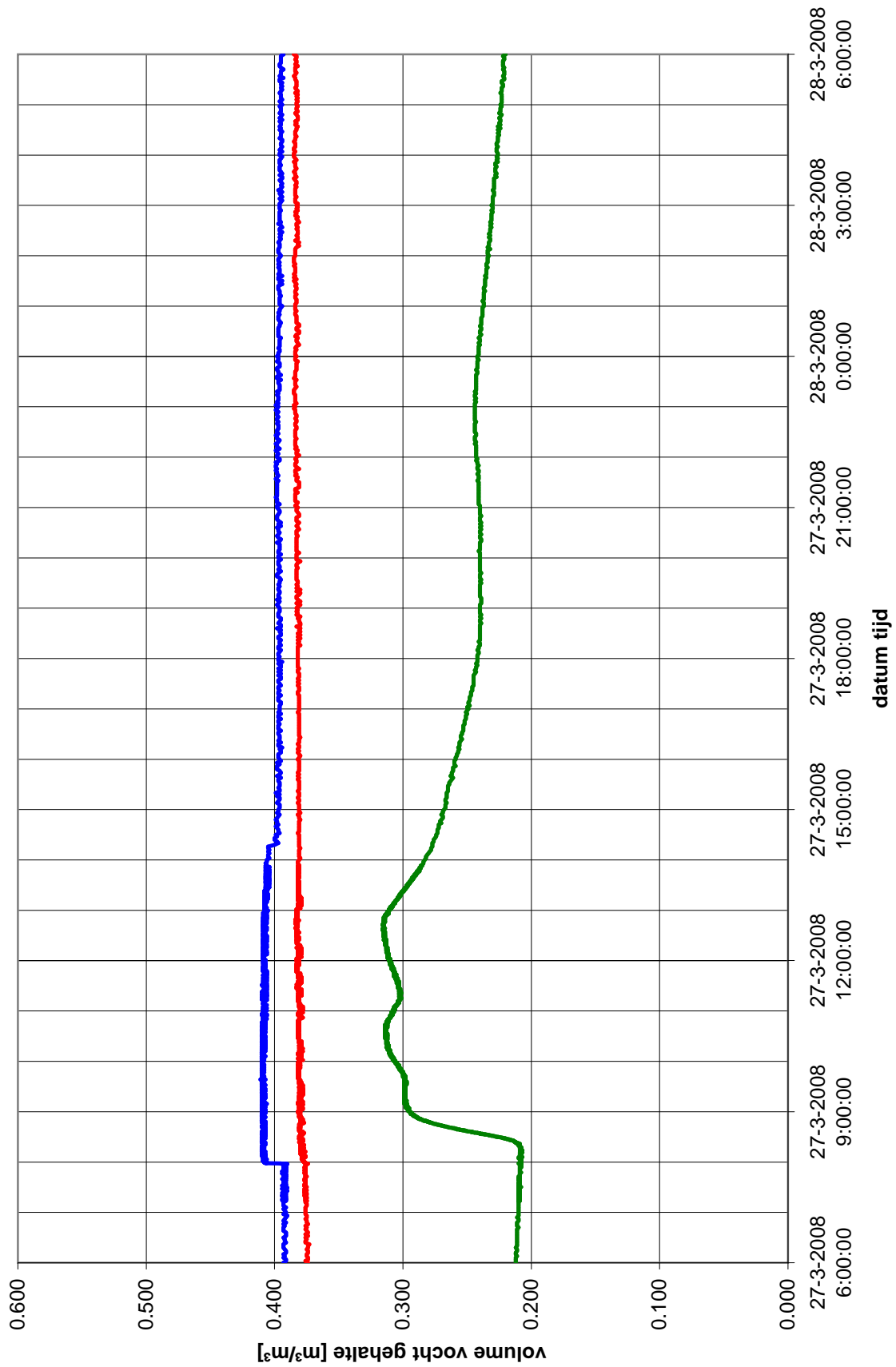
Gez.

*

BIJL. X20

form.

A4



Deltares

PO Box 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

Golfverslagproeven Zeeland

Monitoring volumevochtgehalte sensoren Kattendijkje

REGISTRATIE THETAPROBES 27-03-2008

datum

23-6-2008

Get.

Waar

CO-432850

Gez.

*

BIJL. X21

form.

A4

Bijlage 3 Grasonderzoek

Bepaling van doorworteling en zodeparameters van dijkgrasland in Zeeland

Bepaling van doorworteling en zodeparameters ten behoeve van de golfoverslagproef in Wilhelminapolder en de Oude Polder van St Philipsland, 2008



M.H.C. van Adrichem
J.Y. Frissel
H.P.J. Huiskes
Alterra, Wageningen UR, 2008

1 Inleiding

Dit onderzoek is uitgevoerd van februari tot en met maart 2008 in opdracht van Infram BV. Ten behoeve van de Golfverslagproef in de Wilhelminapolder (Zuid-Beveland) en de Oude Polder van St Philipsland in Zeeland zijn in beide polders de doorworteling en de zodeparameters van een dijkvak bepaald en is de vegetatie beschreven.



Foto 1: Proefvak Wilhelminapolder, Zeeland, februari 2008



Foto 2: Proefvak St Philipsland, Zeeland, februari 2008

Locatie en uitgevoerde werkzaamheden

De proefvakken liggen in Zeeland op de zeedijken nabij Kattendijke en St Philipsland. Het beheer van het proefvak nabij Kattendijke bestaat uit drie maal per jaar maaien en bemesting. Het beheer van het proefvak bij St Philipsland bestaat uit één maal per jaar maaien.

In februari 2008 is de doorworteling van de twee dijkvakken bepaald. De doorworteling is bepaald met behulp van de 'handmethode' volgens het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid' (Min V&W, 2007; Sprangers & Arp, 1999).

In maart 2008 zijn naast de doorworteling het wortelgewicht en de zodedichtheid bepaald. De zodedichtheid is bepaald aan de hand van de parameters: bedekking, gemiddelde grootte van open plekken en plantdichtheid.

Verder is tijdens deze ronde de vegetatie beschreven volgens de methode van Braun-Blanquet met aangepaste schaal (Braun-Blanquet, 1932).

Algemeen

De proefvakken op de dijken van Wilhelminapolder en St Philipsland liggen op de binnenzijde van het talud. Het vak bij Wilhelminapolder is naar het zuidwesten geïmponeerd en heeft een helling van 1:3. Het vak bij St Philipsland is naar het noordoosten geïmponeerd en heeft een helling van 1:2,5. In beide vakken is muizenactiviteit en veel mollenactiviteit waargenomen.

Beheer

De dijken bij Wilhelminapolder en St Philipsland zijn eigendom van Waterschap Zeeuwse Eilanden, maar worden in de praktijk beheerd door pachters. De dijken worden gemaaid. Mollen worden niet of nauwelijks weggevangen.

Tabel 1: Coördinaten en beheer van de proefvelden bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland

Proefvak	Bemest	Maaien	Beweiden	X-coördinaat	Y-coördinaat
Wilhelminapolder	> 100 kg/ha/jaar	2/3x per jaar	niet	54.309	394.304
St Philipsland	niet	1x per jaar	niet	67.635	403.571

Doorworteling van de bodem

De doorworteling is op twee verschillende tijdstippen bepaald: in februari en in maart 2008. Per proefvak zijn vier wortelmonsters gestoken met een gutsboor van drie cm in diameter. De bovenste 20 cm van de monsters zijn opgedeeld in stukken van 2,5 cm (foto 3). In elk stukje is het aantal wortels geschat. Het aantal wortels geeft aan in welke categorie de worteldichtheid van het betreffende stuk valt.



Foto 3: 'Handmethode'; de bovenste 20 cm van de wortelmonsters worden opgedeeld in stukken van 2,5 cm

Tabel 2: Gebruikte categorieën voor worteldichtheid

Categorie	Worteldichtheid
0	geen wortels aanwezig
1	1-5 wortels
2	6-10 wortels
3	11-20 wortels
4	21-40 wortels
5	Wortelmatje; of meer dan 40 wortels

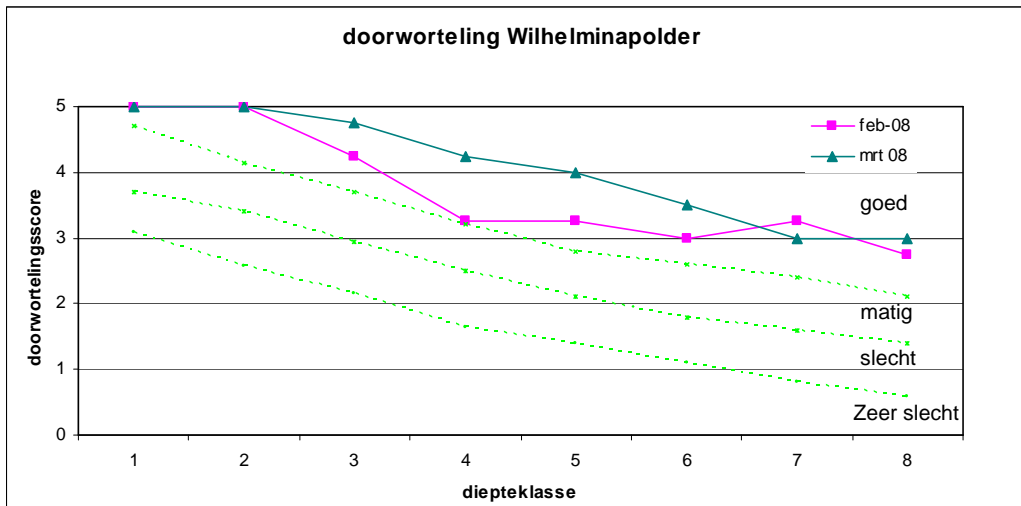
Tabel 3: Gebruikte categorieën voor diepteklassen

Categorie	Diepte (cm)
1	0 - 2,5
2	2,5 - 5
3	5 - 7,5
4	7,5 - 10
5	10 - 12,5
6	12,5 - 15
7	15 - 17,5
8	17,5 - 20

De klassen voor worteldichtheid en diepte zijn weergegeven in tabel 2 en tabel 3. Met het toenemen van de bodemdikte neemt het aantal wortels snel af. De snelheid van afname van het wortelpakket is een maat voor de erosiebestendigheid van de zode. Hoe dichter en dieper de doorworteling, des te beter is de erosiebestendigheid van de grasmat (Sprangers, 1996). De resultaten van de vier worteldichtheidsschattingen worden gemiddeld en uitgezet in een grafiek, waarbij ze per diepteklasse een score goed, matig, slecht of zeer slecht toegekend krijgen. De uiteindelijke kwaliteitsscore voor de doorworteling per proefvak is afhankelijk van de individuele score per diepteklasse. Als de score op verschillende diepten niet eenduidig is, geldt bij minimaal twee afwijkende punten de laagste score als kwaliteitsscore voor de gehele wortelsteek.

Na bepaling van de doorworteling met de 'handmethode' zijn de monsters meegenomen om in het laboratorium het gewicht van de wortelmassa te bepalen. De monsters zijn daartoe gespoeld om zand en klei te verwijderen. Vervolgens zijn de wortels over een 0,25 mm zeef verzameld. De wortels zijn bij 40^o C gedroogd en vervolgens gewogen. Via deze wortelgewichten en de specifieke wortellengte die bij het desbetreffende beheer hoort, zijn de wortellengten van de wortelmonsters bepaald.

