GeoDelft

Postbus 69
NL-2600 AB
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft
Telefoon 015 269 35 00
Telefax 015 261 08 21
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

25 APR 2003

Rijkswaterstaat Directie Zeeland
Projectbureau Zeeweringen
De heer [redacted]t
Postbus 114
4460 AC GOES

Datum
2003-04-24
Ons kenmerk
406350.0033/jai

Onderwerp
"Infiltratieproef Willem Anna polder" en "Infiltratieproef Baarlandpolder"

Doorkiesnummer
[redacted]

[redacted],

Hierbij zenden wij u bijgaand onze rapporten 406350.0024 en 406350.0025 met betrekking tot bovengenoemd onderwerp:

☐ ter kennisneming

☑ volgens afspraak in 5-voud.

☐ met verzoek om commentaar

☐ voor de vergadering

Hoogachtend,
GeoDelft
[redacted]
adviseur

Bijlagen
- Rapport 406350.0024 v2 in 5-voud
- Rapport 406350.0025 v2 in 5-voud.

Verspreiding
[redacted], WL/Delft Hydraulics
[redacted] DWW Rijkswaterstaat
[redacted], DWW Rijkswaterstaat
[redacted], DWW Rijkswaterstaat
[redacted]d, DWW Rijkswaterstaat
[redacted], GeoDelft
[redacted] GeoDelft.

PROJECTBUREAU ZEEWERINGEN	ACTIE	INFO
PROJECTLEIDER t.h.		x
SECRETARESSE		
PROJECTSECRETARIS t.k.		x
MEDEWERKER FINANCIËN		
MEDEWERKER KWALITEIT 2 x		x
TEAMLEIDER ONTWERP		
HOOFD UITVOERING		
COÖRDINATOR / BESTEKSCHRIJVER		
[redacted]		x
[redacted]		x
P2OT-R-03003ken		
ARCHIEF t.b.v.		x
CIRCULATIE MAP		

Delft Cluster partner

Delft Cluster partner

GeoDelft

Infiltratieproef Baarlandpolder

Projectnummer
406350.0024

Versie
2 Definitief

Datum
april 2003

Delft Cluster partner

GeoDelft

Postbus 69
NL-2600 AB Delft
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft

Telefoon
Telefax
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

Postbank 234342
ING Bank NV
rek.nr.65.09.62.524
KvK S41146461 Delft

Rapportnummer	Datum
406350.0024 v2	april 2003

Titel / subtitel
Infiltratieproef
Baarlandpolder /

Projectleider(s)
ir. P. Meijers

Projectbegeleider(s)
ir. T.P. Stoutjesdijk

Overige leden projectteam
D. van Noortwijk
M. Busink
WL|Delft Hydraulics

Samenvatting rapport

Op de dijk van de Baarlandpolder is een infiltratieproef uitgevoerd. Bij deze proef is vanaf de bovenkant water in de granulaire laag onder de bekleding geïnfiltreerd. Hierbij zijn de verticale verplaatsingen van en de drukken onder de toplaag gemeten. Tevens is tijdens een getijperiode voorafgaand aan en volgend op de infiltratieproef het verloop van de drukken onder de toplaag gemeten.
In dit rapport worden de uitgevoerde metingen beschreven en de meetresultaten gepresenteerd. De verticale verplaatsing van de toplaag blijkt tijdens de infiltratieproef aanzienlijk te zijn geweest, met name aan de teen. Na afloop van de proef was de bekleding nog intact. Wel is er aan de teen sprake van een blijvende verplaatsing van enige centimeters. De eigenschappen (doorlatendheid) van de granulaire laag lijken aanzienlijk te zijn veranderd.

Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf
1	november 2002	[redacted]		[redacted]	
2	april 2003				

Inhoudsopgave

1 Inleiding

1.1 Achtergrond infiltratieproef

Het toetsen van met asfalt of beton in- of overgoten bekledingen levert in de praktijk grote problemen op. Er wordt gevoelsmatig een extra sterkte aan de ingieting van dit soort bekledingen toegeschreven die echter niet kan worden gekwantificeerd. Daarom kan er in de toetspraktijk geen rekening mee worden gehouden en zullen grote strekkingen wellicht ten onrechte worden afgekeurd. Vervanging hiervan brengt grote kosten met zich mee.

Om deze kennisleemte te vullen is in 2001 een praktijkproef (infiltratieproef) op de zeedijk bij Kruiningen uitgevoerd (contract DWW 1902). Een samenvatting van alle uitgevoerde deelonderzoeken en een eerste interpretatie van de meetresultaten is te vinden in GeoDelft rapport CO-400970.0024 van maart 2002.
Deze proef heeft het inzicht in het gedrag van ingegoten bekledingen aanzienlijk vergroot. Een voorlopige interpretatie van de proefresultaten was dat de doorlatendheid van de granulaire laag is vergroot door piping, schoonspoelen van de granulaire laag en/of oplichten van de toplaag. Hierdoor neemt de doorlatendheid van de granulaire laag toe en zal deze sneller leeglopen dan bij normale condities.
Een tweede mechanisme is dat bij overdruk scheuren en/of openingen in de toplaag ontstaan die de wateroverdruk doen afnemen.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek en de daaruit volgende inzichten zijn een aantal aanbevelingen opgesteld. De belangrijkste zijn:

- onderzoek of de combinatie van overdruk en golfbelasting aanleiding kan geven tot bezwijken
- herhaling van de meting op andere locaties. Er is nu sprake van een proef op één locatie. Algemeen geldend verklaren van de resultaten van deze proef voor alle ingegoten bekledingen is onverantwoord. Door de meting te herhalen op andere locaties kan worden nagegaan of de geconstateerde verschijnselen uniek zijn voor deze locatie, of ook bij andere locaties optreden
- nadere analyse van de meetresultaten.

In rapport H3167 van WL|Delft Hydraulics is gekeken naar de combinatie van golven en oplichten. Hierbij is een 'grove schematisatie' gebruikt. Volgens deze schematisatie is bezwijken op de combinatie golven en oplichten niet waarschijnlijk, mits de golfhoogte minder is dan 1,6 m. Voor hogere golven zijn niet voldoende gegevens beschikbaar. Verder zijn naar aanleiding van deze studie aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek naar dwarskrachten en andere mogelijke bezwijkmechanismen.

De tweede aanbeveling is opgevolgd door het uitvoeren van twee infiltratieproeven in september 2002. De eerste is uitgevoerd op de zeedijk van de Baarlandpolder, de tweede op de zeedijk van de Willem Anna polder.

Dit rapport beschrijft de meting op de dijk van de Baarlandpolder.

1.2 Uitvoering onderzoek

In dit rapport wordt de opzet van het onderzoek weergegeven (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt de proeflocatie beschreven. De resultaten van de getijmetingen en de infiltratieproef zijn in respectievelijk hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 weergegeven. Een eerste interpretatie van de meetresultaten is gegeven in hoofdstuk 6, een volledige analyse van de meetresultaten vormt geen onderdeel van de opgedragen werkzaamheden.
Tot slot worden in hoofdstuk 7 de belangrijkste resultaten samengevat. Bij het onderzoek waren een groot aantal partijen betrokken.

In willekeurige volgorde zijn dit:

- RWS Projectbureau Zeeweringen: opdrachtgever, aanleg infiltratiesloot, aanvoer water, herstel bekleding
- RWS-DWW: inhoudelijke begeleiding meting
- GeoDelft: uitvoering getijmeting, meting druk onder de toplaag tijdens de infiltratieproef
- WL|Delft Hydraulics: uitvoeren verplaatsingsmetingen tijdens eerste getijmeting en tijdens infiltratieproef; tevens inhoudelijke begeleiding
- Waterschap Zeeuwse Eilanden: beschikbaar stellen meetlocatie, pompcapaciteit, personeel en materieel
- aannemers.

De resultaten van de verplaatsingsmetingen zijn door WL|Delft Hydraulics gerapporteerd in rapport H4148 'Verplaatsingsmetingen tijdens inpompproeven bij Baarland en Willem Anna polder'. De inhoud hiervan is in dit rapport verwerkt.

2 Opzet meetprogramma

De meting is een praktijkproef voor de gevolgen van infiltratie van water in de granulaire laag onder een dichte bekleding op de stabiliteit van de dijkbekleding. Door middel van de infiltratieproef wordt onderzocht of grote statische waterdrukken onder de bekleding kunnen ontstaan die vervolgens kunnen leiden tot bezwijken van de bekleding.

Het meetprogramma bestaat uit de volgende onderdelen:

- verzamelen relevante gegevens
- terreinverkenning, inclusief het openbreken van de bekleding om opbouw constructie vast te stellen
- aanleg van de meetopstelling
- uitvoeren van een getijmeting voorafgaande aan de proef, inclusief meting van de verplaatsingen
- uitvoeren van de infiltratieproef, met meting van de drukken onder de toplaag en verplaatsing van de toplaag
- uitvoeren van een getijmeting na afloop van de infiltratieproef, zonder meting van de verplaatsing van de toplaag
- demobilisatie
- eerste interpretatie van de meetresultaten.

Er is tweemaal een terreinverkenning uitgevoerd. De eerste verkenning vond plaats op 6 augustus 2002. Hierbij is de plaats van de proef vastgesteld en is gekeken waar het water voor de infiltratie vandaan gehaald kon worden. Bij deze verkenning waren aanwezig M.C.J. Bosters (RWS-DWW), R.J.G. van Etten (RWS-DWW), P. Meijers (GeoDelft) en K.H. van Maasdam (Waterschap Zeeuwse Eilanden).
De tweede terreinverkenning vond plaats op 28 augustus 2002. Hierbij waren aanwezig M.C.J. Bosters (RWS-DWW), J.C.P. Johanson (RWS-DWW), P. Meijers (GeoDelft) en M. Klein Breteler (WL|Delft Hydraulics).
Bij deze terreinverkenning zijn door een onderaannemer een aantal stenen uit de toplaag gelicht om de opbouw van de toplaag en de ondergrond vast te stellen. De resultaten worden beschreven in hoofdstuk 3. Op deze dag is ook een begin gemaakt met de aanleg van de infiltratiesloot door een onderaannemer.

De infiltratieproef zelf is uitgevoerd op 4 september 2002.
Voorafgaand aan en volgend op de infiltratieproef is een getijmeting uitgevoerd. Hierbij is gedurende 1 of 2 getijperioden het verloop van de waterdrukken onder de bekleding gemeten. Deze meting dient om de (fysische) eigenschappen van de bekleding voorafgaand aan en na afloop van de proef vast te stellen. Vergelijking van deze metingen geeft inzicht in de mate van schoonspoelen van de granulaire laag. Bij de getijmeting voorafgaand aan de feitelijke infiltratieproef is tevens de verticale vervorming van het talud gemeten.

3 Locatie en gegevens bekleding

3.1 Algemeen

De Baarlandpolder bevindt zich in de zak van Zuid-Beveland, ten zuiden van Hoedekenskerke. Op 2002-08-06 is tijdens een locatiebezoek in overleg tussen RWS-PBZ, Waterschap Zeeuwse Eilanden en GeoDelft de plaats van de meting vastgesteld.

Als meest geschikte locatie voor de infiltratieproef is vastgesteld het punt met RD-coördinaten:

- x = 51.775 m
- y = 380.100 m.

Ter plaatse is een uitstulping in het buitentalud van de dijk aanwezig. De meetlocatie bevindt zich aan de zuidzijde van de uitstulping, bij km 39.86. Bijlage 3.1 toont de plaats van de proef.

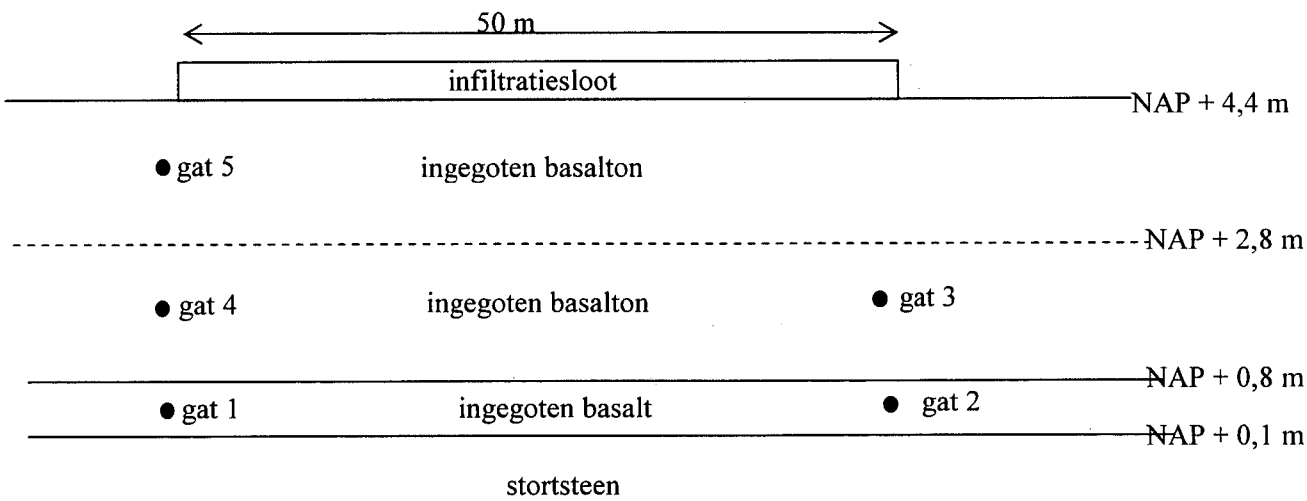
Het nummer van het bekledingvak is 39701 en 39702.
Volgens mondelinge informatie is de bekleding rond 1988/1989 aangelegd. Direct na aanleg is de bekleding ingegoten.

In 2001 is voor deze locatie een geavanceerde toetsing uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn vermeld in GeoDelft rapport CO-388710/112 van november 2001. Hierbij is de bekleding afgekeurd. In het kader van deze geavanceerde toetsing is op 9 juli 2001 een locatiebezoek uitgevoerd waarbij één gat in de bekleding is gemaakt.

3.2 Resultaten opbreken bekleding

Op 28 augustus 2002 zijn 5 gaten gemaakt in de bekleding. Dit betreft twee gaten in het basalt en drie gaten in het basalton.

De plaats van de gaten is schematisch weergegeven in figuur 3.3. In werkelijkheid lag de meetlocatie in een bocht en was de sloot niet recht maar een deel van een cirkelsegment.



Figuur 3.1 Plaats breekgaten in bekleding

Bij het openbreken van de bekleding is de volgende opbouw aangetroffen.

- gat 1, laag op talud:
  Bekleding: basalt, diepte ingieting ongeveer 10 cm.
  Dikte basalt: 26 cm, 27 cm, 26 cm, 18 cm, 24 cm en 23 cm; gemiddeld 24 cm.
  Dunne granulaire laag met slib op 1 vlijlaag.
  Ondergrond: 20 cm veen, 1,3 m klei, zandige klei.
  Water blijft in gat staan.

- gat 2, laag op talud:
  Bekleding: basalt, diepte ingieting ongeveer 10 cm.
  Dikte basalt: 20 cm, 17 cm, 20 cm, 22 cm, 19 cm, 23 cm en 22 cm; gemiddeld 20 cm.
  Granulaire laag van ingezande steenslag, dik 0,3 m.
  Ondergrond: 2 m klei.
  Water blijft in gat staan.

- gat 3, ondertafel:
  Bekleding: basalton, dik 0,25 m, diepte ingieting ongeveer 20 cm.
  Granulaire laag, dik 10 cm, ingezand; mogelijk vlijlaag van 1 steen dik.
  Ondergrond: klei
  Water blijft in gat staan.

- gat 4, ondertafel:
  Bekleding: basalton, dik 0,25 m, ingieting tot onderkant steen.
  Granulaire laag van grind (10 cm) en mijnsteen (40 cm).
  De ondergrond bestaat uit klei.
  Water blijft in gat staan.

- gat 5, bovenaan bekleding:
  Bekleding: basalton, dik 0,25 m, ingieting 10 à 15 cm.
  Granulaire laag: 12 cm grind, 50 cm mijnsteen.
  Ondergrond: klei (5 cm), 1 m kleiig zand, daaronder stijve klei.
  De granulaire laag is goed doorlatend, een emmer water loopt in ongeveer 10 sec. weg.

- 'oud' gat (zie rapport CO-388710/112), halverwege talud
  Plaats: circa 4 m onder het gras (op basis hiervan wordt niveau geschat op NAP +2,8 m), plaats in lengterichting onbekend.
  Bekleding: basalton, dik 0,25 m, ingieting is betrekkelijk oppervlakkig.
  Granulaire laag van 15 cm dik, gradering 15-60 mm, op mijnsteen.
  Ondergrond: 1,85 m klei.
  De granulaire laag is goed doorlatend.

3.3 Opbouw bekleding

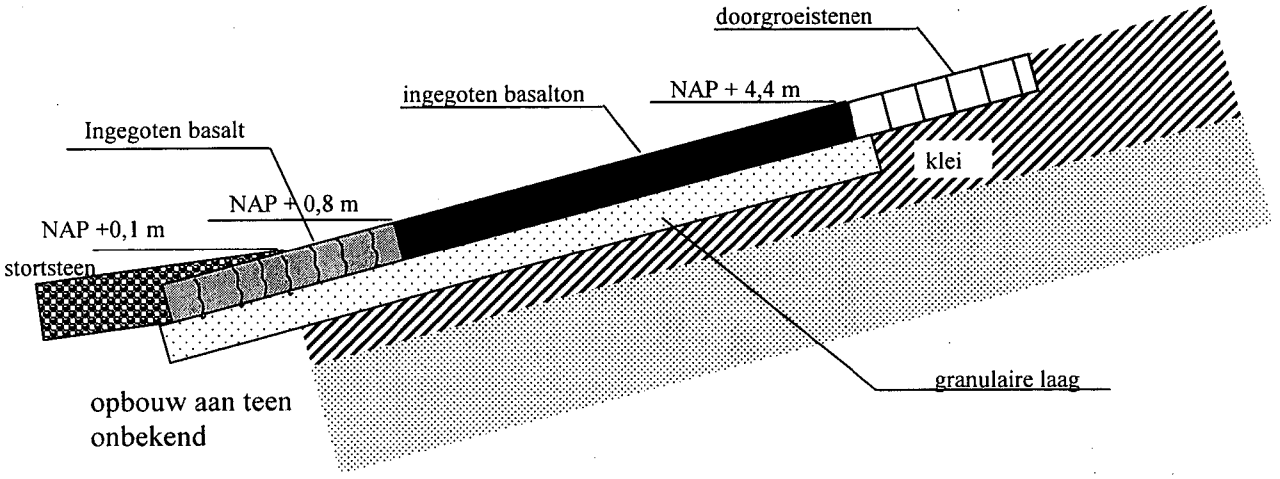
De opbouw van de bekleding bij de meetraai is als volgt:

- stortsteen op voorland, deze stortsteen ligt gedeeltelijk ook op het talud
- teen op NAP + 0,1 m
- gepenetreerde basalt tot NAP + 0,8 m, dikte 0,20 à 0,24 m
- gepenetreerde basalton tot NAP + 4,4 m, dikte 0,25 m; op het oog lijkt er een verschil te zijn in de basalton en de penetratie boven en onder NAP + 2,8 m
- doorgroeisteen.

Op de ondertafel is de granulaire laag ondoorlatend, op de boventafel goed doorlatend. De plaats van de overgang tussen goed en slecht doorlatende granulaire laag is niet vastgesteld. Verwacht wordt dat deze tussen NAP + 2,0 m à NAP + 3,0 m ligt. Onder de granulaire laag is een kleilaag aangetroffen.

De taludhelling is ongeveer 1:2,65.

Figuur 3.2 toont schematisch de opbouw van de bekleding.



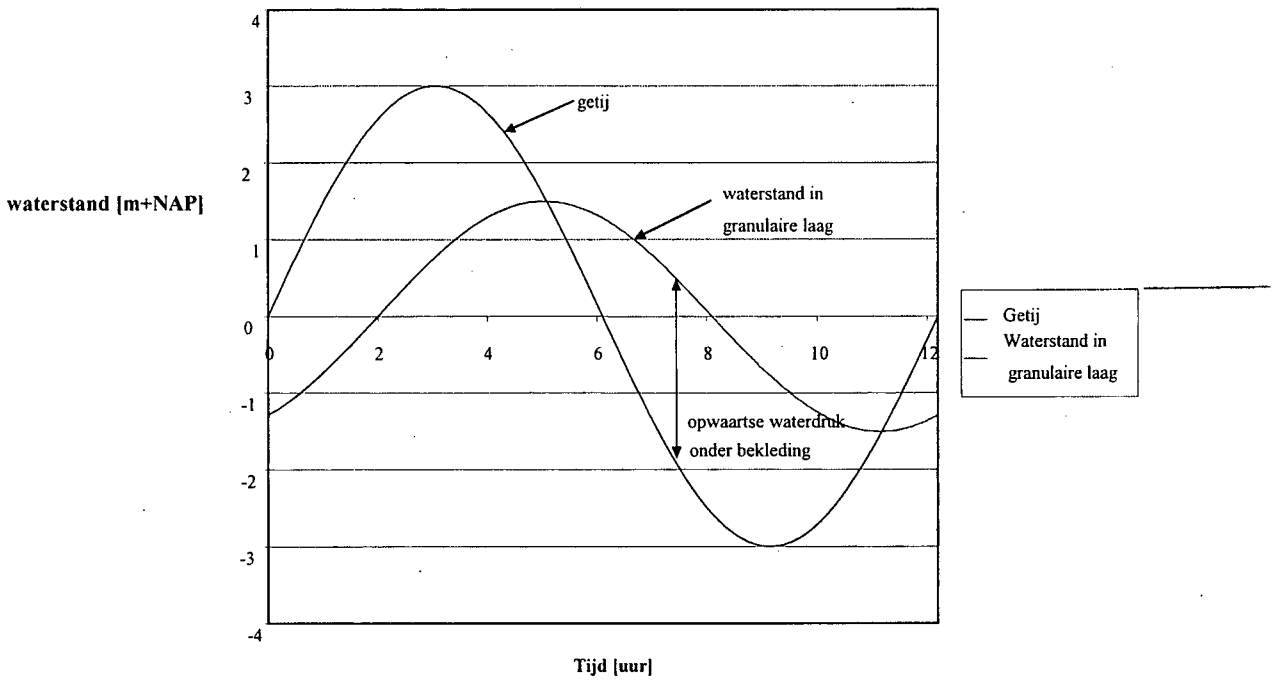
Figuur 3.2 Schets opbouw bekleding, niet op schaal

4 Getijmetingen

4.1 Principe getijmeting

Het principe van de getijmeting is als volgt. Ter plaatse van de teen van de dijk wordt aan de buitenzijde van de bekleding een waterspanningsmeter aangebracht die het verloop van de getijwaterstand registreert. Op verschillende plaatsen worden gaten in de toplaag geboord waardoor een waterspanningsmeter in de granulaire laag wordt geplaatst. De opnemers zijn gefixeerd door het gat gedeeltelijk te vullen met fijn grind. De gaten worden door middel van zogenaamde packers waterdicht afgesloten.

Met de geplaatste opnemers wordt simultaan de waterstand op de bekleding en in de granulaire laag gemeten. Als er sprake is van een open (goed waterdoorlatende) constructie, dan zijn getijwaterstand en waterstand in het granulaire laag vrijwel gelijk. Bij dichte (slecht waterdoorlatende) constructies ontstaan verschillen tussen de getijwaterstand en de waterstand in de granulaire laag. Bij opkomend tij kan de waterstand in de granulaire laag niet even snel stijgen, bij afgaand tij blijft er geruime tijd een waterstand in de granulaire laag aanwezig die hoger is dan de getijwaterstand (zie figuur 4.1). Dit laatste kan gevaarlijk zijn: er ontwikkeld zich een waterdruk onder de bekleding die er in extreme gevallen voor zou kunnen zorgen dat de bekleding omhoog wordt gedrukt en van de dijk afschuift. De bekleding faalt en de granulaire laag en de kern van de dijk blijven onverdedigd achter. Dit bezwijkmechanisme wordt 'bezwijken door statische verschildrukken' genoemd.



Figuur 4.1 Verloop waterstand in de granulaire laag t.o.v. getij (schematisch)

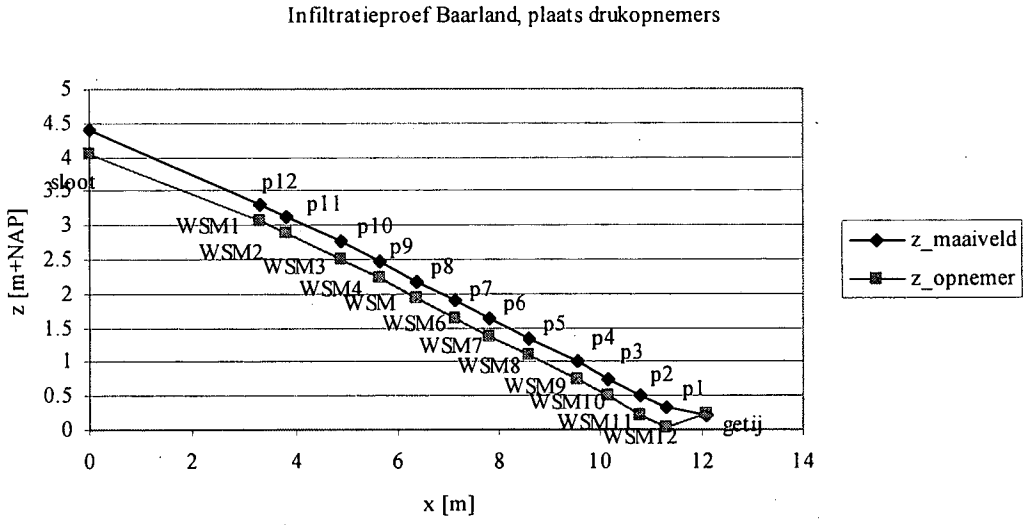
4.2 Plaats opnemers

De plaatshoogte van de opnemers is vermeld in tabel 4.1. De getijopnemer bevindt zich aan de teen op het talud, de opnemer van de infiltratiesloot op de bodem van deze sloot (deze opnemer was tijdens de getijmetingen overigens niet aanwezig) en de overige opnemers onder in de granulaire laag onder de toplaag.

Opnemer	Hoogte [m + NAP]
WSM 1	3.05
WSM 2	2.88
WSM 3	2.51
WSM 4	2.23
WSM 5	1.94
WSM 6	1.65
WSM 7	1.37
WSM 8	1.09
WSM 9	0.75
WSM 10	0.50
WSM 11	0.22
WSM 12	0.03
Getij	0.25
Infiltratiesloot	4.04

Tabel 4.1 Plaatshoogte opnemers (t.o.v. NAP)

Figuur 4.2 toont de plaats van de opnemers in de meetraai. In deze figuur is tevens de plaats van de drukopnemers van WL|Delft Hydraulics voor de verplaatsingsmeting weergegeven. De codering van de waterspanningsmeters onder de toplaag is WSM#, die van de drukopnemers op de toplaag is p#. Voor een beschrijving van de verplaatsingsmeting tijdens de getijmeting wordt verwezen naar paragraaf 4.5.



Figuur 4.2 Plaats opnemers op talud en onder talud

4.3 Verwerking meetgegevens

Het resultaat van de meting is een meetbestand dat is gevuld met meetwaarden in Volts. Deze waarden worden omgerekend naar waterdrukken in meters waterkolom volgens de formule:

$$\text{Data[mBar]} = \left[\frac{(\text{ruw meetgetal}[V]*1000)[mV]}{100} - \text{nulpunt}[mV]\right] * \text{reciproke gevoeligheid}$$

$$\text{Data [m waterkolom]} = \frac{\text{data [mBar]}}{98{,}07}$$

De factor 100 in de eerste formule is alleen nodig omdat het meetsignaal met een factor 100 wordt versterkt. Het nulpunt en de reciproke gevoeligheid zijn ijkfactoren die in het laboratorium voor iedere waterspanningsmeter worden bepaald.

Waterspanningsmeter	Nulpunt [mV]	Reciproke gevoeligheid [-]
WSM 1	0.79536	6.98903
WSM 2	-0.0607	7.02112
WSM 3	-0.31099	9.92334
WSM 4	0.04759	9.97375
WSM 5	0.93427	9.90851
WSM 6	1.55065	9.97484
WSM 7	0.40211	10.02187
WSM 8	0.99899	10.0034
WSM 9	-0.96995	9.97954
WSM 10	1.14316	9.92307
WSM 11	0.03482	10.01607
WSM 12	1.13541	9.861
Getij	1.01651	9.95402
Infiltratiesloot	1.75379	10.0286

Tabel 4.2 IJkfactoren van de waterspanningsmeters

Om een beeld te krijgen van wat de metingen voorstellen worden de gemeten drukken in meters waterkolom vervolgens omgerekend naar stijghoogtes, volgens het principe:

Stijghoogte = plaatshoogte + drukhoogte

De plaatshoogte van iedere waterspanningsmeter is gegeven in tabel 4.1. De drukhoogte is de waterdruk in meters waterkolom.

4.4 Verplaatsingsmeting

Door WL|Delft Hydraulics is de verticale verplaatsing van de toplaag tijdens de getijmeting voorafgaand aan de infiltratieproef gemeten.
Voor de meting van de "opbolling" van de steenzetting ten gevolge van de kunstmatige waterdrukverhoging in de granulaire laag is door WL|Delft Hydraulics gekozen voor een "hydrostatische meetmethode". De meetmethode bestond hierin dat op het talud, loodrecht op de dijkas, de bewegingen van de steenzetting werd gevolgd. Twaalf drukopnemers (fabrikant Druck, type PTX-1830) werden, verdeeld over het talud, in een U-vormige leiding van 12 mm

zachte koperen pijp gemonteerd, en op de steenzetting vastgeschroefd met keilbouten. De drukopnemers hebben een bereik van 350 mbar met een nauwkeurigheid van 0,1% van de volle schaal (gecombineerd non-linearity, hysteresis en repeatability). Deze leiding werd gevuld met water, waardoor in rust in de leiding een hydrostatische drukverdeling ontstaat. In geval van een hydrostatische meetmethode is de drukverandering als volgt om te rekenen naar een verplaatsing:

$$h = \frac{p}{\rho_w g}$$

met:
h : verplaatsing (m)
p : drukverandering (kPa)
ρ_w : soortelijke massa water (kg/m^3)
g : versnelling zwaartekracht (m/s^2)

De U-vormige leiding was aan de bovenzijde gekoppeld aan een op de dijk opgestelde voorraadtank met water, en liep vervolgens neerwaarts naar een punt juist onder de onderste drukopnemer op het talud. Vandaar ging de leiding omhoog via alle ingebouwde drukopnemers naar een (gefixeerd) open einde juist boven de hoogste drukopnemer. In het eerste gedeelte van de leiding, van de voorraadtank naar de teen van het talud, was op een hoogte onder die van het gefixeerde open uiteinde, een elektrisch bediende afsluiter gemonteerd. Met een dichte afsluiter heerste in het tweede gedeelte van de leiding bij elke drukopnemer een druk welke bepaald wordt door het hoogteverschil met het gefixeerde open uiteinde van de leiding.