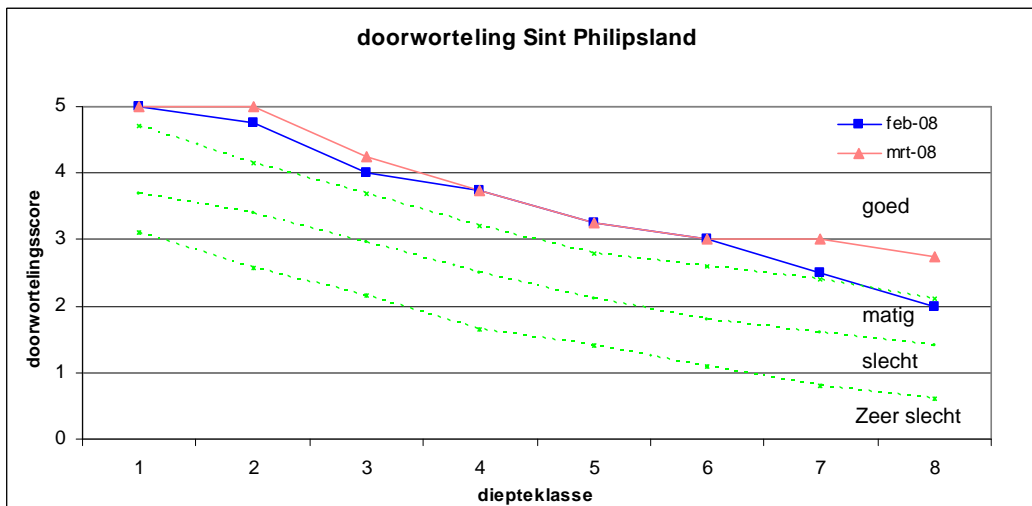
In figuur 1 is de doorworteling van Wilhelminapolder weergegeven op twee tijdstippen. Alle wortelscores krijgen de waarde 'goed' toegekend. Verder is te zien dat de doorworteling van 5 tot en met 15 centimeter in maart hoger scoort dan in februari. Dit is te verklaren doordat in maart de groei van de vegetatie en de doorworteling op gang is gekomen, vooral door de hoge temperatuur in februari en maart. Hoogstwaarschijnlijk is de doorworteling in de eerste twee diepteklassen ook toegenomen. Bij de toegepaste methode komt dit echter niet naar voren aangezien score 5 de hoogst haalbare score is.



Figuur 1. Worteldichtheidsscore Wilhelminapolder, Zeeland, op 2 verschillende tijdstippen

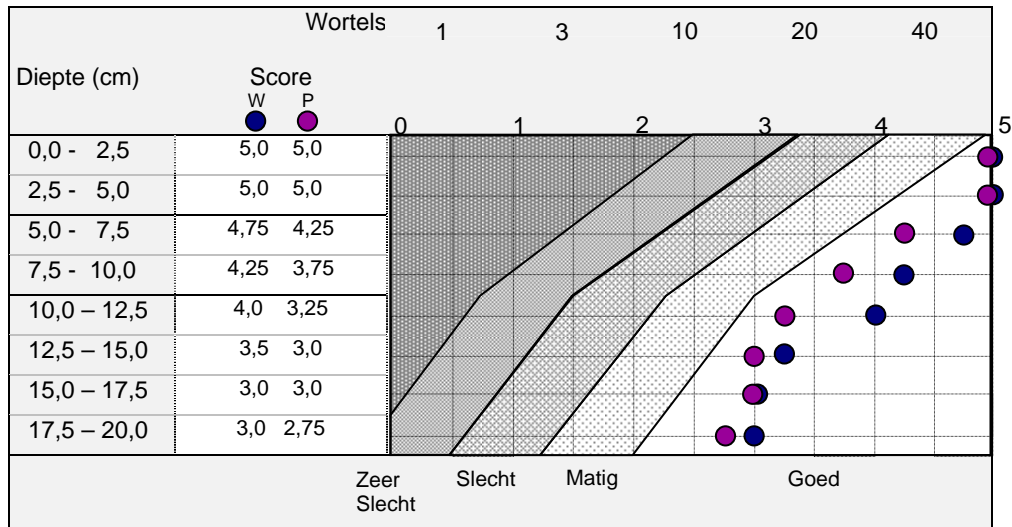
score: 0 = geen wortels aanwezig	Diepte: 1 = 0 - 2,5 cm diep
1 = zeer weinig wortels aanwezig, 1-5 wortels	2 = 2,5 - 5,0 cm diep
2 = weinig wortels aanwezig, 6 - 10 wortels	3 = 5,0 - 7,5 cm diep
3 = redelijk aantal wortels aanwezig, 11 - 20 wortels	4 = 7,5 - 10,0 cm diep
4 = veel wortels aanwezig, 21 - 40 wortels	5 = 10,0 - 12,5 cm diep
5 = zeer veel wortels, matje, >40 wortels	6 = 12,5 - 15,0 cm diep
	7 = 15,0 - 17,5 cm diep
	8 = 17,5 - 20 cm diep

In figuur 2 is de doorworteling van de Oude Polder van St Philipsland weergegeven op twee tijdstippen. Ook hier krijgen bijna alle wortelscores de waarde 'goed' toegekend. De doorworteling scoort in maart iets hoger (2,5-7,5 cm en 15-20 cm) of even hoog in vergelijking met de doorworteling in februari.



Figuur 2. Worteldichtheidsscore St Philipsland, Zeeland, op 2 verschillende tijdstippen

In het standaardbeoordelingsdiagram conform het voorschrift ‘Toetsen op Veiligheid’ (figuur 5 en 6), worden de kwaliteitsscores van de doorworteling per twee vakken weergegeven van maart 2008. Dit diagram geeft eveneens een goed beeld van de doorworteling in de gehele steek (20 cm diepte).



Figuur 3. Worteldichtheidscore Zeeland maart 2008: Wilhelminapolder (W) en Oude Polder van St Philipsland (P) met $n=4$ in een beoordelingsdiagram van de VTV

In de grafiek is te zien dat de doorworteling van beide proefvakken in maart 2008 de kwaliteitsscore ‘goed’ krijgt. Verder valt op dat de bewortelingsscore van Wilhelminapolder hoger is dan die van de Oude polder van St Philipsland.

Wortellengte

Om de wortellengte te kunnen bepalen zijn het wortelgewicht en de specifieke wortellengte nodig. Het wortelgewicht is per diepteklasse per wortelmonster bepaald. In tabel 4 zijn de gemiddelde wortelgewichten per diepteklasse per proefvak weergegeven. Het totale gemiddelde wortelgewicht van de gehele steek is voor Wilheminaapolder 47,0 g/dm³ en voor St Philipsland 41,9 g/dm³.

Tabel 4: Gemiddelde wortelgewichten in gram per dm³ van de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

Diepteklasse	Proefvakken	
	Wilhelminapolder	St Philipsland
1	16.0	22.0
2	11.4	5.3
3	6.7	3.8
4	3.5	2.8
5	2.9	2.8
6	2.2	1.9
7	1.6	2.2
8	2.6	1.2

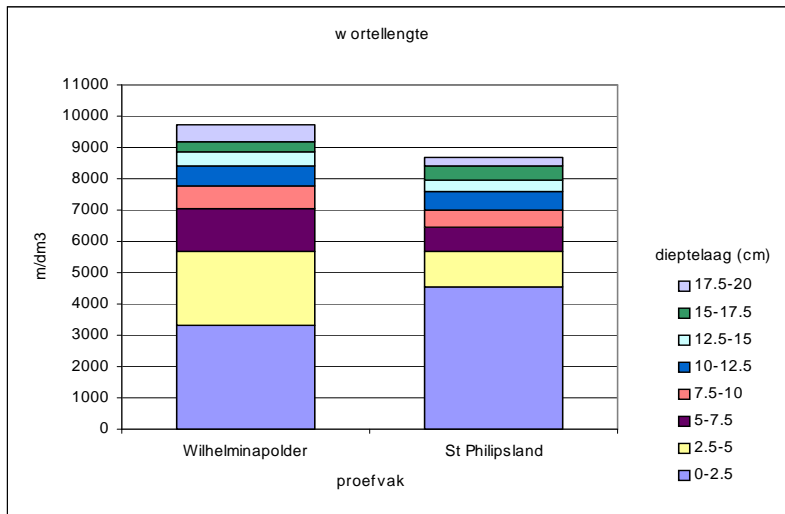
De specifieke wortellengte is de lengte van de wortels per wortelgewicht. Elk type beheer heeft zijn eigen specifieke wortellengte. De lengte, noch het gewicht alleen zijn goede aanduidingen voor de mate van doorworteling. Een hoog gewicht kan bij een hoge gemiddelde worteldiameter al snel bereikt zijn. In tabel 5 wordt de specifieke wortellengte (SWL) per beheersvorm weergegeven. Hoge waarden voor de SWL in combinatie met een laag wortelgewicht duiden op dunne wortels. Een hoge SWL waarde in combinatie met een laag wortelgewicht duidt op veel dunne wortels. Voor de omrekening van gewicht naar lengte is in dit rapport gebruik gemaakt van de HI variant (Wilhelminapolder) en de HE variant (St Philipsland). Beheersvorm HE houdt in dat de vegetatie 1 (eventueel 2) maal per jaar gemaaid wordt en dat er geen bemesting plaats vindt. Het maai-beheer wordt al langere tijd op deze wijze uitgevoerd. Bij beheersvorm HI vindt er bemesting plaats, en wordt er 2 á 3 maal per jaar gemaaid. Bij deze hooivarianten zijn dikke wortels aanwezig, waardoor de SWL-waarde laag is.

Tabel 5 *Cumulatieve wortellengte (WLT), wortelgewicht (WGT) en hun procentuele verdeling; specifieke wortellengte (SWL) en spruit/wortelratio (SWR) per beheersvorm*

parameter n	I 13	WW 6	HW 5	HH 11	HI 5	HE 5	he 3
WLT (m/5dm ³)	1600	1522	1754	1716	1615	1640	2172
% 0-10 cm	62	64	62	62	58	59	65
% 10-20 cm	16	18	17	15	18	19	16
% 20-50 cm	22	18	21	23	24	22	19
WGT (g/5dm ³)	5,9	5,9	5,6	7,4	7,8	8,2	7,7
% 0-10 cm	64	68	62	58	60	65	68
% 10-20 cm	15	15	16	18	17	16	13
% 20-50 cm	21	17	22	24	23	19	19
SWL (m/g)	291 ^b	267 ^{ab}	309 ^b	282 ^b	210 ^a	207 ^a	283 ^{ab}
SWR	0,94	0,73	--	0,7	0,91	0,62	0,46

(Sprangers, 1996)

Via bovenstaande tabel en het gemiddelde gewicht per diepteklasse is de lengte van de wortels berekend.



Figuur 4: Wortellengte in m/dm^3 per diepteklasse in de proefvelden bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008, berekend met behulp van gewicht en specifieke wortellengte

De wortellengte neemt in alle proefvelden af met de diepte. De eerste bodemlagen hebben een gemiddelde lengte van meer dan 3300 meter per dm^3 . Sprangers & Raemakers (1998) vonden eveneens dit soort hoge waarden in de eerste bodemlaag. Deze hoge waarden, worden veroorzaakt door de grote hoeveelheid aan zeer kleine, vaak opgerolde wortels. Deze wortels zijn bij het bepalen van de SWL ook gemeten. De wortellengte neemt bij Wilhelminapolder geleidelijker af met de diepte dan bij St Philipsland. Dit betekent dat de wortels bij Wilhelminapolder iets gelijkmatiger over de gehele wortelsteek verdeeld zitten. Het proefvak bij St Philipsland heeft in de eerste diepteklasse duidelijk meer lengte aan wortels dan Wilhelminapolder. Het proefvak in Wilhelminapolder bevat in de volgende lagen echter een grotere wortellengte. De totale wortellengte is bij het proefvak in Wilhelminapolder iets hoger.

Vegetatie

Het vegetatietype is bepaald volgens het cursusboek “kwaliteitsherkenning dijkgrasland” (2004). De coördinaten zijn in het midden van het proefvak bepaald, met behulp van GPS (tabel 1).

Tabel 6: Karakteristieke soorten van proefvelden Wilhelminapolder en St Philipsland in Zeeland, maart 2008

Soort	Proefvak		Nederlandse naam
	Wilhelminapolder	St Philipsland	
<i>Achillea millefolium</i>		X	Gewoon duizendblad
<i>Agrostis stolonifera</i>		X	Fioringras
<i>Allium vineale</i>	X	X	Kraailook
<i>Daucus carota</i>		X	Peen
<i>Festuca rubra</i>		X	Rood zwenkgras s.s.
<i>Lolium perenne</i>	X	X	Engels raaigras
<i>Plantago lanceolata</i>	X	X	Smalle weegbree
<i>Ranunculus acris</i>	X	X	Scherpe boterbloem
<i>Senecio erucifolius</i>		X	Viltig kruiskruid
<i>Trifolium dubium</i>	X		Kleine klaver
<i>Trifolium pratense</i>	X		Rode klaver

Wilhelminapolder

Dit proefvak valt binnen de VTV-graslandtypeindeling in de categorie soortenrijk hooiland. Een combinatie van Rietzwenkgras en Engels raaigras geeft de vegetatie een ruig aanzicht. Het aandeel kruiden is redelijk. De lage bedekking door kruiden laat zien dat deze vegetatie waarschijnlijk naar een minder soortenrijk vegetatietype overgaat. In het oog springende soorten op deze locatie zijn Kraailook en Scherpe boterbloem.