Uitgangspunt voor de opstelling is dat de bovenste opnemer (nr. p12) en het gefixeerde open uiteinde van de ringleiding, geen verticale beweging ondergaan. De gemeten drukken in de opnemers p1 tot en met p11 zijn daarom gerelateerd aan de gemeten druk in de bovenste opnemer. De resulterende hoogteverschillen van de drukopnemers p1 tot en met p11 zijn relatief ten opzichte van drukopnemer p12.
Omdat de soortelijke massa van het water en de drukopnemers enigszins gevoelig zijn voor variaties in temperatuur, werd de temperatuur in voldoende mate constant gehouden door doorspoeling van het systeem. De gehele koperen leiding was geïsoleerd met standaard in de handel verkrijgbare CV-leidingisolatiekokers. De drukopnemers waren geïsoleerd met een laag PUR-schuim, mede tegen mogelijke zonbestraling.
De voorraadtank (twee stuks, waartussen gewisseld kon worden) hadden een forse overcapaciteit zodat door hun massa eventuele temperatuurschommelingen tot een minimum beperkt bleven.
De ringleiding werd steeds 3 minuten doorgespoeld vanuit de voorraadtank om een constante temperatuur in het systeem te waarborgen. Daarna de klep gesloten en 1 minuut gewacht om het water tot rust te laten komen voordat een meting werd uitgevoerd. Op deze wijze werd met een frequentie van eens per 5 minuten gemeten.

De op de berm van de dijk opgestelde interactieve datalogger Campbell CR10X registreerde de drukgegevens en was geprogrammeerd op 3 minuten doorspoelen en 2 minuten gesloten systeem waarvan de eerste minuut stabilisering en de tweede minuut daadwerkelijk meten. De gemiddelde waarden werden aan het einde van die minuut weggeschreven. De elektrische afsluiter waarmee het doorspoelen werd gestopt, werd ook door het programma in de datalogger aangestuurd. Zowel de datalogger met het stuurprogramma als de elektrische afsluiter werkten op 12 volts auto accu's, een stabiele en uiterst betrouwbare bron van energie.

De temperatuur en de geleidendheid van het water in de voorraadtank werden regelmatig genoteerd. Hieruit is later de dichtheid van het water berekend ten behoeven van de omzetting

van druk naar hoogte. Op de laptop draaide tijdens de metingen een monitoringprogramma waarmee de functies van het systeem gevolgd konden worden.

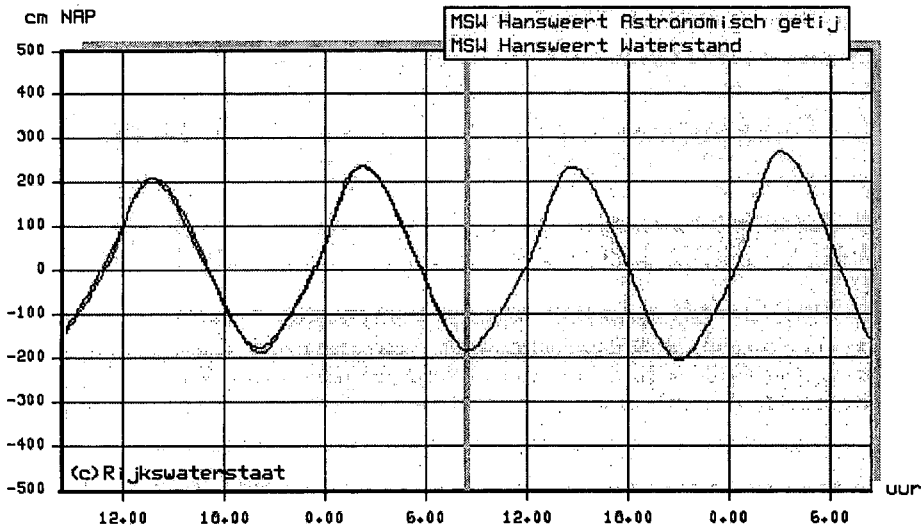
De werkelijke hoogteverschillen tussen de diverse drukopnemers werden tijdens de post-processing nauwkeurig berekend aan de hand van de dichtheid van het water, zoals bepaald door de in het veld opgemeten elektrische geleidendheid en temperatuur.

Controlemetingen op drie meetpunten, voor zover bereikbaar i.v.m. de momentane waterstand, werden uitgevoerd met een reguliere waterpassing.

Niet alle opnemers hebben gedurende de gehele meetperiode goed gefunctioneerd. Tijdens de nulmeting (op 3 september) bleek opnemer 11 instabiel te zijn.

4.5 Externe belasting

In figuur 4.2 is de gemeten getijcurve in Hansweert weergegeven op 2002-09-05. Deze figuur is ontleend aan internet (http://www.waterland.net).



Figuur 4.3 Getijcurve 4 september te Hansweert (bron: internet)

Op 4 september was de overheersende windrichting zuidwest en de gemiddelde windsnelheid 1 à 2 m/s (1 Beaufort), in de loop van de middag toenemend naar 4 m/s (3 Beaufort).

4.6 Resultaten meting

De resultaten van de meting zijn na bewerking toegankelijk voor interpretatie. In bijlage 4.1 en 4.2 is het resultaat van de drukmeting gepresenteerd als stijghoogte per waterspanningsmeter, uitgezet als functie van de tijd. Bijlage 4.1 toont het resultaat van de getijmeting voorafgaand aan de infiltratieproef en bijlage 4.2 het resultaat van de getijmeting na afloop van de infiltratieproef. Ter wille van de overzichtelijkheid zijn alleen de opnemers onder hoogwater in de figuur opgenomen. Hoger gelegen opnemers worden niet beïnvloed door het getij en zullen geen uitslag te zien geven.

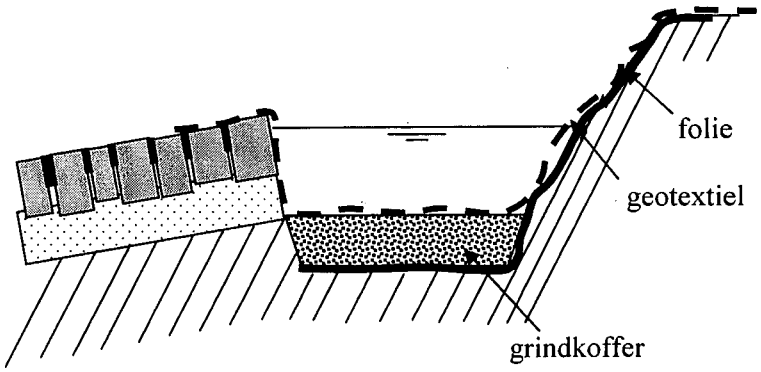
Bijlage 4.3 toont het resultaat van de verplaatsingsmeting tijdens de getijmeting voorafgaand aan de infiltratieproef.

5 Infiltratieproef

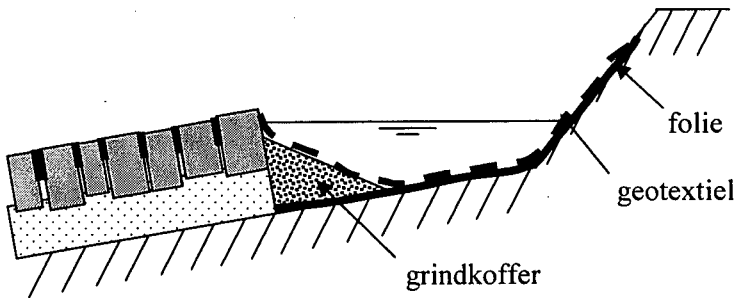
5.1 Beschrijving meetopstelling

De meetopstelling bestond uit een infiltratiesloot, gelegen aan de bovenkant van het ingegoten basalton, een meetraai waar zowel de drukken onder de toplaag als de verplaatsing van de toplaag wordt gemeten en een aantal punten voor een regelmatige waterpassing.

De lengte van de infiltratiesloot was 50 m, de breedte was ongeveer 1,2 m. Het aanvankelijk ontgraven deel van de infiltratiesloot was 57 m, zoals met strepen op het talud was aangegeven. Later is daarvan aan de zuidzijde 7 m weer aangevuld.
Figuur 5.1 toont een doorsnede over de infiltratiesloot. Op de bodem van de sloot is een waterdicht folie gelegd om de onderliggende klei af te dichten en uitspoeling van klei te voorkomen. Het was de bedoeling dat tegen de granulaire laag een grindkoffer werd geplaatst om de bestaande bekleding te ondersteunen (zie figuur 5.2 voor de gewenste vorm). Tevens zou hierdoor het instroomoppervlak van het geotextiel worden vergroot. Tijdens de infiltratieproef bleek dat de aansluiting tussen grindkoffer en granulaire laag (praktisch) niet aanwezig was. Over het geheel is een doorlatend geotextiel gelegd om dichtslibben van de granulaire laag te voorkomen.



Figuur 5.1 Feitelijke dwarsdoorsnede infiltratiesloot (niet op schaal)



Figuur 5.2 Gewenste doorsnede infiltratiesloot (schematisch)

Het water werd onttrokken uit de Westerschelde. Hiervoor was door het waterschap een pomp geplaatst op een soort rails op het voorland. De zuigmond lag ongeveer 0,5 m boven de bodem.

De plaats van de drukopnemers in de granulaire laag is als bij getijmeting (zie paragraaf 4.2). De opnemer in de infiltratiesloot lag los op de bodem. Deze opnemer diende voornamelijk om de tijdstippen waarop daadwerkelijk werd geïnfiltreerd vast te leggen.

Door WL|Delft Hydraulics is de verticale verplaatsing van de toplaag op twee manieren gemeten. Ter plaatse van de meetraai is de verplaatsing gemeten met behulp van drukopnemers (zie hiervoor verder paragraaf 4.5). De metingen zijn gecontroleerd door drie punten tevens regelmatig te waterpassen.

Daarnaast is op 4 raaien naast de eigenlijke meetraai op 4 niveaus het niveau van de toplaag middels waterpassing vastgelegd. Deze meetraaien waren gelegen op 5 en 15 m ter weerszijde van de meetraai. De niveaus waarop werd gemeten waren ongeveer NAP = 0 m, NAP + 1 m, NAP + 2 m en NAP + 3 m, uiteraard voor zover deze punten niet onder water lagen.

5.2 Verloop proef

Een chronologisch overzicht van de belangrijkste activiteiten is weergegeven in tabel 5.1.

Datum	Tijd	Activiteit
dinsdag 6 augustus		keuze meetlocatie
woensdag 28 augustus		maken breekgaten, inspectie opbouw bekleding, graven infiltratiesloot
vrijdag 30 augustus		voorbereiding plaatsen opnemers voor de verplaatsingmeting
maandag 2 september		installeren opnemers voor verplaatsing- en drukmeting
dinsdag 3 september	7.00 hr - 20.00 hr	eerste getijmeting
woensdag 4 september	8.30 hr	start infiltratie
	15.00 hr	geotextiel wordt verwijderd
	17.00 hr	einde meting
	18.00 hr	start tweede getijmeting
donderdag 5 september	8.00 hr	einde getijmeting
		demobilisatie meetopstelling

Tabel 5.1 Chronologisch overzicht meting

Een inhoudelijke beschrijving van de visuele observaties tijdens de infiltratieproef op 4 september 2002 wordt hierna gegeven.

7.30 hr De registratie met de opnemers wordt gestart. Er wordt een korte tijd gemeten zonder infiltratie, met als doel na te gaan of alles werkt en een goede nulmeting te krijgen.

8.35 hr De pomp wordt aangezet. Het water wordt ter hoogte van de meetraai in de sloot gebracht.

8.38 hr De eerste uitstroming door de toplaag wordt geconstateerd. De plaats is ongeveer ter hoogte van de hoogwaterlijn.

8.40 hr De eerste uitspoeling aan de teen (grens bestorting) wordt geconstateerd. De plaats is ongeveer 10 à 15 m ten noorden van de meetraai. Het water blijft uit de toplaag stromen, het is meer sijpelen dan spuiten. Dit uitstromen gebeurt voornamelijk ten noorden van de meetraai, ten zuiden van de meetraai komt er bijna geen water door de toplaag. Slecht een paar 'spuiters' zijn aanwezig, de grootste ligt direct zuid van de meetraai, ongeveer ter hoogte van de tweede opnemer van boven.

8.45 hr Ook ten zuiden van de meetraai komt er nu water uit de onderkant van de bekleding, de plaats is ongeveer 10 m en 20 m ten zuiden van de meetraai.

8.53 hr Het sijpelen door de toplaag lijkt af te nemen. De spuiter aan de teen geeft nu helder water, terwijl dit eerst grijsbruin was. Ook ter weerszijden van het gebied beneden de infiltratiesloot komt er nu water door de toplaag.

8.55 hr De spuiter aan de teen geeft nu weer grijsbruin water.

9.07 hr Het water in de sloot staat ongeveer 16 cm onder de rand van de basalton. Ten noorden van de meetraai is het gehele talud onder de hoogwaterlijn nu vochtig, ten zuiden incidenteel.
De spuiter aan de teen geeft weer helder water.

9.20 hr We krijgen een eerste indicatie van de gemeten beweging van de toplaag: de onderste opnemers lijken iets te doen. De druk onder de toplaag was snel opgelopen maar lijkt zich nu te stabiliseren of iets terug te lopen. Gecontroleerd wordt of het geotextiel al dichtslaat door de waterstand aan weerszijden van het geotextiel te vergelijken. Het lijkt dat er nog geen sprake is van dichtslaan.

9.25 hr Tot ongeveer 20 m uit de noordelijke rand van de infiltratiesloot komt er nu water door de toplaag.

9.30 hr Ten zuiden van de infiltratiesloot komt er nu water door de toplaag, tot ongeveer 15 m uit het einde van de infiltratiesloot. De plaats is bij de basaltonbekleding ongeveer de hoogwaterlijn, in het aansluitende bekledingsvlak de grens basalt-doornikse steen.

9.35 hr De hoogte van het fonteintje naast de meetraai wordt gemeten en bedraagt 25 cm.

10.10 hr Ten noorden van de sloot komt tot ongeveer 33 m naast de infiltratiesloot water door de toplaag. Het debiet van de pomp is volgens mondelinge informatie ongeveer 150 m^3/hr. De drukken onder de toplaag lijken iets af te nemen. Bij controle op dichtslaan van het geotextiel lijkt deze nog niet dicht te slaan.

10.35 hr Bij controle op het dichtslaan van het geotextiel lijkt er inmiddels een klein stijghoogteverschil (ongeveer 0,5 cm) over het geotextiel aanwezig te zijn. Dit wordt nog niet als verontrustend gezien en er wordt geen verdere actie ondernomen.

10.50 hr Het getij bereikt de bovenrand van de bestorting ter plaatse van de meetraai. De situatie lijkt verder stabiel. Volgens een eerste analyse van de waterpassing is de onderkant van de bekleding inmiddels 4 cm omhoog gekomen.

11.15 hr Gemeld wordt dat het aangevoerde debiet inmiddels 135 m^3/hr bedraagt. De hoogte van het fonteintje naast de meetraai is gezakt naar 20 cm.

11.30 hr Het vermogen van de pomp wordt opgevoerd.
Er lijkt inmiddels een stijghoogteverschil van enige centimeters over het geotextiel aanwezig te zijn. Er wordt gestart met schoonvegen van het geotextiel.

12.00 hr Het water in de infiltratiesloot staat ongeveer 10 cm onder de bovenrand van het basalton.

12.08 hr Op de zuidelijke rand van het proefvak is een wel bij de teen ontstaan. Al eerder was er net ten noorden van de meetraai een wel ontstaan. De wellen zijn goed te zien, ondanks het feit dat ze inmiddels bijna 1 m onder water zitten.

12.22 hr Het water in de infiltratiesloot staat ongeveer 5 cm onder de bovenrand van het basalton. Het pompdebiet wordt bijgesteld.

12.30 hr Opgemerkt wordt dat het fonteintje naast de meetraai inmiddels is verdwenen. De pomp wordt voordurend bijgesteld omdat de sloot dreigt te overstromen. De afname van het debiet wordt verklaard uit het afnemende verval over de bekleding.

13.00 hr De pomp wordt een aantal keren uitgezet omdat de sloot dreigt te overstromen. Tijdens deze periode van stilstand wordt de zaksnelheid van het water gemeten. Dit is ongeveer 2 cm per minuut. Hieruit wordt als indicatie van het infiltratiedebiet berekend van Q = 72 m^3/hr (bij een lengte van de sloot van 50 m en een gemiddelde breedte van 1,2 m). Er ontstaat enige discussie over het dichtslibben van het geotextiel. Het doek blijkt sterk tegen de basalton te worden geduwd. Als het doek handmatig van het basalton wordt weggetrokken komt er veel water doorheen.

13.45 hr De pomp wordt weer uitgezet. De zaksnelheid van het water in de infiltratiesloot is ongeveer 1,5 cm/minuut. Het hieruit volgende infiltratiedebiet is Q = 54 m^3/hr.

14.15 hr Er is inmiddels door het waterschap een klein pompje aangevoerd om het geotextiel schoon te spuiten. Helaas blijkt de koppeling van de tevens aangevoerde slang niet te passen op de pomp. Men gaat een nieuwe slang halen.

14.30 hr Men realiseert zich dat het grindkoffer in de infiltratiesloot niet aansluit op de granulaire laag onder de bekleding, in tegenstelling tot de tekening in het stappenplan. Dit betekent dat al het water dat in de granulaire laag stroomt door een betrekkelijk klein oppervlak moet van het verticaal staande geotextiel. Hierop wordt besloten om af te zien van schoonspuiten en het geotextiel te verwijderen. Ten zuiden van de meetraai gebeurt dit door het geotextiel om te slaan zodat de rand met de basalton vrij komt. Ten noorden van de meetraai wordt een strook van het geotextiel afgesneden en verwijderd. Ter plaatse van de pomp (en dus ook ter plaatse van de meetraai) wordt het geotextiel niet verwijderd om te voorkomen dat de waterstraal uit de pomp de bekleding ondermijnt. Tijdens het verwijderen van het geotextiel werd er niet gepompt. Op het moment dat het geotextiel wordt verwijderd was het fonteintje naast de meetraai weer korte tijd zichtbaar.

14.50 hr De pomp wordt weer aangezet.

15.00 hr De hoogte van het fonteintje naast de meetraai wordt gemeten en bedraagt 23 cm. In het volgende kwartier zakt de hoogte geleidelijk in.

15.30 hr Het geotextiel ter plaatse van de pomp wordt van de rand afgeduwd. Gelijk was het fonteintje naast de meetraai weer terug.

16.00 hr De wellen voor de bekleding worden weer opgemerkt, mogelijk waren ze al langere tijd zichtbaar.

16.30 hr Tussen 10 m en 15 m ten noorden van de meetraai lijkt de bekleding bij de teen te zijn opgebold. Op deze plaats is geen waterpassing voorzien. Besloten wordt om een extra meetpunt voor de waterpassing hier te plaatsen en de hoogte te meten met opbolling en als de waterdruk weer weg is. De plaats van de wellen is nu goed zichtbaar. Hier is de ingieting volledig uit de voeg tussen de basalt verdwenen.

17.00 hr Het getij is inmiddels onder de onderkant van de bekleding gezakt. De waterdrukken lijken zich te stabiliseren. Uit de registratie van de verplaatsingen lijkt dat deze zich stabiliseren of iets afnemen. Besloten wordt om de proef te beëindigen.

Een fotorapportage van de infiltratieproef is te vinden in bijlage 5.1a en 5.1b.

Later is door het Projectbureau Zeeweringen de 'bult van Baarland' opgebroken. Daarbij is vastgesteld dat er tussen de toplaag en de filterlaag een holte aanwezig was. De bekleding was hier overgoten en niet ingegoten. Daarna is deze locatie hersteld.

5.3 Meting druk onder de toplaag

De plaats van de drukopnemers in de granulaire laag is gelijk aan die bij de getijmeting (zie paragraaf 4.2).
De verwerking van de drukmetingen gaat op dezelfde wijze als bij de getijmeting. Hiervoor wordt naar de betreffende paragraaf verwezen. Door een onbekende oorzaak zijn tussen 9.10 hr en 11.20 hr de geregistreerde drukken niet opgeslagen.
Bij het uitwerken van de drukmetingen bleek dat ten tijde van laagwater (als de opnemers droog staan) er drukken ongelijk aan nul worden geregistreerd. Dit wordt geweten aan een nulpuntsverloop van de opnemers. Bij de uitwerking van de metingen is hiervoor gecorrigeerd door een extra nulpuntcorrectie toe te passen. De grootte van deze extra nulpuntcorrectie is gekozen zodanig dat bij droogstaan van de opnemers de waterdruk nul is.

Het verloop van de drukken is weergegeven in bijlage 5.3 en 5.4. De gemeten drukken zijn op twee wijzen gepresenteerd, namelijk als drukhoogte en als stijghoogte. De presentatie als drukhoogte geeft inzicht in de opwaartse druk op de toplaag. De presentatie als stijghoogte (som van drukhoogte en plaatshoogte) geeft inzicht in het verloop van de druk langs het talud.

Bijlage 5.5 toont voor een aantal geselecteerde tijdstippen de drukhoogte en stijghoogte als functie van de plaats op het talud.

5.4 Meting verplaatsing toplaag

Door WL|Delft Hydraulics is de verticale verplaatsing van de toplaag op twee manieren gemeten. Ter plaatse van de meetraai is de verplaatsing gemeten met behulp van drukopnemers (zie hiervoor verder paragraaf 4.5). De metingen zijn gecontroleerd door drie punten tevens regelmatig te waterpassen.

Daarnaast is op 4 raaien naast de eigenlijke meetraai op 4 niveaus het niveau van de toplaag middels waterpassing vastgelegd. Deze meetraaien waren gelegen op 5 en 15 m ter weerszijde van de meetraai. De niveaus waarop werd gemeten waren ongeveer NAP = - 1 m, NAP + 0,7 m, NAP + 1,5 m en NAP + 2,3 m. Uiteraard konden deze punten alleen worden ingemeten als zij niet onder water lagen. De plaats van de meetpunten is vastgelegd op bijlage 5.2.

Voor de waterpassing stonden twee Kern GK-1A automatische waterpastoestellen vast opgesteld aan beide zijden van het proefvak, echter wel zodanig dat ze ruim buiten de invloedssfeer van de infiltratieproef stonden. De nauwkeurigheid van deze waterpassingen moet worden gesteld op ±1,0 mm. In de berekeningen van de meetpunthoogten zijn de drie kruisdraadaflezingen gemiddeld, hetgeen een schijnnauwkeurigheid van tienden van millimeters oplevert.

Bijlage 5.6 toont de verplaatsing van de meetraai en bijlage 5.7a t/m 5.7e tonen het resultaat van de waterpassing in de extra raaien naast de feitelijke meetraai.

Bijlage 5.8a t/m 5.8d tonen voor de 12 meetpunten in de meetraai het gecombineerde verloop van de verplaatsing en het stijghoogteverschil over de bekleding. Het stijghoogteverschil is uitgezet langs de linkeras. Hiervoor is in de figuren dezelfde schaal gebruikt. De verplaatsing is uitgezet langs de rechteras. De schaal verschilt per figuur om zowel voor kleine als voor grote verplaatsingen het verloop in de tijd zichtbaar te maken.

6 Eerste interpretatie meetresultaten

6.1 Eerste interpretatie getijmetingen

Het belangrijkste doel van de getijmetingen voorafgaand aan en volgend op de infiltratieproef was na te gaan of er inderdaad sprake is van schoonspoelen van de granulaire laag, zoals dit bij de infiltratieproef Kruiningen werd geconstateerd.

Bij afgaand tij gaan de stijghoogtelijnen niet door hetzelfde punt. Dit wijkt dus af van hetgeen op basis van de theorie wordt verwacht. Ook lijkt de granulaire laag sneller leeg te stromen dan vol te stromen. Uit analyses van getijmetingen in het verleden is bekend dat het met Steenzet/getij altijd moeizaam was om zowel het vollopen als het leeglopen van de granulaire laag met dezelfde set parameters tegelijk goed na te rekenen. Een bevredigende verklaring hiervoor is niet beschikbaar. Mogelijke verklaringen zijn inhomogeniteit van de granulaire laag en stroming van water vanuit de filterlaag naar het achterland.

Uit vergelijking van de getijmetingen voor en na de infiltratieproef blijkt duidelijk dat er iets is veranderd aan de bekleding.
Bij de getijmeting vooraf kwam de freatische lijn in de granulaire laag tot opnemer WSM7 (NAP + 1,4 m). Dit is ongeveer 0,6 m onder hoogwater (NAP + 2,0 m). Bij de getijmeting achteraf kwam de freatische lijn tot opnemer WSM4 (NAP + 2,2 m). Dit is ongeveer 0,2 m onder hoogwater (NAP + 2,4 m).
Het tijdsverloop van de gemeten drukken is ook duidelijk anders. De getijmeting achteraf vertoont praktisch geen achterblijven van de drukken onder de toplaag met het getij. De instroming in en de doorlatendheid van de granulaire laag zijn kennelijk toegenomen.

Uit de meting van de verticale verplaatsing tijdens het getij blijkt dat de bekleding door de waterdruk naar beneden wordt gedrukt. De grootte van deze 'indrukking' verloopt van 3 mm aan de teen tot 1 mm bovenaan. Ook opnemers die boven hoogwater liggen worden naar beneden gedrukt, hoewel er hier geen verband met de plaats lijkt te zijn.
Mogelijk is deze 'indrukking' een gevolg van elastische vervorming van de het dijklichaam door de waterdruk op de dijk. Aan het einde van de meetperiode is er volgens de meting nog een restvervorming over. In werkelijkheid zal hiervan geen sprake zijn en moet dit meetresultaat worden toegeschreven aan nulpuntsverloop.

6.2 Interpretatie infiltratieproef

Bij start van de infiltratie nemen de drukken onder de toplaag snel toe tot een soort evenwichtswaarde. Bij het opkomen van het getij neemt de druk in de lager gelegen opnemers toe.
Rond 12.00 hr gaat het geotextiel snel dichtslibben. De drukken onder de toplaag nemen daarbij ook af.
Bij de twee bovenste opnemers (WSM1 en WSM2) worden daarbij zelfs negatieve waterdrukken gemeten. In de loop van de tijd lopen deze drukken weer naar nul. De volgende opnemer (WSM3) bereikt na verloop van tijd ook de situatie dat de druk nul is.
Bij de registratie van de overige opnemers is het proces van afwissend pomp aan en pomp uit duidelijk te zien. Opvallend is dat de amplitude van de druk bij de hoger gelegen opnemers groter is dan de amplitude van de druk in de infiltratiesloot. De amplitude van de druk neemt af naarmate de opnemers verder van de infiltratiesloot liggen.

Rond 14.50 hr zijn er grote schommelingen in de druk te zien. Op dat moment werd het geotextiel verwijderd wat vermoedelijk de reden was voor deze grote fluctuaties.

De drukhoogte onder de bekleding is hoog op het talud ongeveer 0,6 m.
Aan de teen ligt de drukhoogte onder de toplaag ongeveer 0,45 à 0,6 m boven de getijstand.

Het drukverschil over de bekleding dat nodig is om het eigengewicht van de bekleding te compenseren volgt uit:

$$p = \gamma D \cos\alpha$$

Basalton heeft een volumegewicht van ongeveer $\gamma = 23$ kN/m^3. De dikte van de toplaag bedraagt D = 0,25 m. De taludhelling is $\alpha = 20°$. Hieruit volgt voor de benodigde drukverschil om de toplaag op te tillen $\Delta p = 5{,}4$ kPa (drukhoogteverschil 0,54 m). De gemeten druk is dus voldoende om de bekleding op te tillen. Dit volgt ook uit de gemeten verplaatsingen hoog op het talud van 5 à 10 mm.
Aan de teen zijn de gemeten drukken onder de toplaag hoger dan hoger op het talud. Dit wordt mede beïnvloed door de waterdruk (getij) op de bekleding. Het drukhoogteverschil is echter minder. Tijdens opkomend water is het drukhoogteverschil ongeveer 0,5 m à 0,6 m om daarna iets af te nemen tot ongeveer 0,45 m tijdens afgaand getij. Onderaan het talud ligt ingegoten basalt van ongeveer 0,2 m dikte. Het benodigde drukverschil om het eigen gewicht hiervan te compenseren bedraagt ongeveer 5 kPa (0,5 m drukhoogteverschil). Het gemeten drukhoogteverschil komt dus ongeveer overeen met het drukhoogteverschil dat nodig is om het eigen gewicht van ingegoten basalt te compenseren. De verticale verplaatsing aan de teen is aanzienlijk (3 à 4 cm met uitschieters tot 7 cm).

Zolang het buitenwater niet op het talud staat is er een goede correlatie tussen het stijghoogteverschil en de verplaatsing. Als het getij stijgt nemen de verplaatsingen sterk toe. In de metingen wordt het beeld na 12.00 hr verstoord door het dichtslibben van het geotextiel en daardoor afnemen van de drukken onder de toplaag. Als het geotextiel wordt verwijderd zijn de grote opwaartse verplaatsingen van de toplaag weer terug.
Bij afgaand tij nemen de verplaatsingen van de toplaag weer af.

Aan het einde van de infiltratieproef is er 2 uur na stopzetting van de infiltratie nog een aanzienlijke restverplaatsing over. Ook de waterpassing de volgende dag toont een grote blijvende verticale verplaatsing. Aan de teen is de blijvende verplaatsing 2 à 3 cm. Nergens is geconstateerd dat de bekleding na afloop is gezakt.
Op één plaats (inmiddels bekend als 'de bult van Baarland', gelegen aan de teen op ongeveer 10 m ten noorden van de meetraai) is na afloop de bekleding opgebroken. Hierbij werd een open ruimte van circa 5 cm tussen de toplaag en de granulaire laag aangetroffen.
Elders is de bekleding niet opengebroken. Het is derhalve niet bekend of de bekleding over een groot gebied los ligt van de ondergrond, dan wel dat er sprake is van (lokale) migratie van het filtermateriaal.

Tijdens de proef kwam er weinig water door de toplaag. Wel zijn er grote wellen aan de teen geconstateerd. Het water lijkt dus voornamelijk via de granulaire laag en openingen tussen de granulaire laag en toplaag te zijn weggestroomd.
Het infiltratiedebiet is niet apart gemeten. Volgens opgave was het maximum debiet ongeveer 135 m^3/hr. Per strekkende meter sloot komt dit overeen met $q = 7{,}5.10^{-4}$ m^2/s.
Hiermee is een schatting te maken voor de doorlatendheid van de granulaire laag. Het verhang wordt gelijk genomen aan de taludhelling (i = 1/2,7 = 0,37). De dikte van de granulaire laag is ongeveer 0,4 m. Hieruit volgt voor de doorlatendheid $k = 5.10^{-3}$ m/s. Dit komt overeen met de doorlatendheid van fijn grind.

Opgemerkt wordt dat bovenstaande benadering alleen geldig is voor de situatie dat de toplaag en granulaire laag nog aanliggen. Als er tussen toplaag en granulaire laag een spleet is ontstaan zal het water via deze spleet wegstromen.

Een vergelijking van de situatie tijdens deze meting en tijdens de maatgevende storm valt buiten het kader van dit rapport. In het algemeen lijkt het onwaarschijnlijk dat de toplaag bezwijkt als gevolg van statische overdruk. Wel is enige voorzichtigheid noodzakelijk omdat er na de infiltratieproef sprake was van een blijvende verplaatsing van de toplaag. Een aantal zware belastingen kunnen, door accumulatie van vervormingen, leiden tot een ontoelaatbare vervorming. De problemen met het geotextiel hebben in feite al geresulteerd tot twee belastingsperioden. Het blijkt dat aan het einde van de infiltratieproef de restvervorming groter is dan tijdens de periode dat het geotextiel was dichtgeslibd. Dit ondanks het feit dat tijdens de periode dat het geotextiel was dichtgeslibd er nog enige overdruk onder de toplaag aanwezig was. Verder kan op basis van de infiltratieproef geen enkele uitspraak worden gedaan over het gedrag bij golfbelasting.

7 Samenvatting en conclusies

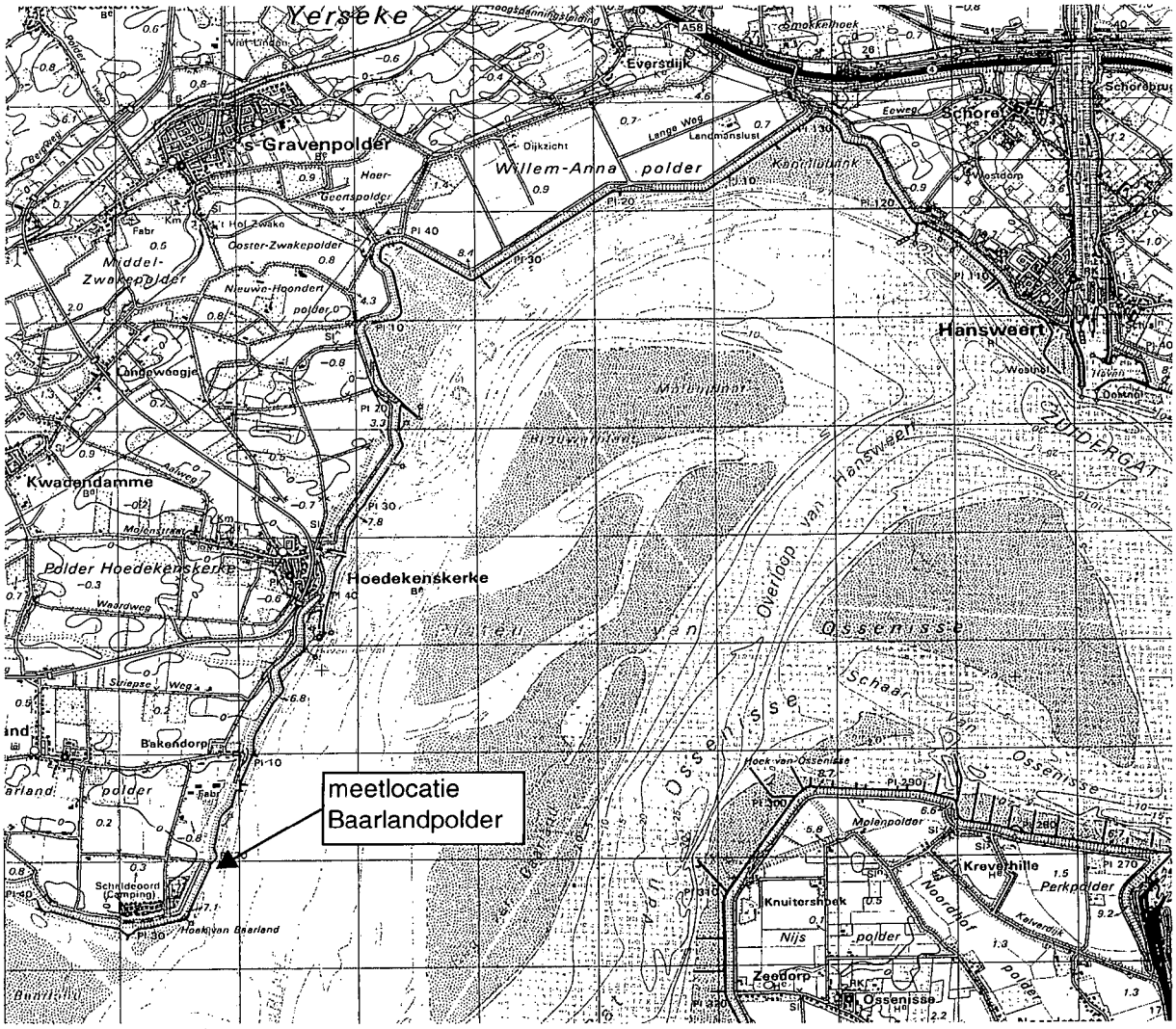
Op de locatie Baarlandpolder is een infiltratieproef uitgevoerd. Het doel van de proef was om het gedrag van de bekleding bij overdruk te bepalen. Hiervoor is vanaf de bovenkant continu water in de granulaire laag onder de toplaag geïnfiltreerd.
Evenals bij de proef op de locatie Kruiningen is de bekleding na afloop van de proef nog intact. Wel was er na de proef sprake van een blijvende verplaatsing. Op één plaats is na afloop van de proef de bekleding opgebroken en vastgesteld dat er sprake was van een holte tussen de toplaag en de granulaire laag. Hier was sprake van een excessieve verplaatsing. Of ook elders sprake is van een holte tussen de toplaag en de granulaire laag danwel dat er sprake is van migratie (uitzakken) van de granulaire laag is onbekend.

De gemeten drukken onder de toplaag zijn voldoende om het eigen gewicht van de bekleding te compenseren. De meting van de verticale verplaatsing toont aan dat de bekleding omhoog is gekomen. Waarschijnlijk heeft een groot gedeelte van de bekleding tijdens de proef gedreven op een waterlaagje.

Tijdens de proef kwam er weinig water door de toplaag. Wel zijn er grote wellen aan de teen geconstateerd. Het water is dus voornamelijk via de granulaire laag en/of via de open ruimte tussen granulaire laag en toplaag weggestroomd. Het debiet door de toplaag is verwaarloosbaar. Alles wijst er op dat de granulaire laag tijdens de infiltratieproef is schoongespoeld.

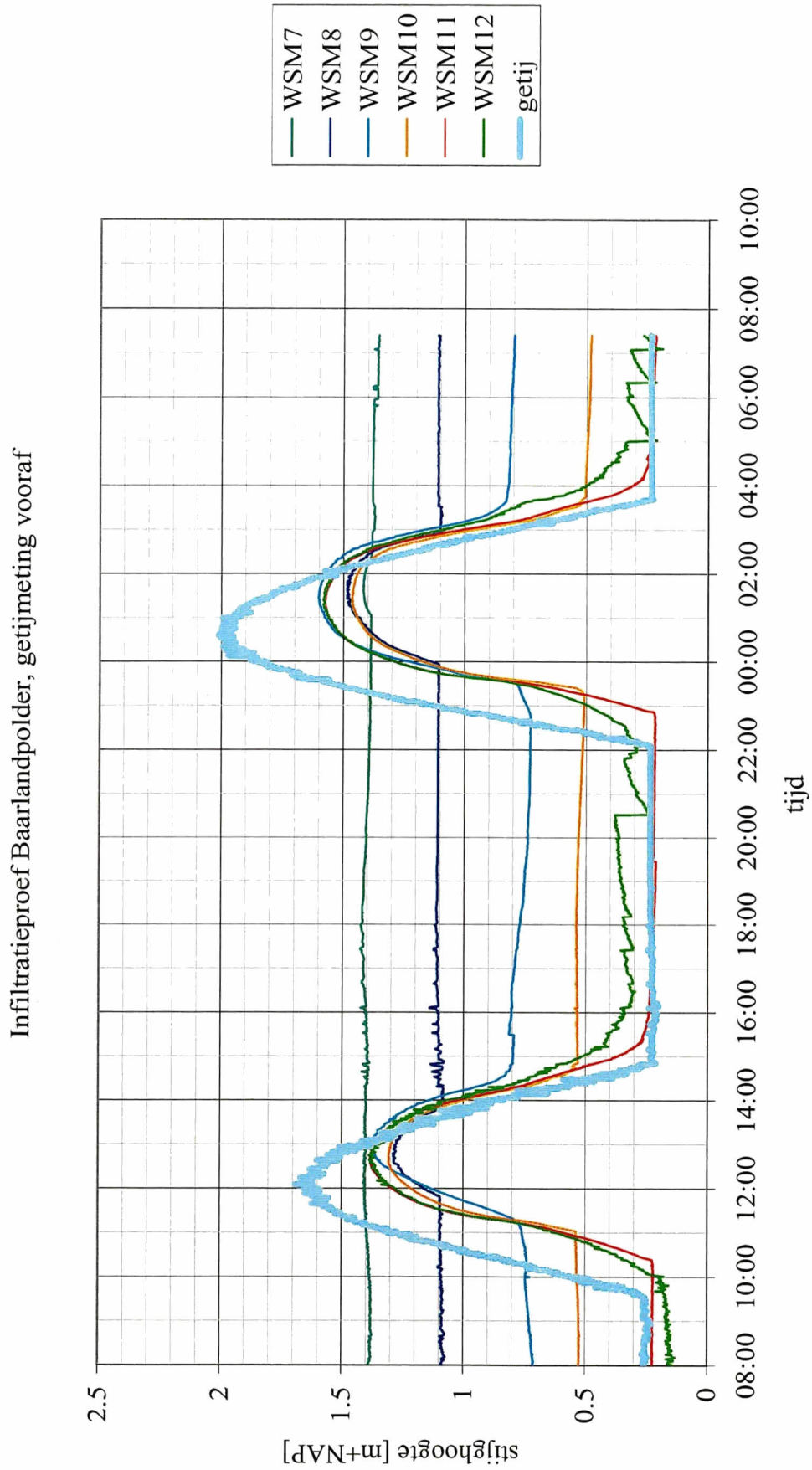
Deze meting bevestigt de bevindingen van de infiltratieproef bij Kruiningen, namelijk dat de toplaag naar alle waarschijnlijkheid niet bezwijkt door alleen wateroverdruk.

Bijlage 3.1 Plaats infiltratieproef



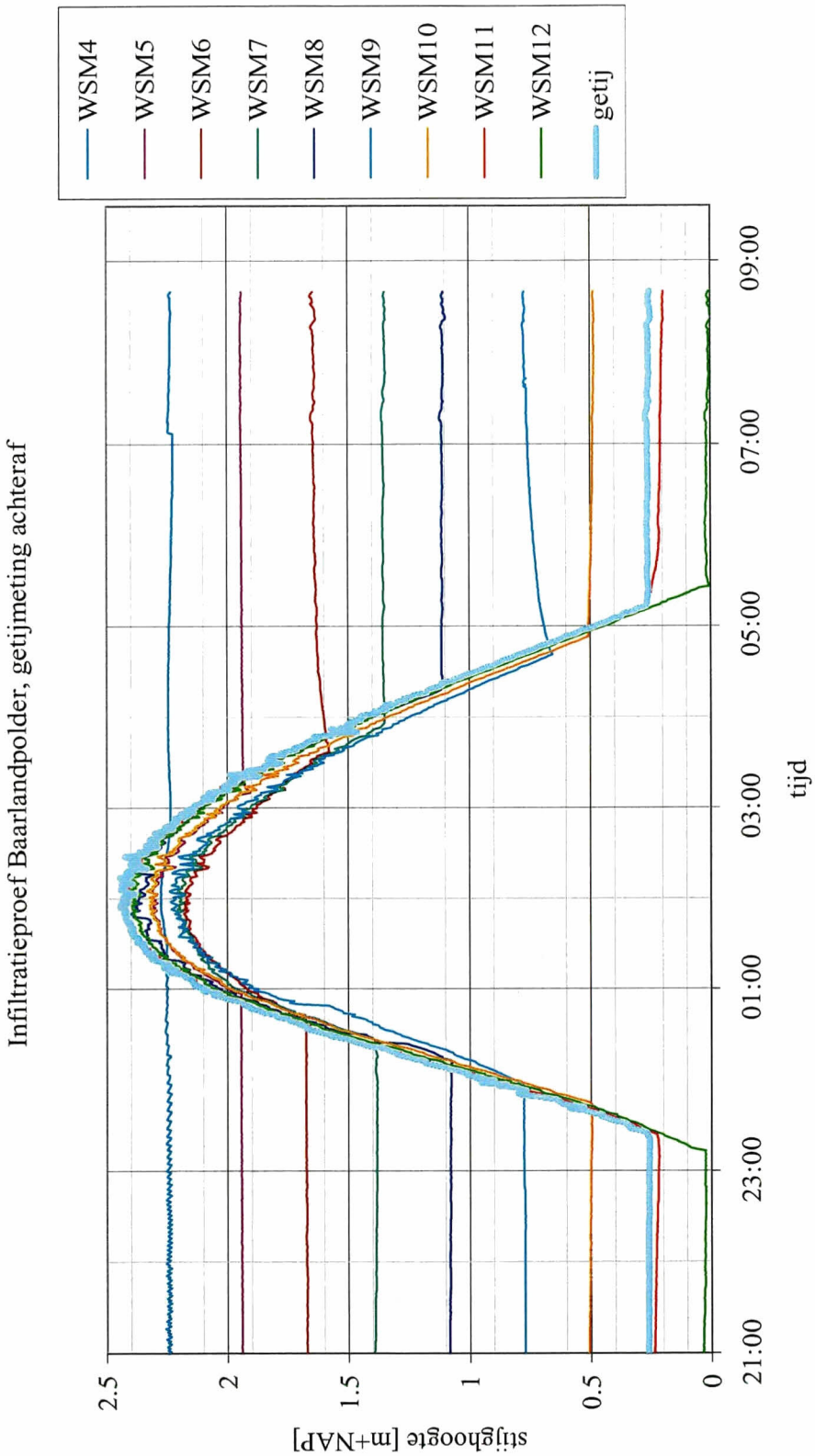
GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Plaats infiltratieproef			BIJL. 3.1	form. A4

Bijlage 4.1 Stijghoogten getijmeting vooraf



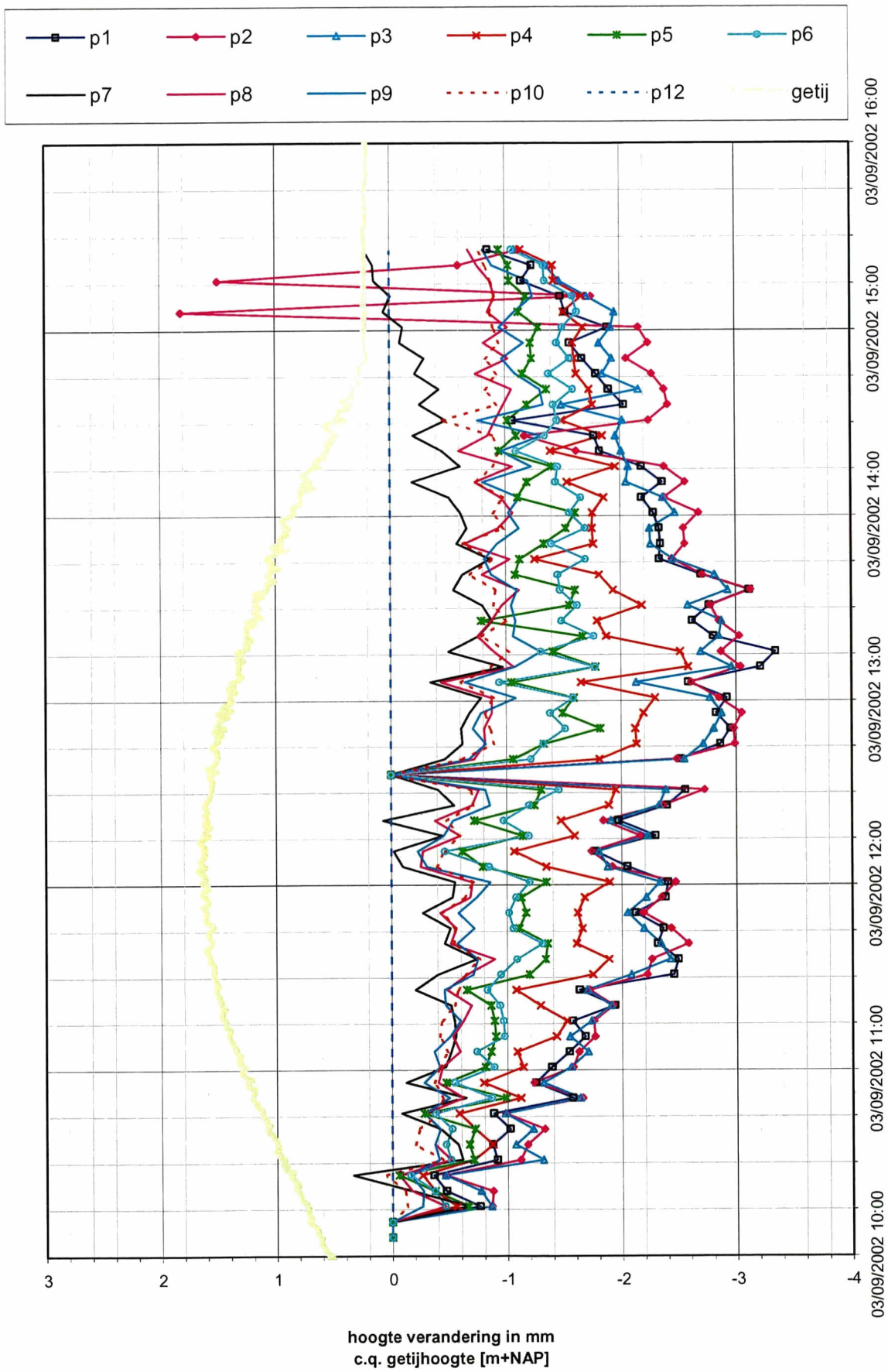
GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Datum 2002-11-14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Stijghoogten getijmeting vooraf			BIJL. 4.1	form. A4

Bijlage 4.2 Stijghoogten getijmeting na afloop infiltratieproef



GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	Datum 2002-11-14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Stijghoogten getijmeting na afloop infiltratieproef			BIJL. 4.2	form. A4

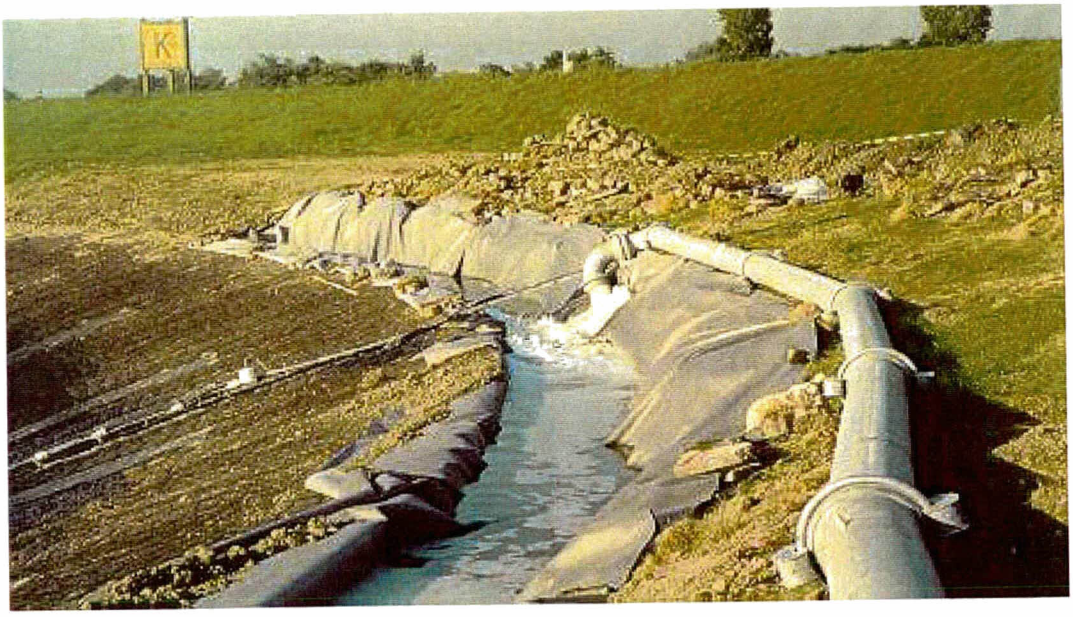
Bijlage 4.3 Verplaatsing toplaag bij getijmeting vooraf



Hoek van Baarland, infiltratie proef **verplaatsing toplaag bij getijmeting vooraf**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 4.3

Bijlage 5.1a - 5.1b Foto's infiltratieproef

Overzicht proeflocatie, op de voorgrond is de meetraai zichtbaar



Infiltratiesloot met toevoer van water

GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

datum 2002/11/14	get. Mey	
CO - 406350	gez.	
BIJL. 5.1a	form. A4	

Infiltratieproef Baarlandpolder

Foto's infiltratieproef

Detail van de granulaire laag ter plaatse van de infiltratiesloot
na verwijderen van het geotextiel

Wellen aan de teen

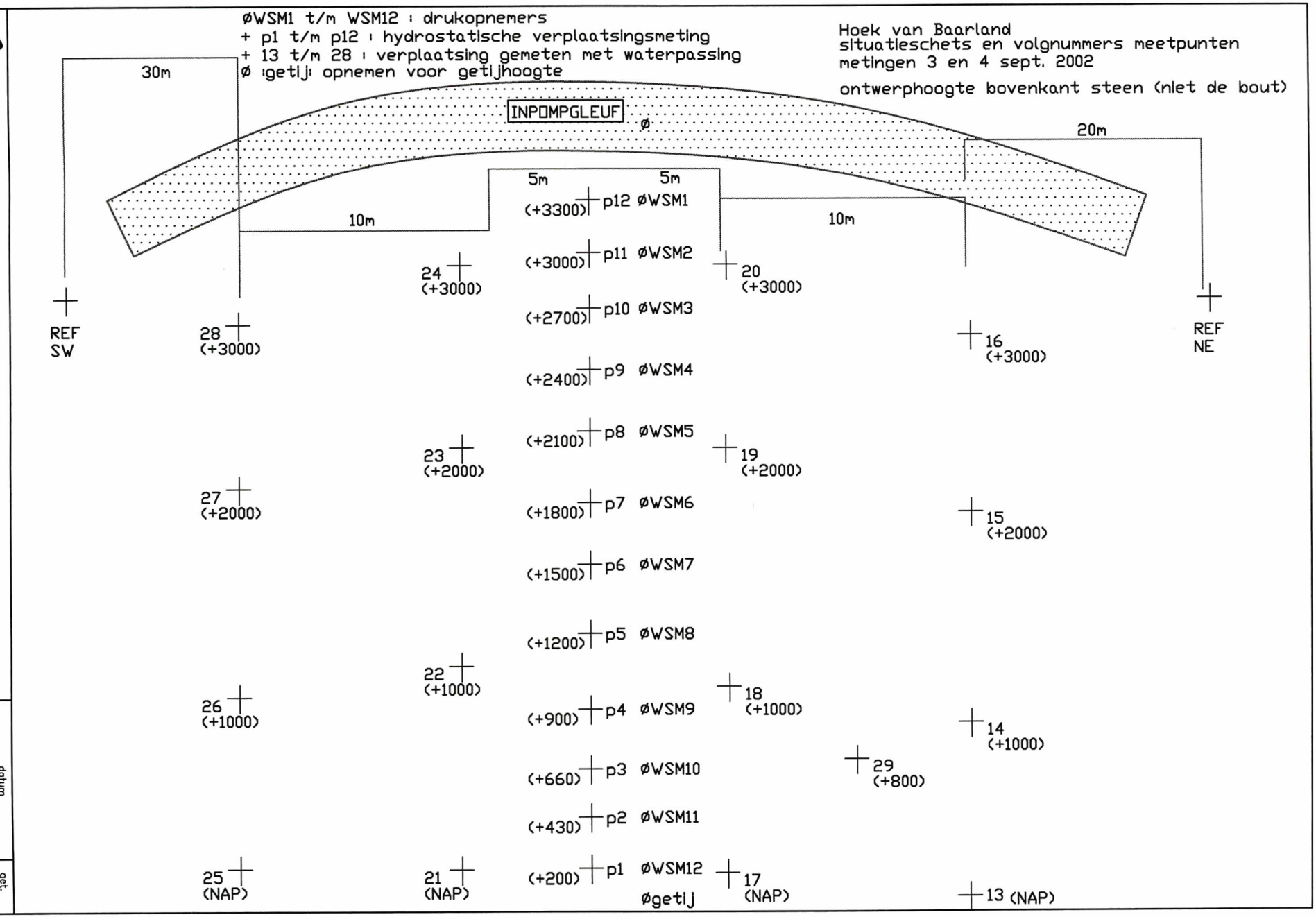
GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

datum 2002/11/14	get. Mey	
CO - 406350	gez.	
BIJL. 5.1b	form. A4	

Infiltratieproef Baarlandpolder

Foto's infiltratieproef

Bijlage 5.2 Situatieschets met plaats opnemers



GeoDelft

POSTBUS 69
2600 AB DELFT

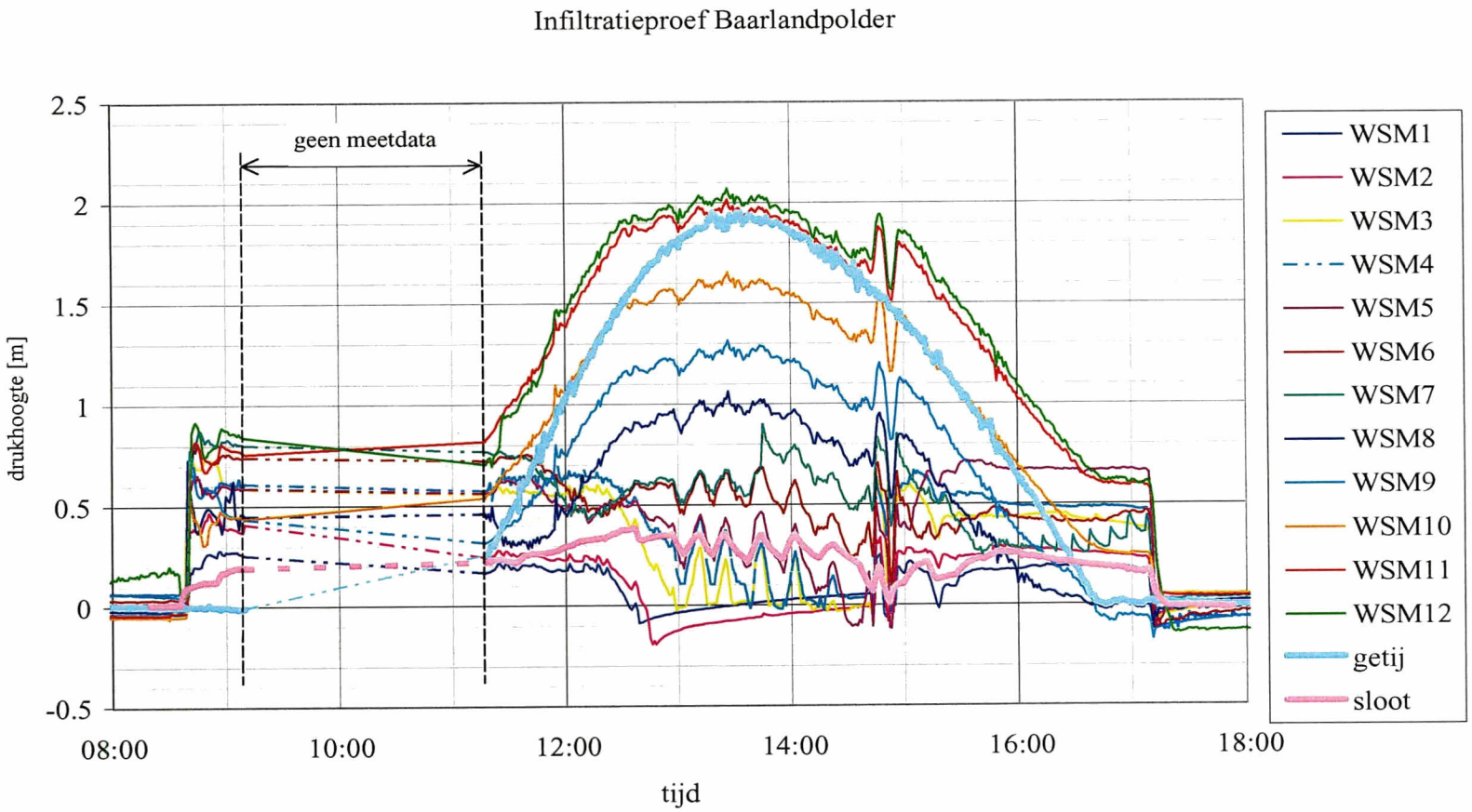
TELEFOON (015) 269 35 00
TELEFAX (015) 261 08 21

INFILTRATIE PROEF BAARLANDPOLDER

Situatieschets met plaats opnemers

BIJL. 5.2	CO-406530	2003-03-31	BAL
form. A4	gez.	datum	get.