St Philipsland

Dit proefvak valt binnen de VTV-graslandtypeindeling eveneens in de categorie soortenrijk hooiland. Het is een soortenrijk type grasland dat onder een maai-beheer langjarig in stand kan blijven. In deze vegetatie wordt het aanzicht bepaald door een combinatie van grassen en kruiden. Het voorkomen van Viltig kruiskruid zou op termijn een probleem kunnen vormen wanneer het maaisel als hooi wordt gebruikt. Dit vanwege de giftigheid van deze soort voor evenhoevigen. Bij begrazing en voldoende aanbod van gras laten grazers de plant staan. De mosbedekking op deze locatie is aanzienlijk. Erg in het oog springende soorten op deze locatie zijn Kraailook, Viltig kruiskruid en Veldlathyrus.

Zodedichtheid

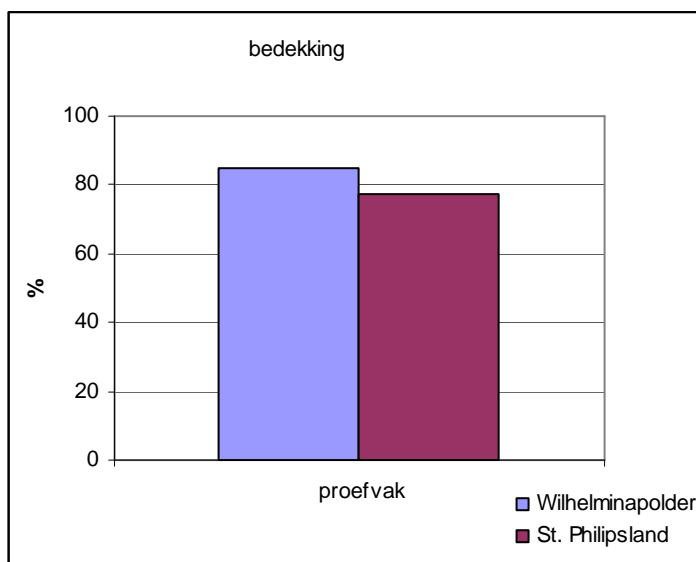
De bedekking kan nog opgesplitst worden in geschatte bedekking, en gemeten bedekking. De *geschatte bedekking* wordt geschat bij de vegetatieopname, waarbij het aandeel grassen, kruiden en mossen wordt genoteerd. Bij de *gemeten bedekking* wordt geen onderscheid gemaakt tussen gras of kruid, en worden mossen buiten beschouwing gelaten. Deze bedekking wordt bepaald met behulp van een raster met 81 meetpunten. Per meetpunt wordt bepaald of er sprake is van 'grascontact'. De meting wordt viermaal uitgevoerd in een proefvak. Het gemiddelde procentuele aantal meetpunten met 'grascontact', ten opzichte van het totaal aantal meetpunten is een maat voor de bedekking. De *gemiddelde grootte van open plekken* is bepaald met

behulp van ringetjes met oplopende diameter (Sprangers, 1996). Bij honderd meetpunten wordt bepaald in welke ring de afstand tot de eerstvolgende spruit in de bodem valt. Uit de verdeling van meetpunten over de verschillende ringetjes (diameterklassen) kan de gemiddelde open-plek-grootte worden berekend. Veel metingen in grote ringen betekent een hoger gemiddelde voor de open-plekken-grootte. De plantdichtheid wordt eveneens met deze ringmetingen bepaald. De *plantdichtheid* is een maat voor de verdeling van spruiten over het proefvak. De spruiten kunnen homogeen verdeeld zijn, of in polletjes over het vak verdeeld staan. Veel metingen in kleine ringen betekent een hoge plantdichtheid. De plantdichtheid wordt weergegeven door middel van de curve (figuur 7) met bijbehorende richtingscoëfficiënt (RICO) die de afname van het aantal spruiten weergeeft in ringen met oplopende diameter. Uitgezet wordt de logaritme van $(100-F)$, met F = de score per ring, tegen de diameter van de ring. Hoe steiler het verloop van de curve en dus hoe negatiever de waarde voor de richtingscoëfficiënt, hoe dichter spruiten op elkaar staan en dus homogener verdeeld zijn over het proefvak.

Bedekking

De geschatte bedekking in beide proefvakken is redelijk. Voor het proefvak bij Wilhelminapolder is de bedekking geschat op 80%. Voor het proefvak bij St Philipsland is de bedekking geschat op 75%.

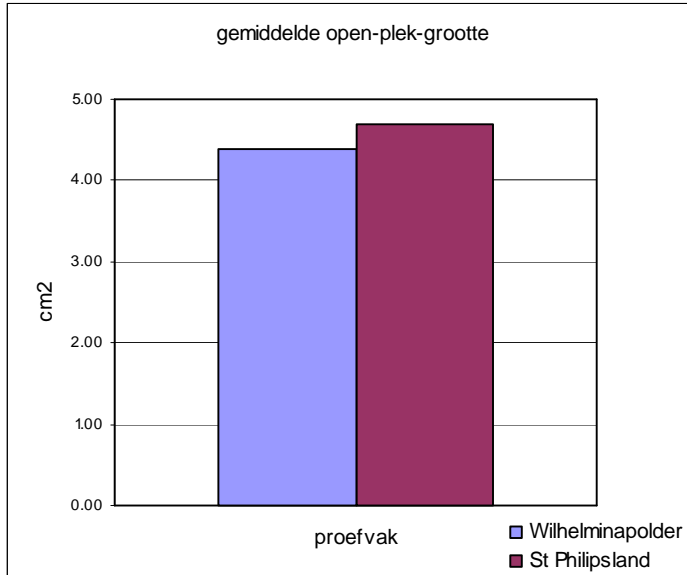
Ook de gemeten bedekking is redelijk. Het proefvak bij Wilhelminapolder heeft een bedekking van 85%. Het proefvak bij St Philipsland heeft een bedekking van 77% (figuur 5). Beide proefvakken voldoen hierdoor aan de bedekkingnorm van 70% volgens het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid'.



Figuur 5: Gemeten gemiddelde bedekking op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

Gemiddelde grootte van open plekken

De gemiddelde open-plek-grootte (OPG) in de proefvakken is af te lezen uit figuur 6. Voor beide proefvakken zijn de open plekken groot. Het proefvak in de Wilhelminapolder heeft gemiddeld iets kleinere open plekken ($4,4 \text{ cm}^2$), dan het proefvak bij St Philipsland ($4,7 \text{ cm}^2$). De open-plek-grootte van bemest grasland is meestal kleiner dan 2 cm^2 .



Figuur 6: Gemeten gemiddelde open-plek-grootte op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

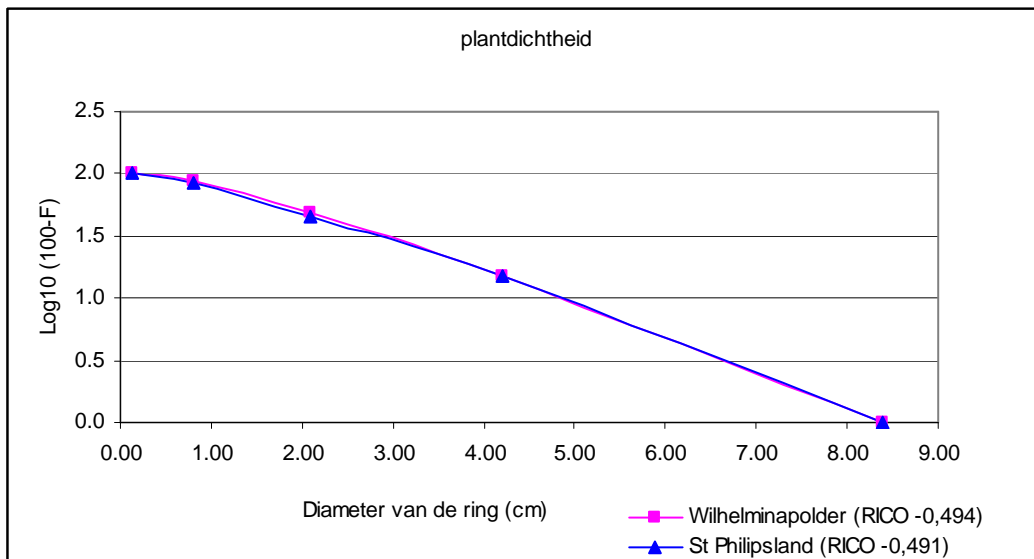


Foto 4: Open plekken in het proefvak bij Wilhelminapolder, Zeeland, februari 2008

Spruitdichtheid

Figuur 7 laat de spruitdichtheid van de proefvakken in Zeeland in maart 2008 zien. De richtingscoëfficiënt is voor beide proefvakken vrijwel gelijk. (Wilhelminapolder: -0,494, St Philipsland: -0,491).

Deze lage negatieve richtingscoëfficiënten betekenen dat de spruiten niet homogeen over het vlak verdeeld staan.



Figuur 7: Richtingscoëfficiënten van de curven voor plantdichtheid op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008.

In de tabel hieronder staat een overzicht van de gemeten zodedichtheidsparameters.

Tabel 7: Gemeten gemiddelde bedekking, gemiddelde open-plek-grootte (OPG) en richtingscoëfficiënt (RICO) op de proefvakken bij Wilhelminapolder en St Philipsland, Zeeland, maart 2008

	Bedekking (%)	OPG (cm ²)	RICO
Wilhelminapolder	85	4.4	-0.494
St. Philipsland	77	4.7	-0.491

Discussie

De worteldichtheid in het proefvak bij Wilhelminapolder neemt met de diepte veel geleidelijker af dan in het proefvak bij St Philipsland. Een reden daarvoor kan zijn dat er meer kruiden aanwezig zijn bij Wilhelminapolder. Daar staan vooral kruiden van voedselrijke gronden. Kruiden wortelen over het algemeen dieper dan grassen.

Wortellengten uit dit onderzoek kunnen niet zonder meer vergeleken worden met de wortellengten van Sprangers (1996). Destijds werd de zode (circa 1 cm) verwijderd en werd van het onderliggende monster de doorworteling bepaald. In de bovenste centimeter zitten juist de meeste wortels, waardoor de wortellengten uit 2008 hoger zijn dan de wortellengten van Sprangers in 1996. Een andere reden waarom de wortellengten van Sprangers (1996) niet met dit onderzoek vergeleken kunnen worden, is dat de specifieke wortellengten die we gebruiken, voor een wortelkolom van 50 cm diep bepaald zijn, terwijl in dit experiment de doorworteling slechts tot 20 cm diep bepaald is. De reden dat voor dit onderzoek een andere methode is gebruikt, is dat deze methode sneller is en voor iedereen uitvoerbaar. De resultaten tussen de twee proefvakken zijn onderling wel goed te vergelijken.

Het optimale tijdstip om vegetatieopnamen van dijkgraslanden te maken voor het bepalen van het vegetatietype is half juni. Gezien het relatief vroege tijdstip van deze proef (eind maart) kan het voorkomen, dat vooral jonge grassoorten verkeerd zijn benoemd of over het hoofd zijn gezien. Bepaling van het vegetatietype volgens de VTV vond wel plaats, omdat de belangrijkste bedekkende grassen en kruiden op dat moment al wel te onderscheiden zijn. Indien er een volledige vegetatieopname van deze proefvakken gewenst is, zal in juni de soortensamenstelling nogmaals genoteerd moeten worden.