Bijlage 5.3 Drukhoogten tijdens infiltratieproef



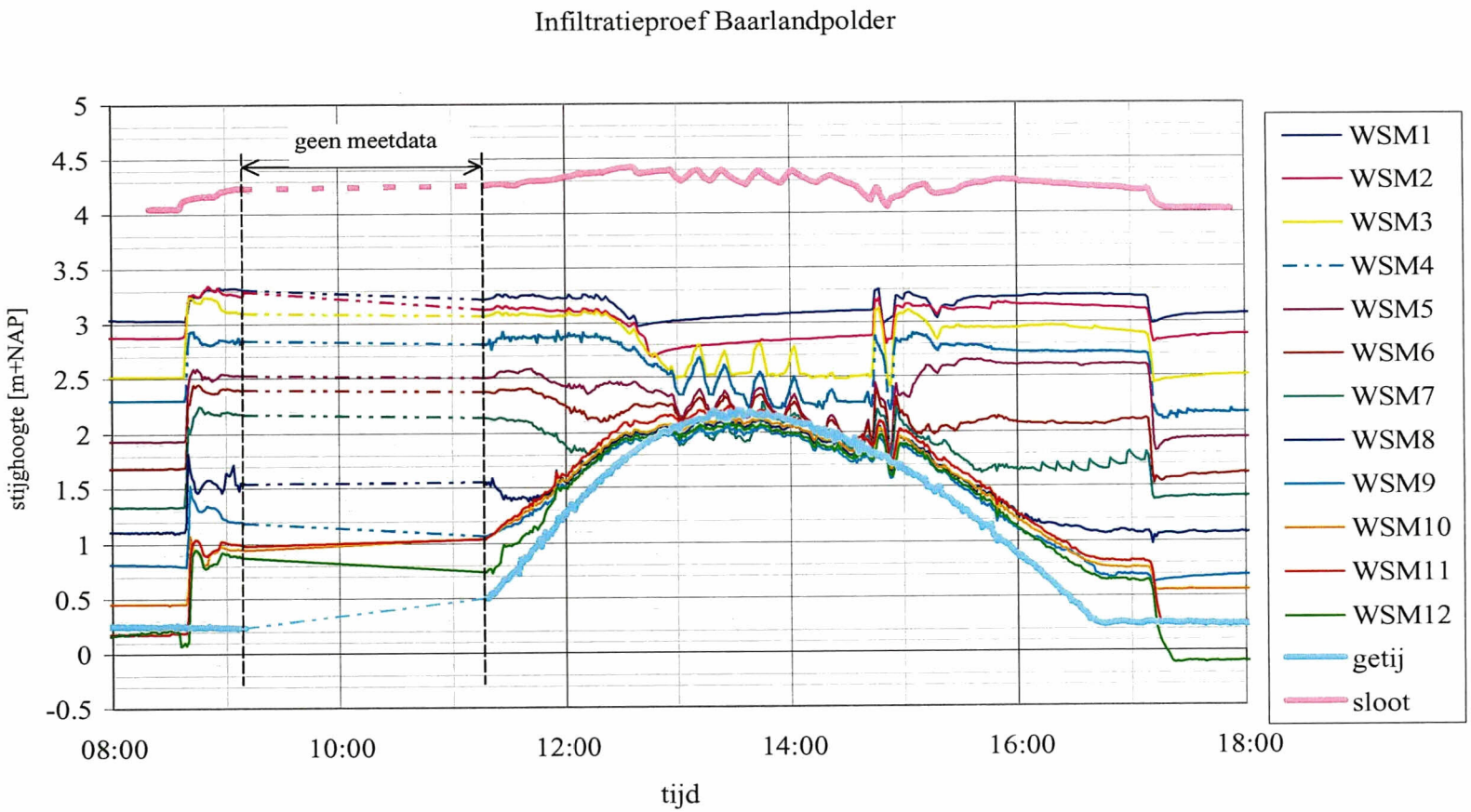
GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Infiltratieproef Baarlandpolder

Drukhoogten tijdens infiltratieproef

Datum	2002/11/14
get.	Mey
CO - 406350	
gez.	
BIJL. 5.3	
form.	A4

Bijlage 5.4 Stijghoogten tijdens infiltratieproef



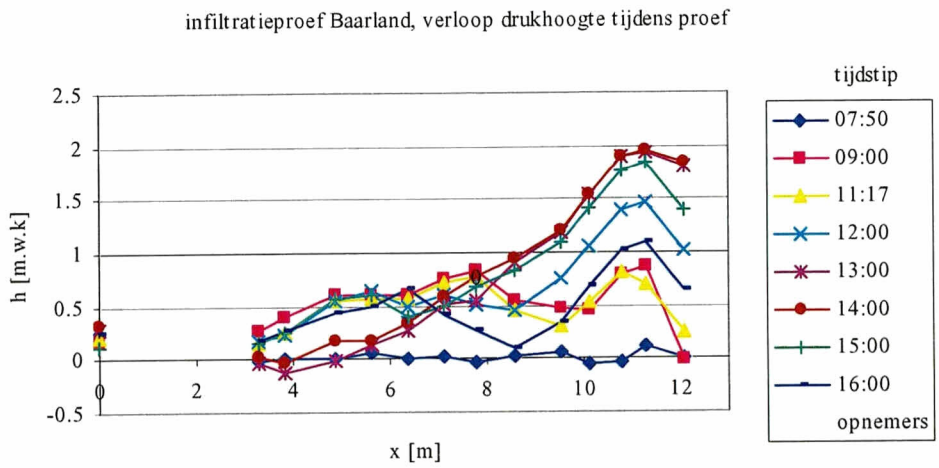
GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

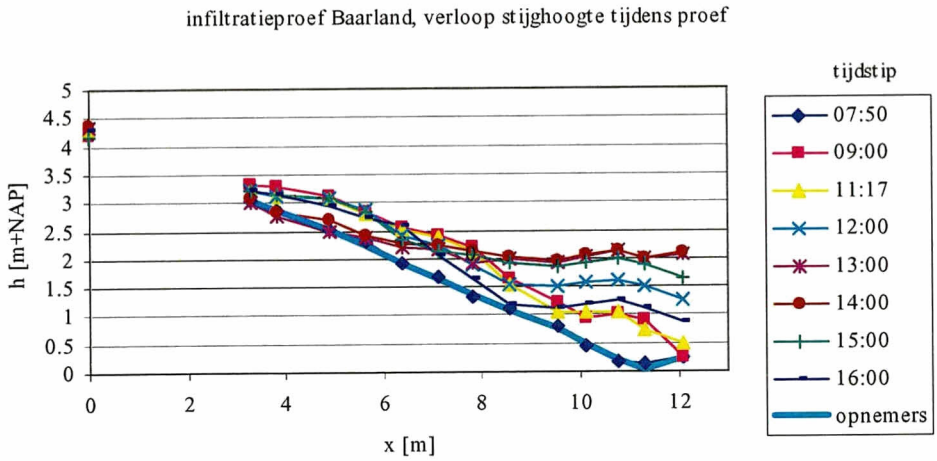
Infiltratieproef Baarlandpolder

Stijghoogten tijdens infiltratieproef

Datum	2002/11/14
get.	Mey
CO - 406350	
gez.	
BIJL. 5.4	
form.	A4

Bijlage 5.5 Verloop drukhoogte en stijghoogte over doorsnede

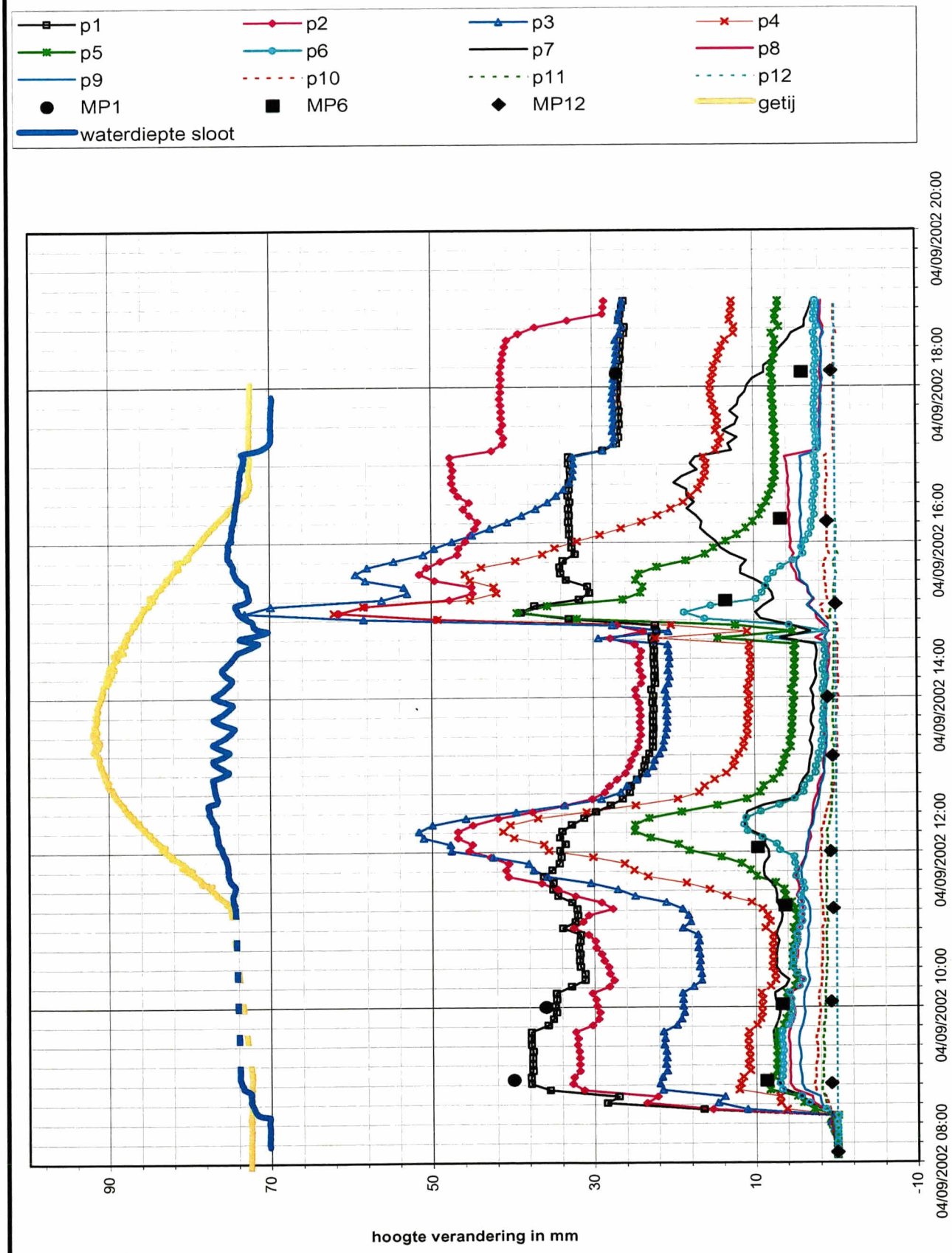




Opmerking: bij x=0 ligt de opnemer in de sloot
bij x=12 m staat de getijopnemer

GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Verloop drukhoogte en stijghoogte over doorsnede			BIJL. 5.5	form. A4

Bijlage 5.6 Verplaatsing toplaag bij infiltratieproef



Verloop getij en waterstand in sloot schematisch weergegeven

Hoek van Baarland, infiltratie proef **verticale verplaatsing hydrostatische metingen**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.6

Bijlage 5.7a Verticale verplaatsing waterpaspunten

PUNT	Hoogte van de kop van de in de steen ingeschroefde bouten in mm tov NAP																			
	Nulmeting tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	Eindmeting 5/9 tov NAP
1	363.0	9:04	403.0	10:00	399.0													18:10	390.0	
2																				
3																				
4																				
5																				
6	1674.0	9:03	1682.7	10:02	1680.7	11:18	1680.3	12:03	1683.7					15:15	1687.6	16:18	1680.7	18:11	1678.0	
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12	3466.3	9:01	3467.0	10:04	3467.0	11:16	3466.7	12:00	3467.0	13:14	3466.7	14:00	3467.3	15:12	3466.3	16:16	3467.3	18:12	3466.7	
13	113.2	9:16	164.0	10:16	144.7													18:02	134.3	137.0
14	1112.5	9:14	1115.3	10:19	1113.4	11:07	1114.0									16:02	1122.7	18:03	1116.3	1118.0
15	2103.7	9:13	2104.7	10:21	2103.7	11:04	2103.7	12:13	2104.3	13:08	2106.3	14:07	2103.3	15:05	2104.0	16:05	2108.3	18:04	2103.0	2104.3
16	3105.2	9:11	3104.7	10:24	3104.4	11:02	3104.3	12:17	3104.3	13:05	3104.0	14:09	3104.0	15:02	3103.6	16:07	3104.7	18:05	3103.7	3104.7
17	190.5	9:06	221.7	10:07	215.0													18:06	207.0	209.7
18	1104.2	9:07	1109.7	10:09	1105.7	11:09	1106.7									16:09	1121.3	18:07	1111.7	1113.7
19	2123.3	9:09	2126.3	10:12	2123.0	11:11	2124.7	12:07	2123.3	13:10	2122.3	14:05	2122.0	15:07	2124.3	16:12	2125.3	18:08	2122.0	2123.7
20	3116.7	9:10	3116.3	10:14	3114.7	11:13	3115.3	12:10	3115.7	13:12	3115.0	14:02	3116.0	15:10	3115.3	16:14	3115.0	18:09	3114.0	3117.3
21	249.0	9:26	293.4	10:28	291.0											16:37	289.0	18:16	267.3	267.5
22	1085.5	9:27	1095.2	10:31	1093.7	11:25	1095.3							15:27	1118.3	16:35	1100.6	18:17	1096.7	1096.3
23	2086.2	9:28	2098.0	10:33	2096.4	11:22	2095.0	12:34	2092.7	13:23	2089.0	14:18	2089.7	15:24	2091.3	16:32	2094.6	18:18	2090.0	2090.0
24	3104.5	9:30	3107.7	10:36	3106.4	11:20	3106.0	12:37	3106.0	13:26	3104.0	14:16	3105.0	15:29	3105.3	16:30	3106.3	18:19	3104.7	3104.3
25	119.5	9:24	191.4	10:45	190.7													18:20	155.3	154.6
26	1082.5	9:22	1090.4	10:43	1090.0	11:27	1089.3									16:23	1091.3	18:21	1088.3	1089.0
27	2089.5	9:21	2099.7	10:40	2099.7	11:29	2097.6	12:30	2096.7	13:21	2092.7	14:21	2093.0	15:22	2097.0	16:25	2101.6	18:23	2092.7	2092.6
28	3092.5	9:19	3093.7	10:38	3094.0	11:32	3093.5	12:27	3094.0	13:19	3093.0			15:19	3093.0	16:28	3094.3	18:24	3093.0	3093.5
29																16:50	910.3	18:01	904.7	905.2

Hoek van Baarland, infiltratie proef

verticale verplaatsing waterpaspunten

WL | Delft Hydraulics

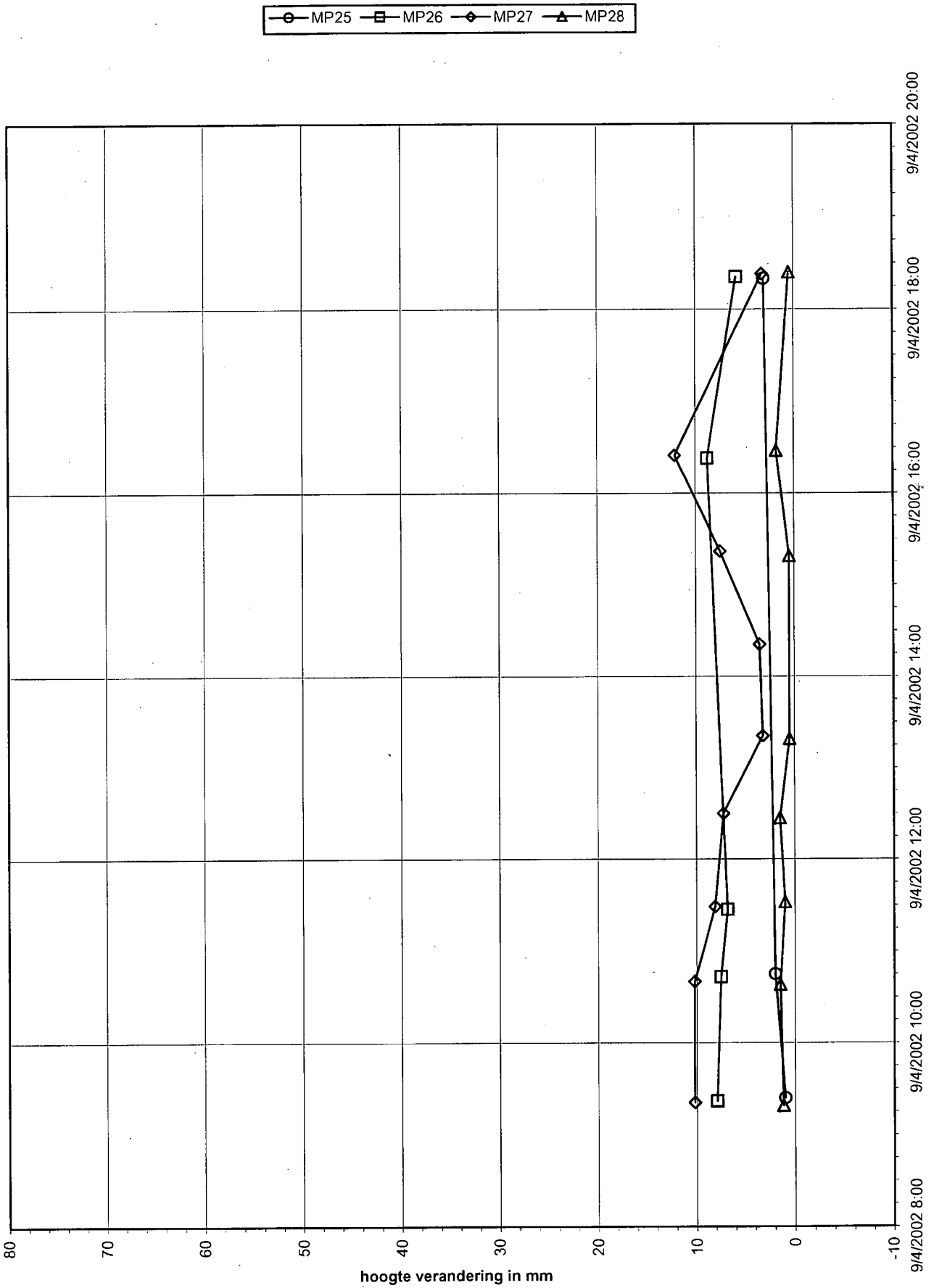
H4148

CO-406350

2003/03/31

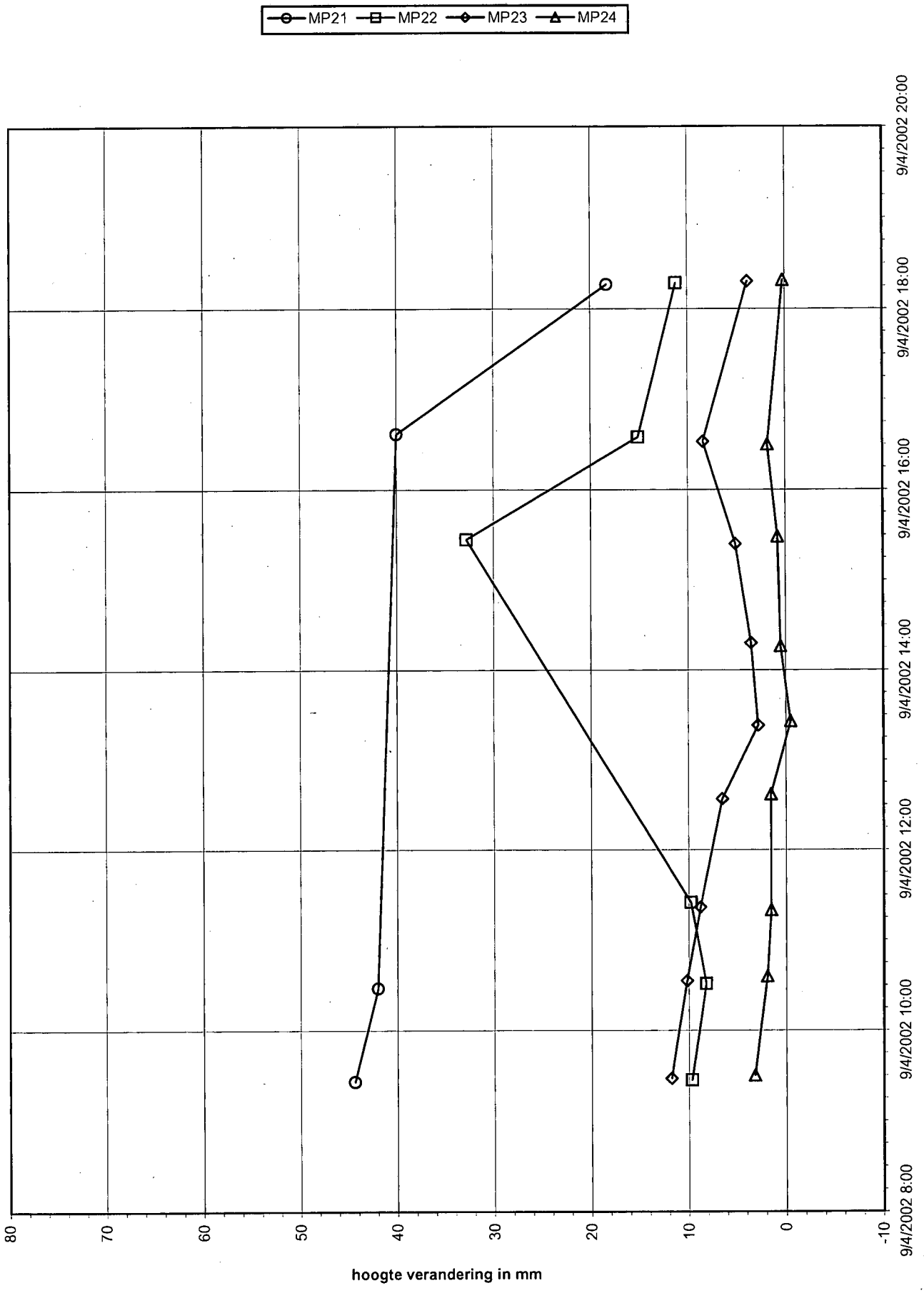
Bijl. 5.7a

Bijlage 5.7b Verticale verplaatsing waterpaspunten MP25-MP28



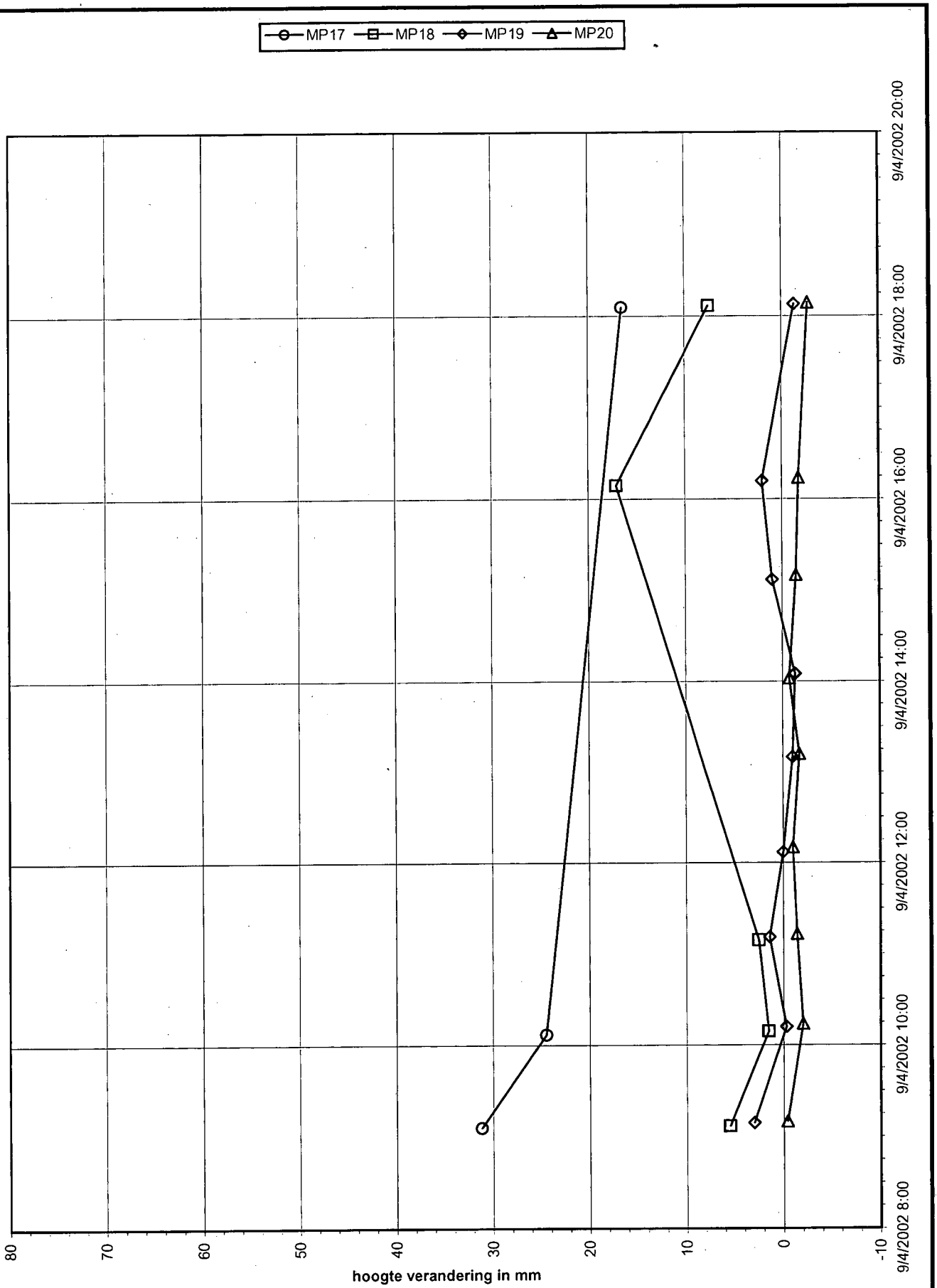
Hoek van Baarland, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP25 - MP28**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7b

Bijlage 5.7c Verticale verplaatsing waterpaspunten MP21-MP24



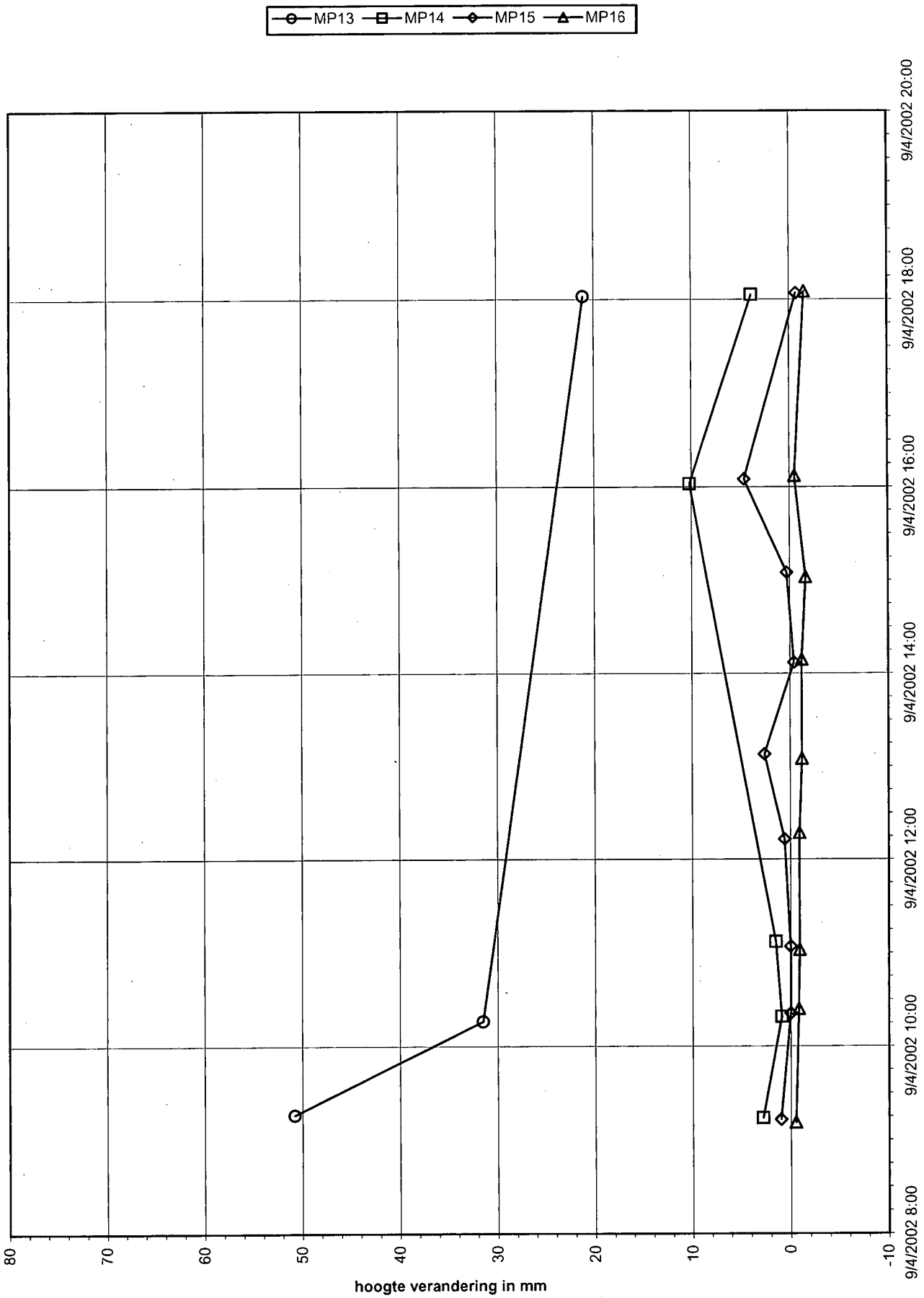
Hoek van Baarland, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP21 - MP24**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7c

Bijlage 5.7d Verticale verplaatsing waterpaspunten MP17-MP20



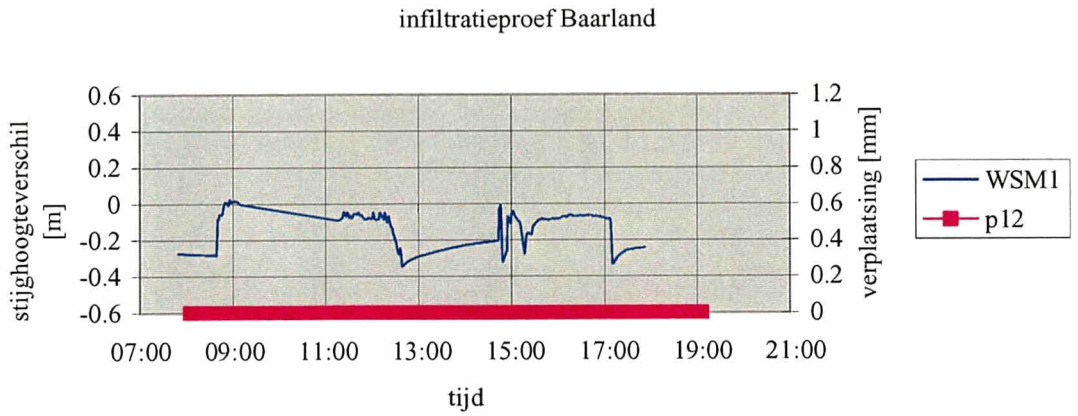
Hoek van Baarland, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP17 - MP20**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7d

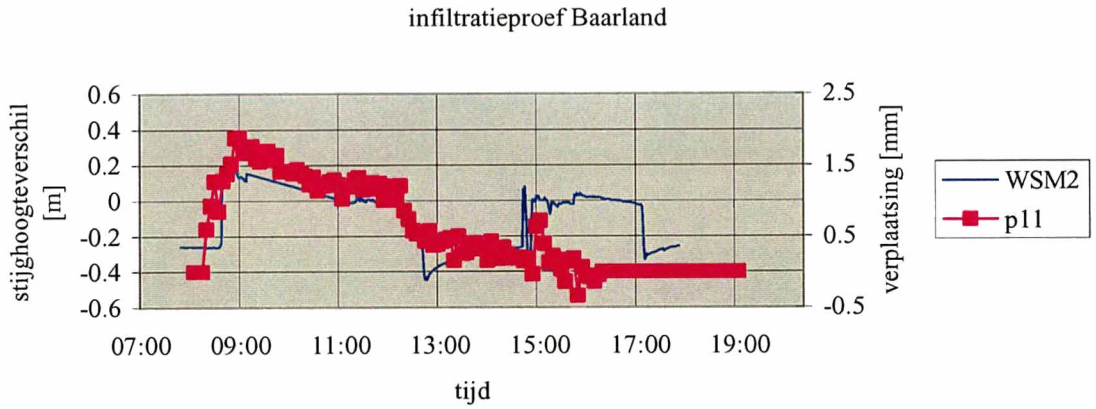
Bijlage 5.7e Verticale verplaatsing waterpaspunten MP13-MP16

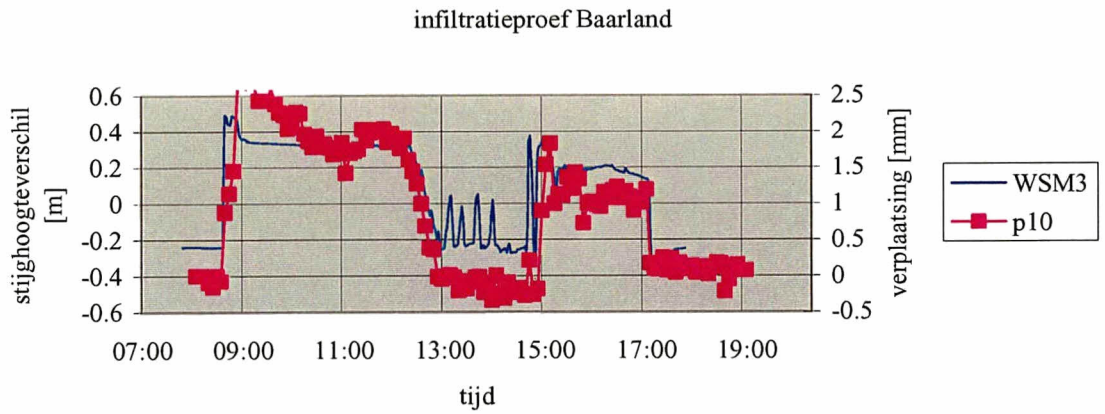


Hoek van Baarland, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP13 - MP16**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7e