Conclusie

De doorworteling scoort in februari 2008 volgens de VTV in beide proefvakken 'goed'. Van de twee wortelmetingen laten de metingen van maart 2008 de hoogste doorworteling zien. De doorworteling is in vier weken tijd zichtbaar toegenomen.

Beide locaties vallen bij de VTV-graslandtypeindeling in de categorie soortenrijk hooiland H3.

Beide proefvakken voldoen aan de bedekkingsnorm van 70% volgens het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid'. Wel zijn voor beide proefvakken de open plekken groot en staan de spruiten niet homogeen over het vlak verdeeld.

Literatuur:

Alterra, 2006. Cursusboek 'kwaliteitsherkenning dijkgrasland'. Alterra, Wageningen.

Braun-Blanquet J., 1932. Plant Sociology. The study of plant communities. New York, London: McGraw Hill Book Company.

Hennekens, S.M. & J.H.J. Schaminée, 2001. TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. Journal of Vegetation Science 12: 589-591.

Meijden, R. van der. 2005. Heukels' flora van Nederland. Drieëntwintigste druk..

Min V&W, 2007. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de toetsronde 2001 - 2006 (VTV). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Delft.

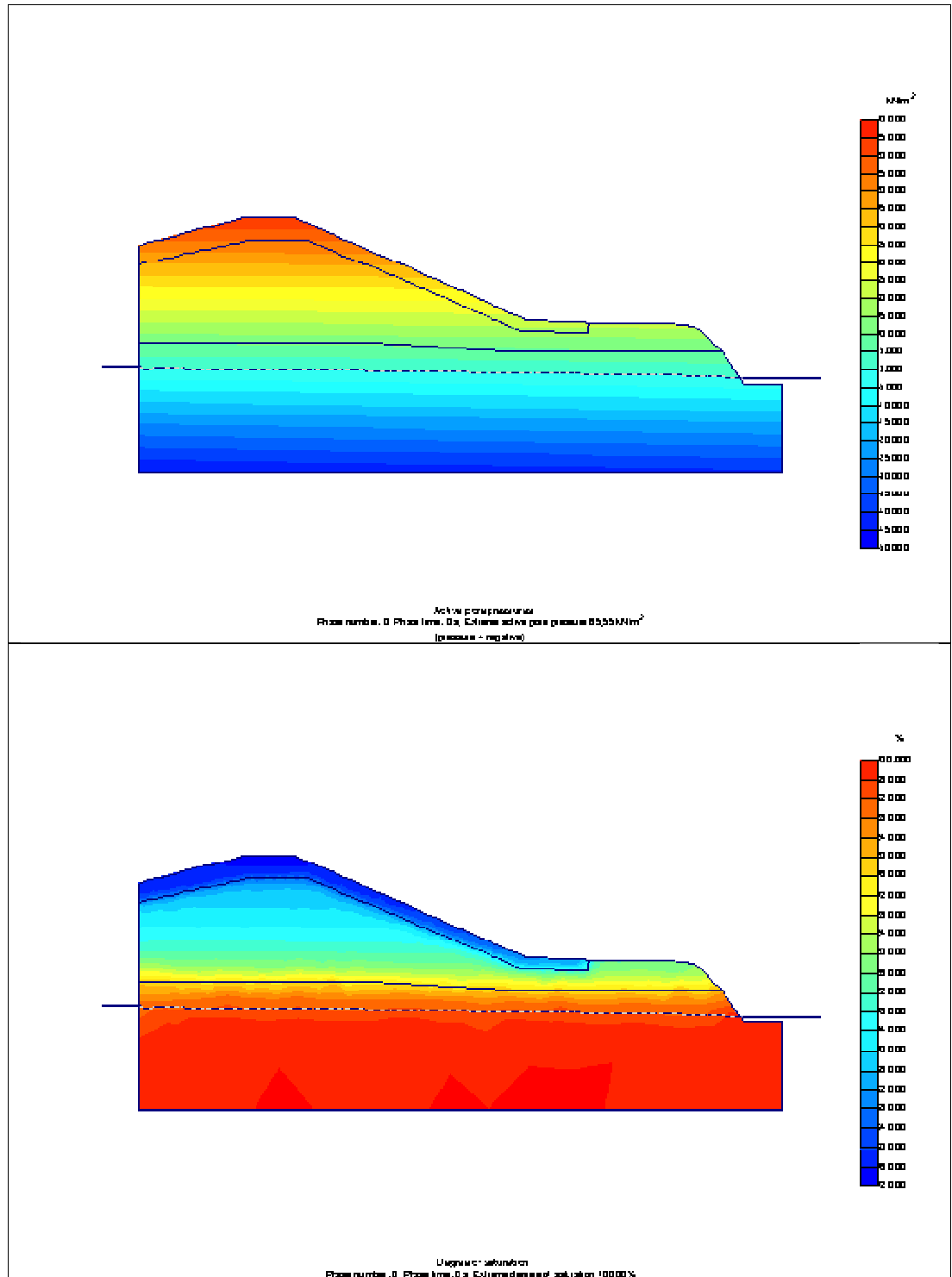
Sprangers, J.T.C.M., 1996. Extensief graslandbeheer op zeedijken. Effecten op vegetatie, wortelgroei en erosiebestendigheid. Landbouw Universiteit, Wageningen, Rijkswaterstaat, Dienst Weg en waterbouwkunde, Delft.

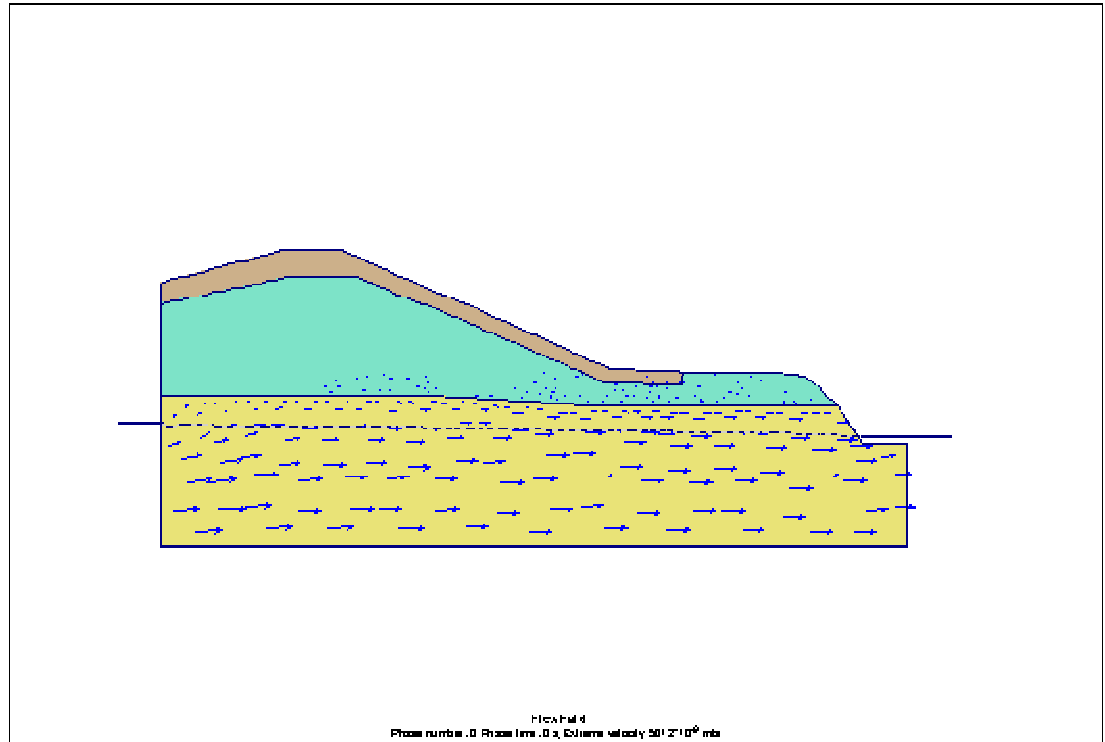
Sprangers, J.T.C.M & W.J. Arp, 1999. Toetsingsparameters dijkgrasland. *Indicatorsoorten dijkgraslandtopen en worteldichtheidsbepalingen (handmethode)*. IBN-Rapport, Wageningen.

Sprangers, J.T.C.M & I.P. Raemakers, 1998. Extensief graslandbeheer op zeedijken. Effecten op sterkte en samenstelling van de graszode na een periode van 7 jaar. Landbouw Universiteit, Wageningen, Rijkswaterstaat, Dienst Weg en waterbouwkunde, Delft.

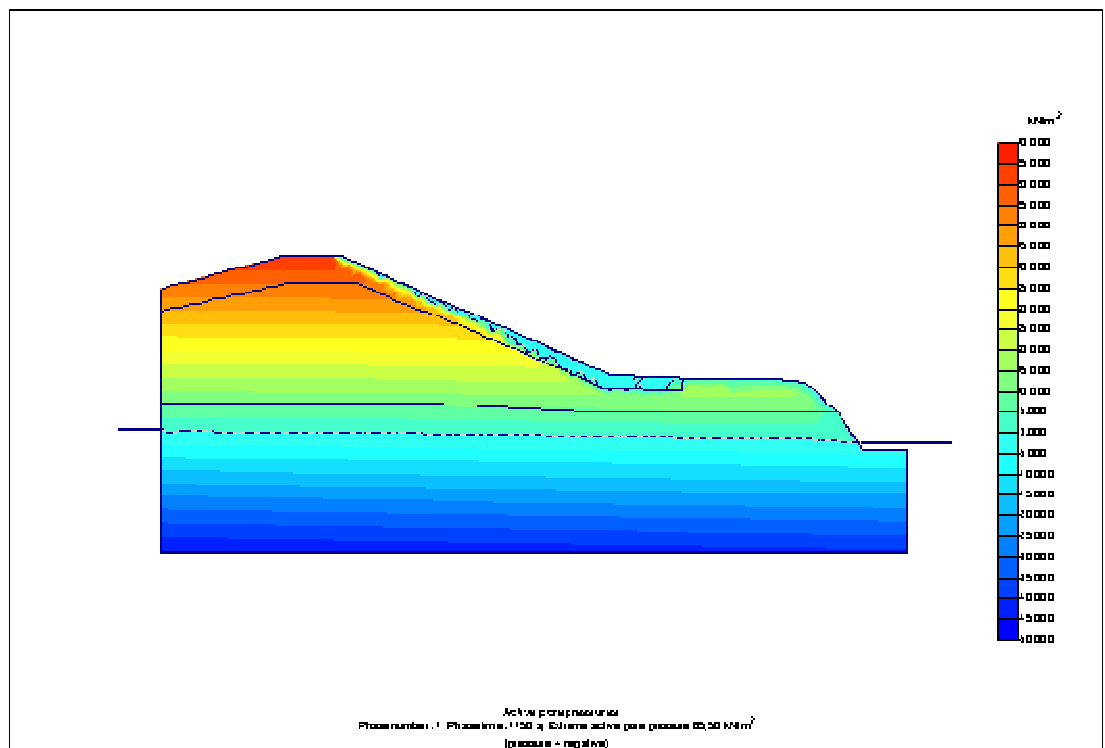
Bijlage 4 Berekeningsresultaten PlaxFlow