Bijlage 5.8a t/m 5.8d Verloop verplaatsing en stijghoogteverschil

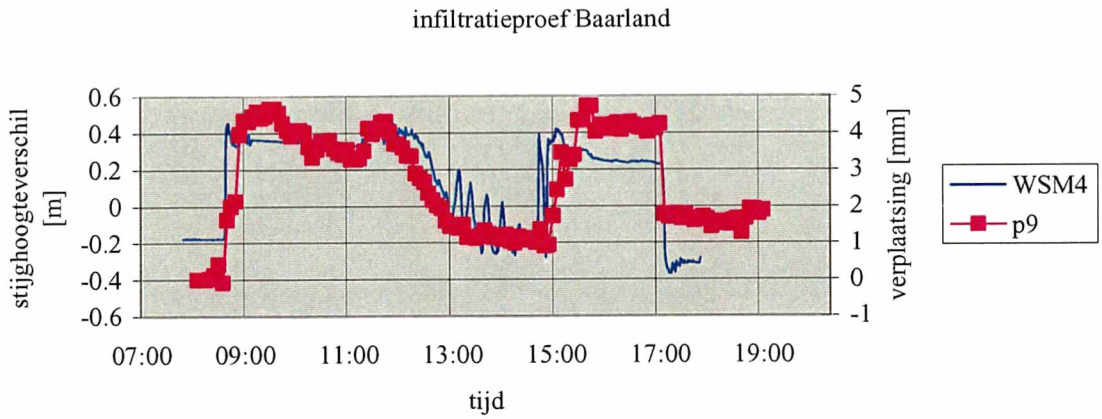


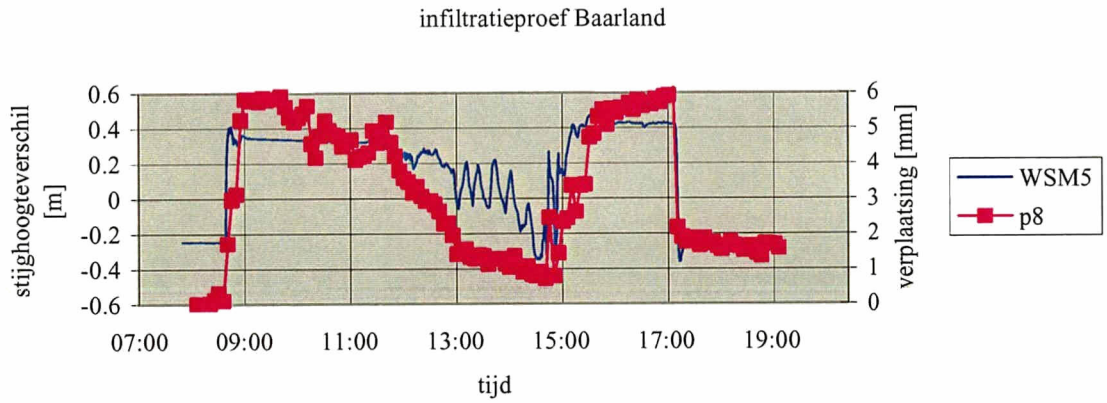


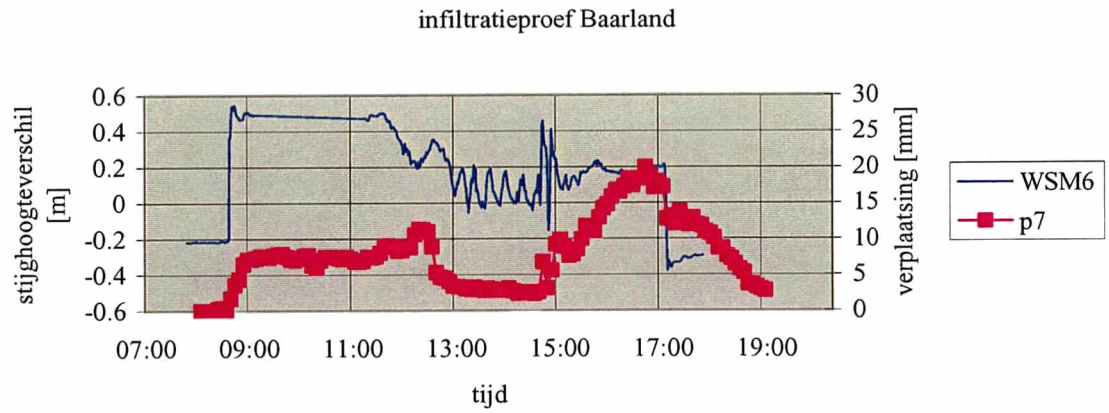


Legenda:
WSM : drukopnemer in granulaire laag
p : corresponderende verplaatsingsopnemer op toplaag

GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Verloop verplaatsing en stijghoogteverschil			BIJL. 5.8a	form. A4

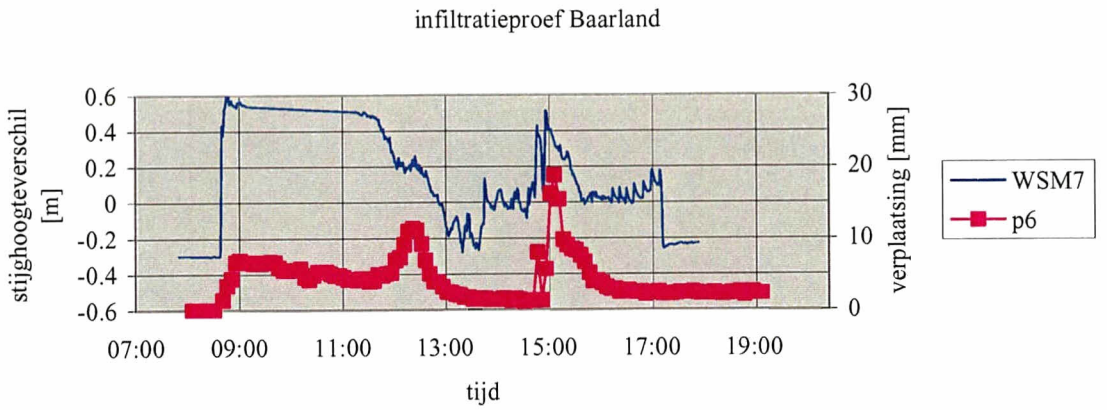


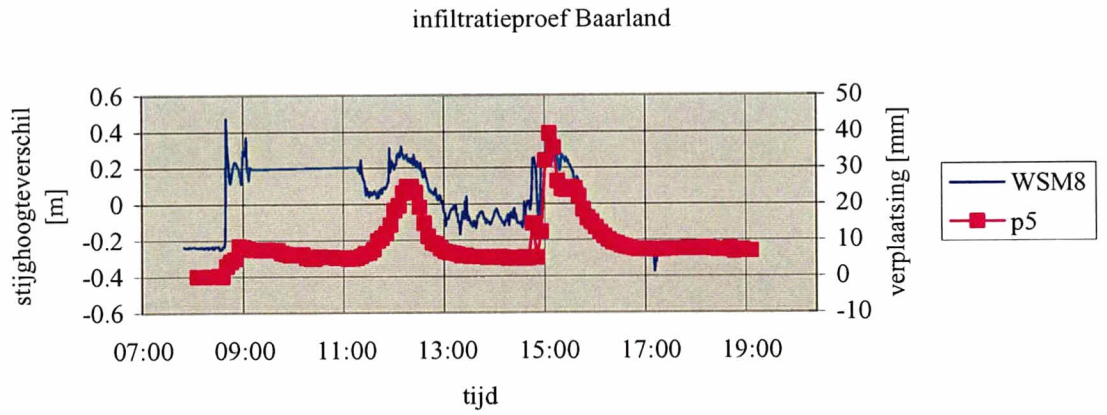


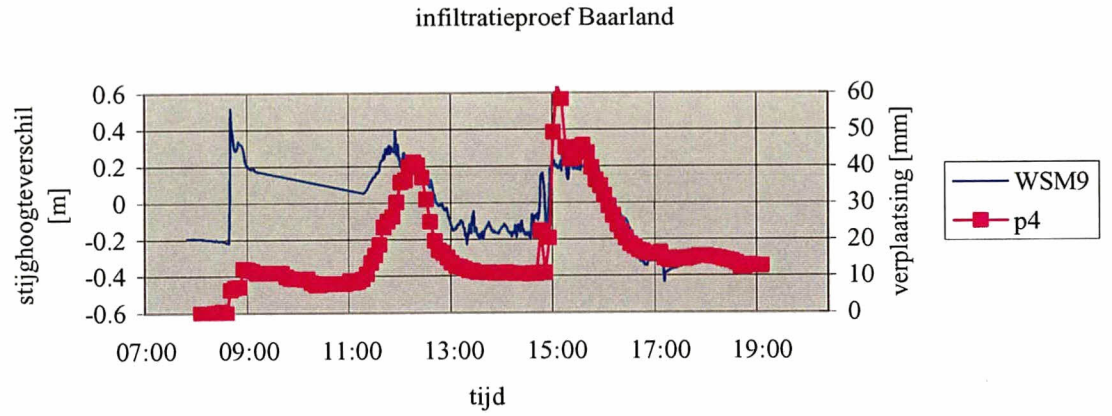


Legenda:
WSM : drukopnemer in granulaire laag
p : corresponderende verplaatsingsopnemer op toplaag

GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Verloop verplaatsing en stijghoogteverschil			BIJL. 5.8b	form. A4

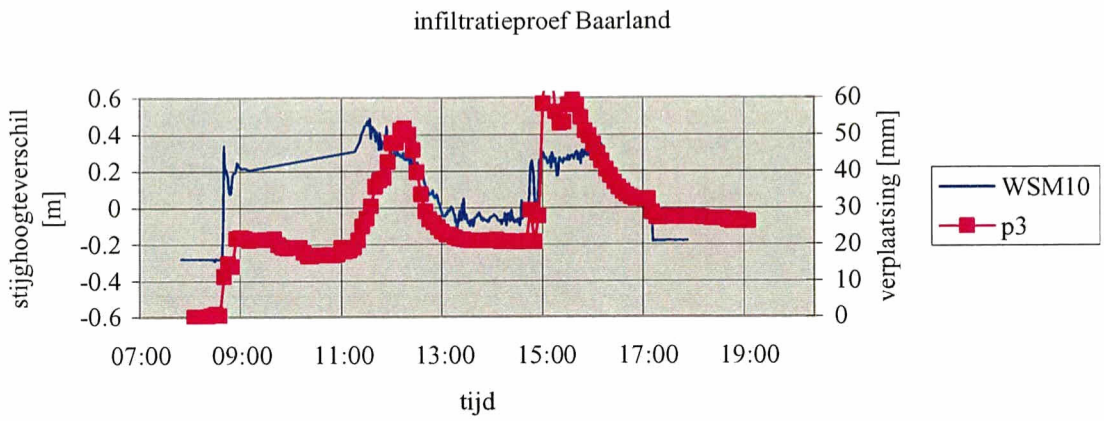


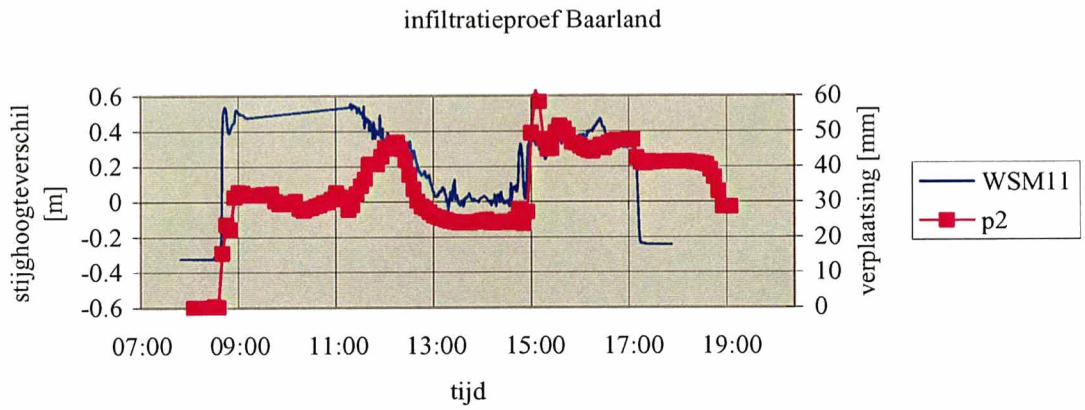


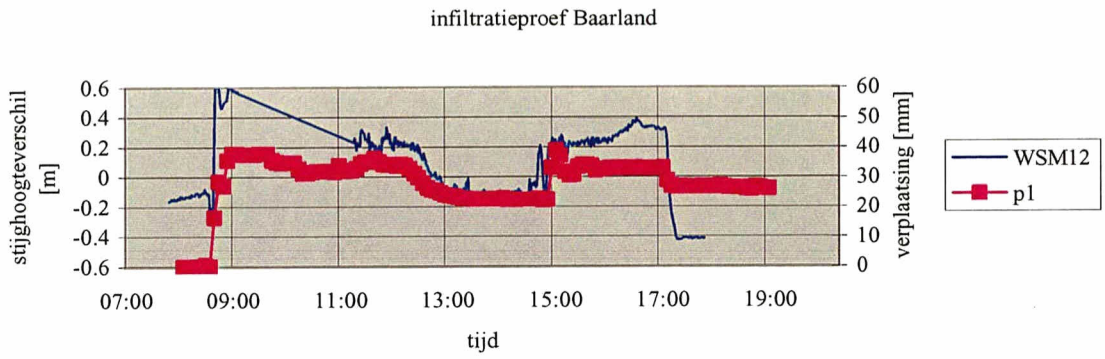


Legenda:
WSM : drukopnemer in granulaire laag
p : corresponderende verplaatsingsopnemer op toplaag

GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Verloop verplaatsing en stijghoogteverschil			BIJL. 5.8c	form. A4







Legenda:
WSM : drukopnemer in granulaire laag
p : corresponderende verplaatsingsopnemer op toplaag

GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Baarlandpolder			CO - 406350	gez.
Verloop verplaatsing en stijghoogteverschil			BIJL. 5.8d	form. A4

GeoDelft

Stieltjesweg 2
2628 CK Delft
Postbus 69
2600 AB Delft

Tel (015) 269 35 00
Fax (015) 261 08 21
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

[redacted]

[redacted]

Delft Cluster partner

GeoDelft

Infiltratieproef
Willem Anna polder

Projectnummer
406350.0025.

Versie
2 Definitief

Datum
april 2003

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen
Postbus 144
4460 AC GOES

Delft Cluster partner

GeoDelft

Postbus 69
NL-2600 AB Delft
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft

Telefoon
Telefax
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

Postbank 234342
ING Bank NV
rek.nr.65.09.62.524
KvK S41146461 Delft

Rapportnummer	Datum
406350.0025. v2	april 2003
Versie	**Aantal pagina's**
2 Definitief	42

Titel / subtitel

Infiltratieproef
Willem Anna polder /

Projectleider(s)

[redacted]s

Projectbegeleider(s)

[redacted]k

Overige leden projectteam

[redacted]

WL|Delft Hydraulics

Opgesteld in opdracht van

Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen
Postbus 144
4460 AC GOES

Verspreiding

4 x RWS - DWW
5 x RWS - Projectbureau Zeeweringen
1 x WL/Delft Hydraulics
[redacted]e
2 x GeoDelft

Samenvatting rapport

Op de dijk van de Willem Anna polder is een infiltratieproef uitgevoerd. Bij deze proef is vanaf de bovenkant water in de granulaire laag onder de bekleding geïnfiltreerd. Hierbij zijn de verticale verplaatsingen van en de drukken onder de toplaag gemeten. Tevens is tijdens een getijperiode voorafgaand aan en volgend op de infiltratieproef het verloop van de drukken onder de toplaag gemeten.
In dit rapport worden de uitgevoerde metingen beschreven en de meetresultaten gepresenteerd. De granulaire laag onder de bekleding was sterk kleiig en bovenaan praktisch afwezig. Daardoor was het infiltratiedebiet gering. De verticale verplaatsing van de toplaag was nihil. De eigenschappen (doorlatendheid) van de granulaire laag lijken niet te zijn veranderd.

Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf
1	november 2002	[redacted]s		ir. [redacted]k	
2	april 2003	[redacted]		ir. [redacted]k	

Inhoudsopgave

1 Inleiding

1.1 Achtergrond infiltratieproef

Het toetsen van met asfalt of beton in- of overgoten bekledingen levert in de praktijk grote problemen op. Er wordt gevoelsmatig een extra sterkte aan de ingieting van dit soort bekledingen toegeschreven die echter niet kan worden gekwantificeerd. Daarom kan er in de toetspraktijk geen rekening mee worden gehouden en zullen grote strekkingen wellicht ten onrechte worden afgekeurd. Vervanging hiervan brengt grote kosten met zich mee.

Om deze kennisleemte te vullen is in 2001 een praktijkproef (infiltratieproef) op de zeedijk bij Kruiningen uitgevoerd. Een samenvatting van alle uitgevoerde onderzoeken en een eerste interpretatie van de meetresultaten is te vinden in GeoDelft rapport CO-400970.0024 van maart 2002. Deze proef heeft het inzicht in het gedrag van ingegoten bekledingen aanzienlijk vergroot. Een voorlopige interpretatie van de proefresultaten was dat de doorlatendheid van de granulaire laag is vergroot door piping, schoonspoelen van de granulaire laag en/of oplichten van de toplaag. Hierdoor neemt de doorlatendheid van de granulaire laag toe en zal deze sneller leeglopen dan bij normale condities.
Een tweede mogelijk mechanisme is dat bij overdruk scheuren en/of openingen in de toplaag ontstaan die de wateroverdruk doen afnemen.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek en de daaruit volgende inzichten zijn een aantal aanbevelingen opgesteld. De belangrijkste zijn:

- onderzoek of de combinatie van overdruk en golfbelasting aanleiding kan geven tot bezwijken
- herhaling van de meting op andere locaties. Er is nu sprake van een proef op één locatie. Algemeen geldend verklaren van de resultaten van deze proef voor alle ingegoten bekledingen is onverantwoord. Door de meting te herhalen op andere locaties kan worden nagegaan of de geconstateerde verschijnselen uniek zijn voor deze locatie, of ook bij andere locaties optreden.

In rapport H3167 van WL|Delft Hydraulics is gekeken naar de combinatie van golven en oplichten. Hierbij is een 'grove schematisatie' gebruikt. Volgens deze schematisatie is bezwijken op de combinatie golven en oplichten niet waarschijnlijk, mits de golfhoogte minder is dan 1,6 m. Voor hogere golven zijn niet voldoende gegevens beschikbaar. Verder zijn naar aanleiding van deze studie aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek naar dwarskrachten en andere mogelijke bezwijkmechanismen.

De tweede aanbeveling is opgevolgd door het uitvoeren van twee infiltratieproeven in september 2002. De eerste is uitgevoerd op de zeedijk van de Baarlandpolder, de tweede op de zeedijk van de Willem Anna polder. Dit rapport beschrijft de meting op de dijk van de Willem Anna polder.

1.2 Uitvoering onderzoek

In dit rapport wordt de opzet van het onderzoek weergegeven (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt de proeflocatie beschreven. De resultaten van de getijmetingen en de infiltratieproef zijn in respectievelijk hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 weergegeven.

Een eerste interpretatie van de meetresultaten is gegeven in hoofdstuk 6, een volledige analyse van de meetresultaten vormt geen onderdeel van de opgedragen werkzaamheden. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de belangrijkste resultaten samengevat.

Bij het onderzoek waren een groot aantal partijen betrokken. In willekeurige volgorde zijn dit:

- RWS Projectbureau Zeeweringen: opdrachtgever, aanleg infiltratiesloot, aanvoer water, herstel bekleding
- RWS-DWW: inhoudelijke begeleiding meting
- GeoDelft: uitvoering getijmeting, meting druk onder de toplaag tijdens de infiltratieproef
- WL|Delft Hydraulics: uitvoeren verplaatsingsmetingen tijdens eerste getijmeting en tijdens infiltratieproef; tevens inhoudelijke begeleiding
- Waterschap Zeeuwse Eilanden: beschikbaar stellen meetlocatie, pompcapaciteit, personeel en materieel
- onderaannemers.

De resultaten van de verplaatsingsmetingen zijn door WL|Delft Hydraulics gerapporteerd in rapport H4148 'Verplaatsingsmetingen tijdens inpompproeven bij Baarland en Willem Anna polder'. De inhoud hiervan is in dit rapport verwerkt.

2 Uitvoering meetprogramma

De meting is een praktijkproef voor de gevolgen van infiltratie van water in de granulaire laag onder een dichte bekleding op de stabiliteit van de dijkbekleding. Door middel van de infiltratieproef wordt onderzocht of grote statische waterdrukken onder de bekleding kunnen ontstaan die vervolgens kunnen leiden tot bezwijken van de bekleding.

Het onderzoeksprogramma bestaat uit de volgende onderdelen:

- verzamelen relevante gegevens
- terreinverkenning, inclusief het openbreken van de bekleding om opbouw constructie vast te stellen
- aanleg van de meetopstelling
- uitvoeren van een getijmeting voorafgaande aan de proef, inclusief meting van de verplaatsingen
- uitvoeren van de infiltratieproef, met meting van de drukken onder de toplaag en verplaatsing van de toplaag
- uitvoeren van een getijmeting na afloop van de infiltratieproef, zonder meting van de verplaatsing van de toplaag
- demobilisatie
- eerste interpretatie van de meetresultaten.

Er is tweemaal een terreinverkenning uitgevoerd. De eerste verkenning vond plaats op 6 augustus 2002. Hierbij is de plaats van de proef vastgesteld en is gekeken waar het water voor de infiltratie vandaan gehaald kon worden. Bij deze verkenning waren aanwezig M.C.J. Bosters (RWS-DWW), R.J.G. van Etten (RWS-DWW), P. Meijers (GeoDelft), K.H. van Maasdam (Waterschap Zeeuwse Eilanden) en W.P. van de Kreeke (Waterschap Zeeuwse Eilanden).

De tweede terreinverkenning vond plaats op 2002-08-28. Hierbij waren aanwezig M.C.J. Bosters (RWS-DWW), J.C.P. Johanson (RWS-DWW), K.H. van Maasdam (Waterschap Zeeuwse Eilanden), A. Beaufort (Waterschap Zeeuwse Eilanden), P. Meijers (GeoDelft) en M. Klein Breteler (WL|Delft Hydraulics). Bij deze terreinverkenning zijn door een onderaannemer een aantal stenen uit de toplaag gelicht om de opbouw van de toplaag en de ondergrond vast te stellen. De resultaten worden beschreven in hoofdstuk 3. Op deze dag is ook een begin gemaakt met de aanleg van de infiltratiesloot door een onderaannemer.

De infiltratieproef zelf is uitgevoerd op 17 september 2002. Voorafgaand aan en volgend op de infiltratieproef is een getijmeting uitgevoerd. Hierbij is gedurende 1 of 2 getijperioden het verloop van de waterdrukken onder de bekleding gemeten. Deze meting dient om de (fysische) eigenschappen van de bekleding voorafgaand aan en na afloop van de proef vast te stellen. Vergelijking van de getijmeting voor en na de infiltratieproef geeft naar verwachting inzicht in de mate van schoonspoelen van de granulaire laag tijdens de infiltratieproef. Bij de getijmeting die voorafgaat aan de feitelijke infiltratieproef is tevens de verticale vervorming van het talud tijdens normaal getij gemeten.

3 Locatie en gegevens bekleding

3.1 Algemeen

De Willem Anna polder bevindt zich ten (zuid)oosten van 's-Gravenpolder.
Op 6 augustus 2002 is tijdens een locatiebezoek in overleg tussen RWS-PBZ, Waterschap De Zeeuwse Eilanden en GeoDelft de plaats van de meting vastgesteld.

Als meest geschikte locatie voor de infiltratieproef is vastgesteld het punt met RD-coördinaten:

- x = 55.600 m
- y = 386.200 m.

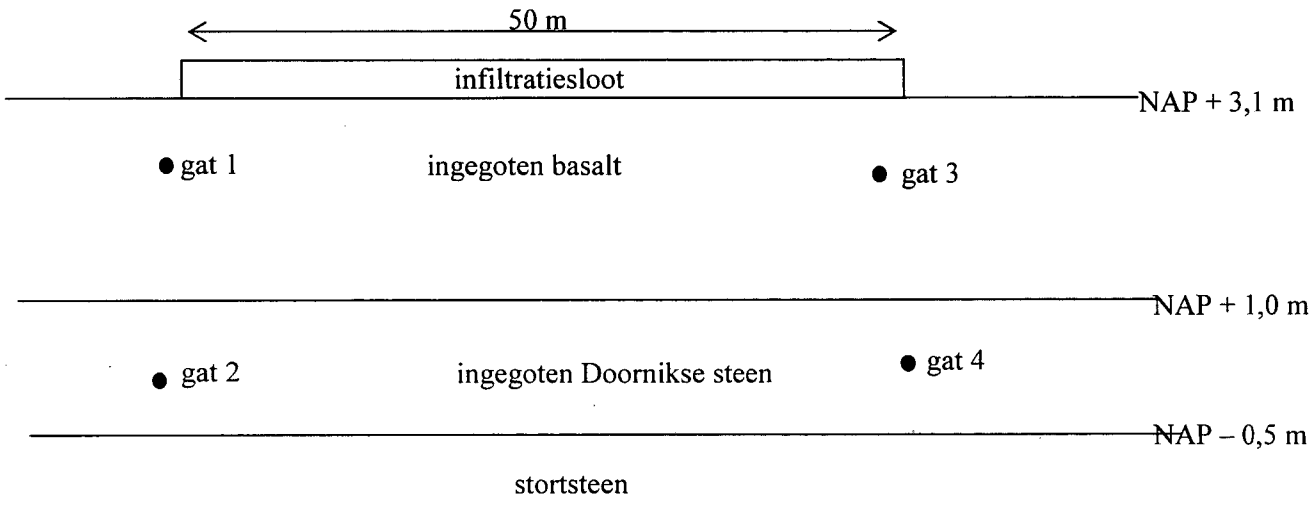
Dit punt bevindt zich ongeveer ter hoogte van km 30.5. Tijdens de proef hadden de dijkpalen nog de oude nummering. Volgens deze (oude) nummering lag de meetlocatie bij dijkpaal 14.5, tussen twee kleine, alleen bij eb zichtbare kribben. De locatie is direct toegankelijk aan het zuidelijke einde van de Kreekweg. Het nummer van het bekledingvak is 30402. Bijlage 3.1 toont de plaats van de proef.

In 2001 is voor deze locatie een geavanceerde toetsing uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn vermeld in GeoDelft rapport CO-388710/111 van november 2001. Hierbij is de bekleding afgekeurd. In het kader van deze geavanceerde toetsing is op 2001-09-03 een locatiebezoek uitgevoerd waarbij drie gaten in de bekleding zijn gemaakt.

3.2 Resultaten opbreken bekleding

Op 28 augustus 2002 is, ter voorbereiding op de infiltratieproef, wederom een locatiebezoek utigevoerd waarbij 4 gaten in de bekleding zijn gemaakt om de opbouw van de bekleding nader te inspecteren. Dit betreft twee gaten in de ingegoten basalt en twee gaten in de ingegoten Doornikse steen.

De plaats van de gaten is schematisch weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1 Plaats breekgaten in bekleding

Bij het openbreken van de bekleding is de volgende opbouw aangetroffen:

- gat 1, bovenaan bekledingsvak:
  Bekleding: basalt, diepte ingieting 5 à 10 cm.
  Dikte basalt: 29 cm, 27 cm, 30 cm, 28 cm, 28 cm, 27 cm en 25 cm; gemiddeld 28 cm.
  Dunne granulaire laag, ingeslibt, op drie vlijlagen.
  Ondergrond: 0,8 m vette klei (lokale beschrijving: spierklei), daaronder zand.

- gat 2, bovenaan bekledingsvak:
  Bekleding: Doornikse steen, diepte ingieting 5 à 15 cm. De steen is afwisselend met de korte zijde evenwijdig aan en loodrecht op het talud gelegd.
  Dikte Doornikse steen: 28 cm, 25 cm, 34 cm, 30 cm en 26 cm; gemiddeld 29 cm.
  Dunne granulaire laag van puin, ingeslibt.
  Ondergrond: 0,2 m klei, daaronder zand met schelpen.
  Water blijft in gat staan.

- gat 3, ondertafel:
  Bekleding: basalt, tot onderaan ingegoten.
  Dikte basalt: 24 cm, 28 cm, 27 cm, 29 cm, 30 cm en 30 cm; gemiddeld 28 cm.
  Dunne granulaire laag (3 à 4 cm dik) met slib op 2 vlijlagen.
  Ondergrond: 1,3 m stevige klei.
  Water zakt eerst snel weg en daarna nauwelijks tot niet meer.

- gat 4, ondertafel:
  Bekleding: Doornikse steen, diepte ingieting 10 cm.
  Dikte Doornikse steen: 21 cm, 20 cm, 20 cm, 23 cm en 20 cm, gemiddeld 21 cm.
  Granulaire laag: ingeslibt puin op 4 vlijlagen.
  Ondergrond: kleiig zand, op diepte wordt rijshout aangetroffen.
  Water blijft in gat staan.
  De volgende beschrijving van de eerder gemaakte gaten is ontleend aan rapport CO-388710/111 van november 2001.

- 'oud' gat 1 (zie rapport CO-388710/111)
  Plaats: circa 2 m boven overgang naar ondertafel van Doornikse steen, bij km 30,75.
  Bekleding: basalt, dikte gemiddeld 0,35 m, ingieting is betrekkelijk oppervlakkig (5 cm).
  Dunne granulaire laag van ingezand puin op 2 vlijlagen.
  Ondergrond: 0,7 m zandige klei.
  De granulaire laag is vrijwel ondoorlatend.

- 'oud' gat 2 (zie rapport CO-388710/111)
  Plaats: circa 2 m onder overgang naar Haringmanblokken, bij km 30,6.
  Bekleding: Basalt, dikte gemiddeld 0,25 m, ingieting is goed (15 à 20 cm).
  Granulaire laag: dichtgeslibd puin op 2 vlijlagen.
  Ondergrond: 0,6 m klei.
  Water in het gat zakt niet weg.

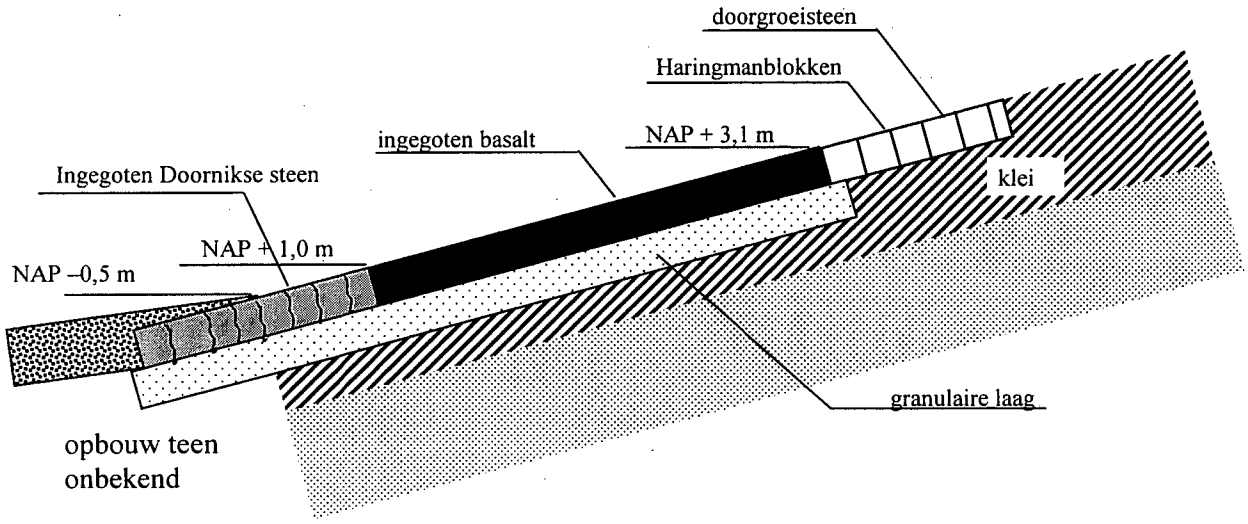
- 'oud' gat 3 (zie rapport CO-388710/111)
  Plaats: circa 2 m boven overgang naar ondertafel van Doornikse steen, bij km 30,4.
  Bekleding: Basalt, dikte gemiddeld 0,32 m, ingieting is tot in de granulaire laag doorgedrongen.
  Granulaire laag: 2 vlijlagen.
  Ondergrond: 0,7 m goede klei op 0,5 m zandige klei.
  De granulaire laag is vrijwel ondoorlatend.