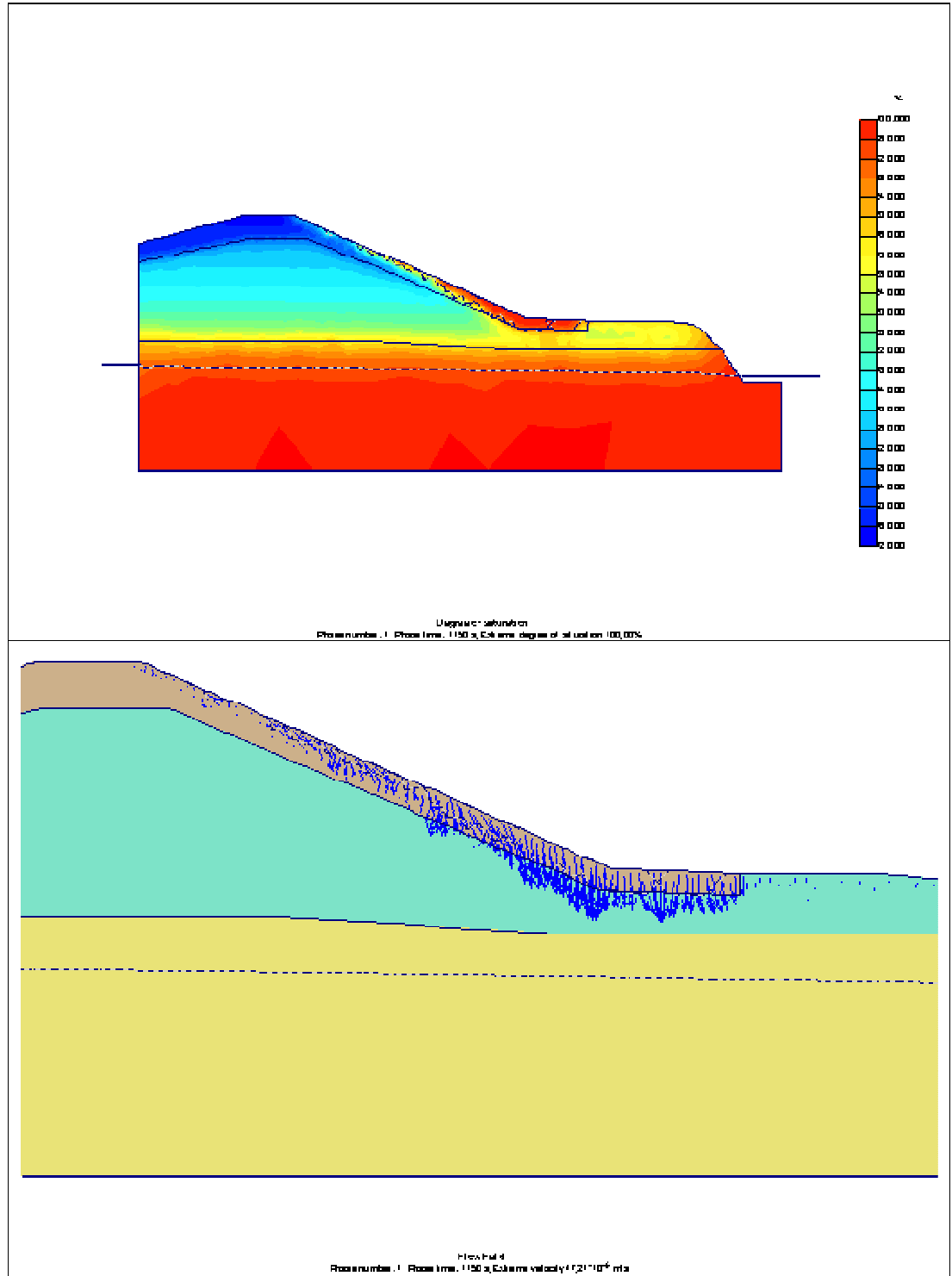
St. Philipsland initieel



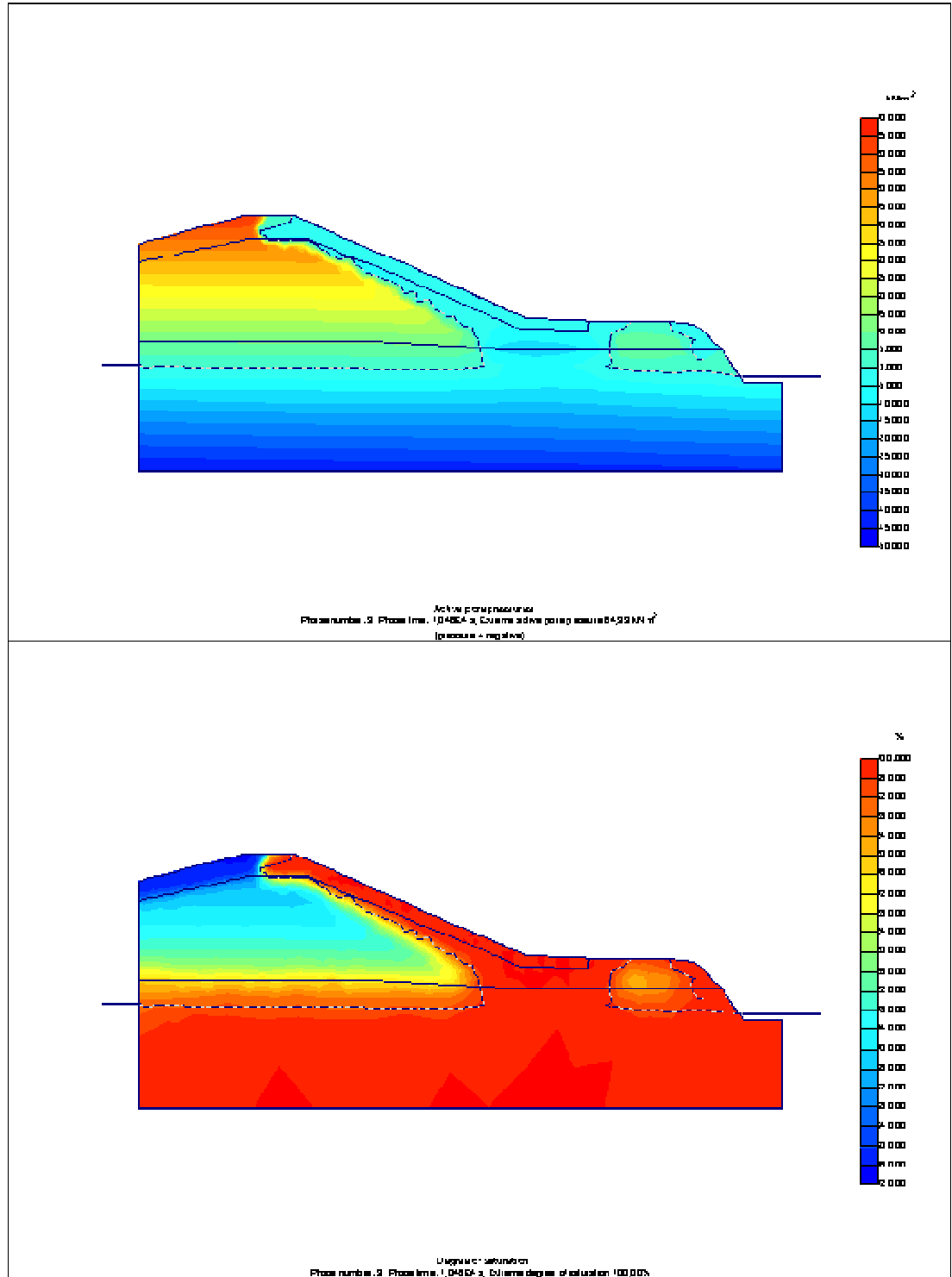


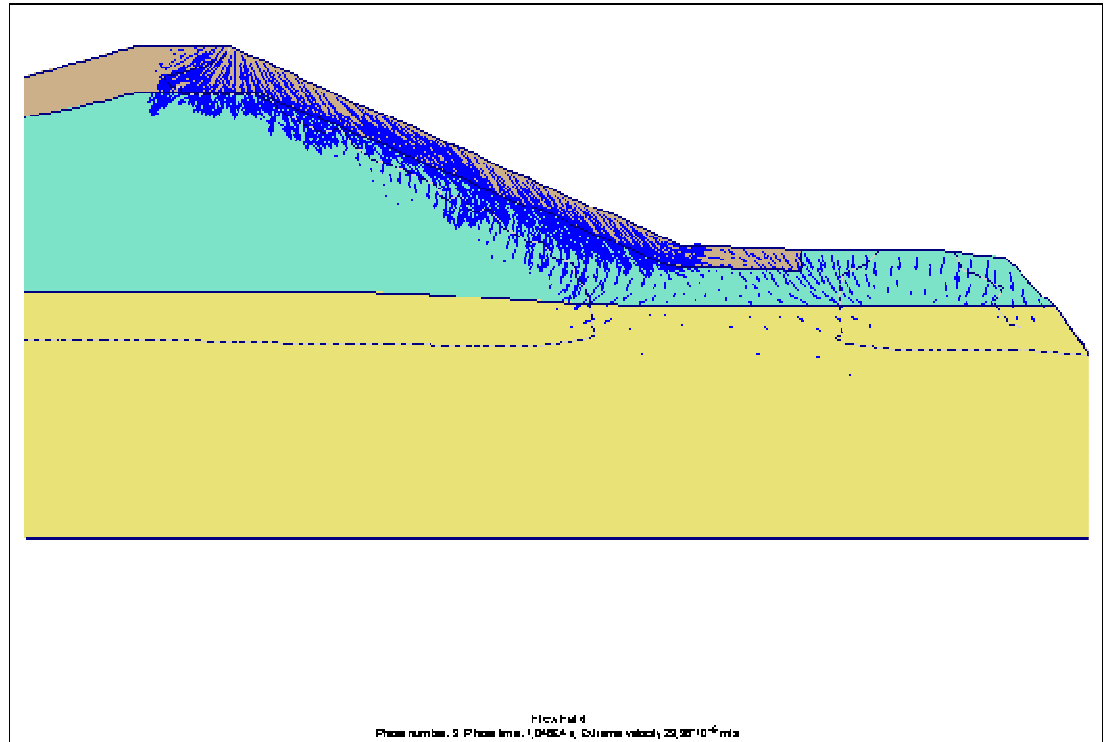
St. Philipsland 0.1 + 1 l/s per m



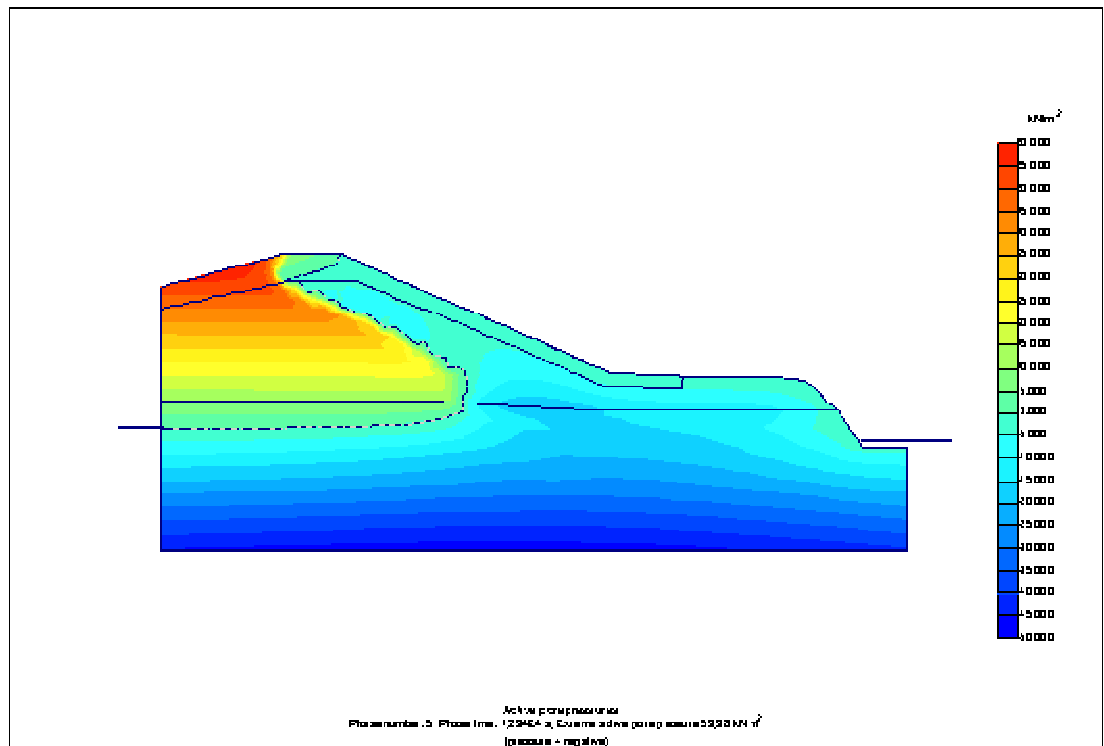