3.3 Opbouw bekleding

De bekleding is ingegoten/overgoten basalt. Aan de teen bevindt zich ingegoten Doornikse steen.

De opbouw van de bekleding bij de meetraai is als volgt:

- stortsteen op voorland
- teen op NAP – 0,5 m
- gepenetreerde Doornikse steen tot NAP + 0,5 m, dikte 0,20 à 0,3 m
- gepenetreerde basalt tot NAP + 3,1 m, dikte 0,25 à 0,35 m
- Haringmanblokken
- doorgroeisteen.



Figuur 3.2 Schets opbouw bekleding, niet op schaal

De taludhelling is ongeveer 1:3.4.

De granulaire laag is vrij dun en slecht tot niet doorlatend. Onder de granulaire laag is een kleilaag aangetroffen.

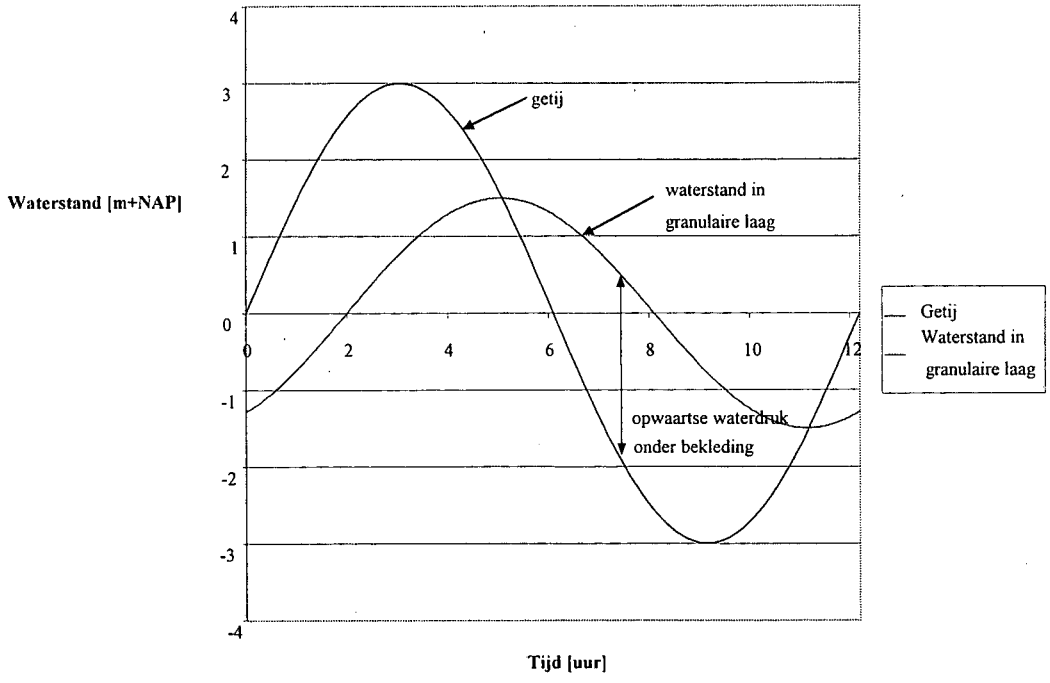
Na aanleg van de infiltratiesloot bleek dat bij de overgang van de basalt naar de Haringmanblokken geen granulaire laag meer te herkennen was en de basalt direct op de klei stond. In de klei waren nog wel de stenen van de vlijlaag aanwezig. De lengte waarover basalt direct op de klei stond was niet vast te stellen. In deze situatie was de verwachting dat infiltratie van de granulaire laag langzaam zou gaan en dat de kans op significante overdrukken daardoor kleiner wordt. Om de mogelijke infiltratie te verbeteren is door RWS-PBZ de bovenkant van de granulaire laag met een hogedrukspuit schoongespoten. Besloten is om de proef door te laten gaan, mede omdat de situatie met een slecht doorlatende granulaire laag onder de boventafel afwijkt van de situatie bij de eerder uitgevoerde proeven bij Kruiningen en de Baarlandpolder.

4 Getijmetingen

4.1 Principe getijmeting

Het principe van de getijmeting is als volgt. Ter plaatse van de teen van de dijk wordt aan de buitenzijde van de bekleding een waterspanningsmeter aangebracht die het verloop van de getijwaterstand registreert. Op verschillende plaatsen worden gaten in de toplaag geboord waardoor een waterspanningsmeter in de granulaire laag wordt geplaatst. De opnemers zijn gefixeerd door het gat gedeeltelijk te vullen met fijn grind. De gaten worden door middel van zogenaamde packers waterdicht afgesloten.

Met de geplaatste opnemers wordt simultaan de waterstand op de bekleding en in de granulaire laag gemeten. Als er sprake is van een open (goed waterdoorlatende) constructie, dan zijn getijwaterstand en waterstand in de granulaire laag vrijwel gelijk. Bij dichte (slecht waterdoorlatende) constructies ontstaan verschillen tussen de getijwaterstand en de waterstand in de granulaire laag. Bij opkomend tij kan de waterstand in de granulaire laag niet even snel stijgen, bij afgaand tij blijft er geruime tijd een waterstand in de granulaire laag aanwezig die hoger is dan de getijwaterstand (zie figuur 4.1). Dit laatste kan gevaarlijk zijn: er ontwikkeld zich een waterdruk onder de bekleding die er in extreme gevallen voor zou kunnen zorgen dat de bekleding omhoog wordt gedrukt en van de dijk afschuift. De bekleding faalt en de granulaire laag en de kern van de dijk blijven onverdedigd achter. Dit bezwijkmechanisme wordt 'bezwijken door statische verschildrukken' genoemd.



Figuur 4.1 Verloop waterstand in de granulaire laag t.o.v. getij (schematisch)

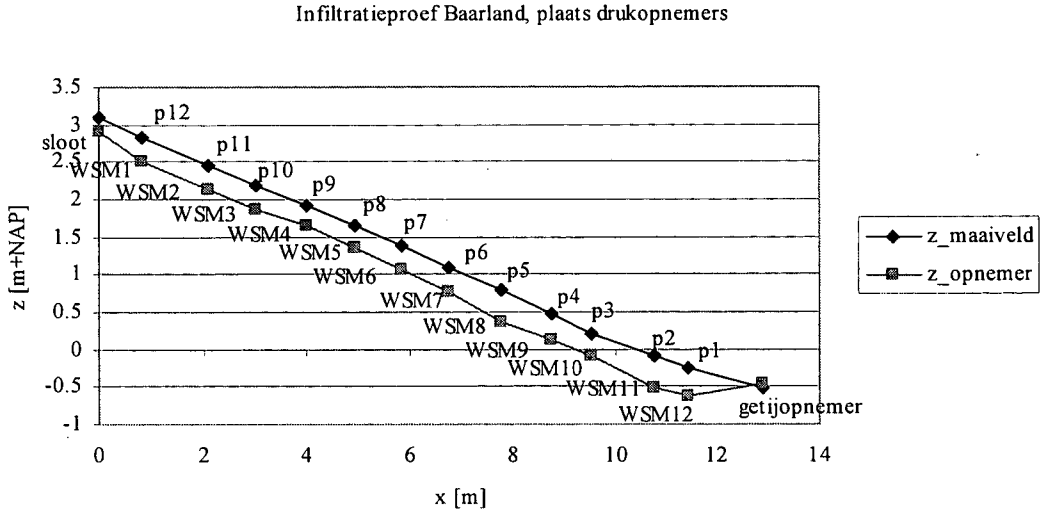
4.2 Plaats opnemers

De plaatshoogte van de opnemers is vermeld in tabel 4.1. De getijopnemer bevindt zich op het talud, de opnemer in de infiltratiesloot lag op de bodem (deze opnemer was bij de getijmeting niet aangesloten) en de overige opnemers waren in de granulaire laag onder de toplaag geplaatst.

Opnemer	Hoogte [m + NAP]
WSM 1	2.51
WSM 2	2.13
WSM 3	1.87
WSM 4	1.66
WSM 5	1.35
WSM 6	1.06
WSM 7	0.77
WSM 8	0.37
WSM 9	0.12
WSM 10	-0.09
WSM 11	-0.52
WSM 12	-0.63
Getij	-0.47
Infiltratiesloot (niet actief tijdens getijmeting)	2.90

Tabel 4.1 Plaatshoogte opnemers (t.o.v. NAP)

Figuur 4.2 toont de plaats van de opnemers voor de meetraai. In deze figuur is tevens de plaats van de drukopnemers van WL|Delft Hydraulics voor de verplaatsingsmeting weergegeven. De codering van de waterspanningsmeters onder de toplaag is WSM#, die van de drukopnemers op de toplaag is p#. Voor een beschrijving van de verplaatsingsmeting tijdens de getijmeting wordt verwezen naar paragraaf 4.5.



Figuur 4.2 Plaats opnemers op talud en onder talud

4.3 Verwerking meetgegevens

Het resultaat van de meting is een meetbestand dat is gevuld met meetwaarden in Volts. Deze waarden worden omgerekend naar waterdrukken in meters waterkolom volgens de formule:

$$\text{Data[mBar]} = \left[\frac{(\text{ruw meetgetal}[V] * 1000)[mV]}{100} - \text{nulpunt}[mV] \right] * \text{reciproke gevoeligheid}$$

$$\text{Data [m waterkolom]} = \frac{\text{data [mBar]}}{98{,}07}$$

De factor 100 in de eerste formule is alleen nodig omdat het meetsignaal met een factor 100 wordt versterkt. Het nulpunt en de reciproke gevoeligheid zijn ijkfactoren die in het laboratorium voor iedere waterspanningsmeter worden bepaald.

Waterspanningsmeter	Nulpunt [mV]	Reciproke gevoeligheid [-]
WSM 1	0.4262	7.02112
WSM 2	0.79536	6.98903
WSM 3	1.14316	9.92307
WSM 4	-0.96995	9.97954
WSM 5	0.99899	10.0034
WSM 6	0.40211	10.02187
WSM 7	1.55065	9.97484
WSM 8	0.93427	9.90951
WSM 9	0.04759	9.97375
WSM 10	-0.31099	9.92334
WSM 11	1.13541	9.861
WSM 12	0.03482	10.01607
Getij	1.01651	9.95402
Infiltratiesloot (niet actief tijdens getijmeting)	1.75379	10.0286

Tabel 4.2 IJkfactoren van de waterspanningsmeters

Om een beeld te krijgen van wat de metingen voorstellen worden de gemeten drukken in meters waterkolom vervolgens omgerekend naar stijghoogtes, volgens het principe:

Stijghoogte = plaatshoogte + drukhoogte

De plaatshoogte van iedere waterspanningsmeter is gegeven in tabel 4.1. De drukhoogte is de waterdruk in meters waterkolom.
De ondergrens van iedere stijghoogte wordt gevormd door de plaatshoogte.

Op 2002-09-16 blijkt aan het einde van de middag dat de opnemer op locatie WSM12 kapot is. De opnemer op deze plaats is vervangen door de opnemer die op de plaats van WSM5 stond. Gedurende de eerste getijmeting zijn er daarom geen data voor deze opnemer.
Vanaf dit moment zijn er geen metingen meer voor locatie WSM5. De getijmeting is tijdens de nacht doorgezet.

De resultaten van de meting zijn nu toegankelijk voor interpretatie. In bijlage 4.1 en 4.2 is het resultaat gepresenteerd als stijghoogte per waterspanningsmeter, uitgezet als functie van de tijd. Bijlage 4.1 toont het resultaat van de getijmeting voorafgaand aan de infiltratieproef en bijlage 4.2 het resultaat van de getijmeting na afloop van de infiltratieproef. Ter wille van de overzichtelijkheid zijn alleen de opnemers onder hoogwater in de figuur opgenomen. Hoger gelegen opnemers worden niet beïnvloed door het getij en zullen geen uitslag te zien geven. Op 16 september is rond 16.15 hr is de sloot als test volgepompt met water. Dit is op de registratie van de stijghoogten duidelijk te herkennen.

4.4 Verplaatsingsmeting

Door WL|Delft Hydraulics is de verticale verplaatsing van de toplaag tijdens de infiltratieproef voorafgaand aan de getijmeting gemeten.
Voor de meting van de "opbolling" van de steenzetting ten gevolge van de kunstmatige waterdrukverhoging in het dijklichaam is door WL|Delft Hydraulics gekozen voor een "hydrostatische meetmethode". De meetmethode bestond hierin dat op het talud, loodrecht op de dijkas, de bewegingen van de steenzetting werd gevolgd. Twaalf drukopnemers (fabrikant Druck, type PTX-1830) werden, verdeeld over het talud, in een U-vormige leiding van 12 mm zachte koperen pijp gemonteerd, en op de steenzetting vastgeschroefd met keilbouten. De drukopnemers hebben een bereik van 350 mbar met een nauwkeurigheid van 0,1% van de volle schaal (gecombineerd non-linearity, hysteresis en repeatability). Deze leiding werd gevuld met water, waardoor in rust in de leiding een hydrostatische drukverdeling ontstaat. In geval van een hydrostatische meetmethode is de drukverandering als volgt om te rekenen naar een verplaatsing:

$$h = \frac{p}{\rho_w g}$$

met:

h : verplaatsing (m)
p : drukverandering (kPa)
ρ_w : soortelijke massa water (kg/m^3)
g : versnelling zwaartekracht (m/s^2).

De U-vormige leiding was aan de bovenzijde gekoppeld aan een op de dijk opgestelde voorraadtank met water, en liep vervolgens neerwaarts naar een punt juist onder de onderste drukopnemer op het talud. Vandaar ging de leiding omhoog via alle ingebouwde drukopnemers naar een (gefixeerd) open einde juist boven de hoogste drukopnemer.In het eerste gedeelte van de leiding, van de voorraadtank naar de teen van het talud, was op een hoogte onder die van het gefixeerde open uiteinde, een elektrisch bediende afsluiter gemonteerd. Met een dichte afsluiter heerste in het tweede gedeelte van de leiding bij elke drukopnemer een druk welke bepaald wordt door het hoogteverschil met het gefixeerde open uiteinde van de leiding.

Uitgangspunt voor de opstelling is dat de bovenste opnemer (nr. p12) en het gefixeerde open uiteinde van de ringleiding geen verticale beweging ondergaan. De gemeten drukken in de opnemers p1 tot en met p11 zijn daarom gerelateerd aan de gemeten druk in de bovenste opnemer. De resulterende hoogteverschillen van de drukopnemers p1 tot en met p11 zijn relatief ten opzichte van drukopnemer p12.

Omdat de soortelijke massa van het water en de drukopnemers enigszins gevoelig zijn voor variaties in temperatuur, werd de temperatuur in voldoende mate constant gehouden door doorspoeling van het systeem. De gehele koperen leiding was geïsoleerd met standaard in de handel verkrijgbare CV-leidingisolatiekokers. De drukopnemers waren geïsoleerd met een laag PUR-schuim, mede tegen mogelijke zonbestraling.
De voorraadtank (twee stuks, waartussen gewisseld kon worden) hadden een forse overcapaciteit zodat door hun massa eventuele temperatuurschommelingen tot een minimum beperkt bleven.
De ringleiding werd steeds 3 minuten doorgespoeld vanuit de voorraadtank om een constante temperatuur in het systeem te waarborgen. Daarna de klep gesloten en 1 minuut gewacht om het water tot rust te laten komen voordat een meting werd uitgevoerd. Op deze wijze werd met een frequentie van eens per 5 minuten gemeten.

De op de berm van de dijk opgestelde interactieve datalogger Campbell CR10X registreerde de drukgegevens en was geprogrammeerd op 3 minuten doorspoelen en 2 minuten gesloten systeem waarvan de eerste minuut stabilisering en de tweede minuut daadwerkelijk meten. De gemiddelde waarden werden aan het einde van die minuut weggeschreven. De elektrische afsluiter waarmee het doorspoelen werd gestopt, werd ook door het programma in de datalogger aangestuurd. Zowel de datalogger met het stuurprogramma als de elektrische afsluiter werkte op 12 volts auto accu's, een stabiele en uiterst betrouwbare bron van energie.

De temperatuur en de geleidendheid van het water in de voorraadtank werden regelmatig genoteerd. Hieruit is later de dichtheid van het water berekend ten behoeven van de omzetting van druk naar hoogte. Op de laptop draaide tijdens de metingen een monitoringprogramma waarmee de functies van het systeem gevolgd konden worden.

De werkelijke hoogteverschillen tussen de diverse drukopnemers werden tijdens de post-processing nauwkeurig berekend aan de hand van de dichtheid van het water, zoals bepaald door de n het veld opgemeten elektrische geleidendheid en temperatuur.

Controlemetingen op drie meetpunten, voorzover bereikbaar i.v.m. de momentane waterstand, werden uitgevoerd met een reguliere waterpassing.

Niet alle opnemers hebben gedurende de gehele meetperiode goed gefunctioneerd. Tijdens de infiltratieproef (op 17 september) bleek opnemer 6 niet in orde te zijn.

4.5 Externe belasting

Op 17 september was de overheersende windrichting noord en de gemiddelde windsnelheid 2 m/s (2 Beaufort). De lucht was bewolkt en de maximum temperatuur was ongeveer 18°C. (bron: KNMI)

4.6 Resultaten meting

De resultaten van de meting zijn na bewerking toegankelijk voor interpretatie. In bijlage 4.1 en 4.2 is het resultaat van de drukmeting gepresenteerd als stijghoogte per waterspanningsmeter, uitgezet als functie van de tijd. Bijlage 4.1 toont het resultaat van de getijmeting voorafgaand aan de infiltratieproef en bijlage 4.2 het resultaat van de getijmeting na afloop van de infiltratieproef. Ter wille van de overzichtelijkheid zijn alleen de opnemers onder hoogwater in de figuur opgenomen. Hoger gelegen opnemers worden niet beïnvloed door het getij en zullen geen uitslag te zien geven.

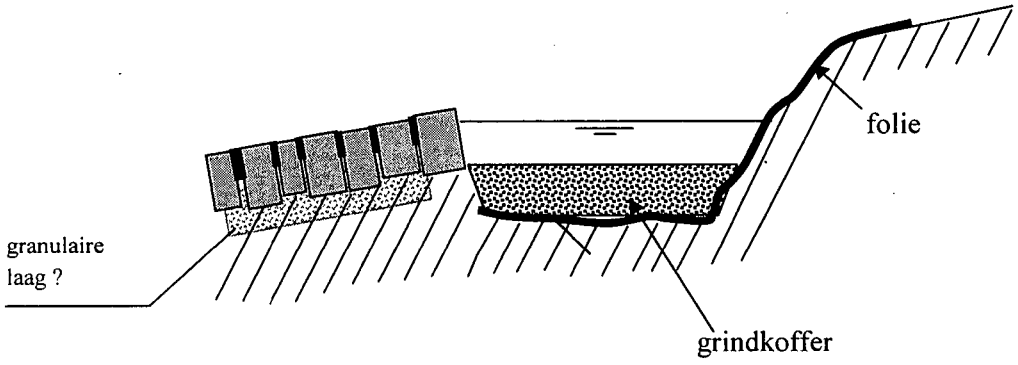
Bijlage 4.3 toont het resultaat van de verplaatsingsmeting tijdens de getijmeting voorafgaand aan de infiltratieproef.

5 Infiltratieproef

5.1 Beschrijving meetopstelling

De meetopstelling bestond uit een infiltratiesloot, gelegen aan de bovenkant van het ingegoten basalt, een meetraai waar zowel de drukken onder de toplaag als de verplaatsing van de toplaag wordt gemeten en een aantal punten voor een regelmatige waterpassing.

De lengte van de infiltratiesloot was 50 m. Voor de aanleg van de sloot zijn drie rijen Haringmanblokken verwijderd zodat de breedte van de sloot 1,5 m is.
Figuur 5.1 toont een doorsnede over de infiltratiesloot. Op de bodem van de sloot is een waterdicht folie gelegd om de onderliggende klei af te dichten en uitspoeling van klei te voorkomen. Op dit folie is een grindkoffer geplaatst die tegen de klei aan lag. In tegenstelling tot de andere infiltratieproeven is nu geen geotextiel boven het grindkoffer aanwezig. Deze was oorspronkelijk wel aangebracht, maar bleek op 16 september te zijn verdwenen. De functie van het geotextiel was het voorkomen van dichtslibben van de filterlaag door slib in het infiltratiewater. De functie van het grindkoffer is voornamelijk het vergroten van het instroomoppervlak vanuit de sloot naar de ondergrond (grindkoffer plus granulaire laag). Hierdoor wordt het effect van gedeeltelijk dichtslibben van het geplande geotextiel op het grindkoffer beperkt.



Figuur 5.1 Feitelijke dwarsdoorsnede infiltratiesloot (niet op schaal)

Het water werd onttrokken uit de Westerschelde. Hiervoor was door het waterschap een pomp geplaatst op een soort rails op het voorland.

5.2 Verloop proef

Een chronologisch overzicht van de belangrijkste activiteiten is weergegeven in tabel 5.1.

Datum	Tijd	Activiteit
dinsdag 6 augustus		keuze meetlocatie
woensdag 28 augustus		maken breekgaten, inspectie opbouw bekleding, graven infiltratiesloot
dinsdag 10 september		voorbereiding plaatsen opnemers voor de verplaatsingmeting
vrijdag 13 september		installeren opnemers voor verplaatsing- en drukmeting
maandag 16 september	07.45 hr	start eerste getijmeting
	16.30 hr	test met volpompen sloot
dinsdag 17 september	07.32 hr	einde eerste getijmeting
	07.36 hr	start infiltratieproef
	08.32 hr	start pompen
	17.36 hr	einde infiltratieproef
	17.36 hr	start tweede getijmeting
woensdag 18 september	07.45 hr	einde getijmeting
		demobilisatie meetopstelling

Figuur 5.2 Chronologisch overzicht meting

Een inhoudelijke beschrijving van de visuele observaties tijdens de infiltratieproef op 17 september 2002 wordt hierna gegeven.

7:40 hr De onderkant pomp verdwijnt in het water. Het water is vrij troebel. In de geul is steenslag aanwezig maar geen geotextiel. Steenslag is hier en daar met klei vervuild omdat de rand langs de granulaire laag schoongemaakt is.

8:22 hr De pomp wordt aangezet.

8:26 hr De geul is vol en loopt nauwelijks leeg, de pomp wordt uitgezet.

8:26 hr De pomp wordt aangezet (laag debiet). Vier meter van de westrand, op 0,5 m onder de geul komt veel water door de bekleding Dat gebeurt op meerdere plaatsen.

8:32 hr Af en toe gaat de pomp aan en dan weer uit. Waterpeil zakt langzaam (minder dan 1 mm/minuut).

8:39 hr Ter hoogte van de 4e opnemer van boven zijn vooral in de oostelijke helft een aantal spuitertjes van ca. 2 - 4 cm hoogte. Ook komt er lucht uit borrelen.

8:51 hr Westelijke helft: borrelen van lucht en water op een afstand van ongeveer 2 m langs het talud gemeten. Infiltratiewater is vrij schoon.

8:58 hr Op 4 m ten oosten van de meetraai komt er lucht uit de teen. Op 3 m ten westen van de meetraai komt er lucht uit de bekleding op overgang basalt – Doornikse steen. Bij de 3e á 4e opnemer van onderen komt er lucht uit de bekleding.

9:05 hr Circa 8 m ten westen van de meetraai komt er lucht door de bekleding van Doornikse steen. Daarnaast wordt er ook 'borrelen' geconstateerd tussen het basalt ter hoogte van de 3e rij van boven van baakmetingen WL.

9:13 hr Het buitenwater staat tegen de teen (-0,52 t.o.v. NAP).

9:38 hr Het getij bereikt de onderste opnemers.

10:23 hr De fonteintjes op het oostelijke deel lijken iets kleiner te zijn geworden. De pomp wordt weer even aangezet om geul te vullen. De geul stroomt na een paar minuten al over. Ten westen van de sloot zijn er geen fonteintjes meer.

10:49 hr De pomp wordt even aangezet. Aan de oostelijke kant, halverwege basalt, worden fonteintjes aangetroffen.

11:08 hr De pomp wordt even aangezet.

11:28 hr De pomp wordt even aangezet.

12:32 hr De pomp wordt even aangezet. De breedte van de geul is 1,4 m. De westelijke helft is feitelijk smaller omdat de steenslag boven het water uitkomt/steekt (bij laagste waterstand in de sloot). Als de sloot tot de rand volstaat is alle steenslag net onder water.

15:00 hr Langdurig de pomp aan

15:51 hr Yvo probeert het instroompunt wat schoner te krijgen. Er woelt vrij veel sediment in de geul op. Verderop is het water vrij helder.

15:45 hr De pomp is uit. Aan de oostelijke helft zijn nog steeds enkele fonteintjes aanwezig, halverwege de basalt. aan de westelijke helft zijn geen fonteintjes.

16:39 hr De buitenwaterstand is gedaald tot aan de onderste opnemers.

17:00 hr Water staat ter hoogte van de teen. Op een aantal plaatsen lekt water door de bekleding die samen een groot deel van het totale debiet lijken te zijn. Er is geen wel bij de teen (en dat is ook niet nodig gezien lekdebiet door toplaag in verhouding tot infiltratiedebiet)

Een fotorapportage van de infiltratieproef is te vinden in bijlage 5.1.

5.3 Meting druk onder de toplaag

De plaats van de drukopnemers in de granulaire laag is gelijk aan die bij de getijmeting (zie paragraaf 4.2).
De verwerking van de drukmetingen gaat op dezelfde wijze als bij de getijmeting. Hiervoor wordt naar de betreffende paragraaf verwezen. Door een onbekende oorzaak zijn tussen 9.10 hr en 11.20 hr de geregistreerde drukken niet opgeslagen.

Bij het uitwerken van de drukmetingen bleek dat ten tijde van laagwater (als de opnemers droog staan) er drukken ongelijk aan nul worden geregistreerd. Dit wordt geweten aan een nulpuntsverloop van de opnemers. Bij de uitwerking van de metingen is hiervoor gecorrigeerd door een extra nulpuntcorrectie toe te passen. De grootte van deze extra nulpuntcorrectie is gekozen zodanig dat bij droogstaan van de opnemers de waterdruk nul is.

Het verloop van de drukken is weergegeven in bijlage 5.3 en 5.4. De gemeten drukken zijn op twee wijzen gepresenteerd, namelijk als drukhoogte en als stijghoogte. De presentatie als drukhoogte geeft inzicht in de opwaartse druk op de toplaag. De presentatie als stijghoogte (som van drukhoogte en plaatshoogte) geeft inzicht in het verloop van de druk langs het talud.

Bijlage 5.5 toont voor een aantal geselecteerde tijdstippen de drukhoogte en stijghoogte als functie van de plaats op het talud.

5.4 Meting verplaatsing van de toplaag

Door WL|Delft Hydraulics is de verticale verplaatsing van de toplaag op twee manieren gemeten. Ter plaatse van de meetraai is de verplaatsing gemeten met behulp van drukopnemers (zie hiervoor verder paragraaf 4.5). De metingen zijn gecontroleerd door drie punten tevens regelmatig te waterpassen.

Daarnaast is op 4 raaien naast de eigenlijke meetraai op 4 niveaus het niveau van de toplaag middels waterpassing vastgelegd. Deze meetraaien waren gelegen op 5 en 15 m ter weerszijde van de meetraai. De niveaus waarop werd gemeten waren ongeveer NAP = -1 m, NAP + 0,7 m, NAP + 1,5 m en NAP + 2,3 m. Uiteraard konden deze punten alleen worden ingemeten als zij niet onder water lagen. De plaats van de meetpunten is vastgelegd op bijlage 5.2.

Voor de waterpassing stonden twee Kern GK-1A automatische waterpastoestellen vast opgesteld aan beide zijden van het proefvak, echter wel zodanig dat ze ruim buiten de invloedssfeer van de infiltratieproef stonden. De nauwkeurigheid van deze waterpassingen moet worden gesteld op ±1,0 mm. In de berekeningen van de meetpunthoogten zijn de drie kruisdraadaflezingen gemiddeld, hetgeen een schijnnauwkeurigheid van tienden van millimeters oplevert.

Bijlage 5.6 toont de verplaatsing van de meetraai en bijlage 5.7a t/m 5.7e tonen het resultaat van de waterpassing in de extra raaien naast de feitelijke meetraai.

6 Eerste interpretatie getijmetingen

6.1 Interpretatie getijmetingen

Ondanks de slechte doorlatendheid lijkt de granulaire laag toch tot een relatief grote hoogte van NAP + 1 m vol te stromen. Opvallend is dat de onderste drukopnemers (WSM12 t/m WSM 8) tijdens vollopen van de granulaire laag ongeveer dezelfde stijghoogte hebben. Bij leeglopen zijn er wel verschillen te zien.
Bij de getijmeting achteraf reageren de opnemers tot NAP + 2 m nog op het getij. Hierbij kan een rol spelen dat de granulaire laag nog niet geheel was leeg gestroomd (er was waarschijnlijk nog capilair water aanwezig in de granulaire laag en de ondergrond) en er dus minder volume nodig is om een volledige verzadiging te bereiken.

Het belangrijkste doel van de getijmetingen voorafgaand aan en volgend op de infiltratieproef was na te gaan of er inderdaad sprake is van schoonspoelen van de granulaire laag, zoals dit bij de infiltratieproef Kruiningen werd geconstateerd.

Het algemene beeld van het verloop van de drukken tijdens getij is niet significant veranderd. Wel lopen bij de getijmeting achteraf de drukken hoger op en slaan ook meer opnemers aan. Hieruit wordt geconcludeerd dat er weinig is veranderd aan de doorlatendheid van de granulaire laag. Hooguit is er een geringe toename van de doorlatendheid van de granulaire laag. Gezien de kleine debieten tijdens de infiltratieproef is ook niet te verwachten dat er sprake zou zijn van grote veranderingen zoals schoonspoelen van de granulaire laag.

De verticale verplaatsing tijdens normaal getij is ongeveer 2 mm. Opvallend is dat tussen 11 uur en 13 uur de verplaatsing van de toplaag constant blijft terwijl de buitenwaterstand wel varieert (het hoogwater valt rond 12 uur). Ook is er, volgens de meting, sprake van een blijvende verplaatsing van ongeveer ±1 mm aan het einde van de meting. Waarschijnlijk is dit een gevolg van nulpuntsverloop van de opnemers en is er geen sprake van een blijvende vervorming van de dijk met toplaag.

De relatief grote, maar in absolute zin beperkte, variaties in de verplaatsing tussen 13 uur en 14 uur van ±2 mm zijn niet te verklaren vanuit de wisselingen in de buitenwaterstand. Waarschijnlijk betreft dit een foutieve meetwaarde.

6.2 Interpretatie infiltratieproef

Bij de start van de infiltratie nemen de drukken onder de bekleding toe. Het moment waarop ter plaatse van een drukopnemer het volpompen van de infiltratiesloot wordt geconstateerd neemt van boven naar beneden toe. Bij opnemer WSM11 (onderaan het talud) duurt het ongeveer een half uur voordat de druk begint op te lopen. Na ongeveer 1 uur lijkt de filterlaag verzadigd te zijn.
Om ongeveer 18:30 hr is de infiltratiesloot leeg. Daarna beginnen de drukken onder toplaag af te nemen. De twee bovenste opnemers reageren al iets eerder op de daling van het waterniveau in de sloot. Evenals bij de start van de proef is de reactie van boven naar beneden. De filterlaag loopt dus langzaam leeg. Bij de drie onderste opnemers is de filterlaag nog gevuld bij het volgend getij. Leeglopen van de filterlaag gaat dus langzamer dan vollopen.

Aan het einde van de proef nemen alle drukken af. Ook hier geldt dat de lager gelegen opnemers later reageren.

Tijdens de proef is de pomp afwisselend aan- en uitgezet. Als de pomp aanstaat neemt het niveau in de sloot snel toe, als de pomp uitstaat neemt het niveau langzaam af door infiltratie. Dit resulteert in een zaagtandverloop van de druk in de sloot, maar ook in de bovenste opnemers. Globaal is dit effect merkbaar tot opnemer WSM4.
Er lijkt sprake te zijn van een verschillend gedrag van de bekleding boven en onder WSM5 (NAP + 1,6 m).
Bij WSM4 is de drukhoogte ongeveer 0,65 m. De benodigde druk om het eigen gewicht van de bekleding te compenseren volgt uit:

$$p = \gamma D \cos\alpha$$

Het basalt heeft een volumegewicht van ongeveer γ =28 kN/m^3. De dikte bedraagt gemiddeld D = 0,28 m. De taludhelling is α = 16°. Hieruit volgt voor het benodigde drukverschil p = 7,5 kPa. De gemeten druk is dus niet of nauwelijks voldoende om de bekleding op te tillen. Dit volgt ook uit de gemeten verplaatsingen die geen noemenswaardige verplaatsing laten zien.

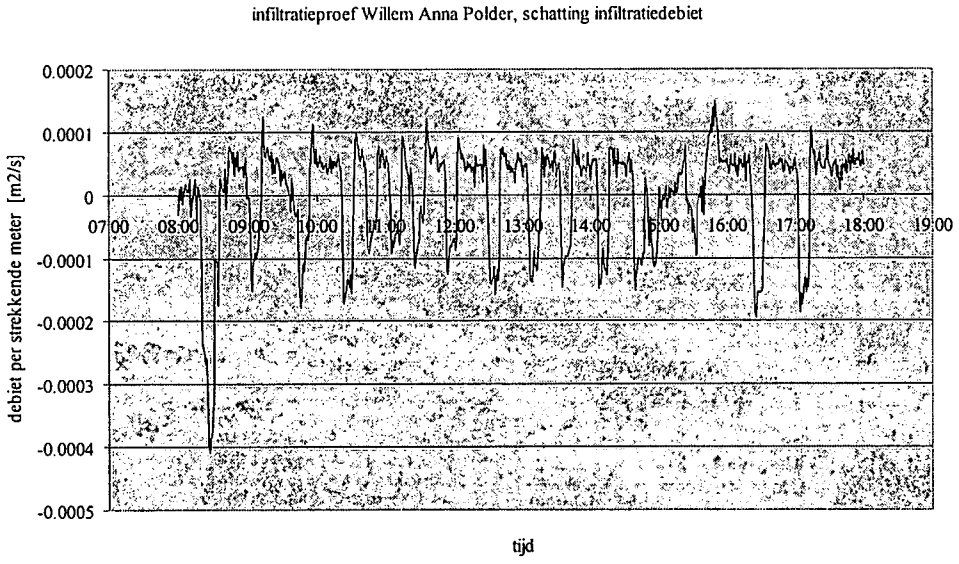
Uit het verloop van het niveau in de infiltratiesloot kan een schatting voor het infiltratiedebiet per strekkende meter sloot worden gemaakt volgens.

$$q = \frac{(h_{sloot}(t) - h_{sloot}(t + \Delta t) * B_{sloot}}{\Delta t}$$

met:

- $h_{sloot}(t)$: niveau in de sloot op tijdstip t
- $h_{sloot}(t+\Delta t)$: niveau in de sloot op tijdstip $t+\Delta t$
- B_{sloot}: breedte van de sloot.

In figuur 6.1 is het resultaat van een analyse weergegeven. Hierbij is een lopend gemiddelde over 10 minuten bepaald. De schijnbaar negatieve waarden in deze figuur zijn het gevolg van het volpompen van de sloot.



Figuur 6.1 Bepaling infiltratiedebiet (per strekkende meter infiltratiesloot)

Het blijkt dat het infiltratiedebiet per strekkende meter ongeveer 5.10^{-5} m^2/s (0,18 m^2/uur) bedraagt. Dit debiet blijft tijdens de proef constant. Er is dus geen sprake van schoonspoelen van de granulaire laag.

Tijdens de infiltratieproef wordt de toplaag naar beneden gedrukt. Het verloop komt overeen met het verloop van het getij. Ook is de grootte van de verticale beweging gelijk aan die tijdens de getijmeting (aan de teen 3 mm tijdens de getijmeting en 2,5 mm tijdens de infiltratieproef). De vervorming wordt geweten aan het getij. De infiltratie blijkt op de grootte van de vervorming weinig invloed te hebben. Helemaal nul is deze invloed niet omdat de verplaatsing iets lager is tijdens de infiltratieproef ondanks het iets hogere hoogwater.

7 Samenvatting en conclusies

Op de locatie Willem Anna polder is een infiltratieproef uitgevoerd. Evenals bij de proef op de locatie Kruiningen en de locatie Baarlandpolder is de bekleding na afloop van de proef nog intact. Na afloop van de proef is er geen blijvende vervorming van de toplaag.
Het infiltratiedebiet was gering (ongeveer 5.10^{-5} m^2/s). Tijdens de proef kwam er weinig water door de toplaag. Er zijn ook geen wellen aan de teen geconstateerd.

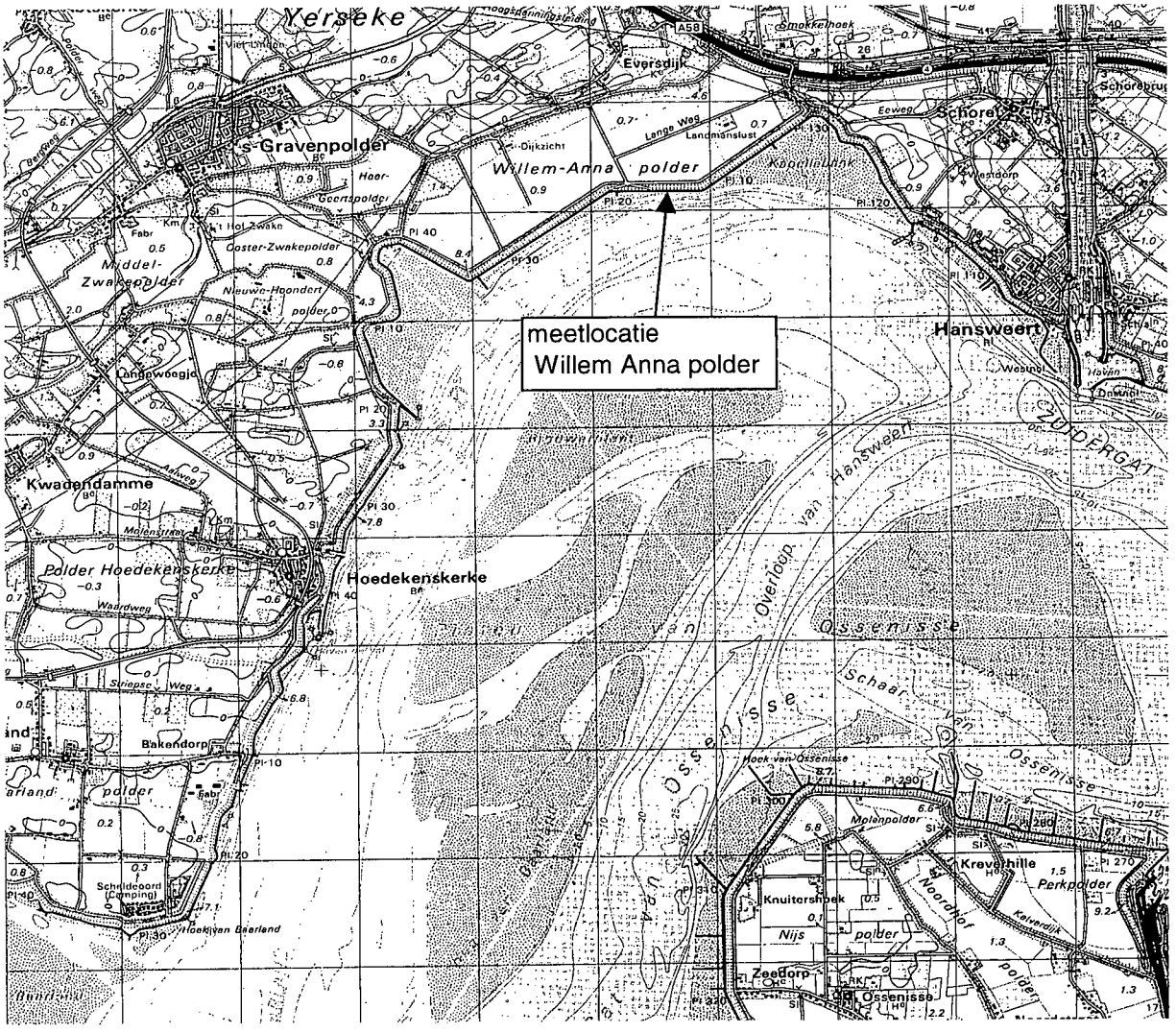
De gemeten drukken onder de toplaag zijn niet voldoende om het eigen gewicht van de bekleding te compenseren. De meting van de verticale verplaatsing toont ook aan dat de bekleding niet omhoog is gekomen. Integendeel, de bekleding is iets naar beneden gedrukt. Dit komt overeen met het gedrag tijdens de getijmeting. Waarschijnlijk is deze vervorming een gevolg van de elastische vervorming van de dijk door de waterdruk op het talud.

De situatie bij deze infiltratieproef is principieel anders dan bij de andere twee infiltratieproeven. Daar was sprake van een goed doorlatende granulaire laag onder de boventafel en een minder goed doorlatende laag onder de ondertafel. Hier was de granulaire laag zowel onder de boventafel als onder de ondertafel slecht doorlatend. De situatie dat zich bij de overgang van een goed doorlatende naar een slecht doorlatende granulaire laag wateroverdrukken opbouwen is hier dus niet aanwezig.

De conclusie dat een ingegoten bekleding een tot bovenaan dichtgeslibde granulaire laag geen grote statische overdrukken (groot genoeg om het eigen gewicht van de toplaag te compenseren) ondervindt is op basis van alleen deze proef voorbarig. Het lijkt echter wel waarschijnlijk. Zoals bij de andere proeflocaties is vastgesteld is, naar het zich laat aanzien, een grote statische overdruk op zich geen voldoende voorwaarde om een ingegoten bekleding te laten bezwijken.

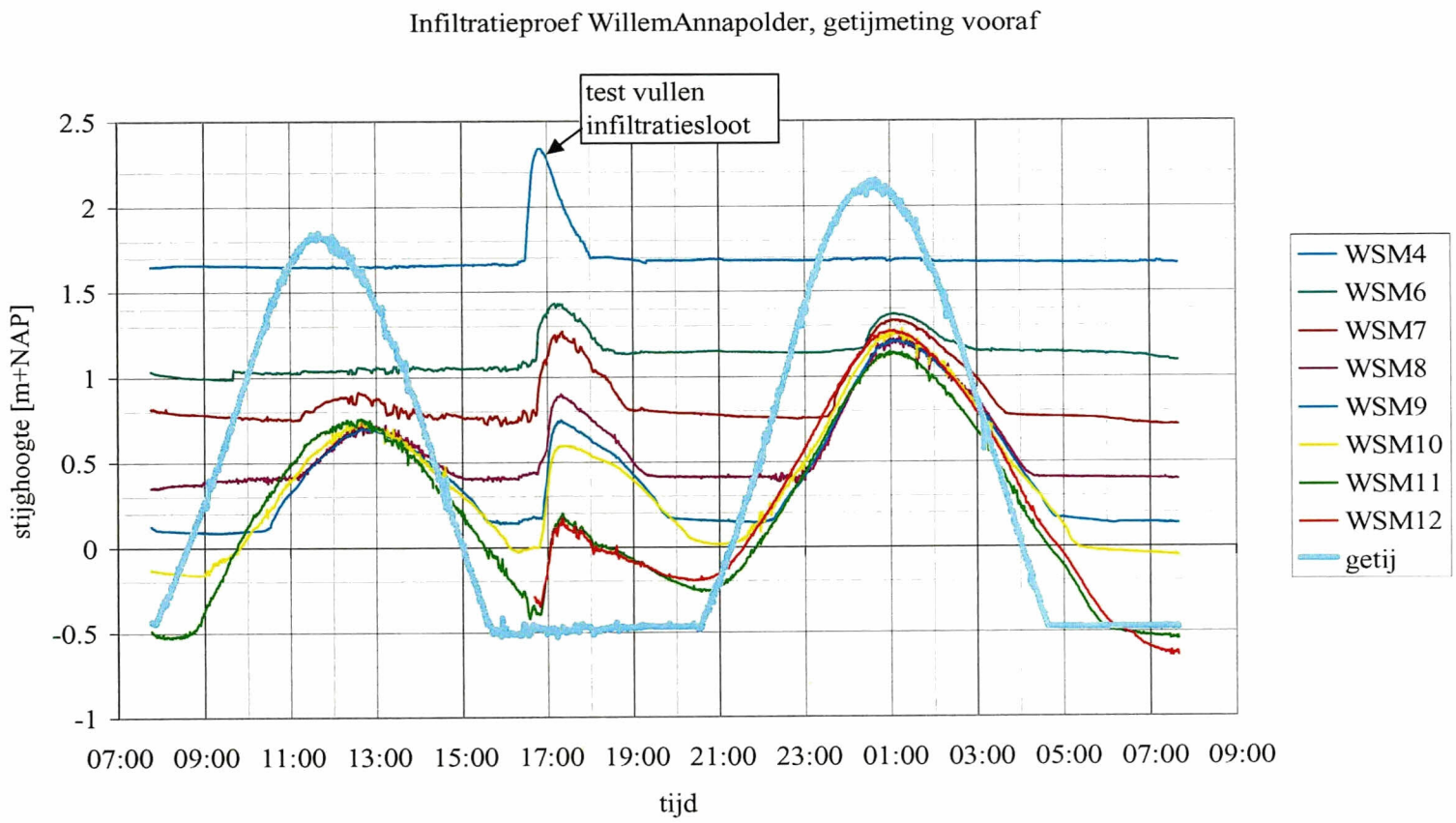
De situatie bij golfaanval is niet te beoordelen op basis van deze meting. Het lijkt echter wel gerechtvaardigd om te wachten met het eventueel vervangen van deze bekleding totdat een betrouwbare toetsmethode voor ingegoten bekledingen beschikbaar is.

Bijlage 3.1 Plaats infiltratieproef



GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Willem Anna polder			CO - 406350	gez.
Plaats infiltratieproef			BIJL. 3.1	form. A4

Bijlage 4.1 Stijghoogten getijmeting vooraf



GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Infiltratieproef Willem Anna polder

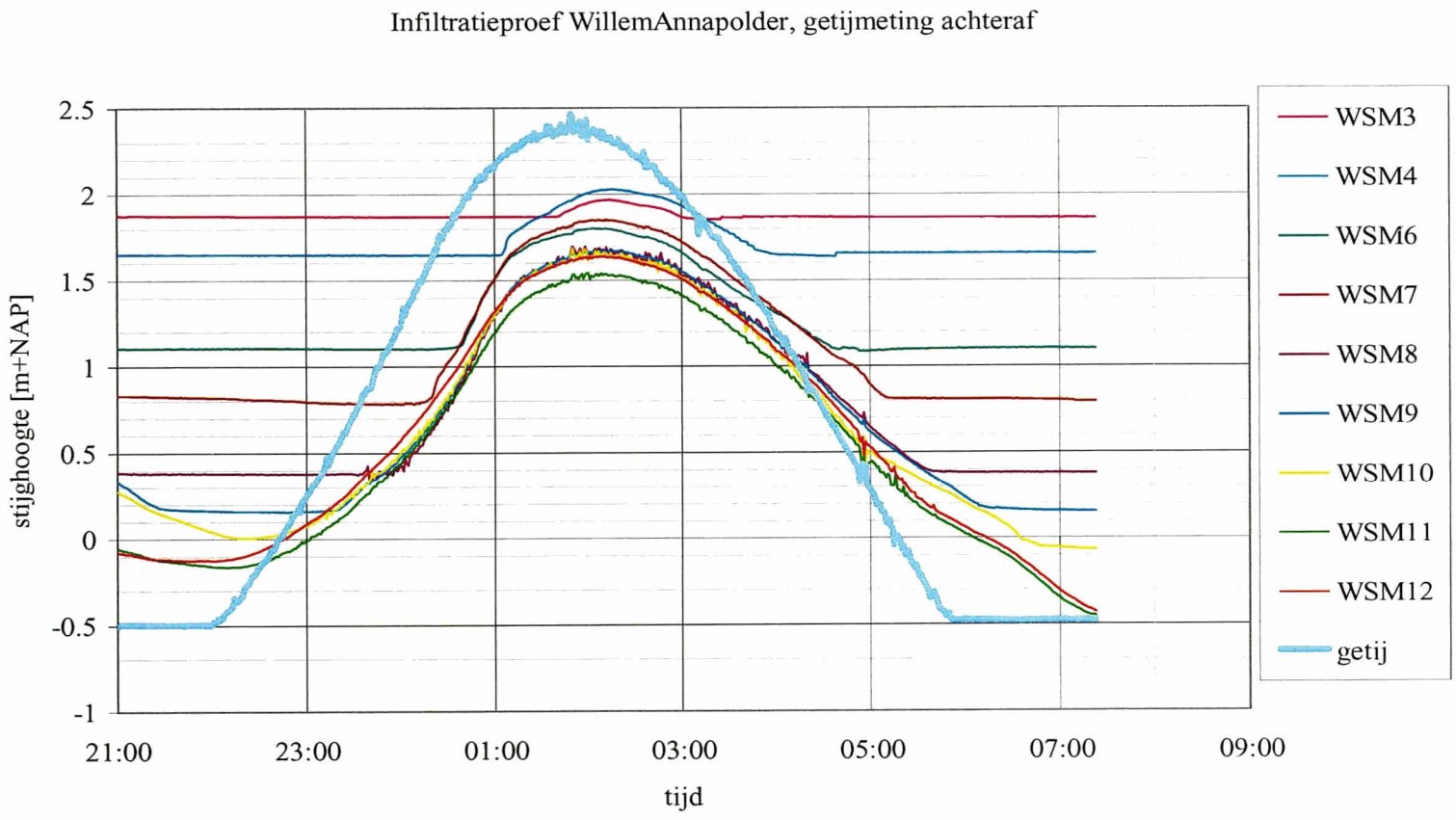
Stijghoogten getijmeting vooraf

Datum	2002/11/14
get.	Mey
gez.	
form.	A4

CO - 406350

BIJL. 4.1

Bijlage 4.2 Stijghoogten getijmeting na infiltratieproef



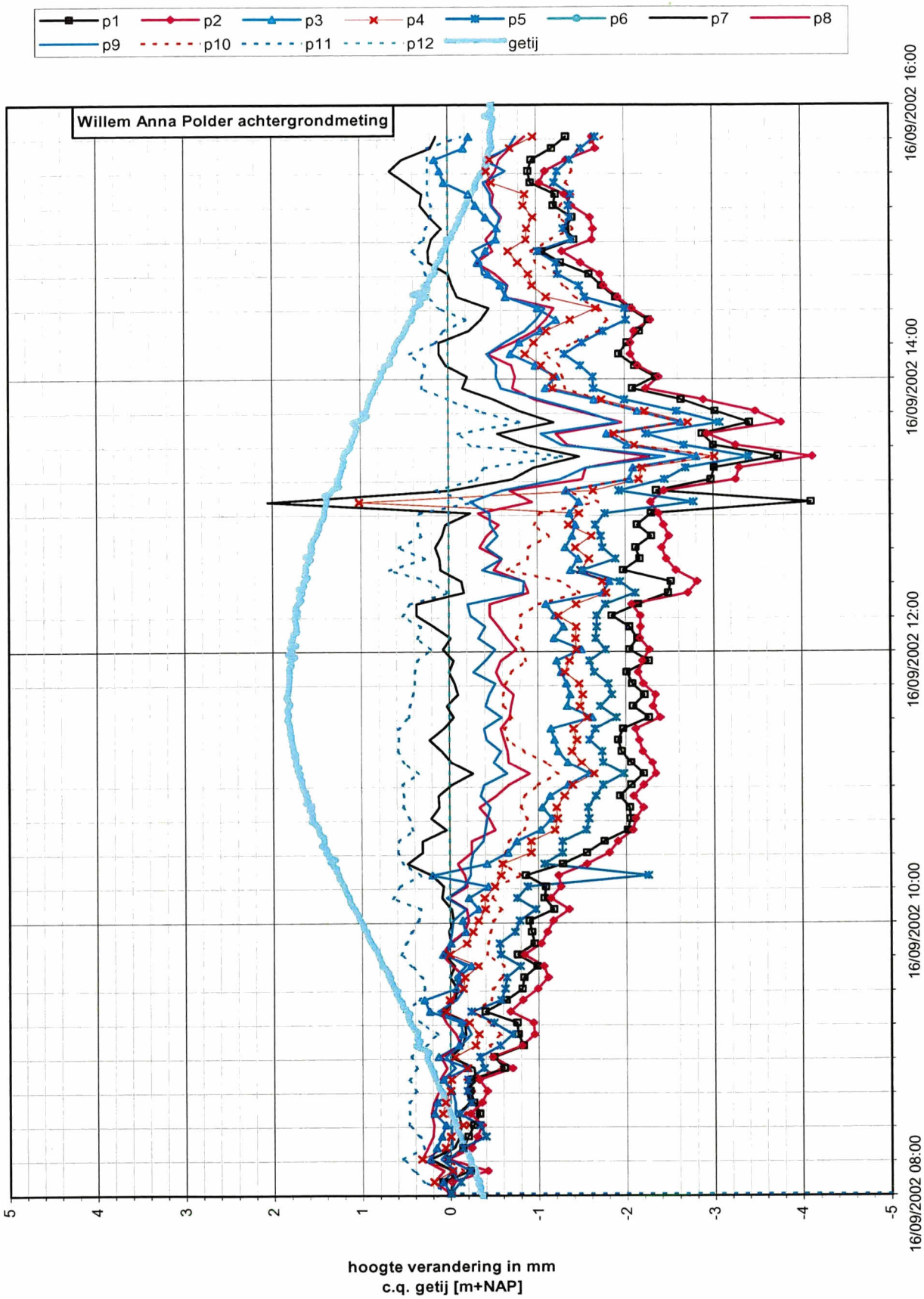
GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Infiltratieproef Willem Anna polder

Stijghoogten getijmeting na infiltratieproef

Datum	2002/11/14
get.	Mey
CO - 406350	
gez.	
BIJL. 4.2	
form.	A4

Bijlage 4.3 Verplaatsing bij getijmeting vooraf



Willem Anna Polder, infiltratie proef verplaatsing bij getijmeting vooraf		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 4.3

Bijlage 5.1a - 5.1b Foto's infiltratieproef

Droge infiltratiesloot, op de achtergrond is de pomp nog net zichtbaar

Aanvoer van water in de sloot

GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

datum 2002/11/14	get. Mey	
CO - 406350	gez.	
BIJL. 5.1a	form. A4	

Infiltratieproef Willem Anna polder

Foto's infiltratieproef

Overzicht meetlocatie, talud belast door golven

Detail meetraai, op de voorgrond de drukopnemers voor de verplaatsingsmeting,
op de achtergrond de drukopnemers voor het meten van de druk onder de bekleding

GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

datum 2002/11/14	get. Mey	
CO - 406350	gez.	
BIJL. 5.1b	form. A4	

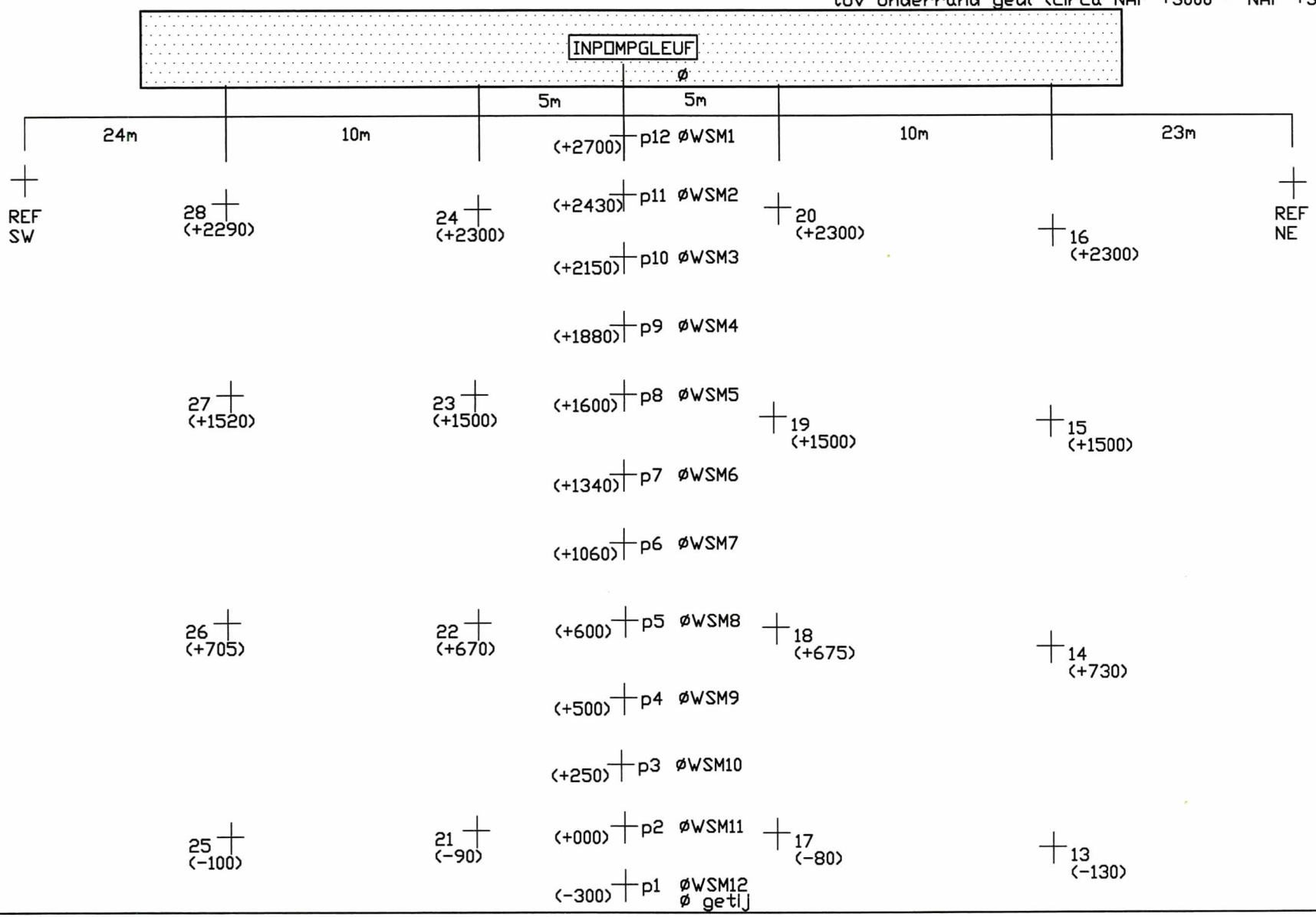
Infiltratieproef Willem Anna polder

Foto's infiltratieproef

Bijlage 5.2 Situatieschets met plaats opnemers

WSM1 t/m WSM12 : drukopnemers
p1 t/m p12 : hydrostatische verplaatsingsmeting
13 t/m 28 : verplaatsing gemeten met waterpassing

Willem Anna Polder
situatieschets en volgnummers meetpunten
instalatie 10 sept. 2002
ingemeten bovenkant steen (niet de bout)
tov onderrand geul (circa NAP +3000 - NAP +3010)



GeoDelft
POSTBUS 69
2600 AB DELFT
TELEFOON (015) 269 35 00
TELEFAX (015) 261 08 21

INFILTRATIE PROEF WILLEM ANNA POLDER

Situatieschets met plaats opnemers

datum	get.
2003-03-31	BAL

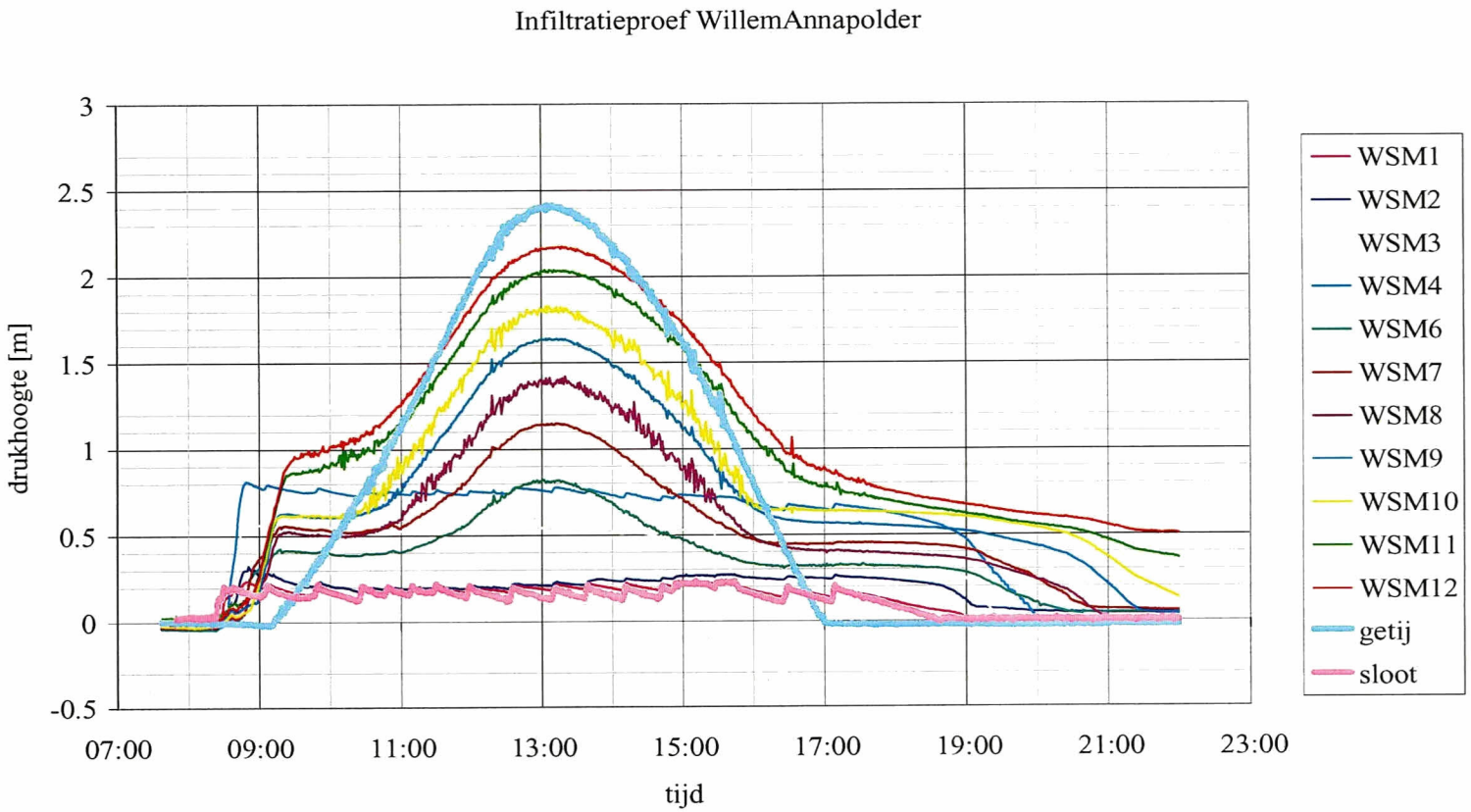
CO-406530

gez.