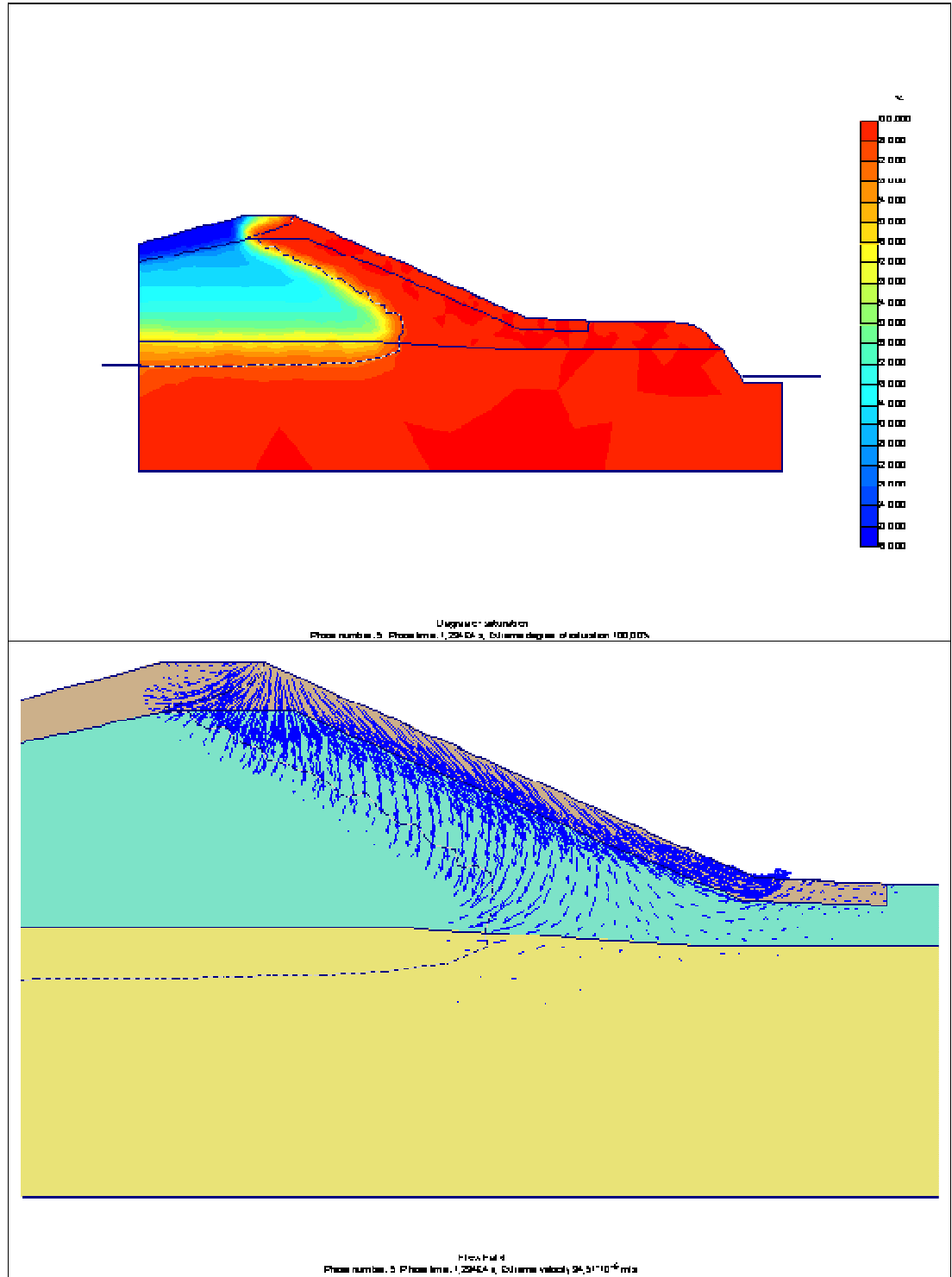
St. Philipsland 10 l/s per m



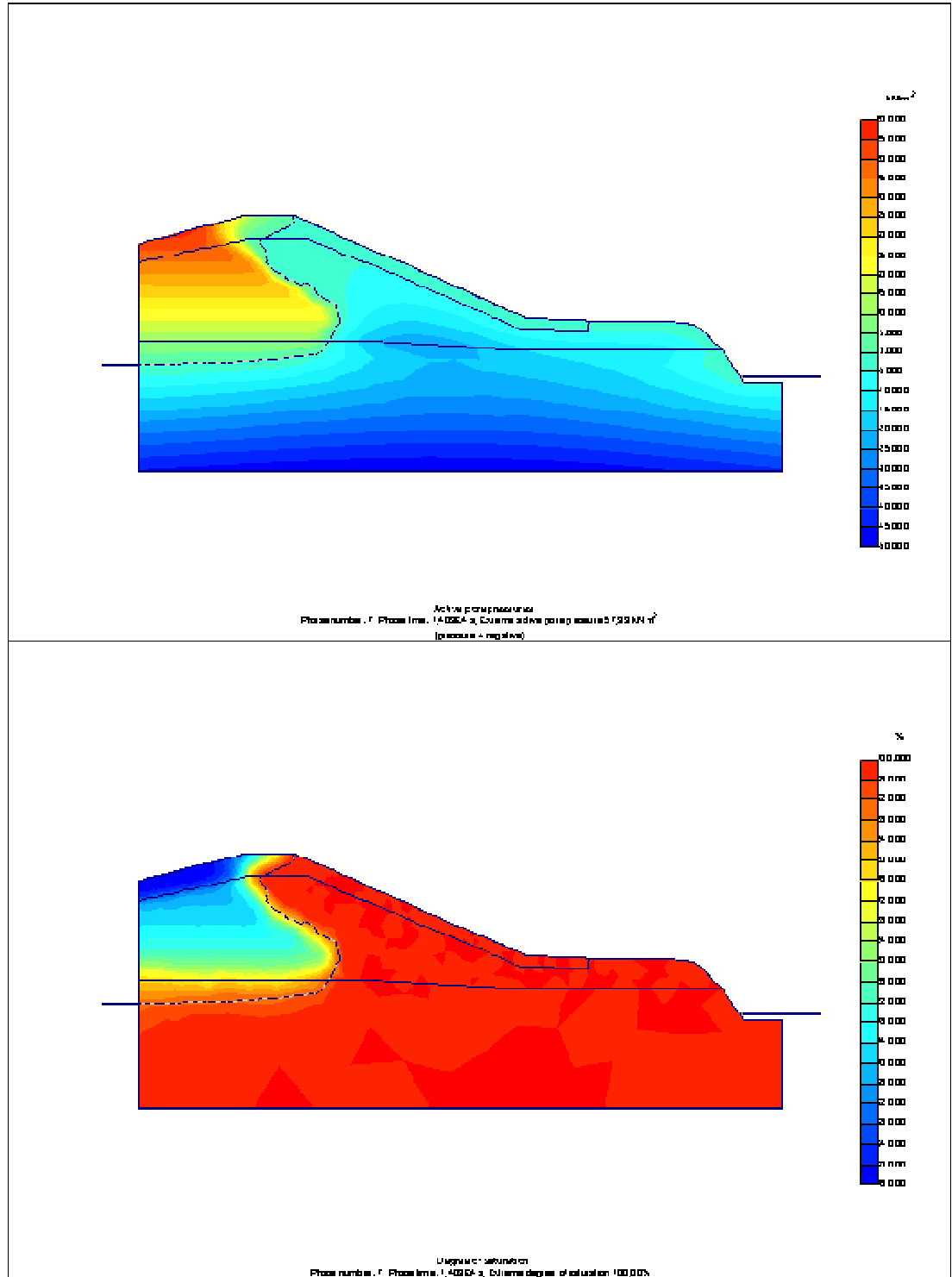


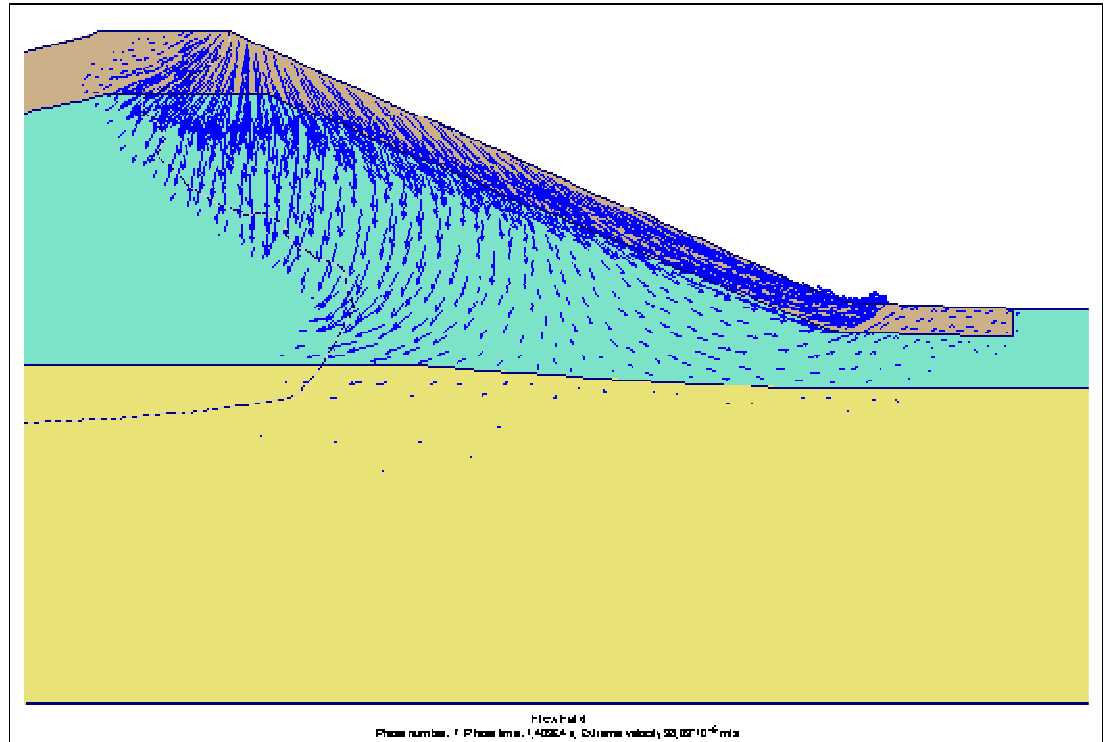
St. Philipsland 30 l/s per m



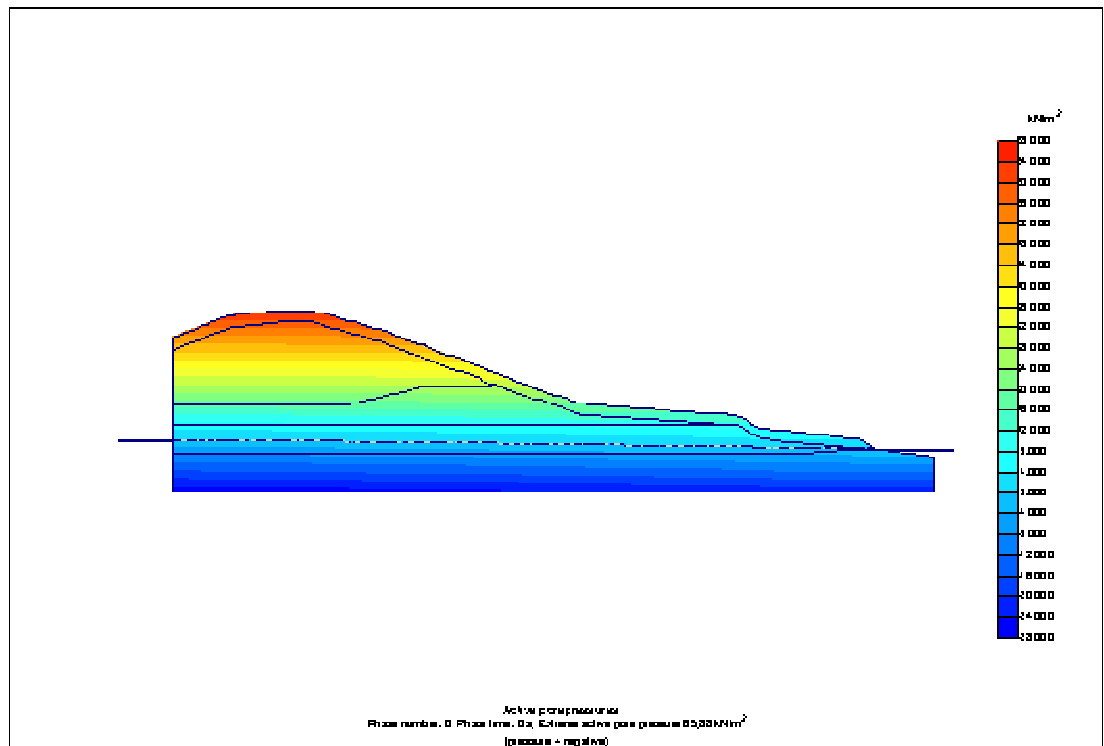


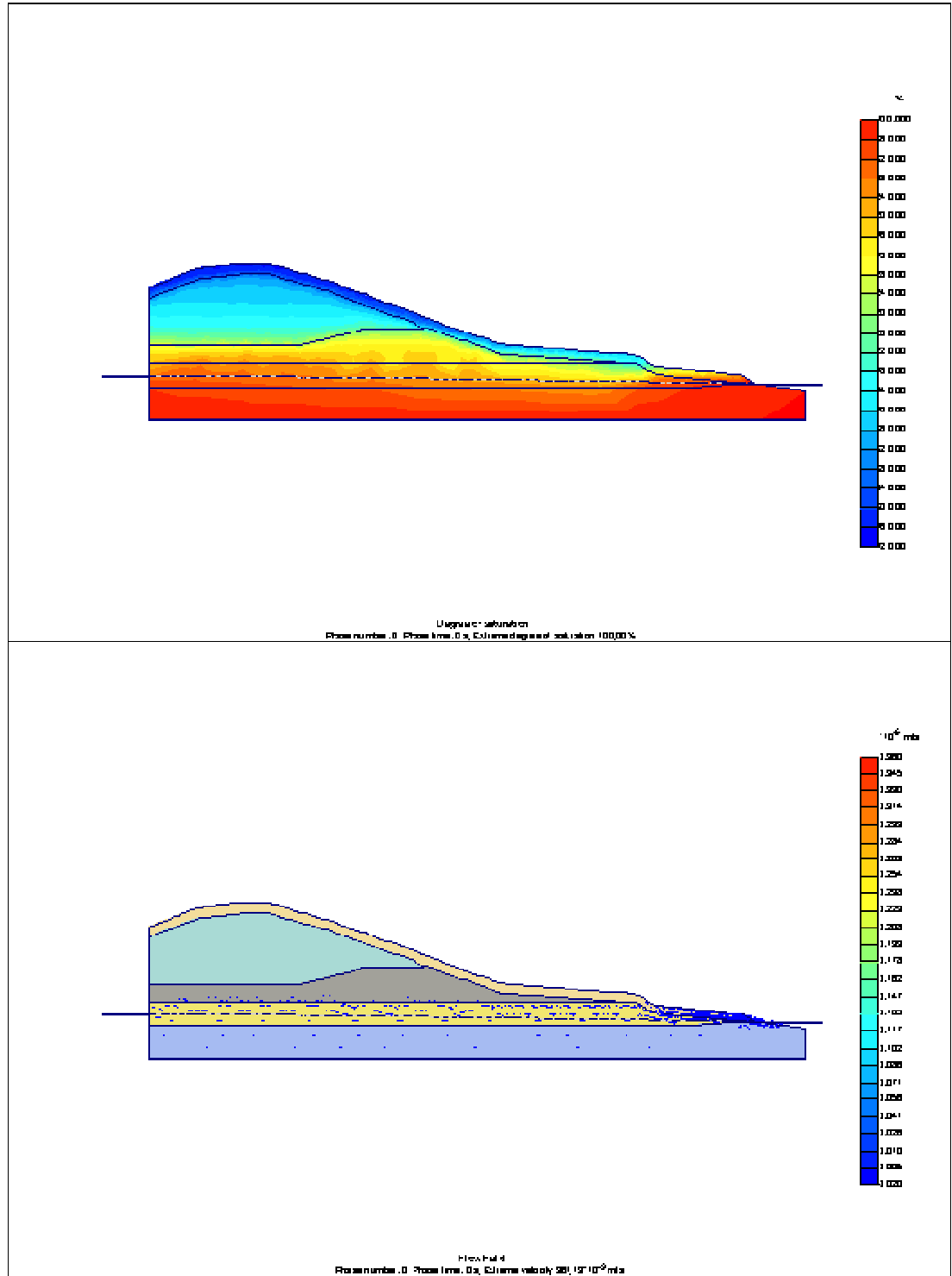
St. Philipsland 50 l/s per m



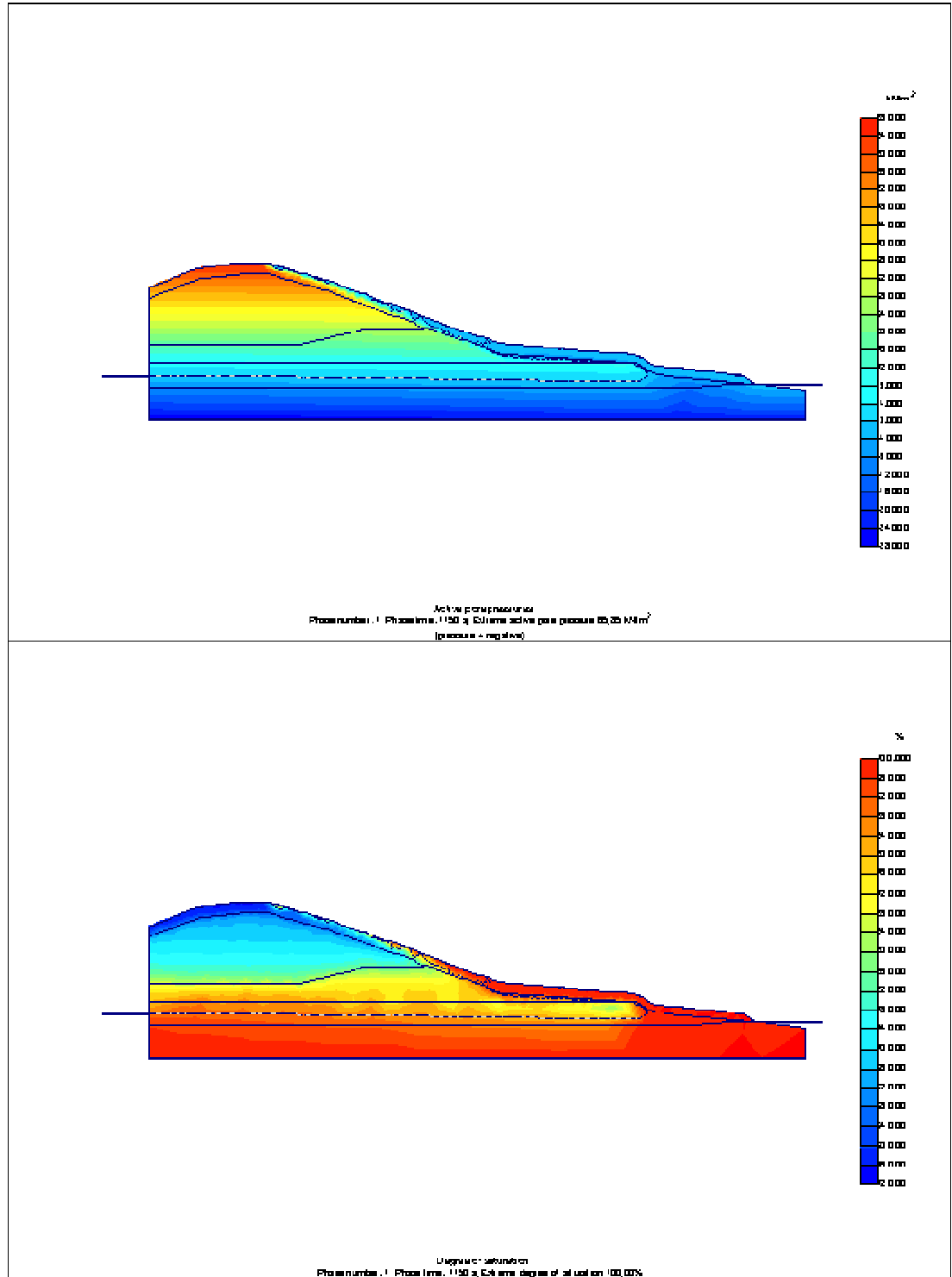


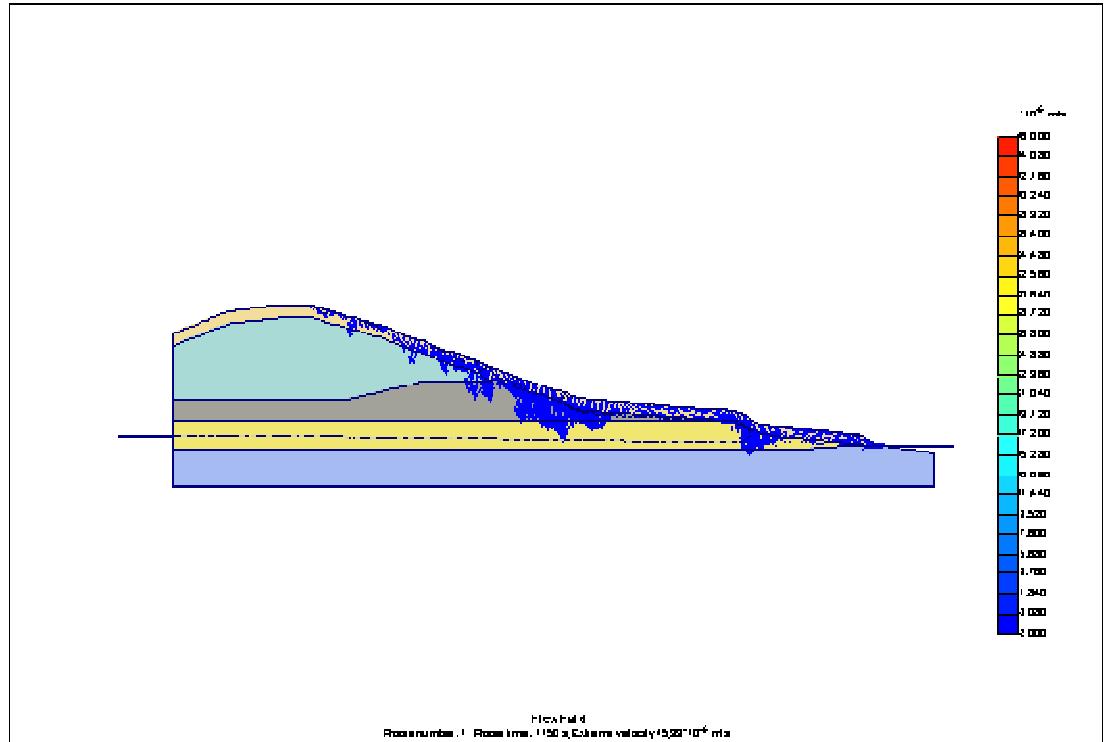
Kattendijke initieel



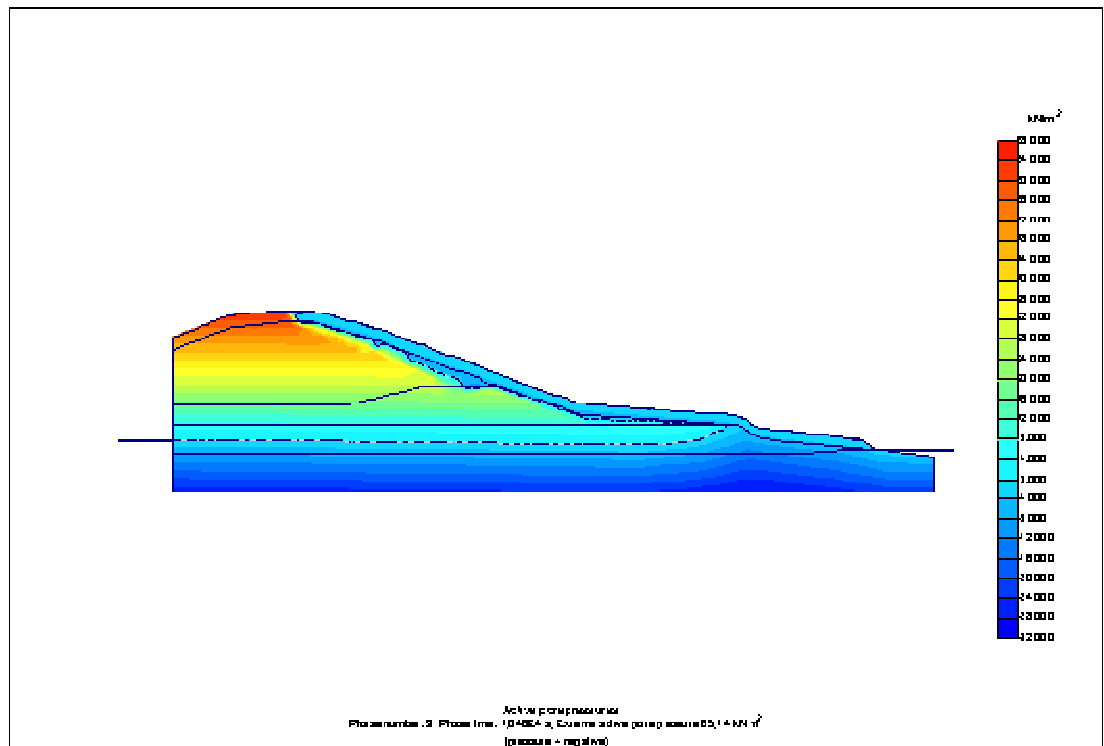


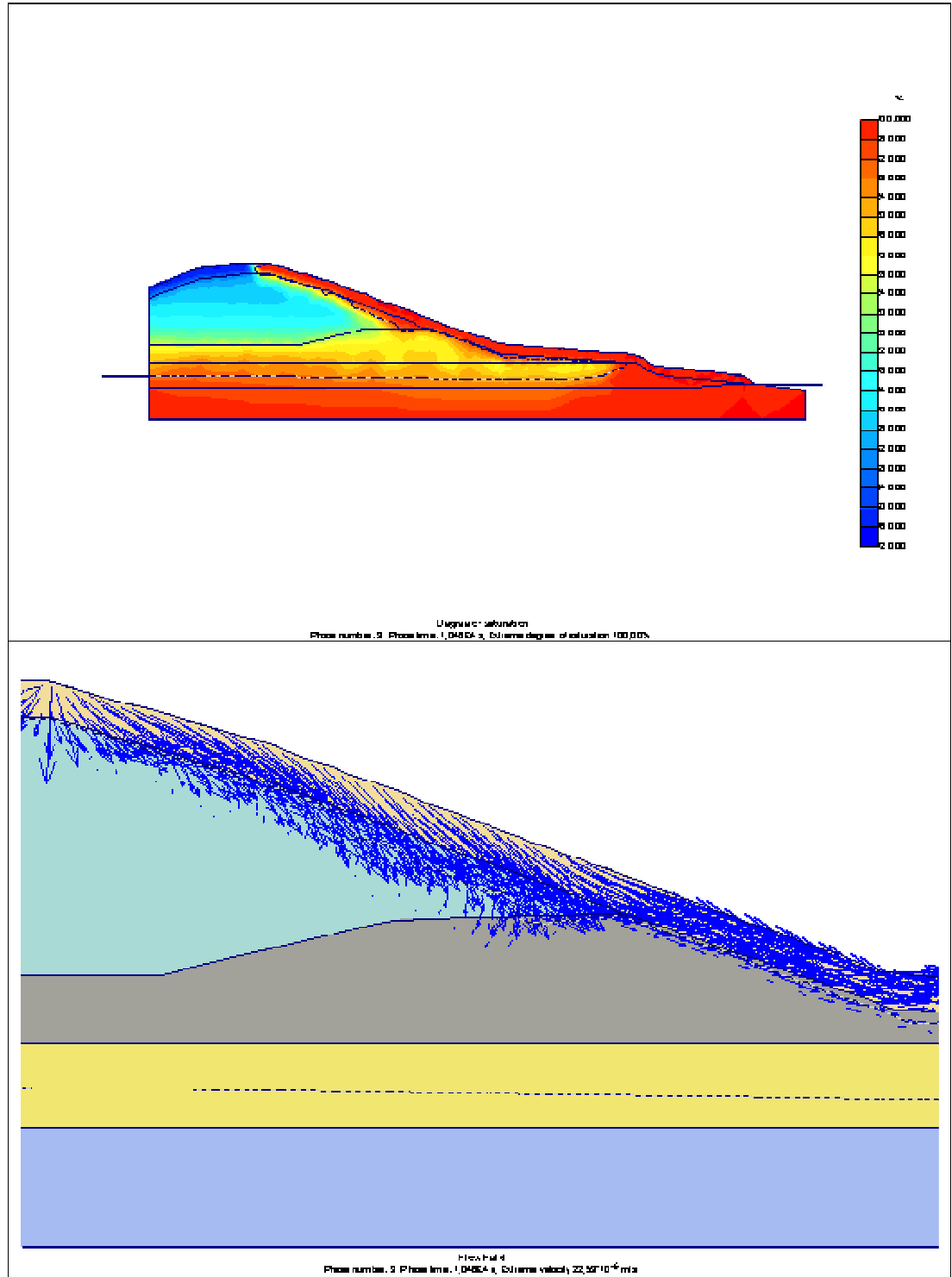
Kattendijke 0.1 + 1 l/s per m



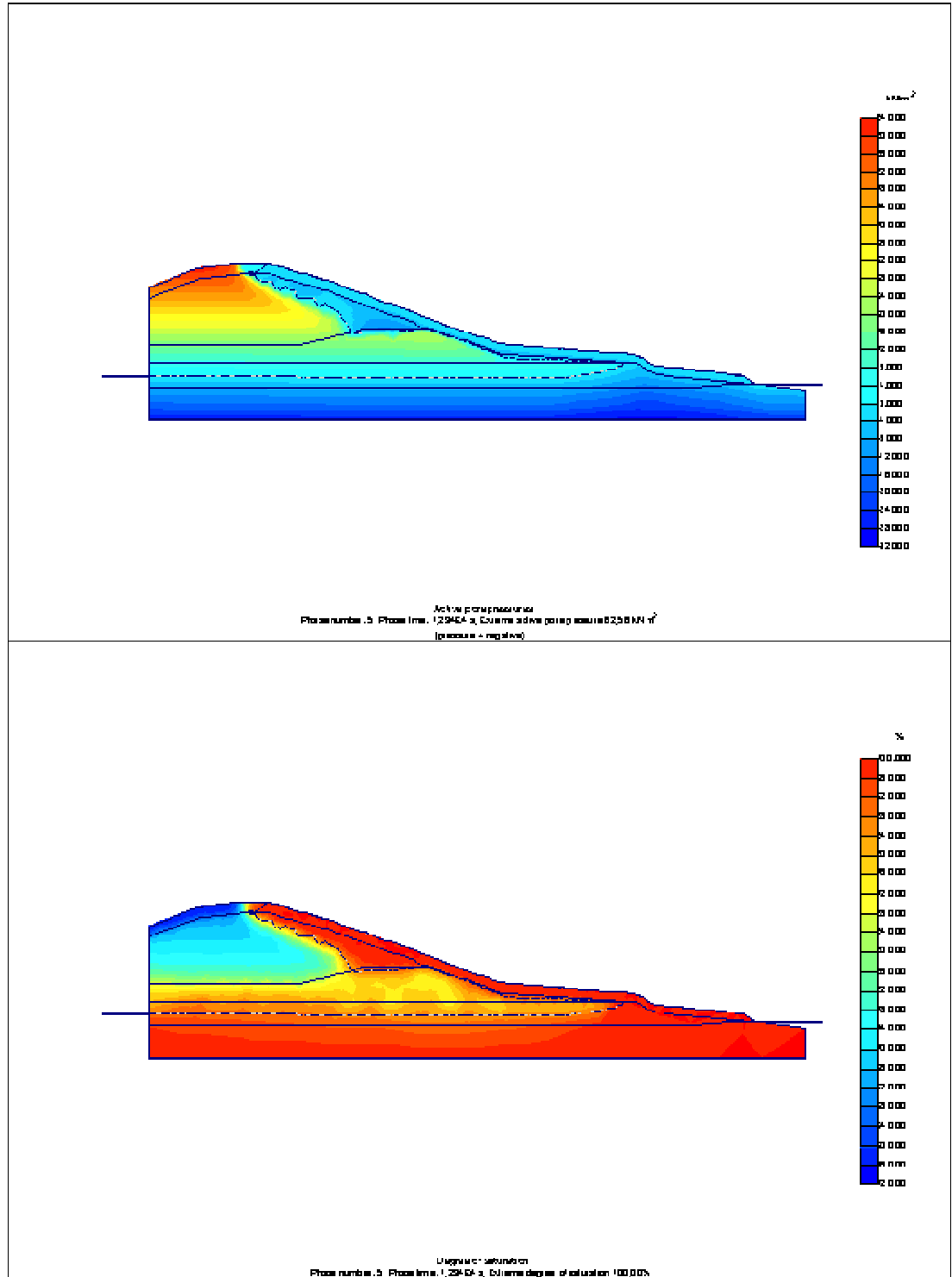


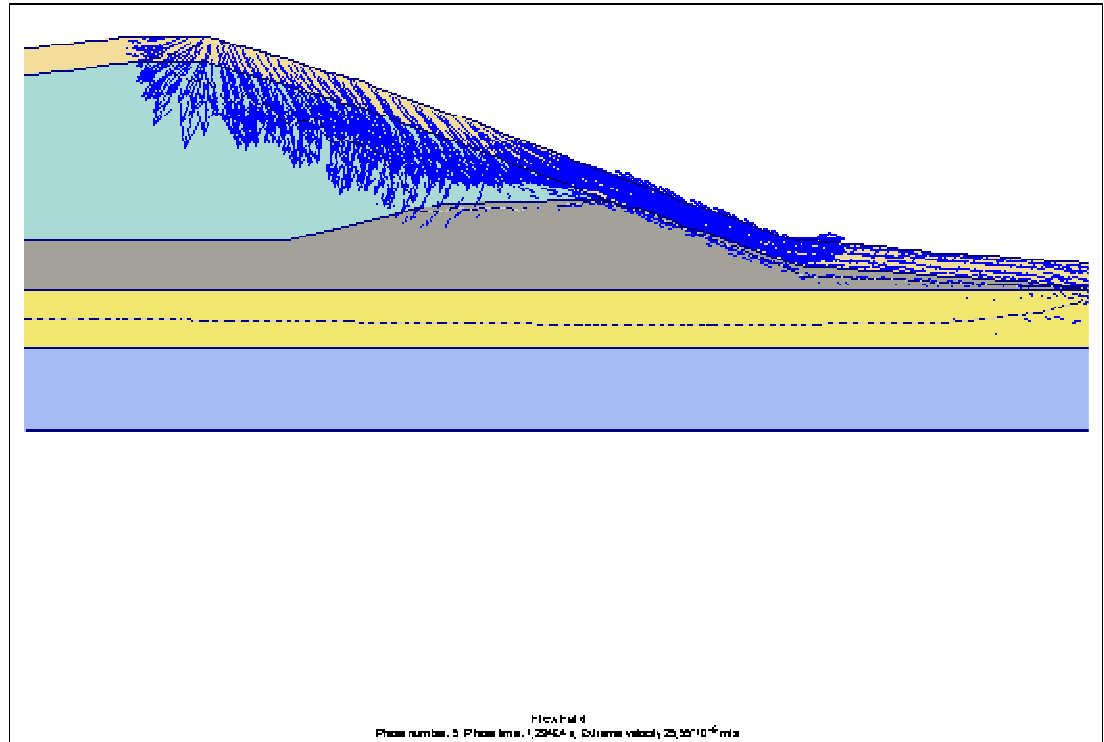
Kattendijke 10 l/s per m





Kattendijke 30 l/s per m





Kattendijke 50 l/s per m