BIJL. 5.2

form. A4

Bijlage 5.3 Drukhoogten tijdens infiltratieproef



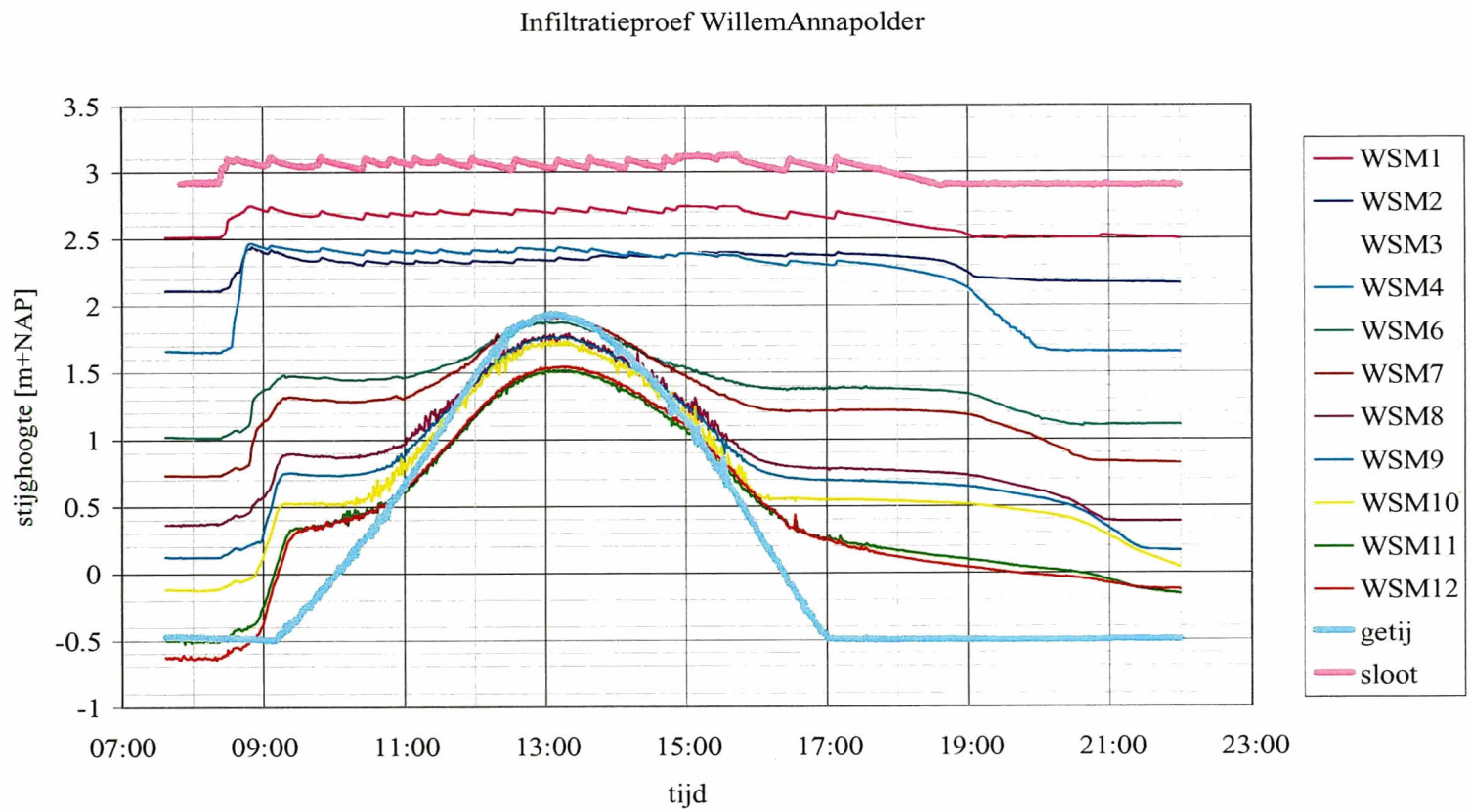
GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Infiltratieproef Willem Anna polder

Drukhoogten tijdens infiltratieproef

Datum	2002/11/14
get.	Mey
gez.	
CO - 406350	
form.	A4
BIJL. 5.3	

Bijlage 5.4 Stijghoogten tijdens infiltratieproef



GeoDelft
Postbus 69,
2600 AB DELFT
Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21

Infiltratieproef Willem Anna polder

Stijghoogten tijdens infiltratieproef

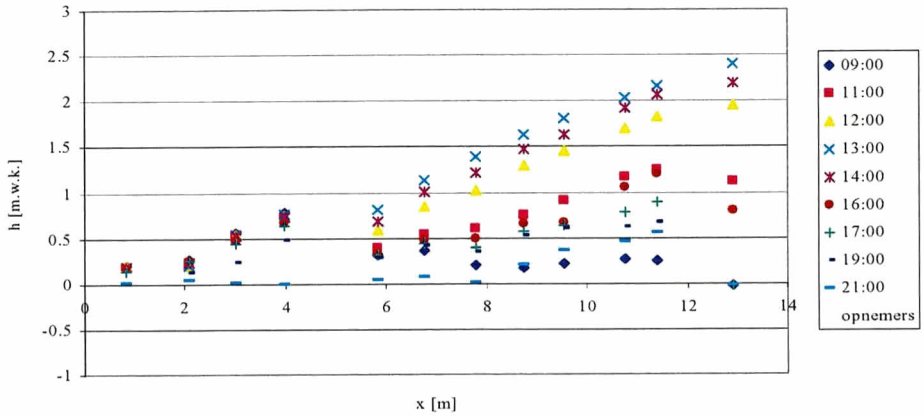
Datum	2002/11/14
get.	Mey
gez.	
form.	A4

CO - 406350

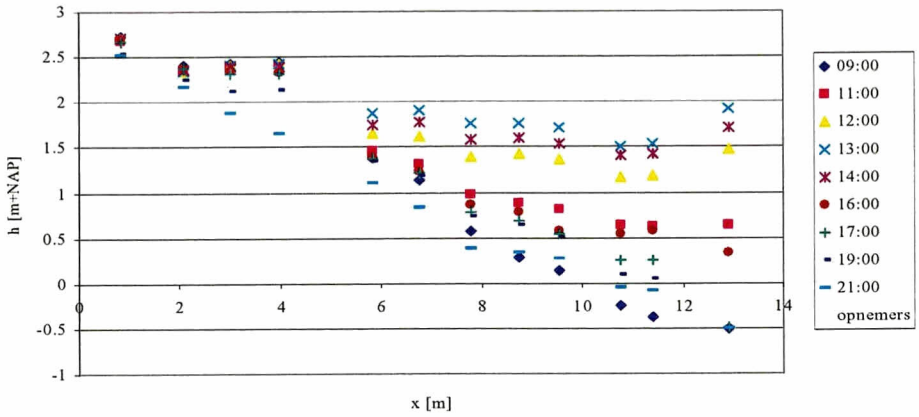
BIJL. 5.4

Bijlage 5.5 Verloop drukhoogte en stijghoogte over doorsnede

Infiltratieproef Willem Anna polder, verloop drukhoogte

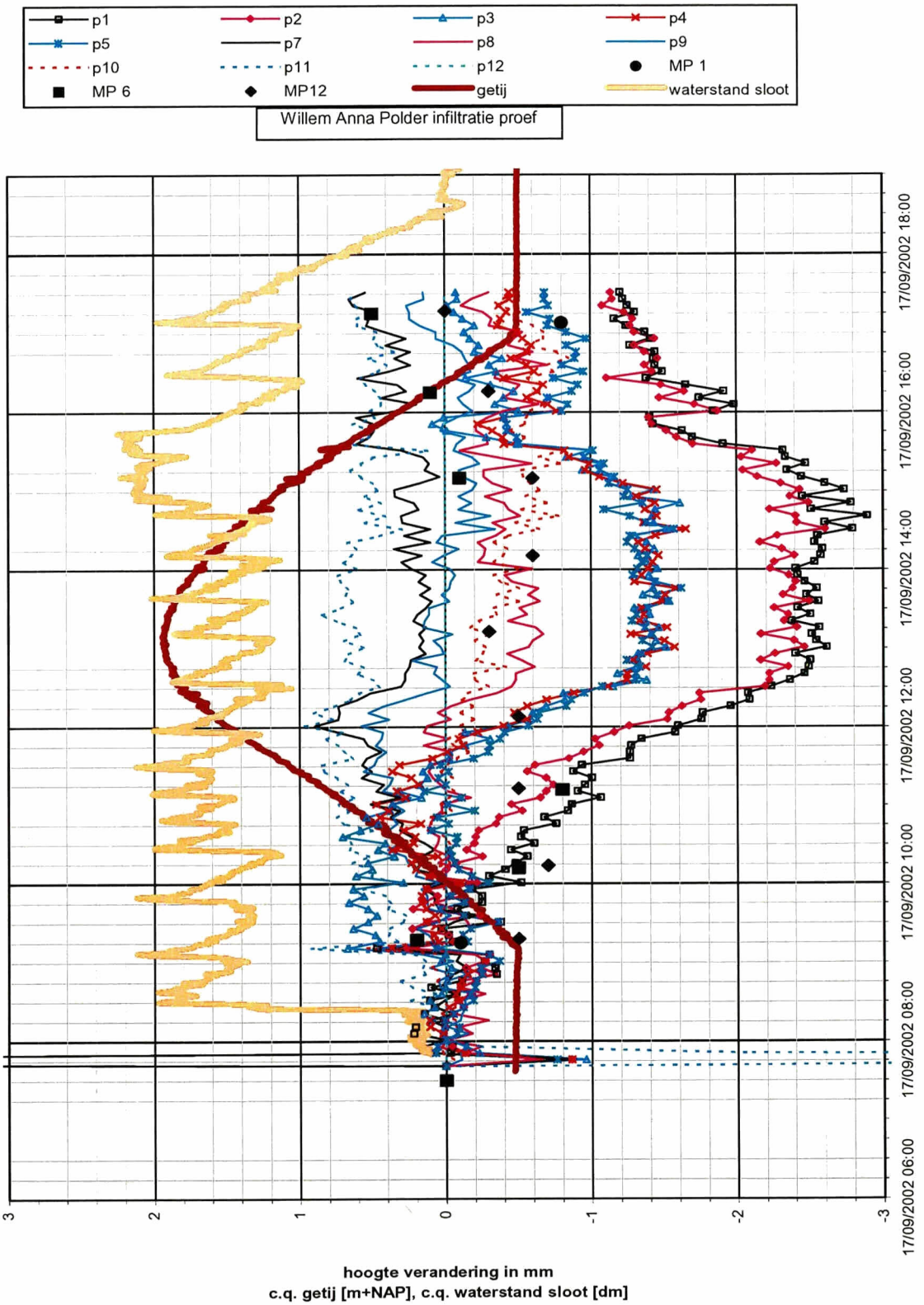


Infiltratieproef Willem Anna polder, verloop stijghoogte



GeoDelft	Postbus 69, 2600 AB DELFT	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum 2002/11/14	get. Mey
Infiltratieproef Willem Anna polder			CO - 406350	gez.
Verloop drukhoogte en stijghoogte over doorsnede			BIJL. 5.5	form. A4

Bijlage 5.6 Verplaatsing toplaag bij infiltratieproef



Willem Anna Polder, infiltratie proef **Verplaatsing toplaag bij infiltratieproef**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.6

Bijlage 5.7a Verticale verplaatsing waterpaspunten

PUNT	Hoogte van de kop van de in de steen ingeschroefde bouten in mm tov NAP																		
	Nulmeting tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP	NZT	hoogte tov NAP
1	-175.0	9:15	-175.1															17:08	-175.8
2																			
3																			
4																			
5																			
6	1227.5	9:17	1227.7	10:12	1227.0	11:12	1226.7							15:10	1227.4	16:15	1227.6	17:15	1228.0
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12	2780.5	9:18	2780.0	10:14	2779.8	11:13	2780.0	12:08	2780.0	13:13	2780.2	14:11	2779.9	15:10	2779.9	16:16	2780.2	17:17	2780.5
13	-56.7	9:03	-56.3															17:09	-55.0
14	824.7	9:04	825.3	10:01	824.4	11:01	824.3									16:01	825.0	17:11	825.3
15	1600.3	9:05	1600.7	10:03	1600.0	11:03	1599.3	12:01	1600.2			14:06	1600.2	15:02	1600.6	16:03	1600.8	17:12	1600.5
16	2403.0	9:07	2403.0	10:05	2402.7	11:04	2402.3	12:03	2402.7	13:10	2402.3	14:08	2402.7	15:03	2403.0	16:04	2403.0	17:13	2403.2
17	26.0	9:08	26.0															17:04	26.7
18	770.7	9:09	770.3	10:06	769.0	11:06	770.0									16:05	770.2	17:05	771.0
19	1609.0	9:10	1609.3	10:08	1609.4	11:07	1609.0	12:04	1609.7			14:02	1608.7	15:05	1609.5	16:06	1609.7	17:07	1610.7
20	2396.7	9:12	2397.0	10:09	2396.4	11:08	2396.3	12:06	2396.7	13:11	2396.0	14:04	2396.7	15:06	2396.8	16:08	2397.0	17:08	2397.3
21	14.7	9:22	14.5															17:23	15.0
22	769.3	9:23	769.1	10:17	769.8	11:17	769.7									16:17	769.3	17:24	769.7
23	1602.3	9:25	1602.8	10:18	1602.5	11:18	1602.4	12:10	1602.4			14:18	1602.1	15:14	1603.0	16:18	1602.7	17:26	1602.7
24	2395.0	9:26	2394.5	10:20	2394.8	11:20	2394.7	12:12	2394.4	13:16	2394.5	14:20	2395.5	15:15	2395.7	16:19	2395	17:27	2395.0
25	-20.0	9:27	-18.9															17:17	-19.7
26	819.7	9:29	820.1	10:21	820.5	11:21	820.4									16:13	820.7	17:19	820.3
27	1624.0	9:30	1623.8	10:23	1623.8	11:23	1623.7	12:13	1623.7			14:14	1624.1	15:17	1624.0	16:14	1624.0	17:20	1624.0
28	2390.3	9:31	2390.3	10:24	2389.8	11:24	2389.7	12:16	2389.7	13:17	2390.1	14:16	2390.1	15:18	2390.0	16:15	2390.3	17:21	2390.3

Willem Anna polder, infiltratie proef

verticale verplaatsing waterpaspunten

WL | Delft Hydraulics

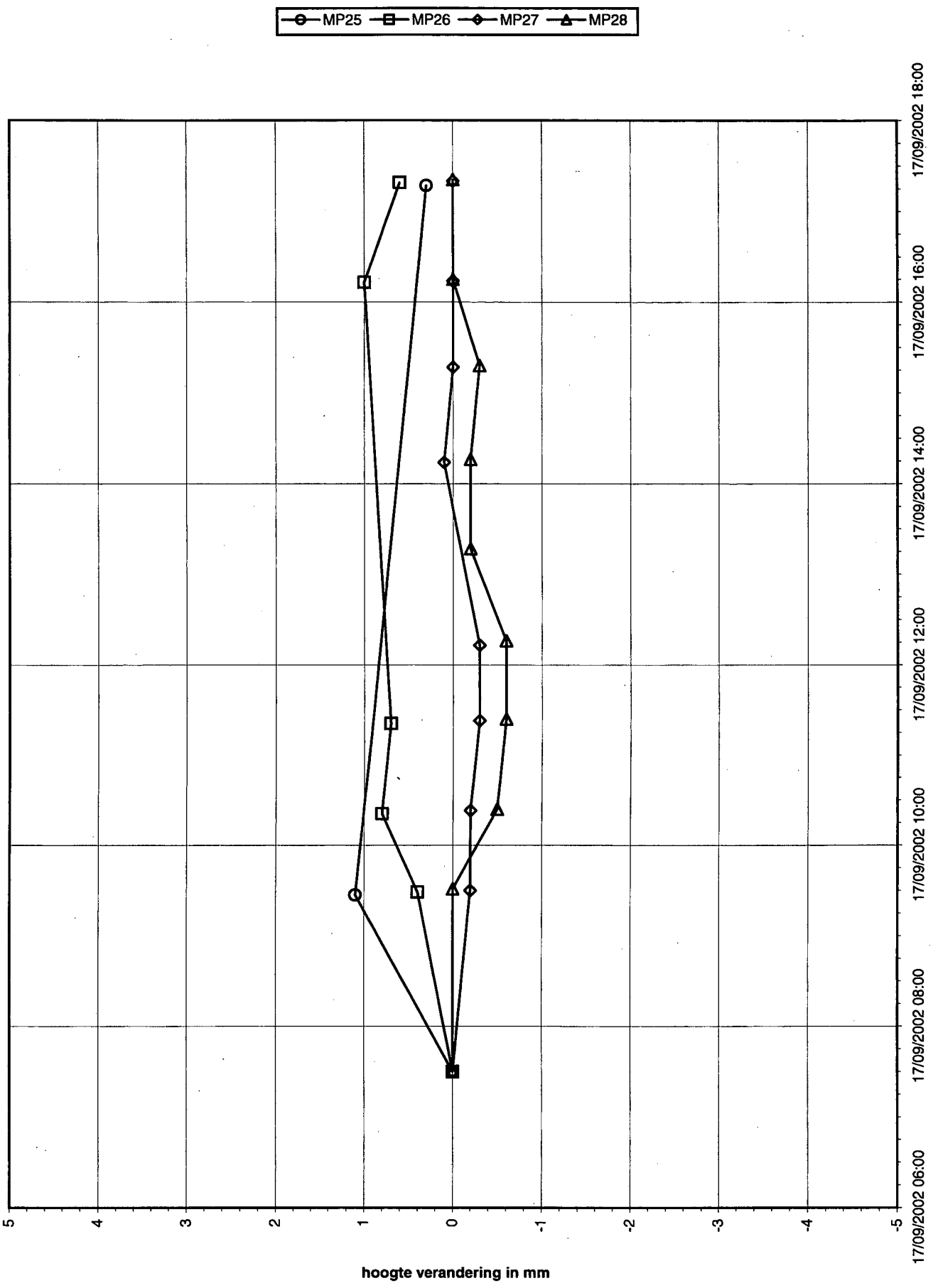
CO-406350

H4148

Bijl. 5.7a

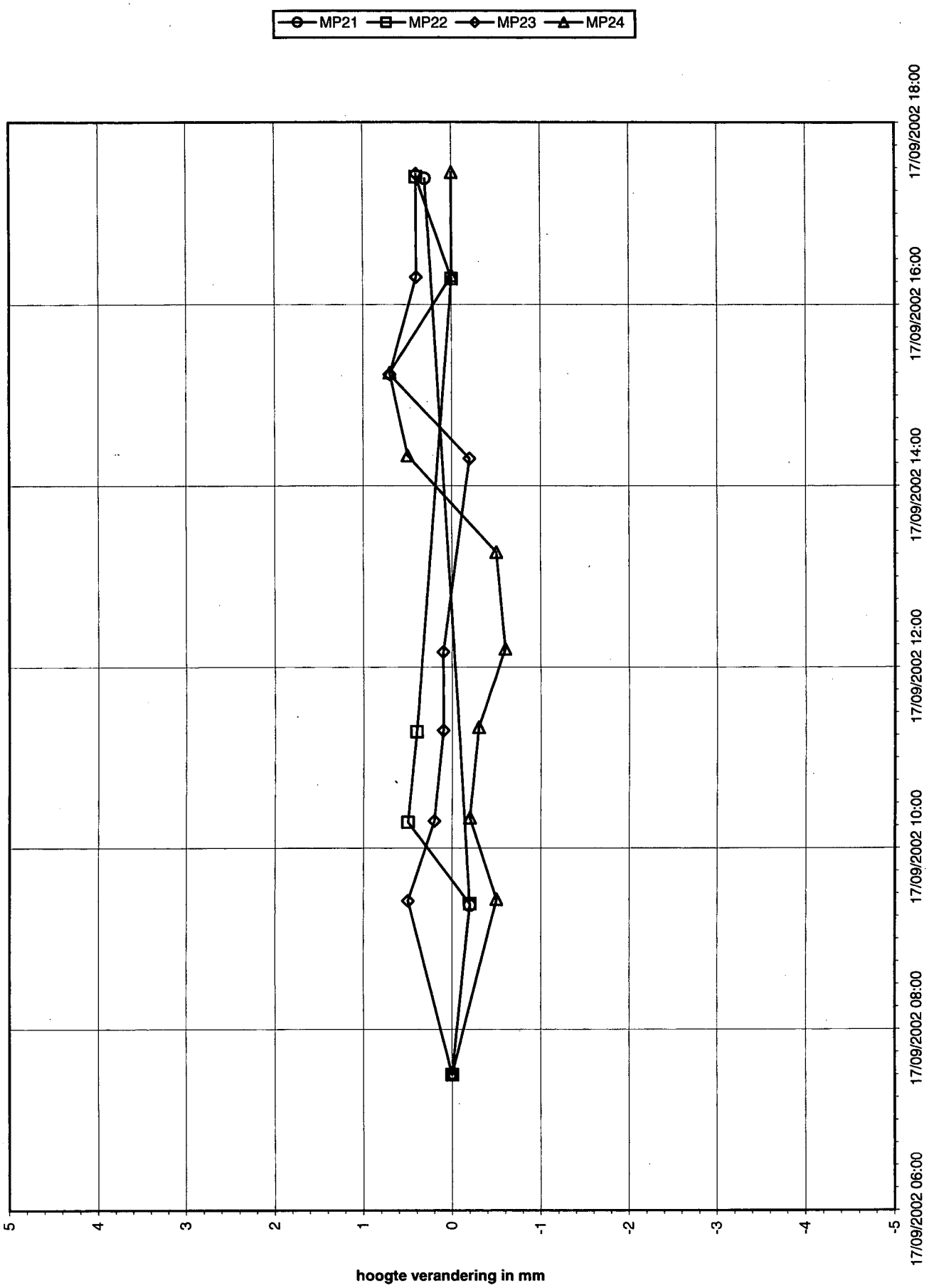
2003/03/31

Bijlage 5.7b Verticale verplaatsing waterpaspunten MP25-MP28



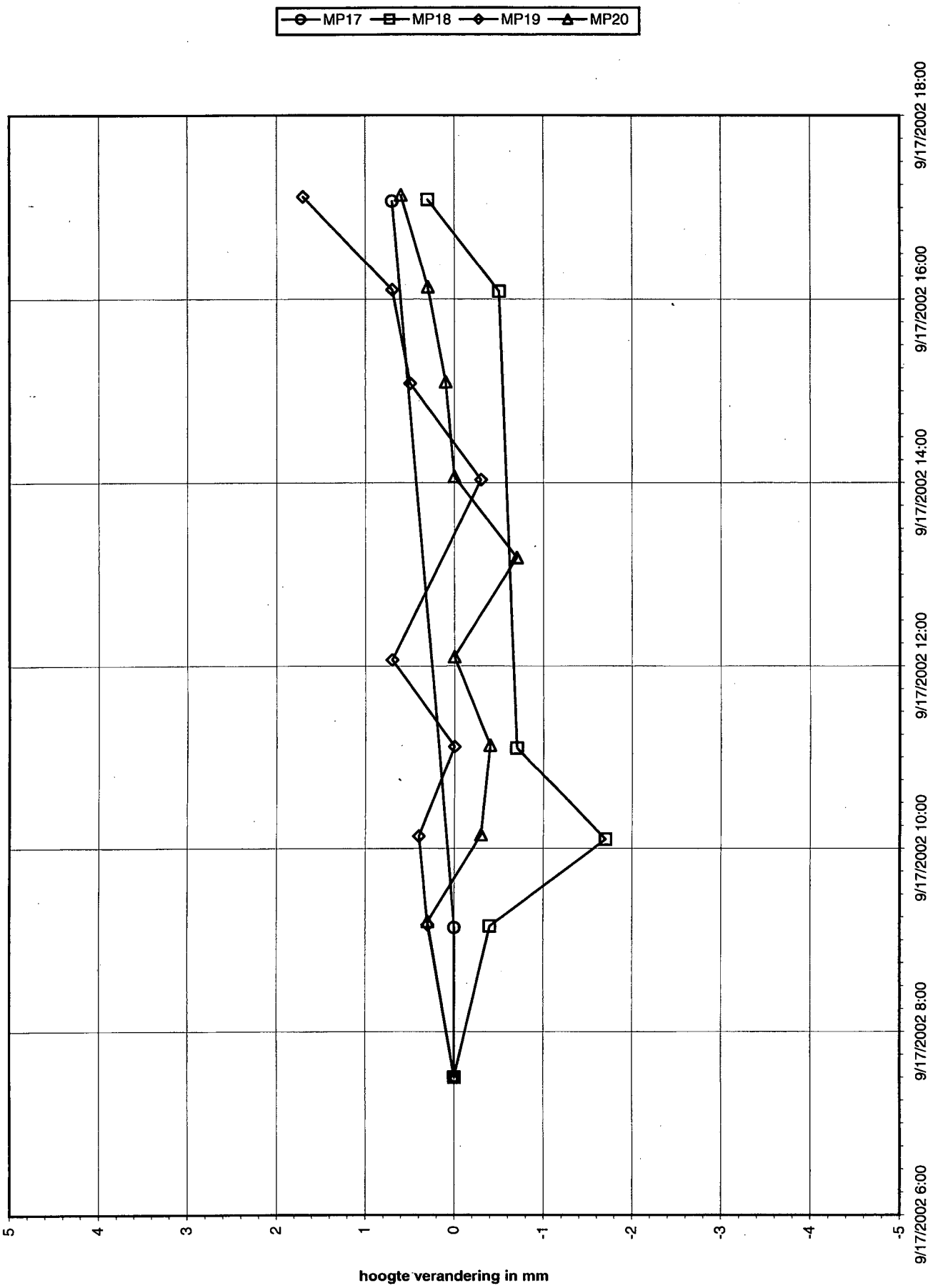
Willem Anna Polder, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP25 - MP28**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7b

Bijlage 5.7c Verticale verplaatsing waterpaspunten MP21-MP24



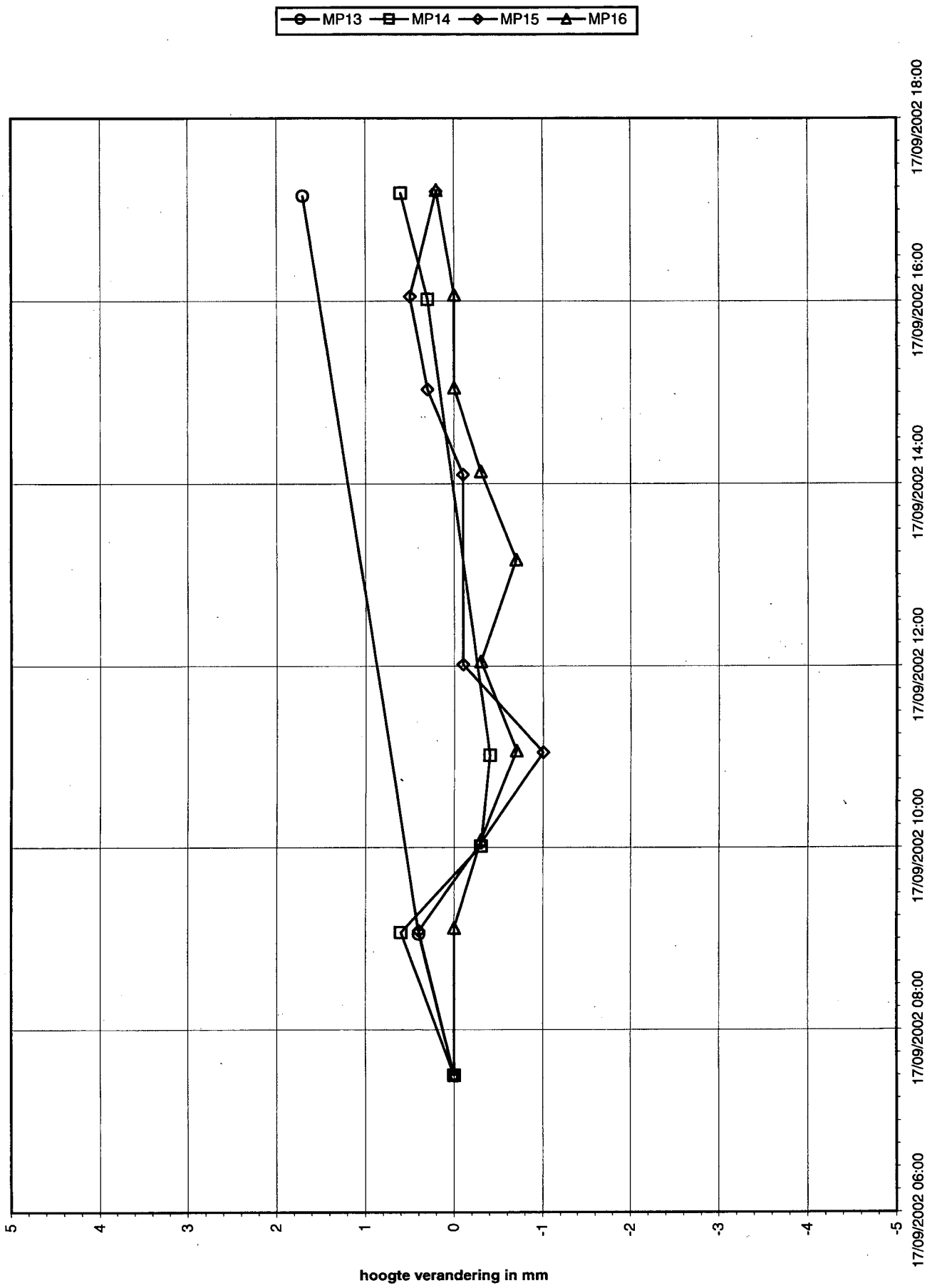
Willem Anna Polder, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP21 - MP24**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7c

Bijlage 5.7d Verticale verplaatsing waterpaspunten MP17-MP20



Willem Anna Polder, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP17 - MP20**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7d

Bijlage 5.7e Verticale verplaatsing waterpaspunten MP13-MP16



Willem Anna Polder, infiltratie proef **verticale verplaatsing waterpaspunten, MP13 - MP16**		2003/03/31
	CO-406350	
WL | Delft Hydraulics	H4148	Bijl. 5.7e

GeoDelft

Stieltjesweg 2
2628 CK Delft
Postbus 69
2600 AB Delft

Tel (015) 269 35 00
Fax (015) 261 08 21
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl