

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

Eindrapportage

ing. G. de Vries

Mede gefinancierd door:

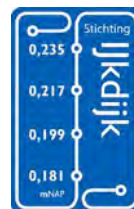
Flood Control
2015



stowa



1203255-006



Titel
Monitoring droogteonderzoek veenkaden

Opdrachtgever
Stichting IJkdijk

Project
1203255-006

Kenmerk
1203255-006-GEO-0001-
gbh

Pagina's
36

Trefwoorden
De Veenderij, veen, droogte, meetsystemen, referentiemonitoring

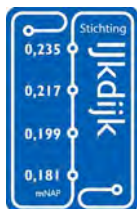
Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
03	dec. 2012	ing. G. de Vries		ing. H.T.J. De Bruijn		ir. L. Voogt	
		Deltares		Deltares		Deltares	

Status
definitief



Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling	2
1.3 Focus	2
1.4 Beschikbare documenten	3
1.5 Locatie	3
1.6 Deelnemers	4
2 Opzet en start	5
2.1 Beschrijving opzet	5
2.2 Grond- en laboratoriumonderzoek	5
2.3 Installatie instrumentatie	5
2.4 Data acquisitie	5
3 Referentiemonitoring	7
3.1 Opzet referentiemonitoring	7
3.2 Techniek en monitoringsstrategie referentiemonitoring	7
3.3 Resultaten referentiemonitoring: analyse en gebeurtenissen	8
3.3.1 Periode vanaf 19 augustus tot 23 december 2011	8
3.3.2 Periode rond begin februari 2012	10
3.3.3 Periode voorjaar 2012, vanaf 1 april tot medio juli	10
3.3.4 Periode vanaf medio juli tot 21 november 2012	12
3.4 Conclusies referentiemonitoring	12
4 Innovatieve monitoring	15
4.1 Opzet innovatieve monitoring	15
4.2 Techniek en monitoringsstrategie Alert Solutions	15
4.3 Techniek en monitoringsstrategie Ecoflight	16
4.4 Techniek en monitoringsstrategie Miramap	17
4.5 Techniek en monitoringsstrategie ITC	18
4.6 Techniek en monitoringsstrategie Ten Cate	19
4.7 Techniek en monitoringsstrategie Intech	19
5 Gecombineerde analyse referentie- en innovatieve monitoring	21
5.1 Metingen Alert Solutions	21
5.2 Metingen Ecoflight	26
5.3 Metingen Miramap	26
5.4 Metingen ITC	29
5.5 Metingen Ten Cate	29
5.6 Metingen Intech	30
6 Conclusie en advies	33
6.1 Conclusie	33
6.1.1 Categorie 1	33
6.1.2 Categorie 2	34
6.1.3 Categorie 3	34
6.2 Advies	35



6.2.1	Meetdata aanvullen met droogteperiode	35
6.2.2	Samenhang monitoringscategorieën	36
6.2.3	Periodiek meten	36
6.2.4	Referentiedijken	36

Bijlage(n)

A	As built instrumentatietekening	A-1
B	Dwarsprofielen C1, C2 en C3	B-1
C	Geocheck formulier Ten Cate en Alert Solution	C-1
D	Factual report referentiemonitoring	D-1
E	Factual report Alert Solutions	E-1
F	Factual report Ecoflight	F-1
G	Factual report Miramap	G-1
H	Factual report ITC	H-1
I	Factual report Ten Cate GeoDetect	I-1
J	Factual report Intech	J-1
K	Voorbeeldgrafieken AnySenseConnect	K-1



1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tijdens de droge zomer van 2003 verschoof eind augustus in Wilnis een veenkade. Enkele dagen later volgde de afschuiving van een veenkade nabij Terbregge. Uiteindelijk vonden gedurende de nazomer van 2003 op circa 50 locaties verspreid over het land serieuze scheurvormingen of vervormingen van (veen-) kaden plaats. De langdurige droogte vormde een belangrijke oorzaak voor deze doorbraken en vervormingen. Op basis van deze gebeurtenissen is “langdurige droogte” als belastingssituatie geïdentificeerd.

Door verschillende onderzoeken naar de oorzaak van het bezwijken van de twee genoemde kaden en de vervormingen ter plaatse van de verschillende andere kaden, zijn inzichten ontwikkeld betreffende de belastingssituatie droogte. Dit betreft onder andere:

1. Kern van het faalmechanisme is de sterke afname van de schuifweerstand tussen veenpakket en zandondergrond door hydraulische kortsluiting;
2. Algemeen is de stabiliteit van veenkaden met name afhankelijk van de vochtigheid van het veen;
3. Uitdroging van veen wordt versterkt door de waterafstotendheid van droog veen.

Ad.1: De horizontale schuifweerstand op de overgang tussen een veenpakket en de zandondergrond levert een belangrijke bijdrage aan de stabiliteit van een waterkering. Tijdens een droogte periode daalt de grondwaterstand in het veenpakket en droogt het veen boven het grondwater uit. Dit geeft een sterke afname van het gewicht van het veenpakket, terwijl de stijghoogte in de zandondergrond min of meer intact blijft. Hierdoor neemt ook de horizontale schuifweerstand tussen het veenpakket en de zandondergrond af. De afname van de schuifweerstand wordt sterk vergroot door het optreden van hydraulische kortsluiting tussen de boezem en zandondergrond. Een uiterste situatie wordt bereikt wanneer het veenpakket gaat drijven op de grondwaterdruk in de zandondergrond.

Ad.2: De stabiliteit van de veenkade is afhankelijk van de vochtigheid van het veen in of onder de kade of het nabije achterland. Deze afhankelijkheid is het gevolg van de sterke gewichtsafname en de volumevermindering van verdrogend veen:

- Gewichtsafname: door verdroging neemt het gewicht van het veenpakket in de kade en het achterland af, waardoor de kade en/of het achterland kan gaan opdrijven.
- Volumevermindering: door verdroging krimpt het veen, door deze krimp treedt vervorming van de kade op (scheurvorming, waardoor de dijk minder gaat wegen en deformeren) wat bijdraagt aan de kans op hydraulische kortsluiting.

Ad.3: Belangrijk aspect bij de verdroging van veen is de vorming van waterafstotend gedrag van veengrond. Waterafstotendheid ontstaat wanneer het vochtgehalte van veen daalt beneden een bepaalde waarde, het zogenaamde kritieke vochtgehalte. Door waterafstotend gedrag wordt regen- en eventueel kwelwater niet of slechts zeer langzaam door het veen opgenomen. De vorming van waterafstotendheid is vooral afhankelijk van het vochtgehalte. Echter ook de temperatuur heeft enige invloed, bij een hoge temperatuur wordt de vorming van waterafstotend gedrag van veen versneld. Waterafstotendheid kan zich dus tijdens droogteperiodes gedurende het gehele jaar vormen, maar vormt zich het snelst tijdens de warme zomer (of voorjaar).



Opgemerkt wordt dat de rol van gasvorming in veen nog nauwelijks aandacht krijgt in de onderzoeksweld, terwijl in het oorzakenonderzoek van Wilnis hier wel aanbevelingen voor zijn gedaan. Het bleek niet mogelijk om de rol van gasvorming inzichtelijk te maken, het is niet uitgesloten dat gasvorming een rol heeft gespeeld.

In de leidraad toetsen op boezemkades is een hele stap gemaakt in het maken van richtlijnen en rekenregels ten aanzien van droogtegevoelige veenkades. Echter, er zijn nog steeds inhoudelijke onderzoeksvragen.

Direct na de identificatie van langdurige droogte als nieuwe belastingssituatie dienden de waterschappen op korte termijn grote lengtes kadestrekkingen te inspecteren. Dit resulteerde in een enorme inspanning. In 2004 is daarom de vraag gesteld welke technische hulpmiddelen de visuele inspectie van veenkaden konden ondersteunen. Daaruit is geconcludeerd dat inspectietechnieken (in theorie) een belangrijke (ondersteunende) bijdrage kunnen leveren aan de inspectie van verdroogde veenkaden. Echter er was weinig ervaring met de (on)mogelijkheden van deze inspectietechnieken in de praktijk.

In 2008 en 2009 heeft Stichting IJkdijk twee grootschalige experimenten uitgevoerd op de proeflocatie in Groningen. De faalmechanismen macrostabiliteit en piping stonden centraal. In de experimenten is de impact van de faalmechanismen op de dijk gemeten met behulp van sensoren. De hoofddoelstelling van de projecten was om de meettechnieken te valideren en in de toekomst in te zetten bij de indicatie van het faalmechanisme. De resultaten uit de experimenten vormen bouwstenen voor een monitoringssysteem voor waterkeringen waarin faalmechanismen gesignaleerd worden en de actuele sterkte van de dijk gemeten en voorspeld wordt.

1.2 Doelstelling

Ten opzichte van 2004 zijn er veel ontwikkelingen geweest m.b.t. de meet- (inspectie) technieken. Op basis daarvan is het zinvol om anno 2011-2012 vast te stellen op welke wijze deze technieken kunnen bijdragen aan bovengenoemde problematiek. Doelstelling is daarom:

“Welke meettechnieken kunnen de effecten van verdroging (droogtegevoeligheid) van de veenkade volgen”.

1.3 Focus

Metten aan de droogtegevoeligheid van kades kan op verschillende schaalniveaus. Er kan voor grote strekkingen een “zwakke plekken” onderzoek worden uitgevoerd, maar er kan ook op een gedetailleerde en locatiespecifieke schaal onderzoek worden uitgevoerd. In het kader van dit onderzoek is primair voor het laatste gekozen, waarbij aanvullend daarop de eigenschappen van het dijklichaam ter plaatse zijn bepaald met in situ monitoring en laboratoriumonderzoek (referentie / basismonitoring).

Zoals in de paragraaf “achtergrond” is beschreven zijn er openstaande onderzoeksvragen m.b.t. de droogtegevoeligheid van veenkades. Dit geldt bijvoorbeeld voor fundamenteel onderzoek, schematisatie van de waterspanningen in een droge situatie, geschiktheid neerslagtekort van het KNMI, gasvorming en beweging van veenkaden door krimp (ontstaan van scheuren), kruip en zeer slappe veenlagen. Door de toepassing van innovatieve meettechnieken zijn meer resultaten beschikbaar gekomen.



In het kader van dit onderzoek worden de meettechnieken (en daarbij dus de metingen) beoordeeld op geschiktheid. Daarbij wordt de vraag gesteld of deze in potentie iets zeggen over de droogtegevoeligheid van de kade.

Bij het interpreteren van de geschiktheid van de meettechnieken wordt de bestaande kennis over het gedrag van een veenkade meegenomen. In het kader van dit onderzoek worden echter geen (aanvullende) inhoudelijke analyses uitgevoerd op de eerder genoemde onderzoeksvragen. Vanzelfsprekend kan deze meetreeks daar wel voor als eerste opzet en input dienen, maar heeft niet de potentie daarvoor volledig te zijn (mede omdat er gemeten wordt op één specifieke locatie). Het meer theoretische onderzoek naar het gedrag van veen onder wisselende klimatologische omstandigheden kan dus input krijgen door deze meetreeks in te zetten.

1.4 Beschikbare documenten

Deze rapportage betreft de eindrapportage van het project monitoring droogteonderzoek veenkaden voor de meetperiode 2011 en 2012. Gedurende de opstart en meetperiode zijn diverse documenten opgesteld. Dit betreffen de documenten:

- “Locaties meten aan droogtegevoeligheid”, met kenmerk 1203255-005-GEO-0001, Deltares.
- “Plan van aanpak meten aan droogtegevoeligheid van veenkaden – Geschiktheid meettechnieken”, met kenmerk 1203255-000-GEO-0006, d.d. juni 2011, Deltares.
- “Draaiboek meten aan droogtegevoeligheid van veenkaden – geschiktheid van meettechnieken”, met kenmerk 1203255-000-GEO-0009, d.d. augustus 2011, Deltares.
- “Monitoring droogteonderzoek veenkaden – Factual report veld- en labonderzoek”, met kenmerk 1203255-004-GEO-0001, d.d. september 2011, Deltares.
- “Monitoring droogteonderzoek veenkaden – Factual report installatie referentiemonitoring”, met kenmerk 1203255-004-GEO-0002, d.d. december 2011, Deltares.
- “Monitoring droogteonderzoek veenkaden – Factual report referentiemonitoring” met kenmerk 1203255-004-0003, d.d. november 2012, Deltares.

1.5 Locatie

De meetlocatie is geselecteerd en is de kade de Veenderij. Voor de volledige beschrijving en selectie van de meetlocatie (inclusief onderbouwing van de selectie en keuze van de meetlocatie) wordt verwezen naar het document “Locaties meten aan droogtegevoeligheid” met kenmerk 1203255-005-GEO-0001.

De locatie waar de veenkade wordt geïnstrumenteerd ligt in het beheersgebied van Waternet. De Veenderij ligt even ten zuidwesten van Amsterdam en grenst aan een watergang van de Klein Duivendrechtsche Polder. Figuur 1.1 geeft een overzicht.

Gedurende de meetperiode is het proefvak gemaaid (met een handmaaier), conform “normaal” regime. In het proefvak is geen vee toegelaten.



Overzicht locatie De Veenderij (Bron: Google)



Buitentalud geselecteerde locatie



Kruin geselecteerde locatie



Binnentalud geselecteerde locatie

Figuur 1.1 Locatieoverzicht en details de Veenderij

1.6 Deelnemers

Onderstaande figuur geeft de organisatie en deelnemers weer van het project.



Figuur 1.2 Organogram organisatie en deelnemers



2 Opzet en start

2.1 Beschrijving opzet

Om het plan in zijn geheel uit te voeren zijn een aantal stappen benodigd geweest, te weten:

- Selectie monitoringslocatie.
- Uitvoeren grond- en laboratoriumonderzoek.
- Installatie van de referentiemonitoring.
- Installatie van de monitoring door de diverse meetpartijen.
- Opzetten data acquisitie.
- Meetperiode.
- Data analyse.
- Rapportage.

In hoofdstuk 1 is al ingegaan op de locatiekeuze. In de navolgende paragrafen zullen het uitvoeren van het grond- en laboratoriumonderzoek, de installatie van de monitoring en de data acquisitie nader omschreven worden. In hoofdstuk 3 en verder zal ingegaan worden op de meetperiode, waarin onder andere een analyse gedaan wordt op de meetdata.

2.2 Grond- en laboratoriumonderzoek

Voorafgaand aan het grondonderzoek en de installatie van de verschillende sensoren voor het droogteonderzoek is op de locatie ter plaatse van het binnentalud eerst een meetvak van circa 30 m kadellengte geselecteerd, zijnde het vak voor de verschillende meetpartijen. Omdat dit vak ongestoord diende te blijven is de referentiemonitoring en het grondonderzoek buiten dit vak aan de noordwest zijde uitgevoerd. De referentiemonitoring is op een afstand van circa 10 m uit het meetvak uitgevoerd en het grondonderzoek op een afstand van circa 15 m. Uit de resultaten van het grondonderzoek is gebleken dat de ondergrond van de dijk in lengterichting niet veel veranderd.

Voor de resultaten van het grond- en laboratoriumonderzoek wordt verwezen naar de rapportage "Monitoring droogteonderzoek veenkaden – Factual report veld- en labonderzoek", met kenmerk 1203255-004-GEO-0001, d.d. september 2011, Deltares. Dit rapport geeft een overzicht van de locatie en inzicht in onder andere de grondopbouw.

2.3 Installatie instrumentatie

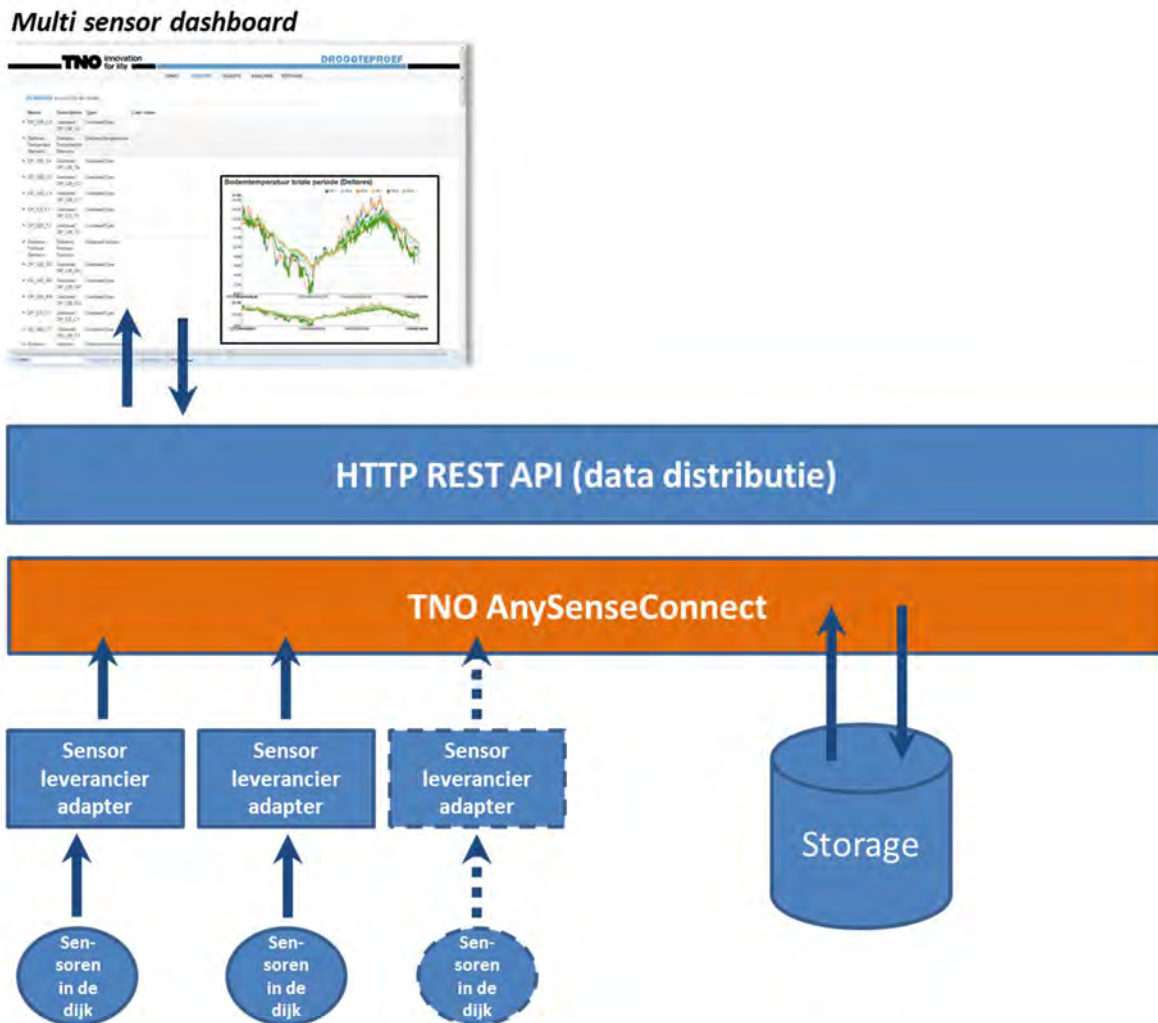
De installatie van de referentiemonitoring is als eerste uitgevoerd. Vervolgens is de installatie uitgevoerd van Ten Cate en Alert Solutions, de twee in situ meetpartijen. De as built tekening van de monitoring is toegevoegd als bijlage A. Vervolgens zijn er drie dwarsprofielen ter plaatse van het meetvak ingemeten, gepresenteerd in bijlage B.

Bij de installatie van de instrumenten van de twee in situ meetpartijen is geotechnische kwaliteitsborging door Deltares uitgevoerd. De resultaten van deze "Geochecks" zijn terug te vinden in bijlage C. In de analyse en resultaten van de metingen zijn de opmerkingen en constateringingen geplaatst op deze Geocheck formulieren verwerkt.

2.4 Data acquisitie

Data acquisitie voor dit project is uitgevoerd met het voor de IJkdijk experimenten ontwikkelde AnySenseConnect systeem van TNO. AnySenseConnect zorgt voor de dataverzameling, dataopslag en datadistributie. De datadistributie vindt plaats middels een HTTP REST

interface (Application Programming Interface). Deze technische interface kan gebruikt worden om applicaties aan te sluiten. Voor dit onderzoek is hier een webbased dashboard op aangesloten. AnySenseConnect is in staat om verschillende sensoren van diverse leveranciers aan te sluiten en deze data te uniformeren. De data kan vervolgens visueel weergegeven worden in een webbased dashboard. Doordat de data van verschillende leveranciers uniform is opgeslagen kunnen combinaties van verschillende sensorsystemen gemaakt worden bij het samenstellen van grafieken. In figuur 2.1 is de globale opbouw van de dataverzameling weergegeven. In bijlage K zijn een aantal voorbeeld grafieken weergegeven.



Figuur 2.1 Inrichting dataverzameling met AnySenseConnect



3 Referentiemonitoring

3.1 Opzet referentiemonitoring

De referentiemonitoring kan worden gezien als een verzameling van bewezen technieken die anno 2011-2012 kunnen worden ingezet om te meten aan de verschijnselen die droogte kan veroorzaken bij (veen)dijken. Van de referentiemonitoring is een feitelijke rapportage opgesteld die is gerapporteerd als “Monitoring droogteonderzoek veenkaden – Factual report referentiemonitoring” met kenmerk 1203255-004-0003, d.d. november 2012, Deltares. Deze rapportage beschrijft de technieken die zijn toegepast, de specificaties en installatiewijze van deze technieken en de bijzonderheden die zijn opgetreden die verband houden met het functioneren van de monitoring gedurende de meetperiode. Tevens is alle meetdata van de referentiemonitoring in dit rapport opgenomen. Dit factual report is toegevoegd als bijlage D. De meetperiode beslaat de start eind augustus 2011 tot en met november 2012.

3.2 Techniek en monitoringsstrategie referentiemonitoring

De aspecten waarop gemonitord is zijn direct terug te koppelen op de geotechnische aspecten of gegevens die nodig zijn om het gedrag onder verschillende klimatologische omstandigheden te meten. Hierbij wordt vooral gekeken naar de aspecten die een rol hebben gespeeld bij de dijkverschuivingen in Wilnis en Terbregge in 2003. Beide dijkverschuivingen hebben gemeen dat de vochtuithouding in en onder de dijk veranderde, waarbij het verdrogen van de dijk in beide gevallen een “trigger” was in het faalproces. Vooral het “gewicht” van een veendijk is één van de parameters die erg belangrijk is. Het totale gewicht van de dijk is echter niet te meten in het veld, zodat ervoor gekozen is om de parameters die afhankelijk zijn voor de eventuele afname van het gewicht te monitoren. Deze parameters zijn vooral gericht op het bepalen van de volume krimp van veen en de afname van het gewicht van de dijk door het verdrogen van veen als gevolg van het verlagen van de grondwaterstand. De gemeten parameters zijn:

- De grondwaterstand en de waterdrukken in de veendijk.
- Het vochtgehalte van een veendijk rondom de verzadigde zone.
- Het volume krimpgedrag van veen.
- Temperatuur van het veen.

Een afname van de grondwaterstand kan leiden tot een hogere sterkte van de dijk mits de massa van dijk niet afneemt. Immers, wanneer de massa van de grond niet afneemt en de grondwaterstand daalt, neemt de effectieve spanning toe. Deze effectieve spanning zorgt voor de sterkte van grond. Wanneer de massa van de grond als gevolg van een verlaging van de grondwaterstand ook afneemt, wat bij veen het geval is, en het volume van de dijk ook afneemt (als gevolg van volumekrimp in alle richtingen), dan kan het verlagen van de grondwaterstand wel leiden tot lagere gronddrukken en tot lagere effectieve spanning waardoor de sterkte van de dijk wel wordt aangetast. Hierdoor is het veranderen van de grondwaterstand ook bij veendijken van invloed op de sterkte.

Veranderingen in het vochtgehalte van veen geven een indicatie voor de volumekrimp van het materiaal. Immers veen bestaat voor een zeer groot deel uit water. In de geotechniek wordt het vochtgehalte altijd uitgedrukt in massa percentages t.o.v. de droge stof ($(m_{\text{nat}} - m_{\text{droog}})/m_{\text{droog}}$). De reden hiervoor is eenvoudig, in het laboratorium is dit de meest eenvoudige test waarbij het volume niet hoeft te worden bepaald. De tweede reden is dat vanuit de geotechniek het afnemen van de massa van het veen de belangrijkste parameters is die van



invloed is op de sterkte van de dijk. In het veld kan het massa percentage niet worden gemeten en kan alleen een relatie met de volume procenten worden gelegd. Dit wordt uitgedrukt ten opzicht van het natte (in situ) volume van het veen.

De temperatuur van het veen kan van invloed zijn op aspecten die verband houden met gasvorming in dijken. Door het toenemen van de temperatuur neemt de bacteriologische activiteit in de grond toe. Deze bacteriologische activiteit kan gasvorming veroorzaken in het veen. Hierdoor wordt water door gas verdrongen wat eveneens kan leiden tot het lichter worden van de dijk. Anderzijds kan het toenemen of afnemen van de temperatuur duiden op een verandering van de grondwaterstand. Een verdroogd grondlichaam zal toenemen in temperatuur. Het is niet gezegd dat een toename van de temperatuur altijd leidt tot verdroging, het grondwater kan ook langzaam opwarmen als gevolg van een langdurige warme periode omdat er praktische geen stroming van het grondwater is.

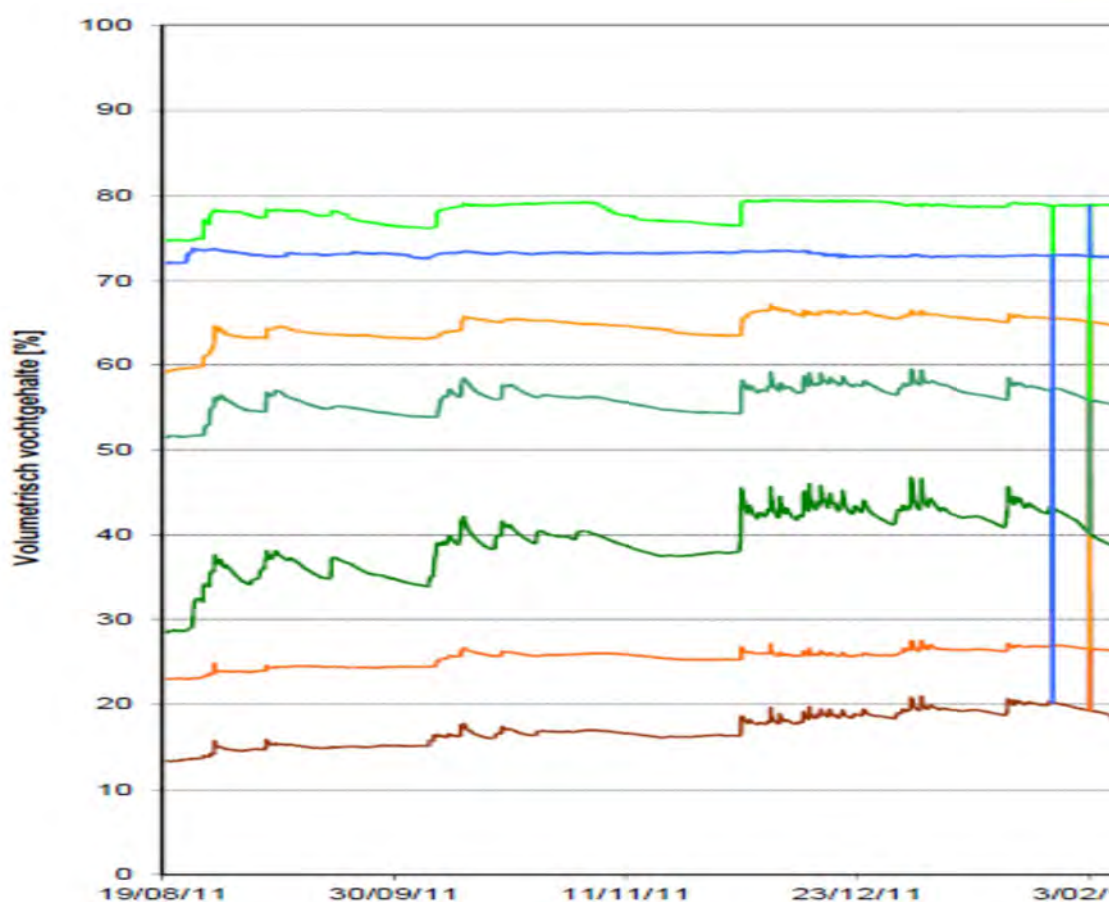
Vanuit het faalmechanisme gedacht is ervoor gekozen om vooral de grondwaterstand te monitoren, het vochtgehalte en het krimpgedrag van veen. Omdat deze veranderingen te correleren zijn aan de klimatologische omstandigheden, zijn ook de verschillende meteorologische gegevens verzameld, zoals neerslag, temperatuur en luchtdruk. Er is voor gekozen om een dwarsprofiel (C2) volledig te instrumenteren met peilbuizen en vochtmeters en een extensometer. De extensometer is geplaatst halverwege het talud, daar waar de scheurvorming van de dijk wordt verwacht bij droge periodes en waar de afname van de waterstand als gevolg van droogte het grootste zal zijn. Verwacht wordt dat deze locatie het meeste krimpt. De peilbuizen zijn gelijkmatig over het profiel verdeeld, zo staat peilbuis 1 in de oever nabij de boezemsloot en peilbuis 7 in de teensloot. De peilbuizen 1 tot en met 7 meten allen het verloop van de freatische grondwaterstand over het dijkprofiel heen. Peilbuis 8 staat net naast raai C2 en heeft een filter wat afgesteld is in het watervoerende zandpakket. Bij de peilbuizen 2 tot en met 6 staan eveneens vochtmeters afgesteld in de onverzadigde zone. Er is gedurende meetperiode continue gemeten om zo de veranderingen van de verschillende parameters in de tijd goed vast te leggen. Het meetinterval bedraagt 1 uur.

3.3 Resultaten referentiemonitoring: analyse en gebeurtenissen

De meetperiode die in deze rapportage geanalyseerd wordt is gestart op 19 augustus 2011 en loopt tot november 2012. In deze gehele meetperiode zijn er geen extreem droge periodes geweest, wel was er sprake van een korte droge winterperiode (3 februari tot 12 februari 2012) en zijn er enkele periodes geweest met veel neerslag. Ook valt de periode vanaf 1 april tot medio juli 2012 op.

3.3.1 Periode vanaf 19 augustus tot 23 december 2011

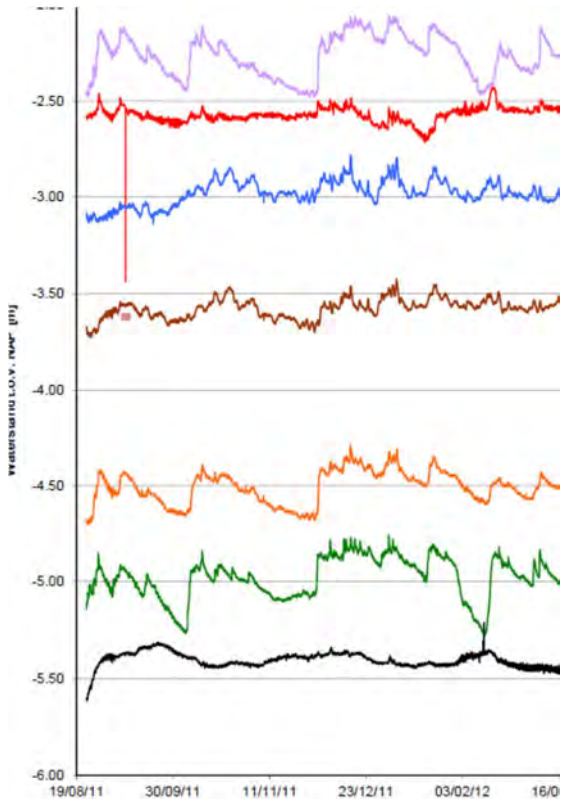
In de eerste 3 maanden van de meetperiode, dus vanaf 19 augustus tot aan circa 1 december 2011, is er weinig neerslag gevallen. Dit is goed zichtbaar in de bodemvocht meters die in deze periode een relatief constant bodemvochtgehalte laten zien met enkele pieken. Zie figuur 3.1.



Figuur 3.1 Bodemvochtmetingen (19-6-2011 t/m 3-2-2012)

Opvallend is dat het vochtgehalte bij neerslag snel toeneemt maar na het stoppen van de neerslag ook weer geleidelijk afneemt. Een deel van de neerslag lijkt tot een meer continu hoger vochtgehalte te leiden. Er is een trend waarneembaar waarbij het vochtgehalte langzaam stijgt. Dit is te verklaren uit het feit dat er in deze periode van het jaar geen noemenswaardige verdamping opgetreden is. In de peilbuismetingen is dit ook waarneembaar. Daarnaast geldt voor de bodemvochtmetingen dat nadere analyse voor wat betreft de absolute getallen gewenst is (t.a.v. o.a. gemeten variaties en de calibratie).

Hierna komen enkele pieken voor in de neerslagmeting waarbij met name vanaf 12 tot 19 december 2011 in 7 dagen ruim 51 mm neerslag valt. Dit leidt tot een directe verhoging van de grondwaterstand. Opvallend is dat de "eerste" neerslag leidt tot een directe toename van de grondwaterstand en dat de daarop volgende neerslag er voor zorgt dat deze grondwaterstand hoog blijft, maar niet verder toeneemt. Dit is ook waarneembaar in de vochtmetingen. Kennelijk wordt als gevolg van de eerste hoeveelheid neerslag de onverzadigde zone verzadigd waardoor deze geen water meer extra kan opnemen en daardoor zowel het bodemvocht gehalte als de waterdruk niet meer verder kan stijgen. Wanneer de periode met neerslag stopt is een snelle afname van de stijghoogte waarneembaar. Dit is weergegeven in figuur 3.2 waar de peilbuismetingen zijn gepresenteerd die de grondwaterstand (freatische lijn) weergeven. De afname snelheid verloopt exponentieel zoals bij doorlatendheid verwacht mag worden. Uit de metingen van de extensometers in deze periode is een zwelling van het grondlichaam aan het maaiveld af te leiden. Dit is conform de verwachtingen in deze situatie. Opgemerkt wordt dat een dergelijk gedrag als locatiespecifiek moet worden beschouwd.



Figuur 3.2 Peilbuismetingen (stijgingen en exponentiele dalingen grondwaterstand 19-6-2011 t/m 16-4-2012)

3.3.2 Periode rond begin februari 2012

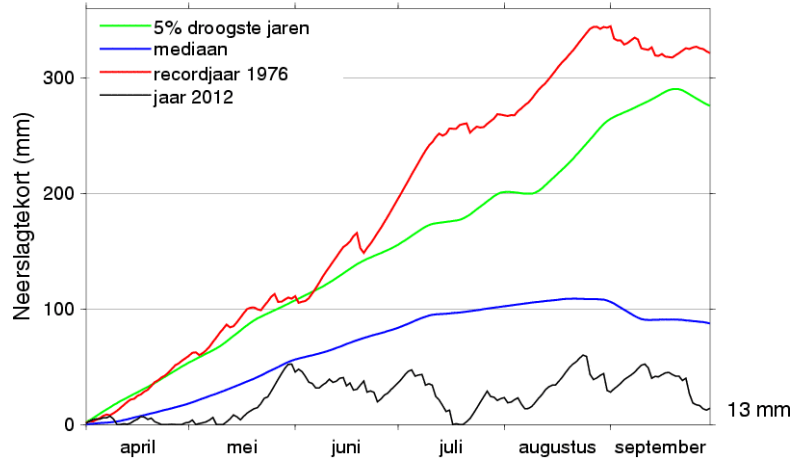
In deze periode is er sprake van strenge vorst gedurende 13 dagen. De vorst valt in 164 dagen (30 januari 2012) na start van de proef, 177 (12 februari 2012) dagen na start is de vorst weer verdwenen. Een zeer droge vorst periode kan ook leiden tot verdroging van de kades. In de metingen van de vochtmeters is dit ook te zien, er vindt een zeer snelle daling van het vochtgehalte plaats rond 3 februari 2012 als het echt koud wordt. In de metingen van de extensometers is een inklinking van het grondlichaam zichtbaar alsmede in verschillende peilbuizen. Vooral in de peilbuis in de kruin (pb2) en de peilbuizen in de binnenteen van de dijk. Halverwege het talud is het minder duidelijk. Dit geldt overigens ook voor de vochtmeters, ook hier is in het midden van het talud geen duidelijk ander gedrag gemeten.

3.3.3 Periode voorjaar 2012, vanaf 1 april tot medio juli

In eerst deel van deze periode tot 22 juni is een continu aflopend vochtgehalte waarneembaar met een eveneens continue afnemen van de omvang van de dijk. De metingen van de extensometers laten na de eerder gemeten zwelling een lichte krimp zien. In deze periode valt ruim 80 mm neerslag, omdat het gewas in deze periode echter ook groeit en de verdamping toeneemt, neemt het neerslagtekort wel toe. Zie hiervoor figuur 3.3.

Neerslagtekort in Nederland in 2012

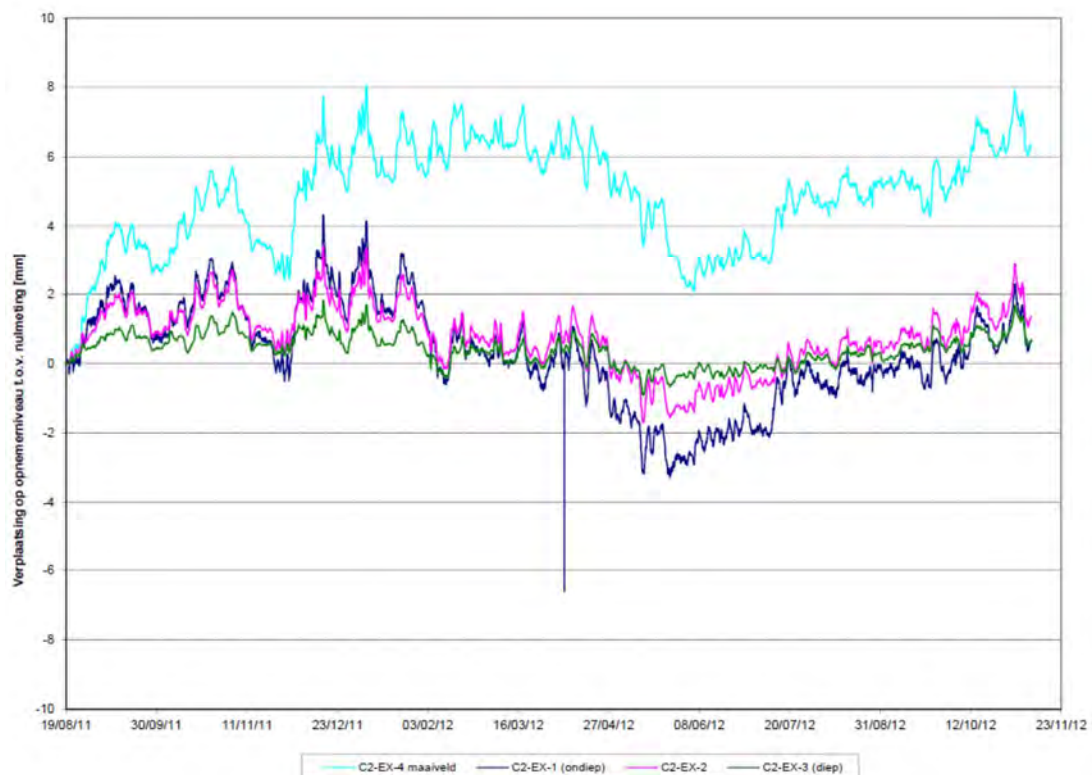
Landelijk gemiddelde over 13 stations



(c) KNMI, 2012-10-02

Figuur 3.3 Neerslagtekort in Nederland in 2012

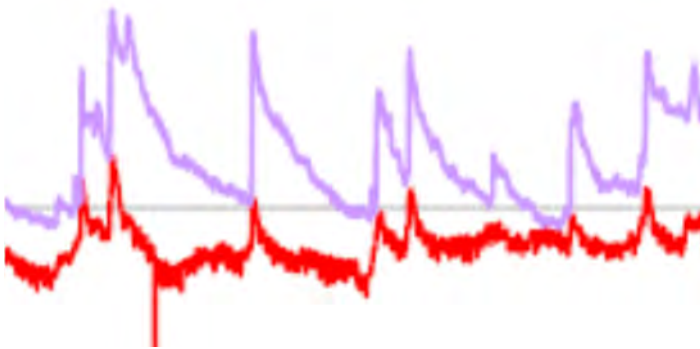
Op figuur 3.3 is zichtbaar dat op 1 juni 2012 het neerslagtekort over de gemeten periode relatief groot is en raakt aan de mediaan. Dit traject is vanaf mei ingezet. Op de grondwaterstanden is deze (lichte) daling eveneens waarneembaar. Omdat het neerslagtekort niet is doorgezet worden deze tendensen in de meetgrafieken omgebogen tot stijgende lijnen als het gaat om waterstanden en vochtgehalte. De extensometingen laten een krimp zien in de periode van 1 april tot 1 juni 2012 en daarna een relatief constant beeld tot medio juli 2012 waarna de dijk gaat zwellen. Figuur 3.4 geeft deze metingen weer. Deze zwelling is gerelateerd aan de neerslag die dan valt. In figuur 3.3 is zichtbaar dat medio juli 2012 het neerslagtekort even nul is.



Figuur 3.4 Extensometingen (19-5-2011 t/m 23-11-2012)

3.3.4 Periode vanaf medio juli tot 21 november 2012

In deze periode valt relatief veel neerslag, ruim 660 mm. Rond 20 augustus 2012 was het warm en droog in Nederland, deze periode was echter van korte duur en daardoor niet zichtbaar op de metingen. Gedurende de gehele periode van medio juli 2012 tot 21 november 2012 treden forse buien op gevolgd door droge periode. Deze neerslag is goed te herleiden uit de peilbuis metingen en vochtmetingen. Opvallend is dat ook hier zichtbaar is dat de grondwaterstand bijna direct reageert op het begin van de neerslag. Wanneer de neerslagperiode zich over een langere periode doorzet, neemt de grondwaterstand niet meer verder toe. Wanneer de neerslag stopt neemt de grondwaterstand exponentieel in de tijd af. Op onderstaande figuur 3.5 is dit zichtbaar.



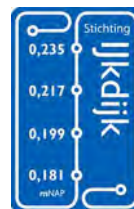
Figuur 3.5 Detail peilbuismetingen (snelle stijging en exponentiele afname van de stijghoogte)

Figuur 3.5 is een detailweergave van de stijghoogte gemeten in pb 2 (paars) en pb 1 (rood) over de periode van medio juli 2012 tot 12 oktober 2012. Op de verticale as is de stijging van de grondwaterstand uitgezet en op de horizontale as de tijd. De directe stijging van de waterstand als reactie op de neerslag zijn goed te zien, alsmede de exponentiele daling van de waterstand bij situaties zonder neerslag. Deze reactie komt overeen met die van goed doorlatende grond. Opvallend is dat na de eerste reactie van de grondwaterstand op de neerslag deze bij aanhoudende neerslag niet toeneemt.

3.4 Conclusies referentiemonitoring

Op basis van de metingen kunnen de volgende locatie specifieke conclusies worden getrokken.

- De peilbuizen laten een directe relatie met de neerslag en met het neerslagtekort zien.
- De freatische lijn reageert praktisch direct op neerslag, waarbij de toename in de tijd bij langdurige neerslag beperkt is. Dit komt vermoedelijk omdat dan de grond boven de gemiddelde grondwaterstand na de eerste neerslag compleet is verzadigd waardoor er geen regenwater meer infiltreert maar van het talud afloopt (bij een langere periode met neerslag neemt de run off factor toe).
- De meetresultaten van de extensometers laten een zwel-krimpgedrag zien wat verklaard kan worden vanuit de neerslag/verdamingscijfers. Door langer door te meten kan worden geconcludeerd of hierin een seizoen cyclus zichtbaar is. Deze meting legt een één op één relatie met het bezwijkmodel, immers het waterkerende vermogen neemt af naarmate de omvang van de dijk afneemt.
- Uit de vochtmeters volgt een duidelijk relatie met de freatische lijn als het gaat om tendensen die worden gemeten. Dit kan verklaard worden omdat de grote van de onverzadigde zone vrij direct in verhouding staat tot de hoogteligging van de freatische grondwaterstand in dit specifieke geval.



- Ondanks dat de meetperiode geen droge periode bevat verschaft de verzamelde data toch behoorlijk wat informatie. Wanneer gedetailleerd wordt gekeken naar de reactie van de meetinstrumenten op de klimatologische omstandigheden, dan is die reactie zichtbaar. De verschillen zijn echter niet zo groot omdat er geen extreem droge periodes zijn geweest in de afgelopen meetperiode. Wel zijn de seizoenen zichtbaar in de metingen doordat er trends waarneembaar zijn met betrekking tot het vernatten of verdrogen van de dijk.
- Voor wat betreft de langdurige relaties en trendlijnen is het zeer nuttig te kijken of de nu gemeten trendlijnen ook voor de komende seizoenen kunnen worden waargenomen.



4 Innovatieve monitoring

4.1 Opzet innovatieve monitoring

De referentiemonitoring kan worden gezien als een verzameling van bewezen technieken die momenteel kunnen worden ingezet om te meten aan de verschijnselen die droogte kan veroorzaken aan (veen)dijken. Ten opzichte van 2004 zijn er veel ontwikkelingen geweest m.b.t. de meet- (inspectie) technieken. Doel is te kijken hoe de technieken van nu kunnen bijdragen aan het meten aan droogte. Daarom zijn monitoringstechnieken ingezet van zes verschillende meetpartijen. Dit betreffen:

- Alert Solutions.
- Ecoflight.
- Miramap.
- ITC.
- Ten Cate.
- Intech.

In dit hoofdstuk worden per techniek de monitoringsstrategie en de beschrijving van de techniek weergegeven. Voor de complete rapportages wordt verwezen naar de bijlage. Van de monitoring van de zes meetpartijen is een feitelijke rapportage opgesteld. Deze rapportage beschrijft de technieken die zijn toegepast, de specificaties en installatiewijze van deze technieken en de bijzonderheden die zijn opgetreden die verband houden met het functioneren van de monitoring gedurende de meetperiode. Tevens is de meetdata en zijn de resultaten en conclusies opgenomen. Deze factual reports zijn toegevoegd als bijlage E t/m J.

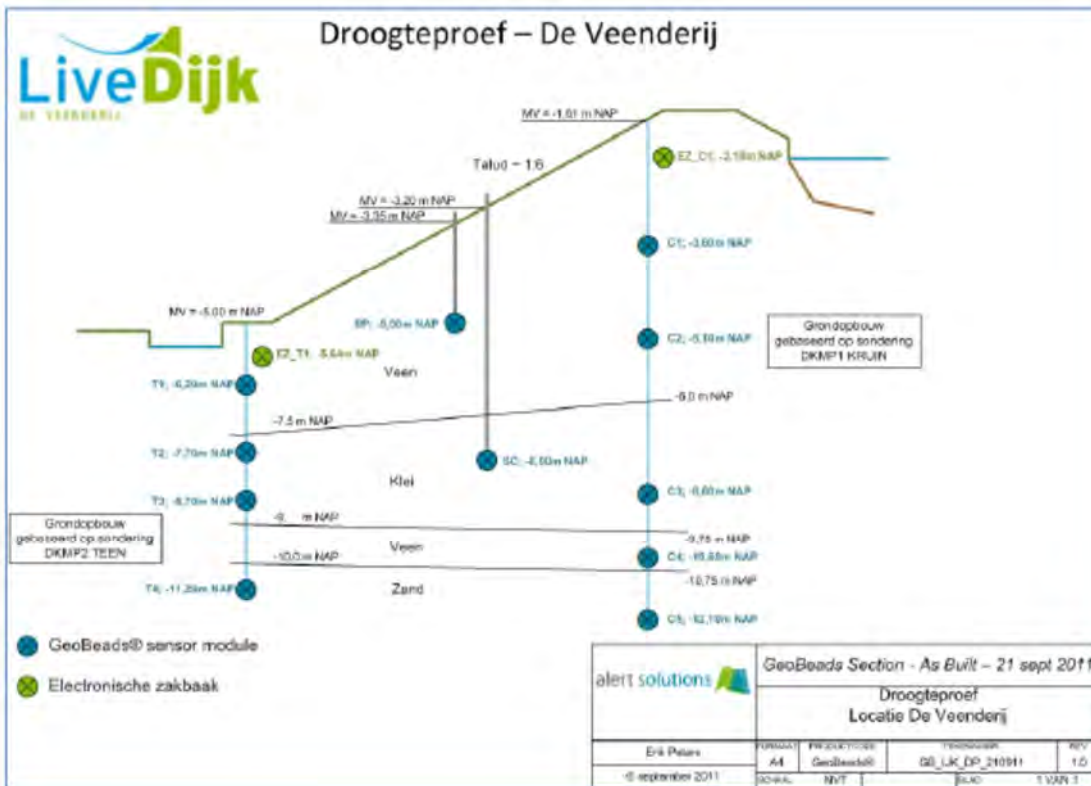
Nadrukkelijk wordt aangegeven dat deze factual reports door de meetpartijen zelf zijn opgesteld.

In hoofdstuk 5 zal een gecombineerde analyse worden weergegeven van de resultaten en meetdata van de innovatieve meettechnieken en de referentiemonitoring. Hoofdstuk 6 geeft de conclusies en het advies weer dat naar aanleiding van de Geochecks, gecombineerde analyse en de factual reports van de meetpartijen is opgesteld door Deltares.

4.2 Techniek en monitoringsstrategie Alert Solutions

Alert Solutions BV heeft in de Veenderij in één dwarsraai meerdere GeoBeads® multi-sensor modules aangebracht. Deze modules meten gelijktijdig de waterdruk, de temperatuur van de directe omgeving en de inclinatie (zijnde de hoek van de sensormodule ten opzichte van het verticale zwaartekrachtveld). Deze laatste parameter is een indicatie voor het optreden van beweging in de grondlaag waarin de sensor is geplaatst. Tevens zijn twee elektronische zakbakens aangebracht (experimentele systemen) welke de zetting in de bovenste veenlaag registreren.

De meetopzet - die nadrukkelijk de veenlaag instrumenteert en als referentie ook de klei- en diepere zandlaag – is gekozen om de invloed van uitdroging op deze dijk te analyseren. De installatie locaties zijn afgestemd op het beschikbare grondonderzoek en gesitueerd in de verschillende grondlagen. Zie figuur 4.1 voor de dwarsdoorsnede van de locatie van de sensoren.



Figuur 4.1 Dwarsdoorsnede locatie van GeoBeads® modules van Alert Solutions

Met de door Alert Solutions gekozen opzet van het meetsysteem wordt het doel nagestreefd om mogelijke uitdroging van het veenpakket op te sporen. Daarvoor worden specifiek de volgende metingen beschouwd:

- Door uitdroging krimpt mogelijk het ondiepe veenpakket in. Dit wordt gevolgd met de elektronische zakbakens in kruin en teen en met de inclino sensoren in de multi-sensor modules.
- Door uitdroging zal de waterdruk in het veenpakket mogelijk afnemen (daling van de freatische lijn). Dit wordt gevolgd met de waterspanningsmeters.
- Mogelijk dat door sterke uitdroging een temperatuurprofiel ontstaat, welke wezenlijk afwijkt van het gebruikelijke temperatuur seizoenspatroon dat in veel dijken kan worden waargenomen.

4.3 Techniek en monitoringsstrategie Ecoflight

Multispectrale fotografie is een meetmethode voor het opsporen van vegetatiestress, nog voordat met het blote oog effecten van stress zichtbaar zijn. Bij de meting wordt het door de vegetatie weerkaatste zonlicht in 4 kleuren (blauw, groen, rood en nabij-infrarood (onzichtbaar voor het menselijk oog)) separaat digitaal gefotografeerd. De reflectie in het nabij-infrarode domein is een gevoelige maat voor de vitaliteit van de vegetatie. Vitale vegetatie reflecteert veel nabij-infrarood licht, gestreste vegetatie weinig.

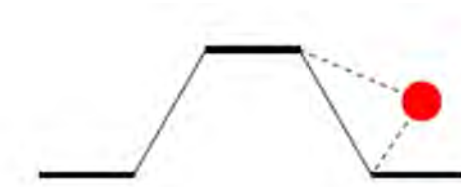
Uitdroging van de bodem is een belangrijke stress factor. Doel van het onderzoek is het vaststellen of door met multispectrale fotografie te kijken naar de vegetatiestress door droogte op veenkades, het mogelijk is om niet-destructief en niet-invasief droogteverschijnselen in de veenkade op te sporen, nog voordat met het blote oog effecten zijn waar te nemen.

Door een correlatie te leggen tussen de vegetatie stressmetingen en in-situ metingen aan de veenkade kunnen:

- De in-situ metingen ruimtelijk geïnterpoleerd worden en
- de vegetatie stressmetingen gekalibreerd worden (welk vegetatie stress niveau hoort bij welke toestand, zoals bepaald met de in-situ metingen, van de veenkade).

Met deze laatste informatie ontstaat dus een monitoringsmethode waarbij kijkend met multispectrale fotografie naar vegetatie op een veenkade informatie wordt verkregen over de (droogte)toestand in de kade.

Idealiter worden multispectrale opnames vanuit een vliegend platform gemaakt. Vanwege de hoge kosten van een dergelijke opzet en het beperkte budget binnen dit project is hiervan afgeweken en is vanaf de grond de kade gefotografeerd. De geometrie is in figuur 4.2 weergegeven.



Figuur 4.2 Geometrie en opstelling Ecoflight

De kade wordt dus vanaf de zijkant bekeken (het talud wordt gefotografeerd). De camera is gemonteerd op een stellage met een hoogte van ongeveer 2 m. De afstand tussen talud en camera is ongeveer 100 m. Het gehele proefvlak van ongeveer 30 m en de zone erbuiten wordt afgebeeld. Het beelddetail (resolutie) is 2 – 3 cm. Gedurende het groeiseizoen (maart tot en met september 2012) is periodiek een opname gemaakt. De camera meet dus niet continu. In extreme situaties (langdurige droogte) kan de tijdsperiode tussen twee opnames worden verkort. Na elke meting wordt een vegetatie stress analyse gedaan, door middel van een optimalisatie en visuele inspectie van de opgenomen beelden.

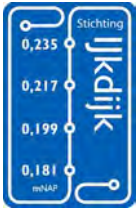
Voor deze meetserie is een 3 CCD multispectrale camera gebruikt. De eerste CCD registreert het 'gewone' RGB daglicht beeld. De andere twee CCDs leggen het nabij-infrarode licht in twee separate banden vast.

4.4 Techniek en monitoringsstrategie Miramap

Tijdens dit project is gebruik gemaakt van een door Miramap ontwikkelde passieve microgolven scanner. Deze scanner registreert de natuurlijke uitstraling bij 1.4 GHz (L-band). Dit komt overeen met een golflengte van 21 cm. De sensor registreert de observaties in helderheidstemperaturen met een nauwkeurigheid van 1 K. Voor deze studie is er zowel in de horizontale als in de verticale modus ingemeten. Op deze manier kan bodemvocht het beste bepaald worden.

De radiometer is gekalibreerd en kan zonder additionele stroomvoorzieningen 3 uur meten. Elke meting wordt voorzien van een GPS locatie en intern opgeslagen. De observatiesnelheid van de sensor is 1 seconde met een ruimtelijke resolutie van om en nabij 1 m. De penetratiediepte van de sensor over de kadedijk varieert tussen een paar centimeter als het heel nat is tot maximaal een meter wanneer er nauwelijks vocht aanwezig is.

In het kader van de studie naar de toepasbaarheid van L-band radiometrie voor het onderzoek naar de effecten van verdroging van de veenkade, zijn er zes metingen verricht in het aangegeven meetveld.



Voor de validatie studie is er tijdens de microgolven metingen ook een aantal 0-5 cm in situ bodemvocht metingen gedaan met een Decagon ECHO frequency domain bodemvocht sensor. Deze bodemvochtsensor meet met een nauwkeurigheid van 3 Vol.% en resolutie van 1 Vol.%. Voor nadere informatie over de specificaties van deze bodemvochtsensor wordt verwezen naar de website van de leverancier:

<http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/ec-5-soil-moisturesmall-area-of-influence/>

4.5 Techniek en monitoringsstrategie ITC

De Universiteit Twente, Faculteit Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), heeft data ingewonnen voor de evaluatie van opties voor de bepaling van oppervlakte grondvochtigheid van een veen dijk met remote sensing.

De vegetatie aanwezig rond en op dijken wordt beïnvloed door wijzigingen in de grondwaterstand en de vochtigheid van het dijk materiaal. De meest waarschijnlijke wijzigingen treden naar verwachting op in de chlorofyl concentraties van de vegetatie (Van der Meijde et al., 2006). Adams et al. (1999) laat zien dat de efficiëntie van absorptie van het chlorofyl afneemt en de IR reflectie daalt als gevolg van veranderingen in de celstructuur van de plant wanneer de vegetatie onder "stress" staat, i.e. minder gezond is. Dit leidt tot een afname van de reflectie in de IR gelijktijdig met een toename van reflectie in het rood.

De ruimtelijke spreiding van de oppervlaktetemperatuur rond de dijk kan worden gerelateerd aan het vochtgehalte van de bodem. De variatie van de temperatuur in de ondergrond hangt af van het thermische richtgetal dat een functie is van het watergehalte. Het effectieve bodem vochtgehalte is maximaal aan het begin van de lente en neemt vervolgens af tot het einde van de zomer (Behaegel et al., 2006). Thermische bodemeigenschappen worden sterk beïnvloed door het volumetrisch watergehalte, volume fractie van vaste stoffen, en het volume deel van lucht in de bodem.

Als de stabiliteit van veendijken en mogelijk ook klei dijken afhangt van het vochtgehalte, en de gezondheid van de vegetatie op een dijk afhankelijk is van het vochtgehalte, en het is mogelijk om de gezondheid van de vegetatie door remote sensing vast te stellen, dan moet het ook mogelijk zijn om een relatie te leggen tussen de grondgegevens, remote sensing en de kwaliteit van het veen en waarschijnlijk de kwaliteit van een dijk.

Gegevens zijn opgenomen voor 110 punten in het studiegebied van de locatie. Hiervan blijkt 1 punt niet geschikt vanwege in en op de dijk aanwezige kabels. De data punten liggen op 10 lijnen van de onderkant van de dijk tot de top. De afstand tussen de lijnen is 5 m. Elke lijn heeft 11 opname punten op onderling 2.5 m afstand

De volgende data zijn opgenomen per locatie:

- Oppervlakte vochtigheid met een z.g. soil moisture probe (ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x (by Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK).
- Hyperspectral gereflecteerde straling met een ASD Fieldspec Pro (alleen op 18 augustus 2012; rond 12:30 uur).
- Gewoon licht opnames met een (standaard) Canon EOS camera (Canon EOS 400D van Canon Inc., Tokyo, Japan).

- Grond temperatuur opnamen met een NEC thermo tracer (rond 13:00 en 16:00 uur op 17 augustus, en rond 05:00, 1000 en 14:00 uur op 18 augustus).

4.6 Techniek en monitoringsstrategie Ten Cate

De TenCate GeoDetect® mat bestaat uit glasvezelkabels met een geotextiel. Het is een strip van 0.76 m breed waarin 4 glasvezelkabels zijn opgenomen. Twee kabels meten temperatuur, de andere twee rek. Binnen dit project is één kabel van beide parameters gebruikt.

De dijk lengte die gemonitord is, is ongeveer 30 m lang. De geotextiel strips zijn geïnstalleerd op 3 verschillende niveaus, te weten de kruin, het midden van het talud en de teen van de dijk. De strips zijn ongeveer 40 cm diep ingegraven.



Figuur 4.3 Ten Cate meetsysteem

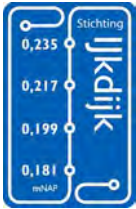
4.7 Techniek en monitoringsstrategie Intech

InTech Dike Security Systems BV heeft een remote sensing techniek ontwikkeld om faalmechanismen van waterkeringen vroegtijdig te kunnen opsporen. Deze techniek berust op het op afstand meten van de uitstraling van infrarood van de waterkering met infrarood sensoren in combinatie met speciaal ontwikkelde software.

Doordat met deze techniek op afstand wordt gemeten wordt het dijklichaam niet verstoord of verzwakt. Dit systeem is ingezet bij het meten van uitdroging van de Veendijk te Ouderkerk aan de Amstel van november 2011 tot en met oktober 2012. Voor het verrichten van de metingen tijdens het experiment heeft InTech gebruik gemaakt van een meetopstelling die zich in en op een container bevindt.



Figuur 4.4 Installatie van de meetopstelling van Intech



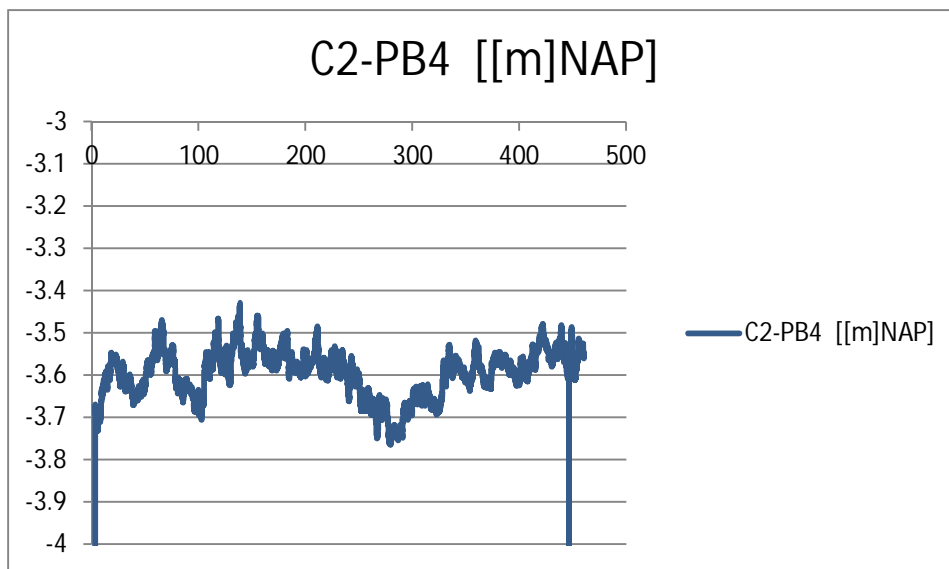
Door middel van het meten van de temperatuur aan het dijkoppervlak kan uitdroging van een veenkade worden vastgesteld. Het streven in deze proef was om 4 beelden per dag vast te leggen. Voor de droogteproef is gebruik gemaakt van een door InTech ontwikkelde meetopstelling. De meetopstelling bevond zich in een container. Op de container is een getuigde mast van 5 meter bevestigd waarop de infrarood sensoren zijn bevestigd. De container is voorzien van eigen stroomvoorziening. Deze bestaat uit zonnepanelen, een windmolen en een noodaggregaat. Deze stroomvoorziening is tevens gebruikt door andere meetpartijen. Ook bevindt zich er een draadloze internetverbinding, dataopslag en een dataprocessing voorziening in de container. Hiermee is de data zowel op locatie als op afstand bereikbaar en analyseerbaar.

In de periode van november 2011 tot en met oktober 2012 zijn in totaal c.a. 1300 metingen verricht. Het voornemen was 4 afbeeldingen per dag te maken. Gedurende de meetperiode is een deel van de data echter verloren gegaan. Hierdoor is er over een deel van de perioden waarin gemeten is, geen data meer beschikbaar.

5 Gecombineerde analyse referentie- en innovatieve monitoring

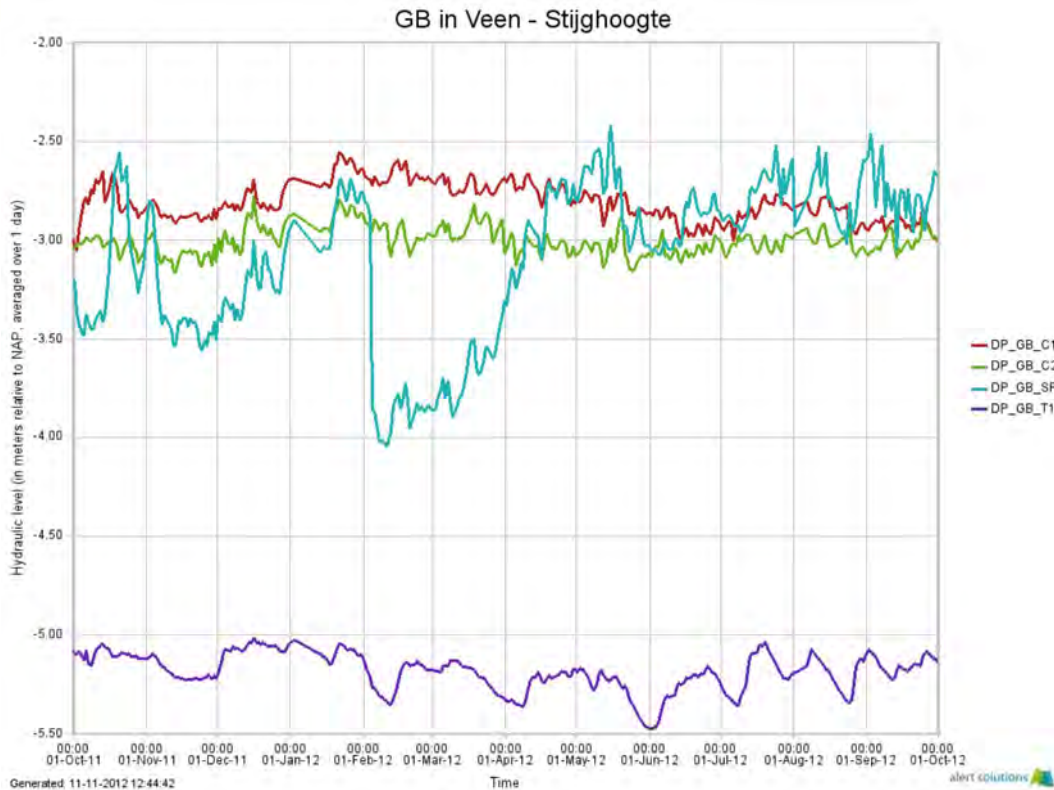
5.1 Metingen Alert Solutions

Alert Solutions meet waterdrukken in de dijk door middel van waterspanningsmeters. De meters zijn op verschillende niveaus in de dijk geplaatst en geven naast informatie over de freatische lijn ook informatie over het waterspanningsverloop over het slappe lagen pakket. Om deze metingen te vergelijken is eerst gekeken naar het globale beeld van de freatische lijn, in relatie tot de waterspanningen.



Figuur 5.1 Peilbuismeting Deltares (dag 0 t/m 500)

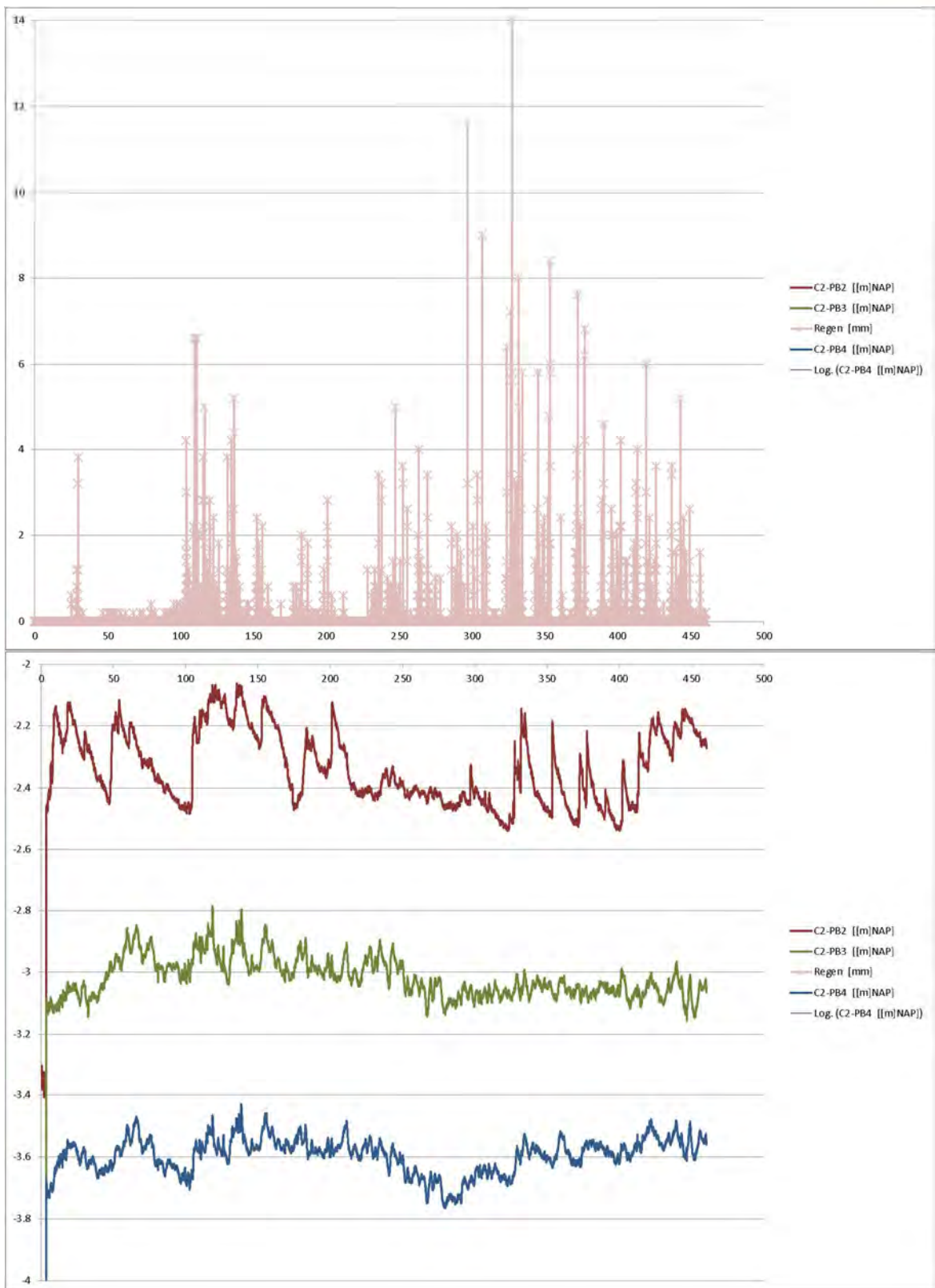
In deze bovenstaande grafiek is zichtbaar dat vanaf circa 200 dagen (c.a. 1 april 2012) ondanks het relatief groot aantal regenbuien de grondwaterstand toch afneemt. Na de zomer periode, ook als was deze nat, is zichtbaar dat de trend toch weer omhoog gaat vanaf 320 dagen. De seizoenscyclus is ondanks de relatief natte zomer toch zichtbaar. Wanneer het vochtgehalte wordt bekeken blijkt dit eveneens het geval. De extremen liggen in beide gevallen wel dicht bij elkaar.



Figuur 5.2 Waterspanningsmetingen onder de kruin van de dijk Alert Solutions (1-10-2011 t/m 1-10-2012)

Uit de grafieken van de waterspanningen is met name voor dp_gb_c1 en c2 deze tendens ook te zien. Ook hier wordt een lagere waterdruk gemeten in de maand juni, juli en een hoge in maart 2012. C1 en c2 staan in de kruin van de dijk op respectievelijk NAP – 3,60 m en NAP – 5,10 m.

De waterspanningsmeters reageren anders op de regenbuien dan de peilbuismetingen in raai C2_ PB 3, zie figuur 5.2 voor de waterspanningsmetingen van Alert Solutions en figuur 5.3 voor de neerslaggegevens en peilbuismetingen van Deltares.

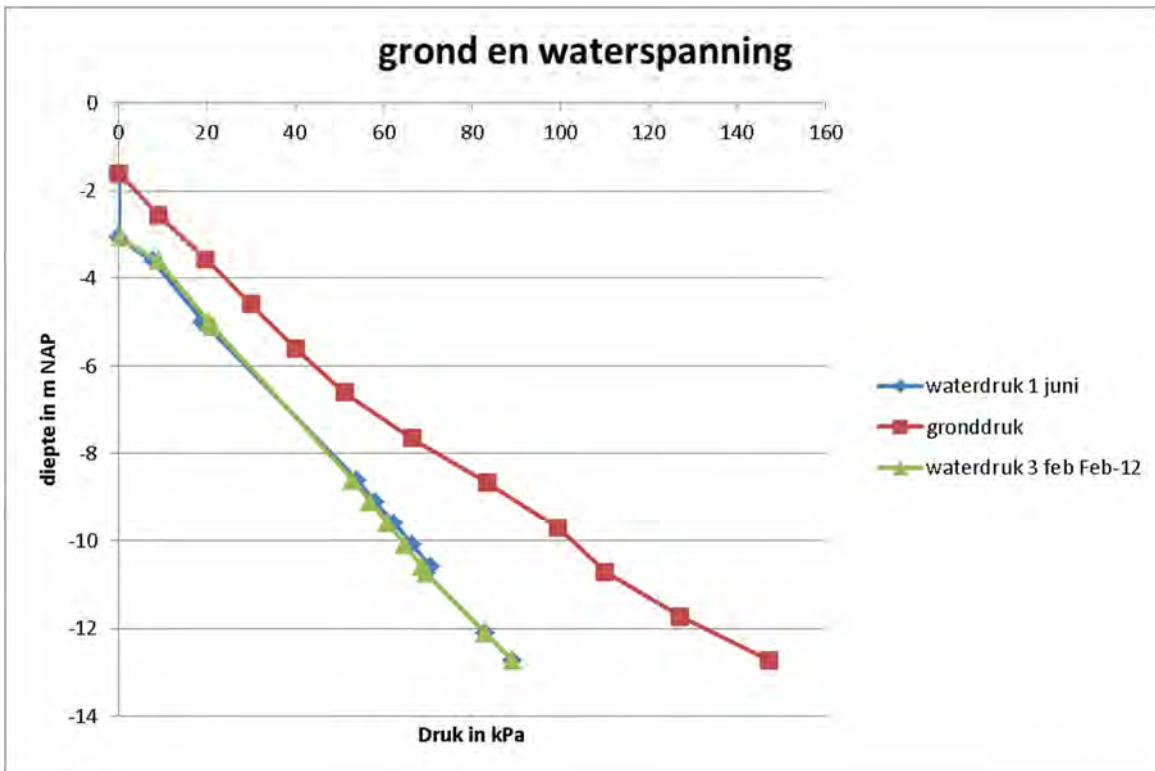


Figuur 5.3 Peilbuismetingen Deltares onder de kruin in raai C2 gerelateerd aan de neerslag (dag 0 – 500)

In de waterspanningsmeters is de piekreactie die in de peilbuismetingen zichtbaar zijn minder duidelijk zichtbaar. Dit zou kunnen worden verklaard omdat de waterspanningsmeters dieper

staan dan de peilbuizen waardoor er enige mate van demping ontstaat in de reactie. Er is wel een duidelijk reactie, alleen is deze wat uit gedempt. Het lijkt erop dat de waterspanningsmeter een iets hogere stijghoogte aangeeft dan de freatische peilbuis in C2_PB3. De freatische lijn in C2_PB2 is hoger dan de waterspanningsmeter aangeeft. Dit kan komen doordat de waterdruk over het slappe lagen pakket verloopt van de hoge freatische waterstand tot aan de lage stijghoogte in het zand. De peilbuis geeft dit effect niet weer, de waterspanningsmeters lijkt deze invloed wel te merken. Het feit dat de waterdruk in de peilbuis sneller reageert dan de waterdruk gemeten met de waterspanningsmeters zou eveneens door dit effect kunnen worden verklaard.

Op basis hiervan kan worden gesteld dat de peilbuismetingen en de waterspanningsmetingen complementair aan elkaar zijn en dat beide informatie geven over de waterhuishouding in de dijk. Opgemerkt wordt dat het voor de sterkte van de waterkering belangrijk is om te weten in hoeverre de waterdruk op een niveau van bijvoorbeeld maaiveld – 2 m reageert (ongeacht de laagscheiding) op de freatische lijn. Wanneer deze min of meer constant blijft op een bepaalde diepte en de freatische lijn daalt sneller, dan neemt de grondspanning wel af als gevolg van verdroging van de freatische lijn, maar neemt de waterdruk niet af wat kan leiden tot een lagere sterkte. De waterspanningsmeter heeft dan de voorkeur. Figuur 5.4 geeft dit grafische weer.



Figuur 5.4 Grond- en waterspanningen

Hier is op verschillende tijdstippen de grond en waterspanning gepresenteerd. In deze grafiek is de grondspanning met de rode lijn aangegeven, de waterspanning over de diepte is weergegeven met blauw en rood. Als gevolg van de hogere grondwaterstand op 3 februari 2012 is zichtbaar dat de freatische lijn hoger ligt en de stijghoogte in het veen hoger is (NAP -4 m). Op NAP – 6,0 m ongeveer op de overgang tussen veen en klei is de waterdruk constant. Voor stabiliteitsanalyses is dit van belang en dit is dan ook de meerwaarde van waterspanningsmetingen t.o.v. enkel peilbuismetingen.

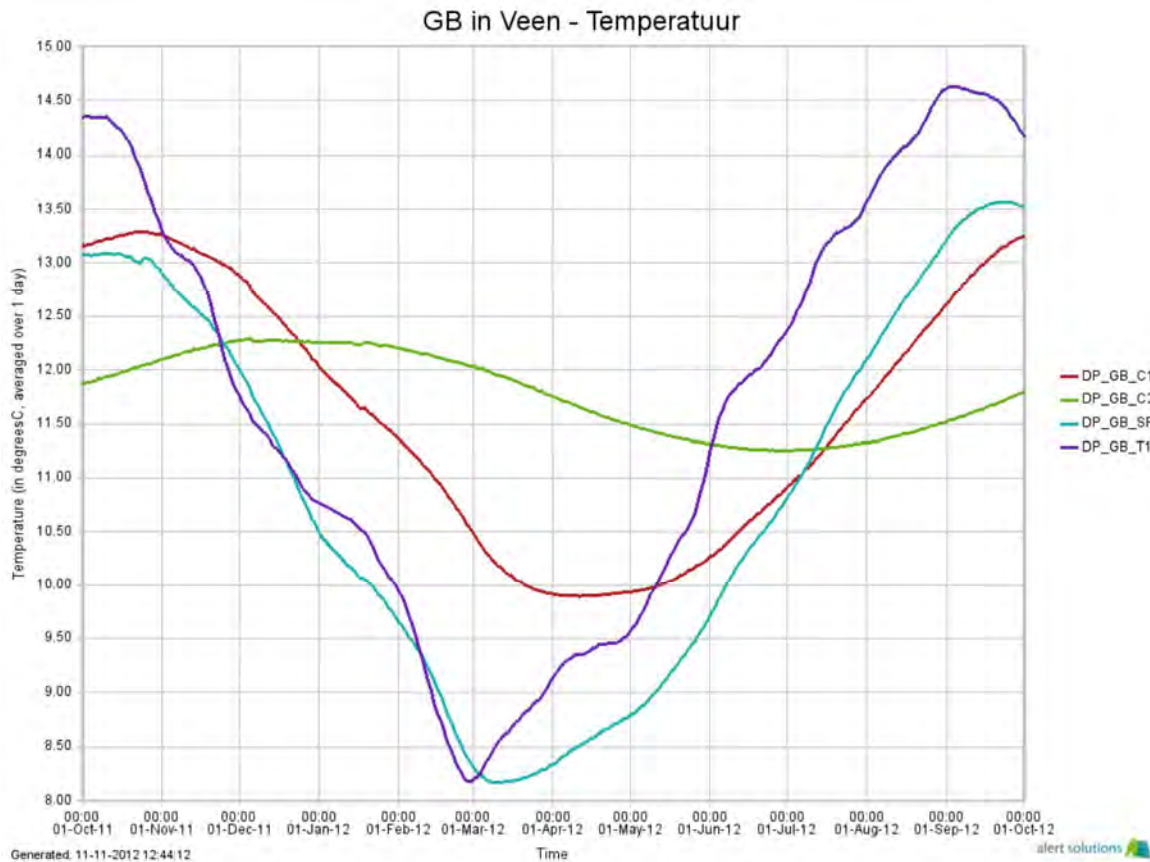


Wanneer het nu langdurig droog zou zijn loop naast de waterdruk ook de gronddruk hoog in het pakket terug. Hierdoor verlaagd ook de gronddruk op NAP – 6,0 m en op NAP -12,0 m terwijl de waterdruk in deze lagen gelijk blijft (worden beïnvloed door de waterdruk in het zandpakket. Hierdoor neemt de korreldruk (grond – waterdruk) af en dat is nadelig voor de sterkte van de dijk.

Over de meetperiode heen zijn er afwijkende meetpatronen gemeten (zie hiervoor figuur 5.2, de daling in de blauwe lijn) die niet verklaard kunnen worden. Bij het toepassen van waterspanningsmeters in veen is dit niet ongevoel. Als gevolg van gasvorming in het filter gaan de waterspanningsmeter afwijkende waarde registreren, die fysiek niets te maken hebben met de waterdruk op dat niveau. Dit geldt voor bijna alle type waterspanningsmeters. Of de afname in DB_SG_SP en SG ook hierdoor is veroorzaakt is onzeker omdat gasvorming veelal leidt tot oplopende drukken en niet tot aflopende drukken. In de rapportage van Alert Solutions wordt het afwijkende meetpatroon toegewezen aan mogelijke “ontspanning” van water langs de stand van het meetsysteem. In het algemeen kan worden gesteld dat bij de opzet van een monitoringsstrategie met dit soort van meetinstrumenten rekening moet worden gehouden met uitval van een aantal sensoren. Dit kan worden opgevangen door het aantal instrumenten over te dimensioneren of vervangbaar/herplaatsbaar te maken.

De inclinometers van Alert Solutions hebben slechts zeer kleine hoekverdraaiingen gemeten. De inclinometingen geven een indicatie dat er beweging plaatsvindt, maar de informatie is niet te herleiden tot absolute horizontale verplaatsingen (over verschillende grondlagen). Dit maakt dat de informatie die de metingen geven lastig te interpreteren is.

De temperatuurmetingen van Alert Solutions laten wel schommelingen zien die gerelateerd zijn aan de lange duur ontwikkeling van de buitentemperatuur. Zie hiervoor figuur 5.5.



Figuur 5.5 Temperatuurmetingen Alert Solutions (1-10-2011 t/m 1-10-2012)

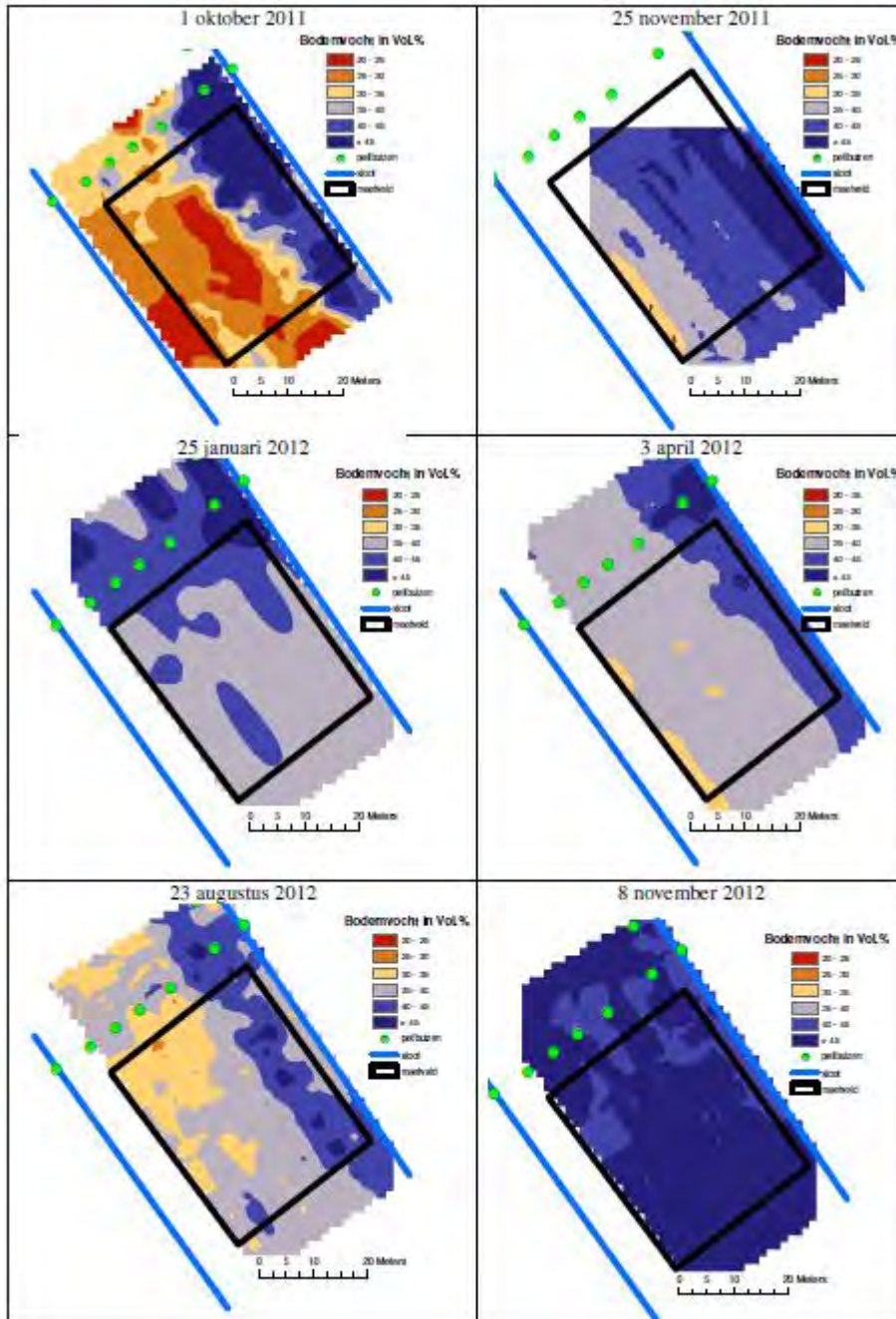
Als gevolg van de relatief hoge temperaturen in het najaar is de temperatuur relatief hoog wanneer de vorstperiode rond 3 februari 2012 invalt. De daling van de temperatuur in de meetsensoren daalt door naarmate de vorst allang weer verdwenen is en bereikt op 1 maart 2012 de laagste temperatuur van c.a. 8 graden. Daarna gaat het weer langzaam opwarmen. De gemeten temperaturen liggen ongeveer tussen de 8 en 11 graden. Dit soort waarde worden in het algemeen gemeten. Voor dit type meting is het interessant om te kijken hoe de temperatuur ontwikkeling is in een zeer warme droge periode.

5.2 Metingen Ecoflight

Op basis van de aangeleverde data kan niet worden beoordeeld of Ecoflight de kleine veranderingen in vochtgehalte kan meten. De geanalyseerde tijdstippen laten wel degelijk een verandering van vochtverandering zien op basis van de referentiemonitoring en Miramap, maar deze leidt kennelijk niet tot een toename van de vegetatie-stress. Ecoflight geeft aan dat de mate van verdroging in de meetperiode onvoldoende geweest is om tot vegetatie stress te leiden. Het gemaaid gras is wel als vegetatie-stress zichtbaar. Hiermee kan worden afgevraagd of vegetatiestress altijd 1 op 1 is ter herleiden naar verdroging van dijken en hoe groot de verandering in bijvoorbeeld het vochtgehalte van dijken moet zijn, wil er een verschil in vegetatiestress optreden.

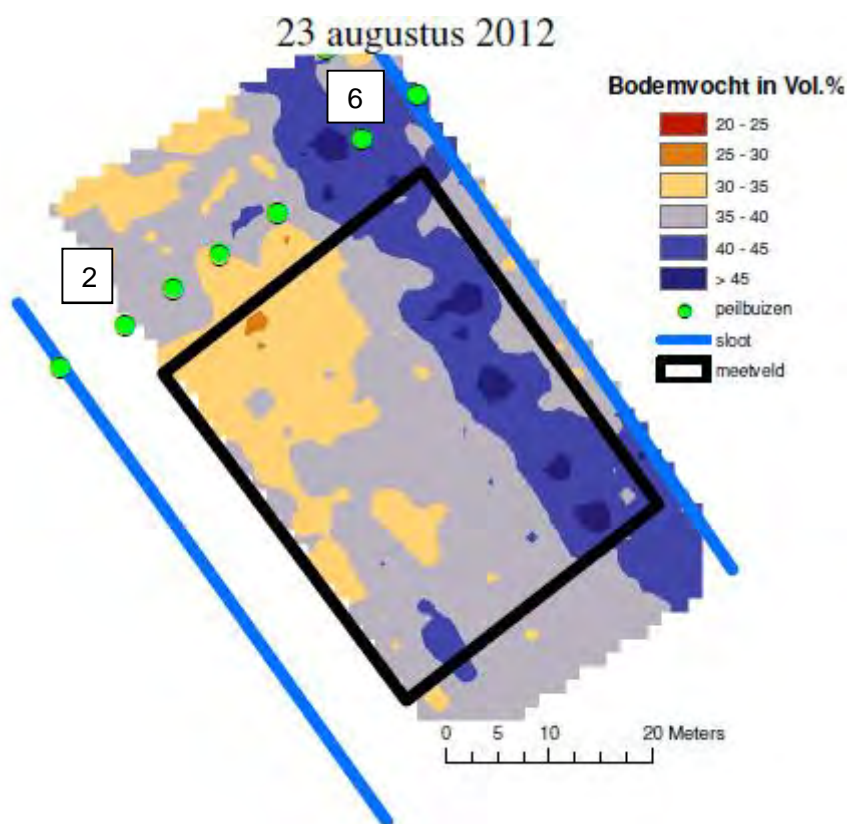
5.3 Metingen Miramap

Met Miramap is een verandering in het vochtgehalte gemeten over de meetperiode die duidelijk herleidbaar is naar de gemeten vochtgehalte en fretatische grondwaterstand met de referentiemonitoring. Figuur 5.6 geeft een overzicht van de metingen op zes verschillende tijdstippen.



Figuur 5.6 Miramap, ruimtelijk bodemvocht van de dijk op zes verschillende tijdstippen

In de rapportage van Miramap is onderstaand figuur weergegeven met een bodemvochtbeeld voor 23 augustus 2012.



Figuur 5.7 Bodemvochtmeting Miramap (23 augustus 2012)

De groene bolletjes zijn in de originele figuur toegevoegd, deze geven de bodemvochtmeters van de referentiemonitoring weer. Meter 2 staat in de buitenkruinlijn, meter 6 in de teen. De tussenliggende bolletjes geven de meters 3 tot en met 5 aan. In tabel 5.1 zijn deze bodemvochtmetingen vergeleken met de metingen van Miramap.

Vochtmeters	Vochtpercentage	
	Referentiemonitoring	Miramap
6	77	>45
5	38	35 – 40
4	20	30-35
3	29	35 – 40
2	16	Geen waarde

Tabel 5.1 Vergelijking bodemvochtmetingen referentiemonitoring met bodemvochtmetingen Miramap

In absolute zin wijken de data wel wat van elkaar af, echter de gemeten trend van een drogere en minder doge zone alsmede de afnemende en toenemende verdroging in de tijd is wel waarneembaar. Dit is ook wat de tabel probeert te illustreren. De getallen betreffende het absolute vochtgehalte wijken onderling af. Omdat het hier enerzijds een puntmeting in de grond betreft vergeleken met een grotere oppervlakte scan, is dit mogelijk hierdoor deels verklaarbaar. Anderzijds meet Miramap het vochtgehalte op een ander niveau in de grond, de vochtmeter zit op c.a. 0,25 m onder maaiveld. Daarnaast geldt voor de bodemvochtmetingen van de referentiemonitoring dat nadere analyse voor wat betreft de absolute getallen gewenst is (t.a.v. o.a. gemeten variaties en de calibratie).



5.4 Metingen ITC

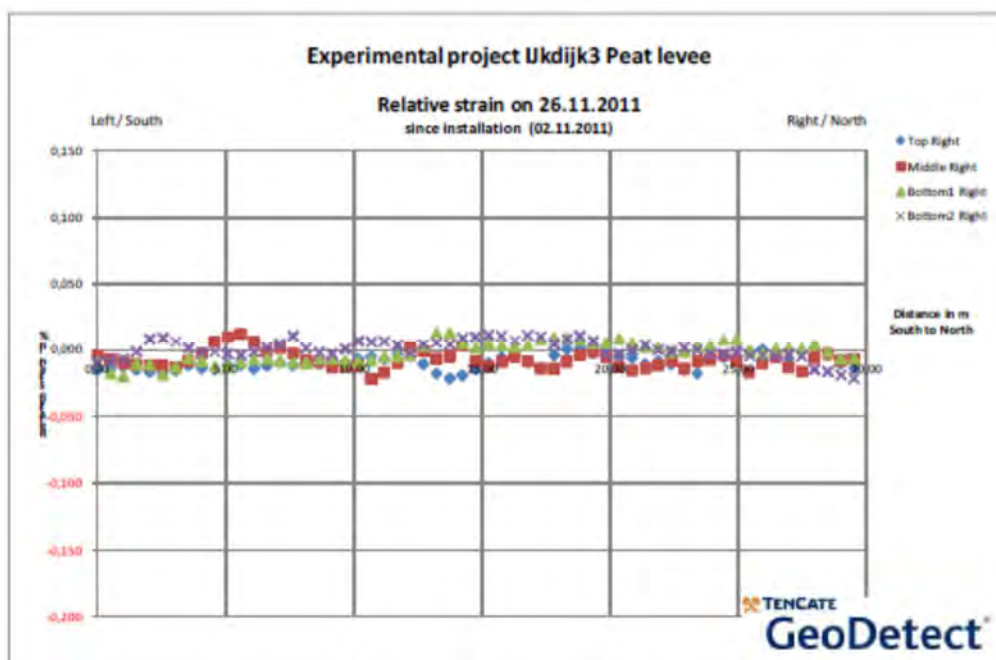
Het doel van de metingen van ITC was het verzamelen van data van de dijk verkregen vanuit remote sensing technieken en in-situ veld metingen. De te verzamelen data moest informatie geven over het vochtgehalte van de dijk en de ontwikkeling hiervan in de tijd.

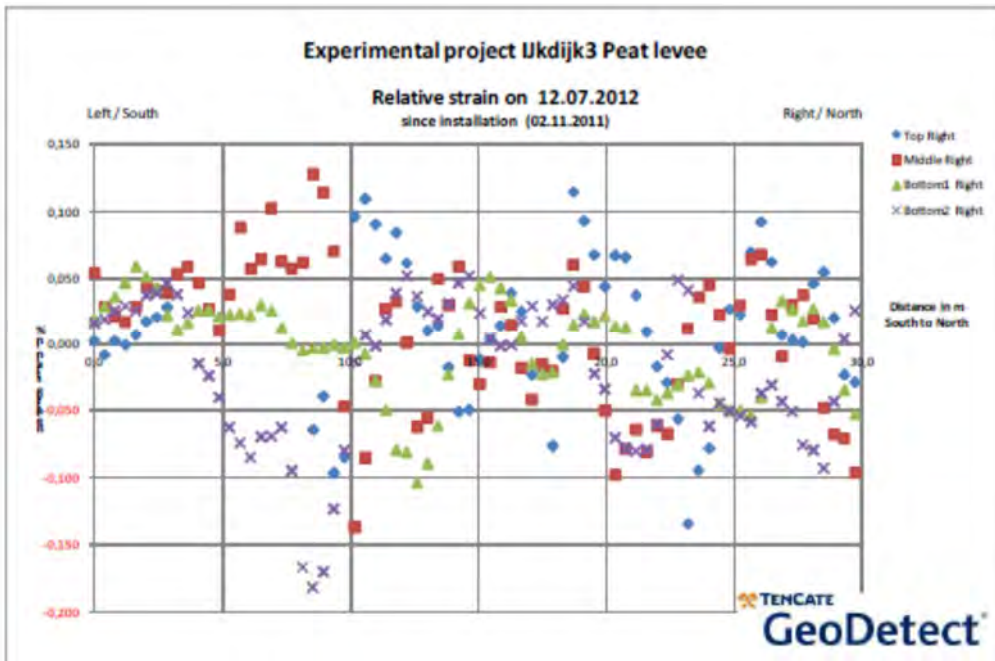
De hypothese was om op basis van reflectie technieken een inschatting te kunnen geven van het actuele vochtgehalte van een dijk gedurende droge periode en het opsporen van anomalieën in deze reflecties. Gedacht was dit te doen door een droge en een natte situatie met elkaar te vergelijken. Op basis van reflectie technieken (remote sensing) en een correlatie tussen deze reflectie technieken en vochtmeters zou dan een betrouwbare indicatie van de verdroging van de dijk kunnen worden gegeven. Door het ontbreken van een droge periode is deze hypothese niet getest. Alleen de eerste "basis" meting is uitgevoerd. Door de kleine hoeveelheid data heeft dus ook geen vergelijking kunnen plaatsvinden, ook niet op eventuele gebeurtenissen gedurende de meetperiode.

5.5 Metingen Ten Cate

Het Ten Cate meetsysteem heeft tot doel deformatie en temperatuur te kunnen meten met glasvezeltechnieken. Deze glasvezels zijn gemonteerd op een geotextiel wat in de grond is gebracht. De deformaties worden uitgedrukt als relatieve rekken. Een deel van de deformaties die worden gemeten worden door Ten Cate toebedeeld aan het nazakken van de sleuven waarin het geotextiel is aangebracht, zeker in de startperiode van het meten.

Door allerlei omstandigheden zijn er slechts zeer weinig meetdata beschikbaar. Uit de aangeleverde data is te zien dat de rekken in de glasvezels gedurende de proef toenemen. Zeker op basis van het figuur opgesteld op basis van de relatieve rekken van 12 juli 2012, figuur 5.8, is te zien dat de een behoorlijke toename is van vervorming in vrijwel de hele dijk (kruin, talud, teen).





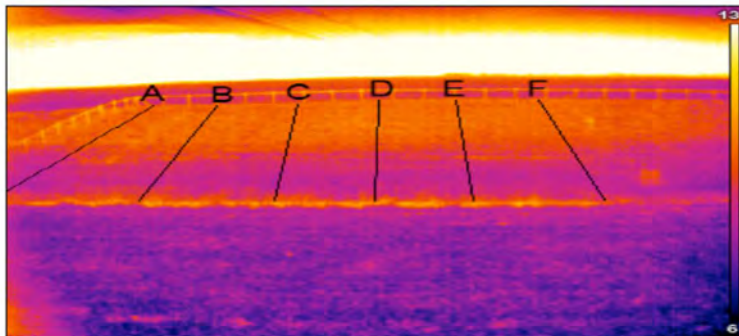
Figuur 5.8 Relatieve rekmetingen Ten Cate van de 4 strips (26-11-2011 boven en 12-7-2012 onder)

De metingen laten een behoorlijke scatter zien. Opvallend is dat de twee onderste raaien (beide bottom raaien) die dicht bij elkaar liggen eveneens onderling een grote scatter laten zien. De raai halverwege het talud laat in absolute zin de grootste variatie zien. Dit kan vanuit de extensometers worden verklaard. Verder is er onvoldoende data beschikbaar om hier nadere analyses op uit te voeren.

5.6 Metingen Intech

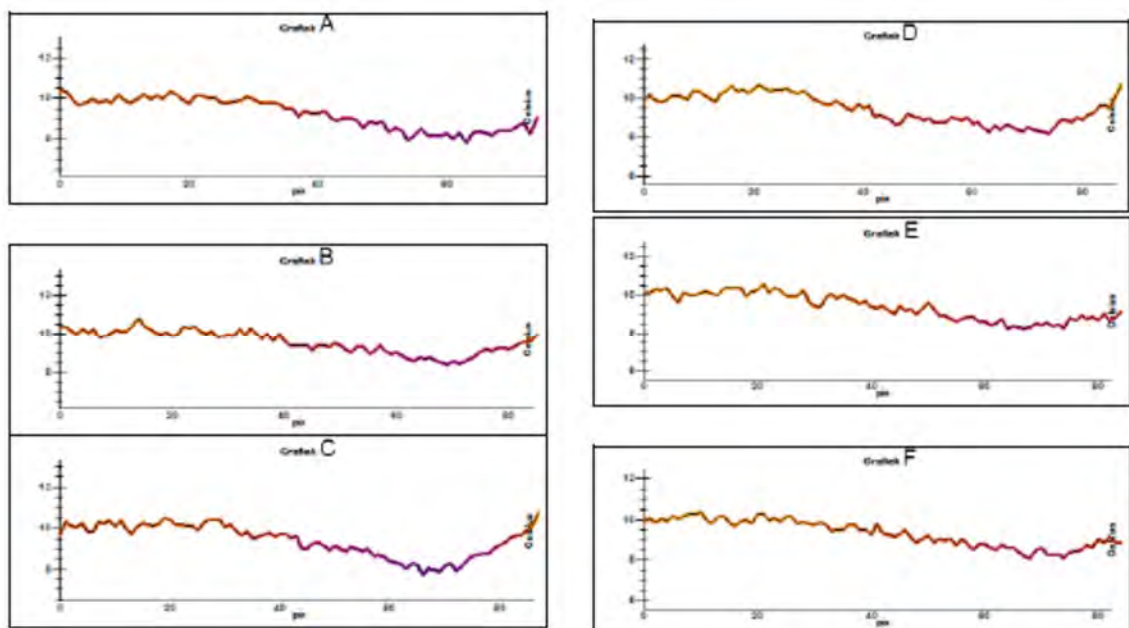
Intech meet met infrarood camera's aan de dijk om op die manier warmte beelden op te vangen die iets zouden kunnen zeggen over droogte. Als gevolg van het uitblijven van een droge periode is deze hypothese niet getest. Er wordt in de rapportage van Intech niet ingegaan op eventuele tussentijdse gebeurtenissen, en of er wellicht wel veranderingen zichtbaar zijn in het infrarood beeld. Wel wordt het beeld dat gemaakt is op 15 augustus 2012 nader uitgewerkt.

Onderstaand een afbeelding van 15 augustus 2012 om 2:00 uur. De periode hieraan voorafgaand is relatief droog geweest. Uit dit temperatuur beeld blijkt dat er een verschil is tussen de temperatuur aan de top van de dijk in vergelijking met de temperatuur aan de teen van de dijk. De temperatuur aan de kruin van de dijk is hoger dan aan de teen van de dijk. Een hoger vochtgehalte zorgt voor een lagere temperatuur. Deze trend over het dijkprofiel is ook waarneembaar in de referentiemonitoring (onder andere de vochtmetingen) en de metingen van Miramap.



Figuur 5.9 Infraroodbeeld Intech 15 augustus 2012

Voor nadere analyse is het verticale temperatuurverloop over zes raaien onderzocht. In onderstaande grafieken is het verloop van temperatuur op het dijkoppervlak per raai weergegeven. De koudere teen van de dijk als gevolg van een hoger vochtgehalte is in de grafieken zichtbaar.



Figuur 5.10 Nadere analyse verticaal temperatuursverloop Intech over 6 raaien

Er zijn door Intech echter te weinig opnames gerapporteerd om een eenduidige analyse en vergelijking van gebeurtenissen te kunnen maken voor het vastleggen van veranderingen in verdroging. Er is over een bepaalde periode meetdata verloren gegaan.



6 Conclusie en advies

6.1 Conclusie

De conclusies zijn gebaseerd op de inzet van de vooraf geselecteerde innovatieve meettechnieken en een vergelijking daarvan met de referentiemonitoring. De doelstelling van het project is immers:

“Welke meettechnieken kunnen de effecten van verdroging (droogtegevoeligheid) van de veenkade volgen”.

De conclusies die t.a.v. de referentiemonitoring kunnen worden getrokken zijn in paragraaf 3.4 weergegeven. Om een antwoord te geven op de geformuleerde doelstelling, worden de monitoringstechnieken ingedeeld in drie verschillende categorieën, te weten:

- 1 Meetsystemen die op basis van punt informatie een directe parameter meet die rechtstreeks is te vertalen naar de sterkte van de dijk
- 2 Meetsystemen die op basis van punt informatie een directe parameter meet die nog niet rechtstreeks is te vertalen naar de sterkte van de dijk
- 3 Meetsystemen die op basis continue opnamen een indirecte parameter meten die niet rechtstreeks is te vertalen naar de sterkte van de dijk

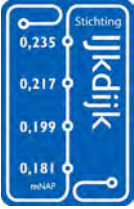
6.1.1 Categorie 1

Onder de eerste categorie kunnen peilbuismetingen en waterspanningsmeters (een deel van de metingen van Alert Solutions) worden geplaatst. Deze meten in een punt van de dijk de grondwaterstand en waterdruk. Deze waarden kunnen rechtstreeks in modellen worden gestopt zoals D-Geostability of Plaxis en daarmee kan de actuele sterkte van een waterkering worden gemeten. Omdat het puntmetingen zijn wordt voor dat ene punt een hoog detailniveau bereikt. Echter de informatie opgedaan in dat ene punt moet worden doorvertaald naar een grotere strekking van de dijk waarvoor geen monitoring is geïnstalleerd. Ook kan dit ertoe leiden dat het meest kritische punt van de dijk, of het meest droogtegevoelige punt gemist wordt waardoor de monitoringsopzet mogelijk onveilig kan zijn.

Voordelen van deze monitoringstechniek zijn dat de informatie altijd bruikbaar is, ook al wordt niet tijdens een maatgevende situatie gemeten. Er wordt direct één van de belangrijkste parameters gemeten als het gaat om sterkte, de output is goed te koppelen aan realtime sterkte voorspellingen. Nadelen zijn dat er puntinformatie wordt verkregen waar door de methode relatief kostbaar is. Het heeft een destructieve inbrengwijze en er moet rekening worden gehouden met het maabeheer.

Binnen deze categorie heeft Alert Solutions bij deze proefopstelling bewezen de waterdrukken goed te kunnen meten. Ondanks het uitblijven van droogte, zijn wel variaties en gebeurtenissen t.a.v. vernatten en verdrogen van de kade zichtbaar gemaakt.

Wel hebben een aantal waterspanningsmeters afwijkende onverklaarbare resultaten laten zien. In de rapportage van Alert Solutions wordt deze onverklaarbare lagere waterspanning toegewezen aan mogelijke “ontspanning” van water langs de stang van het meetsysteem. Bij het uitvoeren van de Geochecks (bijlage C) zijn wel wat vragen ontstaan rondom het ontluichten van de meters.



6.1.2 Categorie 2

Hieronder vallen meetinstrumenten als in situ vochtmeters, glasvezelkabels (rek en temperatuur) en extensometers (een deel van de metingen van Alert Solutions, Ten Cate en een deel van de metingen van ITC). Omdat het vochtgehalte van veen wel in kwalitatieve zin iets zegt over de dijk maar nog niet een op een is te koppelen aan volume krimp, gewichtsafname of daling van de freatische lijn (alleen als het gaat om tendensen) is het geen directe invoer parameter. Dit geldt ook voor de deformatiemetingen.

De voordelen van deze monitoringstechniek zijn dat de informatie kwalitatief aangeeft wat er met de waterkering gebeurt, echter kwantitatieve interpretatie is nog moeilijk. E.e.a. is realtime te monitoren. Nadelen zijn dat er puntinformatie wordt verkregen waar door de methode relatief kostbaar is. Het heeft een destructieve inbrengwijze en er moet rekening worden gehouden met het maaibeheer.

De glasvezelmeting van Ten Cate is geen echte puntmeting, maar een kabel die ter hoogte van de kabel de rekken meet. De relatieve rekken zijn lastig te vertalen naar zwel of krimpgedrag van een dijk. Over een bepaalde periode is geen meetdata beschikbaar. De metingen die aanwezig zijn laten een behoorlijke scatter zien. Ten aanzien van de plaatsingsmethode moet nagedacht worden wat het effect is op de metingen wanneer de kabel in een geroerde sleuf van uitgegraven en uitelkaar getrokken veen wordt geplaatst. Dit is vanzelfsprekend anders dan het meten in ongeroerde grond van een veendijk.

De vraag of deze techniek de effecten van verdroging van de veenkade kan volgen kan niet worden beantwoord. Er is tevens onvoldoende data beschikbaar om eventuele gebeurtenissen (ondanks de niet aanwezige droge periode) van het vernatten of verdrogen van de dijk, weer te kunnen geven.

De inclinometers van Alert Solutions hebben slechts zeer kleine hoekverdraaiingen gemeten. Doorgaans worden inclinometers in stijvere buizen toegepast waardoor de hoekverdraaiing in combinatie met de afstand tussen de meetsensoren tot een totale horizontale deformatie kan worden herleidt. De inclinometingen zijn lastig te interpreteren. De temperatuurmetingen van Alert Solutions geven een verklaarbaar beeld, alleen is de relatie met het vochtgehalte van het veen niet één op één te leggen. Wel geeft de hogere of lager temperatuur een indicatie van het gedrag van de dijk. De geïnstalleerde experimentele elektronische zakbakens laten geen logisch verloop in de meetdata zien en worden beschouwd als onvoldoende betrouwbaar.

Op basis van ITC reflectie technieken (remote sensing) en een correlatie tussen deze reflectie technieken en in situ veldmetingen van ITC zou een betrouwbare indicatie van de verdroging van de dijk kunnen worden gegeven. Door het ontbreken van een droge periode is deze hypothese niet getest. Alleen de eerste "basis" meting is uitgevoerd door ITC. Verder is er geen data afgeleverd door ITC en heeft dus ook geen vergelijking kunnen plaatsvinden, ook niet op eventuele gebeurtenissen gedurende de meetperiode.

6.1.3 Categorie 3

Categorie 3 zijn de remote sensing technieken die door middel van continue opnamen een informatiebeeld geven over de dijk (Miramap, Intech en Ecoflight). Deze categorie van metingen staat of valt met het regelmatig uitvoeren hiervan. Het gaat veelal over veranderingen in de tijd die relevant zijn en afwijkingen van het beeld over grote oppervlakte. Deze kunnen een indicatie geven om de dijk (extra) visueel te inspecteren en eventueel te voorzien van aanvullende monitoring met als doel de directe faalparameters (water en grondspanning gerelateerd) te verzamelen. Deze technieken kunnen helpen bij het efficiënter



inzetten van dijkinspecteurs. Op die delen van de dijk die geen duidelijk afwijkend beeld laten zien hoeven dan minder frequent of mogelijk in zijn geheel niet te worden geïnspecteerd. De delen die wel een duidelijk afwijkend gedrag vertonen kunnen dan uitvoerig worden geïnspecteerd. Bijvoorbeeld multispectrale als thermische fotografie kan ook vanuit vliegende platformen gedaan worden. Daarmee kan er gemakkelijk opgeschaald worden waarmee grote gebieden in kaart kunnen worden gebracht.

Voordelen van deze monitoringstechniek zijn dat de meetinformatie kwalitatief aangeeft wat er met de waterkering gebeurt, het non destructieve meettechnieken zijn met een continu beeld. Het kan snel een globale indruk geven over grote dijkstrekking met name gericht op afwijkend gedrag van de dijk in de tijd. Nadelen zijn dat er in dit geval geen directe correlatie met de sterkte van de dijk is en dat de meetperiode en inzet kritisch is en zeer bepalend voor het resultaat. De geteste technieken binnen dit project zijn veelal gebaseerd op het bodemvochtgehalte of temperatuur.

Op basis van ITC reflectie technieken (remote sensing) en een correlatie tussen deze reflectie technieken en in situ veldmetingen van ITC zou een betrouwbare indicatie van de verdroging van de dijk kunnen worden gegeven. Door het ontbreken van een droge periode is deze hypothese niet getest. Alleen de eerste “basis” meting is uitgevoerd door ITC. Verder is er geen data afgeleverd door ITC en heeft dus ook geen vergelijking kunnen plaatsvinden, ook niet op eventuele gebeurtenissen gedurende de meetperiode.

De Ecoflight techniek leidt het bodemvochtgehalte indirect af van de vegetatiestress. Duidelijk waarneembaar is dat de techniek dit kan meten, er is echter nog geen duidelijk correlatie te leggen met bodemvocht en verdroging van de dijk omdat gedurende de meetperiode geen duidelijke droge periode is geweest. De vraag of deze techniek de effecten van verdroging van de veenkade kan volgen kan niet worden beantwoord.

Miramap heeft laten zien dat ook kleine variaties in vochtgehalte goed kunnen worden gemeten met hun systeem. Dit onderzoek laat zien dat je met L-band microgolven radiometrie de bodemvocht condities van een de veendijk kunt karteren (tot een beperkte diepte). De metingen zijn gevalideerd met in situ observaties. De droge en natte gebieden kunnen in beeld worden gebracht, ook wanneer er geen extreme droge perioden hebben plaatsgevonden. Hierbij wordt opgemerkt dat vooralsnog het absolute vocht percentage nog niet een op een is te herleiden aan dijksterkte. Dit in tegenstelling tot de waterspanningsmeters waarvoor dit wel geldt. Wel kunnen anomalieën in meetpatronen (oppervlakte en tijd) gesignaleerd worden. Deze zijn erg belangrijk en geven een betrouwbare ondersteuning voor de visuele inspecties en de (al dan niet) noodzaak daarvan.

Er zijn door Intech te weinig opnames gerapporteerd om een eenduidige analyse en vergelijking van gebeurtenissen te kunnen maken voor het vastleggen van veranderingen in verdroging. Er is ook over een bepaalde periode meetdata verloren gegaan. De vraag of deze techniek de effecten van verdroging van de veenkade kan volgen kan niet worden beantwoord.

6.2 Advies

6.2.1 Meetdata aanvullen met droogteperiode

De hoeveelheid informatie die uit delen van de meetdata van zowel de referentiemonitoring als de innovatieve metingen te halen is, zonder dat daarbij een extreem droge periode is



opgetreden, is aanzienlijk. Wanneer gedetailleerd wordt gekeken naar de reactie van de meetinstrumenten op de klimatologische omstandigheden, dan is die reactie zichtbaar.

De verschillen zijn echter niet zo groot omdat er geen extreem droge periodes zijn geweest in de afgelopen meetperiode. Wel zijn de seizoenen zichtbaar in de metingen doordat er trends waarneembaar zijn met betrekking tot het vernatten of verdrogen van de dijk. Voor wat betreft de langdurige relaties en trendlijnen is het zeer nuttig te kijken of de nu gemeten trendlijnen ook voor de komende seizoenen kunnen worden waargenomen.

6.2.2 Samenhang monitoringscategorieën

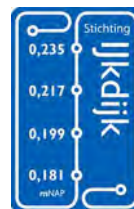
De kracht van alle drie de categorieën zit in de combinatie van de inzet. Zo zou ervoor kunnen worden gekozen om op basis van periodieke globale beelden van de waterkering verkregen met remote sensing technieken op afwijkende maar representatieve locaties een meer gedetailleerde meetopstelling in te zetten van categorie 1 technieken. De categorie 2 technieken zouden zeer goed kunnen worden toegepaste om de categorie 3 technieken mee te kalibreren. De delen die vanuit de categorie 3 technieken niet of nauwelijks veranderen in de tijd zouden een lagere prioritering kunnen krijgen bij de visuele inspecties.

6.2.3 Periodiek meten

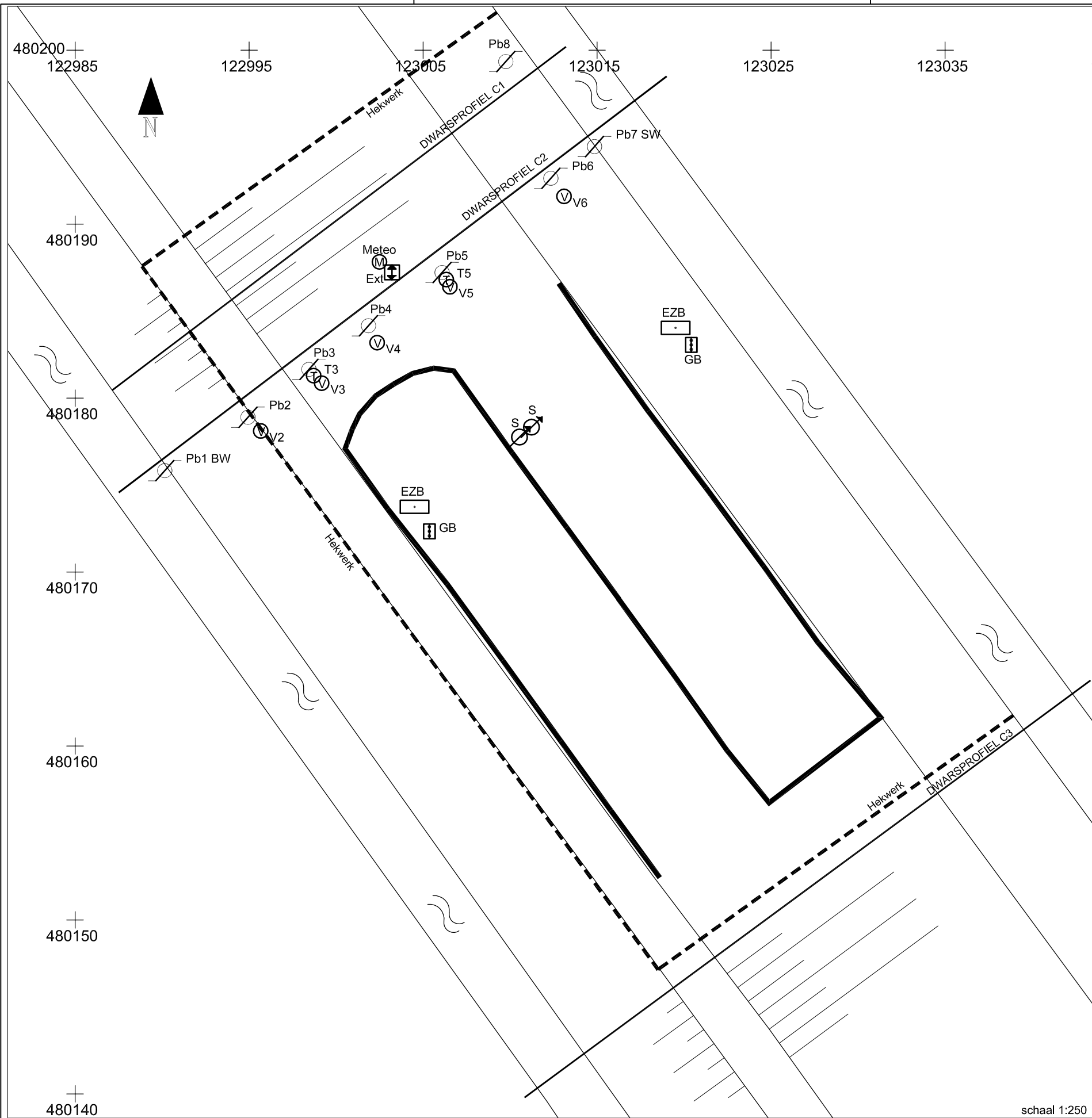
Van de remote sensing technieken heeft vooral Miramap laten zien dat veranderingen aan het vochtgehalte kunnen worden gemeten en kwantitatief worden gemaakt. Deze techniek kan in potentie het inspanningsniveau van de visuele inspecties tijdens droogte aanzienlijk verlichten. Dit kan alleen als ervoor wordt gekozen periodiek de dijken in te meten omdat het bij dit soort technieken gaat om gemeten variaties en veranderingen en niet zozeer om absolute getallen (hoe laat een percentage vochtgehalte zich verhouden tot een grondwaterstand t.o.v. NAP in geotechnische analyses). Wel kunnen absolute getallen worden gemeten als het gaat om vochtpercentages. Het eenmalig inmeten tijdens een droge periode geeft alleen inzicht in absolute grootheden en niet in veranderingen.

6.2.4 Referentiedijken

Daarnaast is de kennis van het gedrag van veen tijdens droge periode nog steeds een onderwerp van onderzoek. Het verzamelen van meetdata zoals hier is gedaan geeft meer inzicht in het gedrag van de dijk als het gaat om zwel-krimpgedrag, temperatuurontwikkeling, vochtveranderingen etc. Ook geeft het meer inzicht in de correlatie tussen de onderlinge parameters. Daarnaast zou een proefveld als dit als "referentie dijk" kunnen dienen voor dijken in de directe omgeving, waarbij op basis van een 100 % geïnstrumenteerd dijkvak uitspraak kan worden gedaan over de effecten van verdroging/vernassing van dijken in de directe omgeving. Op deze manier zou een waterschap op basis van een aantal van dit soort referentiedijkvakken hun inspectie- en operationele teams kunnen opschalen wanneer de meetresultaten op deze vakken daartoe aanleiding geven.



A As built instrumentatietekening



Meetconfiguratie:
Deltares:

- peilbuis
 - bodemvocht sensor
 - bodemtemperatuur sensor
 - meteo station
 - extensometer
- Alert Solutions:
- geobeads
 - digitale zakbaak
 - waterspanningsmeter

TenCate:
 deformatie en temperatuur

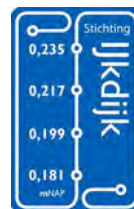
schaal 1:250

Bestandnaam: sit_ref_monitoring Afdeling: GEO-GTC Gewijzigd: 19-10-2011

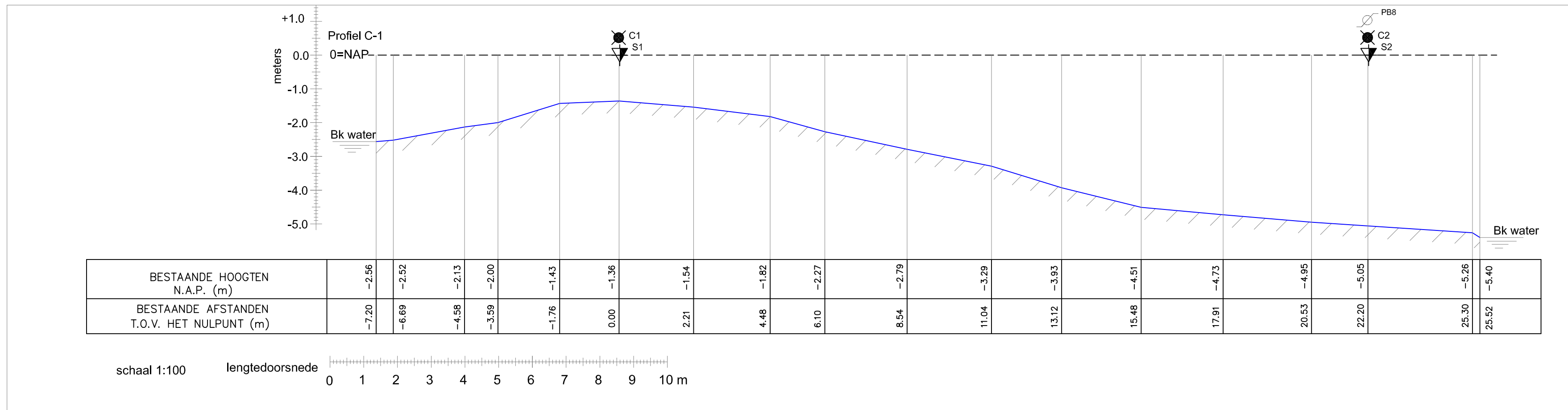
Deltares PO Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands T +31 (0)88 335 7200 www.deltares.nl
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft, The Netherlands F +31 (0)15 261 0821 info@deltares.nl

MONITORING DROOGTE ONDERZOEK
DE VEENDERIJ
SITUATIE MEETLOCATIE

datum	get.
19-10-2011	Ros.
project	gez.
1203255.004	Ett.
bijlage	form.
A-1	A3



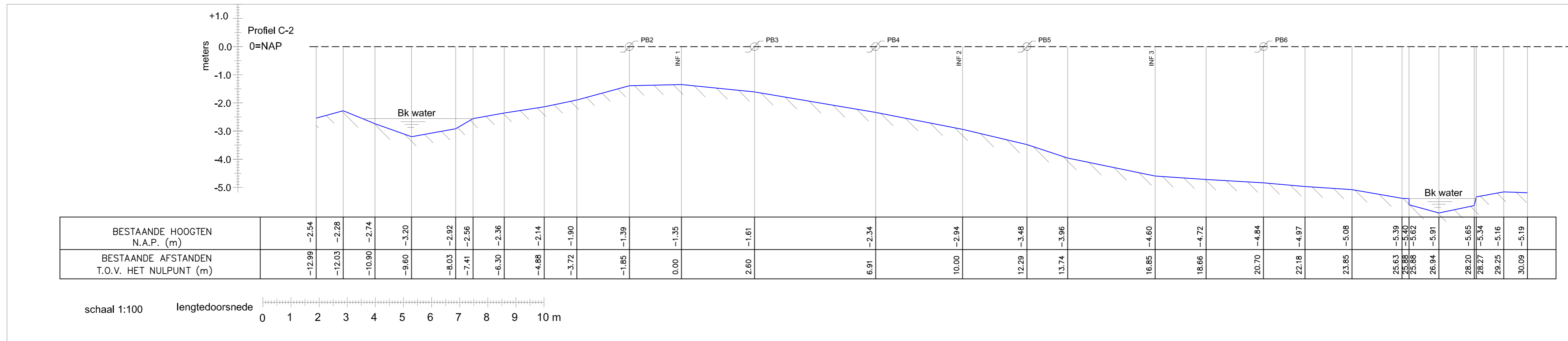
B Dwarsprofielen C1, C2 en C3



Filenaam: dwp C-1 .dwg Afdeling: GTC Gewijzigd: 14-07-2011

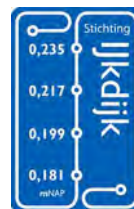
Deltares PO Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft, The Netherlands T +31 (0)88 335 7200 F +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum	14-07-2011	get. Ros.
	project	1203255.004	gez. Ett.
	bijlage	B1	form. 540/300

MONITORING DROOGTE ONDERZOEK
DE VEENDERIJ
DWARSPROFIEL C-1



dwg C-2
Filenaam: .dwg Afdeling: GTC Gewijzigd: 14-07-2011

Deltares PO Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft, The Netherlands T +31 (0)88 335 7200 F +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl info@deltares.nl	datum	14-07-2011	get.
	project	1203255.004	gez.
	bijlage	B2	form.
MONITORING DROOGTE ONDERZOEK DE VEENDERIJ DWARSPROFIEL C-2			720/300



C Geocheck formulier Ten Cate en Alert Solution

Inspectie door: D Peters	Project: Droogte proef 1203255
Datum: 23-8-2011	Locatie: Ouderkerk aan de Amstel
Opdrachtnr.:	
Namen veldploeg: Gerrit, Olivier	Bedrijf: Ten Cate en ondersteuning door de pachter/boer
Werkzaamheden: Intallatie Glasvezel matten	Tijdstip: RD-coördinaten: X: Y: Z:

Veldinspectie onderdeel	Waarnemingen en eventuele afwijkingen of onregelmatigheden	Afspraak maatregelen (inhoud, naam en datum)
Administratie		
werkopdracht	Droogteproef	
situatietekeningen	Aanwezig meetveld uitgezet door Deltares	
KLIC gegevens	Kabels en leidingen niet aanwezig	
registratie monsters	n.v.t	
labels monsters	n.v.t	
beschrijving boring	n.v.t	
Praktische uitvoering		
type materieel	Prima, als afgesproken midi graver op dubbel lucht	
opstelling materieel	Op locatie van aan te brengen matten	
uitzetten/inmeten	Deltares heeft het meetvak aangegeven	
verplaatsingen	Via graver	
schade omgeving	Nee	
afdichten gaten	n.v.t	
Resultaten		
kwaliteit monsters	n.v.t	
kwaliteit metingen	n.v.t	
kalibraties	n.v.t	
kwaliteit sonderingen	n.v.t	
Veiligheidsaspecten		
verontreinigingen	n.v.t	
verkeersmaatregelen	n.v.t	
spoorveiligheid	n.v.t	
olielekkage	n.v.t	
gebruik PBM	n.v.t	
Meenemen monsters		
Aantal	n.v.t	
Boorlocatie	n.v.t	
Monsternummers	n.v.t	
Diepten	n.v.t	

Opmerkingen

Ten Cate heeft zelf aangegeven waar op het talud gemeten moest worden.

Uitvoering werkzaamheden:

- De grasmat is met de graafmachine verwijderd
- De gleuven zijn 0,50m x 0,50m x 30 m lang
- In 2 stappen gegraven
- Tijdens het graven zijn er kleine scheuren in de boezemkade gesignaleerd (waren al aanwezig) (foto2)
- Deltares heeft de locatie van de matten ingemeten

Foto's



Foto1a en 1b graven gleuf

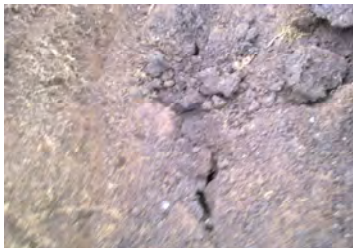


Foto 2 Kleine scheuren

Inspectie door: D.Peters	Project: 1203255
Datum: 21-9-2011	Locatie: Ouderkerk aan de Amstel
Opdrachtnr.:	
Namen veldploeg: Pepijn van Vliet/Erik Peters	Bedrijf: Alert Solutions (AS)/Wiertsema
Werkzaamheden: Installatie instrumenten	Tijdstip: 9:00-15:00
	RD-coördinaten: X: Y: Z:

Veldinspectie onderdeel	Waarnemingen en eventuele afwijkingen of onregelmatigheden	Afspraak maatregelen (inhoud, naam en datum)
Administratie		
werkopdracht	Droogteproef	
situatietekeningen	Aanwezig en overleg door AS met Deltares/Ten Cate	
KLIC gegevens	Kabels en leidingen niet aanwezig	
registratie monsters	n.v.t	
labels monsters	n.v.t	
beschrijving boring	n.v.t	
Praktische uitvoering		
type materieel	Boorrups Wiertsema	
opstelling materieel	Matig (geen stop hout aanwezig)	
uitzetten/inmeten	In overleg Delatres en RD coördinaten geleverd	
verplaatsingen	n.v.t	
schade omgeving	In de teen op onderste mat van Ten Cate	Afspraken werden niet aangekomen
afdichten gaten	Alleen klei korrels aanwezig	
Resultaten		
kwaliteit monsters	n.v.t	
kwaliteit metingen	n.v.t	
kalibraties	n.v.t	
kwaliteit sonderingen	n.v.t	
Veiligheidsaspecten		
verontreinigingen		
verkeersmaatregelen		
spoorveiligheid		
olielekkage		
gebruik PBM	Alert Solutions: redelijk, geen juiste werkkleding Wierstema: goed	
Meenemen monsters		
Aantal	n.v.t	
Boorlocatie	n.v.t	
Monsternummers	n.v.t	
Diepten	n.v.t	

Opmerkingen

Was verrast dat Alert Solutions met 2 onder aannemers werkten Wiertsema en BAM/Ruiter. Volgende keer dit beter afstemmen.

Voor aanvang van de werkzaamheden heeft Deltares aan Alert Solutions en Wiertsema uitgelegd waar de instrumenten van Deltares en Ten Cate in het meetvak zijn geïnstalleerd om vervolgens de aanrij route in het veld om hun meetlocaties te bereiken af tespreken. Hierbij valt op dat in mijn ogen Alert Solutions te weinig tijd genomen heeft om de ploeg van Wiertsema nut en noodzaak van het proefvak vooraf aan het te maken werk uit te leggen. **Er werd namelijk met de boorrups in de teen van de boezem gedraaid op de mat van Ten Cate. Dit was vooraf duidelijk afgesproken door Deltares en Alert Solutions, zowel in de voorafgaande besprekingen als in de kick off, dat dit niet was toegestaan (zie foto 1).**

Er werden ook meetinstrumenten met de hand geïnstalleerd (foto 2). Hierbij is door Deltares geconstateerd dat er geen fijn filter in het instrument aanwezig was (3). Hier is uiteraard op gewezen door Deltares.

De Geobeadsketens met klei patronen werden geïnstalleerd m.b.v een casing buis. Hierbij werd de casing eerst op diepte gedrukt om daarna de keten te laten afzakken in de buis. Opmerkingen hierbij is dat de ketens op een rol aankomen en de Geobeads, in mijn ogen, nog niet ontluicht zijn om vervolgens geïnstalleerd te worden via de casing buis.

Inspectie door: D.Peters	Project: 1203255
Datum: 21-9-2011	Locatie: Ouderkerk aan de Amstel
Opdrachtnr.:	
Namen veldploeg: Pepijn van Vliet/Erik Peters	Bedrijf: Alert Solutions (AS)/Wiertsema
Werkzaamheden: Installatie instrumenten	Tijdstip: 9:00-15:00
	RD-coördinaten: X: Y: Z:

Automatische zetting instrument werd geïnstalleerd door o.a BAM/Ruiter (foto 4)

Alle instrumenten zijn aangesloten op de meetkast van Alert Solutions

Foto's



Schade aan terrein aan de teen van de boezem kade (1)



Installeren waterspanningmeter met de hand (2)



Waterspanningmeter zonder filter (3)



Automatisch zetting instrument (4)



Aansluitkast Alert Solutions



Overzicht

Nadere toelichting Geocheck Alert Solutions

Op basis van de Geocheck is nadere toelichting door Alert Solutions gevraagd. In een email van 17 december 2012 door Pepijn van Vliet wordt het volgende gevraagd:

“Op locatie hebben wij gele veiligheidshesjes gedragen en schoenen met stalen neuzen. Lijkt mij voldoende accurate werkkleding. Wij vernemen graag meer specifiek waar onze kleding niet voldeed.”

Reactie Deltares:

In de Geocheck wordt aangegeven dat het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen redelijk was. Alert Solutions nam zelf deel aan het installeren van de instrumenten, dit maakt dragen van de juiste werkkleding essentieel. Tijdens de werkzaamheden in het veld wordt er bij een Geocheck ook gekeken naar de PBM's (persoonlijke beschermingsmiddelen). Tijdens de installatie, waar Alert Solutions zelf aan deelnam, werd geen complete werkkleding (bijvoorbeeld een overal en handschoenen) gedragen.

“Ten aanzien van filters en afvullen van de sensor instrumenten het volgende. De handmatige geplaatste waterspanningsmeters zijn uiteraard afgewerkt met filter elementen. Bij plaatsing van instrumenten controleren wij altijd of deze elementen geplaatst zijn en vullen wij deze af met siliconenolie in het veld. Dat is ook bij deze plaatsing gebeurd. Hier wordt de indruk gewekt dat wij zonder filters wegdrücken, dat is geen correcte weergave van zaken.”

Reactie Deltares:

Deltares heeft twee keer in het veld de opmerking gemaakt dat er geen filter zichtbaar was in het instrument. De reactie hierop was “dat het filter er misschien uit gevallen was”. Via de GeoCheck wijzen wij erop dat zorgvuldigheid hierin gewenst is en een cruciaal onderdeel van de (plaatsing) van de sensorinstrumenten.

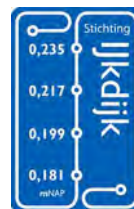
Reactie Alert Solutions:

De zin “dat het filter er misschien uitgevallen was” is uit zijn verband gehaald en doet daarmee een onverschilligheid vermoeden, waar op geen enkele wijze sprake van is bij uitvoering door ons in het veld. De specifieke mechanische opbouw van de sensoren en installatiewijze maakt het juist mogelijk de filters ook vlak voor plaatsing aan te brengen en af te vullen. Het moment van aanbrengen van het filter is daarbij niet van invloed op de correcte werking van het instrument.

“Ten aanzien van de GeoBeads ketens op rol het volgende. De sensoren hebben een dun filter element (1,5 mm) welke direct aansluit op de meetkamer (welke zeer klein van formaat is). Het filter element is van hydrofiel materiaal, wat betekent dat deze zichzelf volzuigt met water. Juist de materiaalkeuze en de kleine meetkamer bieden in onze ogen het voordeel dat afvullen (c.q. ontluichten) in deze specifieke vorm van onze sensormodules niet nodig is. Dus het is correct dat de sensoren niet zijn ontluicht, echter dit is een bewust gekozen werkwijze. Als constatering daarmee juist, maar geen kwalificatie van werkwijze.”

Reactie Deltares:

De constatering is gedaan dat het filter niet is ontluicht. Alert Solutions geeft aan dat deze constatering inderdaad juist is, maar geen kwalificatie van de werkwijze geeft. Deltares heeft onvoldoende detail informatie over het sensorsysteem om te kunnen beoordelen of ontluichten inderdaad niet noodzakelijk is bij deze specifieke vorm van sensormodules. In het algemeen kan worden gesteld dat wanneer er waterdrukken worden gemeten, onjuiste waarden worden gemeten als er sprake is van een onvoldoende verzadigd filter.



D Factual report referentiemonitoring

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

Factual report referentiemonitoring



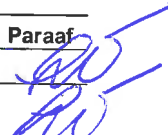
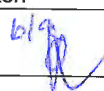


Titel
Monitoring droogteonderzoek veenkaden

Opdrachtgever Stichting IJkdijk	Project 1203255-004	Kenmerk 1203255-004-GEO-0003- gbh	Pagina's 13
---	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden
Veenkaden, Verdroging, Monitoring

Samenvatting

Bij langdurige droogte neemt het gewicht en het volume van een veenkade af, hetgeen van invloed is op de stabiliteit. Het effect van langdurige droogte is een belastingsituatie die bij het toetsen van een kade moet worden meegenomen. Ten opzichte van 2004 zijn er veel ontwikkelingen geweest m.b.t. de meet- (inspectie) technieken. Op basis daarvan is het interessant om te kijken hoe de technieken van nu kunnen bijdragen aan bovengenoemde problematiek. Doelstelling is daarom: "Welke meettechnieken kunnen de effecten van verdroging (droogtegevoeligheid) van de veenkade volgen". Het onderhavige rapport heeft betrekking op het installeren en de eerste metingen van de referentie monitoring op de proeflocatie in De Veenderij nabij Amsterdam.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	dec. 2011	R.J.G. van Etten		Ing. G. de Vries		Ir. L. Voogt	
2	nov. 2012	E.H. van Waardenberg		Ing. G. de Vries		Ir. L. Voogt	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Installatie referentie monitoring	3
2.1 Peilbuizen	3
2.1.1 Divermetingen grondwaterstand	3
2.1.2 Borehole-Piezometingen grondwaterstand	5
2.2 Extensometermetingen verticale deformatie	6
2.3 Vocht- en temperatuurmetingen	7
2.4 Meteo-station	9
2.4.1 Neerslag	9
2.4.2 Luchtdruk en temperatuur	11
2.4.3 Luchtvochtigheid en luchttemperatuur	11
3 Samenvatting	13
 Bijlage(n)	
A Situatie meetlocatie	A-1
B Metingen grondwaterstand	B-1
C Calibratierapporten Borehole-Piezometers	C-1
D Verticale deformatiemetingen	D-1
E Vocht- en temperatuurmetingen bodem	E-1
F Meteo-gegevens	F-1

1 Inleiding

Door langdurige droogte met name voor veenkaden neemt het gewicht en het volume van het veenpakket af, hetgeen van grote invloed is op de stabiliteit van de kade. Wanneer het vochtgehalte in veen beneden een bepaalde waarde daalt, wordt veen waterafstotend. Hierdoor wordt regen- en eventueel kwelwater niet of slechts zeer langzaam door het veen opgenomen. De vorming van waterafstotendheid (hydrofoob gedrag) is vooral afhankelijk van het vochtgehalte en in mindere mate van de temperatuur. Dit effect van langdurige droogte op een kade moet daarom als nieuwe belastingsituatie bij het toetsen van een kade worden meegenomen. Hoewel gedurende de laatste jaren veel nieuwe meettechnieken op de markt zijn gekomen, is er nog weinig ervaring met de (on)mogelijkheden hiermee om de effecten van verdroging in een kade correct vast te stellen. De doelstelling van het onderhavige onderzoek is dan ook om te beoordelen welke meettechnieken de effecten van verdroging van een veenkade kunnen volgen. Hiervoor worden verschillende marktpartijen uitgenodigd om hun specifieke meettechniek op een bepaalde meetlocatie (veenkade) in te zetten, waarna de meetresultaten kunnen worden vergeleken met referentiemetingen. De referentiemetingen welke min of meer op de traditionele manier wordt uitgevoerd, is evenals de interpretatie door de Stichting IJkdijk aan Deltares opgedragen.

Voorafgaand aan de monitoring is een locatiekeuze gemaakt en grondonderzoek uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn beschreven in het "Factual report veld- en labonderzoek, kenmerk 1203255-004-GEO-0001".

Het onderhavige "Factual report referentiemonitoring" heeft alleen betrekking op de door Deltares uitgevoerde werkzaamheden met betrekking tot de referentiemonitoring. In hoofdstuk 2 wordt de installatie van de verschillende instrumenten en de eerste meetresultaten besproken. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting van de metingen gegeven.

2 Installatie referentie monitoring

Het plaatsen van de sensoren en apparatuur voor de monitoring is door Deltares in de periode augustus/september 2011 uitgevoerd. De Firma TenCate heeft op 23-08-2011 ter plaatse van het meetvak hun monitoringsysteem aangebracht en de Firma Alert Solutions heeft dat op 21-09-2011 gedaan. De locaties van alle geplaatste sensoren en meetsystemen zijn door Deltares ingemeten en op de situatietekening bijlage A1 aangegeven. De monitoringsystemen van de Firma TenCate en de Firma Alert Solutions maken geen deel uit van de referentiemonitoring en worden hier verder niet besproken.

2.1 Peilbuizen

Voor de bepaling van de ligging van de freatische lijn in de kade, zijn in profiel C-2 ondiepe peilbuizen geplaatst. Voor de dwarsprofieltekeningen zelf wordt verwezen naar het "Factual report veld- en labonderzoek". In de teensloot en de (boezem)sloot zijn eveneens buizen geplaatst voor het bepalen van de waterstand. In de teen van profiel C-1 is een diepe peilbuis (PB8) geplaatst met het filter in het pleistocene zand. In verband met de stijghoogte in het pleistocene zand is bovenkant peilbuis circa 1,5 m boven maaiveld afgewerkt. De plaats van de peilbuizen is in dwarsprofiel C-2 aangegeven met uitzondering van peilbuis PB8 die in dwarsprofiel C1 aan de teen staat.

2.1.1 Divermetingen grondwaterstand

Direct na plaatsing zijn de peilbuizen voorzien van een Diver. Dit in afwachting van de levering van de Borehole-Piezo meters (VW-drukopnemers) welke op een logger kunnen worden aangesloten. In tabel 2-1 zijn de plaatsingsgegevens van de peilbuizen en de nummers van de divers opgenomen. In peilbuis PB3 is een extra Diver afgehangen voor het meten van de luchtdruk. De tijdsinterval tussen de metingen is 30 minuten en de tijdsregistratie is wintertijd (MET).

Peilbuis	Diver nummer	Afstand uit nul	Maaiveld t.o.v. NAP	Bk peilbuis t.o.v. NAP	Filter-lengte	Hart filter t.o.v. NAP
C2-PB1 (boezem)	D5890	-7,41 m	n.v.t.	-1,97 m	N.v.t	n.v.t
C2-PB2	C8279	-1,85 m	-1,39 m	-0,78 m	1,00 m	-2,89 m
C2-PB3	C8368	2,60 m	-1,61 m	-0,91 m	1,00 m	-4,11 m
C2-PB4	C8202	6,91 m	-2,34 m	-1,83 m	1,00 m	-4.34 m
C2-PB5	C8435	12,29 m	-3,48 m	-2,87 m	1,00 m	-4.98 m
C2-PB6	G1367	20,70 m	-4,84 m	-4,34 m	0,50 m	-5.59 m
C2-PB7 (teensloot)	C8419	25,90 m	n.v.t.	-4,93 m	n.v.t	n.v.t
C1-PB8 (pleistoceen)	C8352	22,20 m	-4,98 m	-3,44 m	0,20 m	-10,48 m
C2-PB3 (luchtdruk)	C1832					

Tabel 2.1 Plaatsingsgegevens peilbuizen en divers op 28-06-2011



Foto 2.1 Peilbuis 1 in (boezem)sloot

Op 23-08-2011 zijn de divers in de peilbuizen 2, 3, 4, 5, 6 en 7 verwijderd en hiervoor in de plaats zijn Borehole-Piezo meters van InterFels afgehangen (zie 2.1.2) en aangesloten op de logger. In peilbuis PB1 in de boezemsloot blijft een Diver hangen om de waterstand te meten omdat deze buiten het afgeschermd meetvak staat (zie foto 2.1). De barometer Diver voor het meten van de luchtdruk is uit peilbuis PB3 verwijderd en in de loggerkast geplaatst.

Zowel direct na het plaatsen als bij het verwijderen van de Divers is de waterstand in de peilbuizen gepeild. Aan de hand van de op 28-06-2011 en die van 23-08-2011 uitgevoerde handpeilingen is de waterstand t.o.v. NAP en de gecorrigeerde afhangdiepte van de divers bepaald, zie tabel 2.2. Opgemerkt moet worden dat de peilingen op 28-06-2011 kort na het plaatsen van de peilbuizen is uitgevoerd en daarom mogelijk nog niet zijn aangepast aan het freatische vlak.

Peilbuis	Diver nr.	Waterstand 28-06-2011		Waterstand 23-08-2011		Diverdiepte tov NAP (a)
		tov BK PB	tov NAP	tov BK PB	tov NAP	
C2-PB1 (boezem)	D5890	-0,61 m	-2,58 m	geen waarn.	geen waarn.	-3.52 m
C2-PB2	C8279	-2,34 m	-3,12 m	-1,67 m	-2,45 m	-3.38 m
C2-PB3	C8368	-2,73 m	-3,64 m	-2,21 m	-3,12 m	-4.51 m
C2-PB4	C8202	-2,45 m	-4,28 m	-1,88 m	-3,71 m	-4.83 m
C2-PB5	C8435	-1,87 m	-4,74 m	-1,82 m	-4,69 m	-5.47 m
C2-PB6	G1367	-0,96 m	-5,30 m	-0,84 m	-5,18 m	-5.84 m
C2-PB7 (teensloot)	C8419	-0,48 m	-5,41 m	-0,45 m	-5,38 m	-6.43 m
C1-PB8 (pleistoceen)	C8352	-0,20 m	-3,64 m	geen waarn.	geen waarn.	-8.54 m

(a) Afhangdiepte divers inclusief correctie

Tabel 2.2 Handpeilingen peilbuizen en afhangdiepte divers

De met de divers gemeten grondwaterstand vanaf plaatsing tot en met 23 augustus 2011 zijn in bijlage B-1 grafisch t.o.v. NAP uitgezet. Omdat de peilbuizen PB2, PB3 en PB4 direct na plaatsing zich slechts langzaam aanpassen aan de grondwaterstand, is aan de hand van het neerslagtekort en/of neerslagoverschot de werking van de peilbuizen gecontroleerd. De ondiepe grondwaterstand in een (veen)kade wordt immers in belangrijke mate beïnvloed door de neerslag of de verdamping. Gegevens over neerslagtekorten of -overschotten worden door het KNMI verstrekt in hun dagoverzichten van een aantal weerstations. Voor de locatie waar de monitoring plaats vindt ligt het KNMI-station Schiphol het dichtst bij. In bijlage B-2 is het cumulatieve neerslagtekort vanaf 1 april tot augustus 2011 samen met de grondwaterstand in de peilbuizen weergegeven. Hoewel de langzame aanpassing van de peilbuizen PB2, PB3 en PB4 hiermee nog niet wordt verklaard, is wel duidelijk te zien dat het verloop in de grondwaterstand het verloop van het neerslagtekort of neerslagoverschot volgt.

De resultaten van de Divermetingen, grafisch t.o.v. NAP, van peilbuis PB1 en PB8 zijn bijgevoegd bij de resultaten van de Borehole-Piezometers en in bijlage B3 weergegeven.

De Diver in peilbuis PB8 is op 5 september 2011 vervangen door een VW-drukopnemer. Deze opnemer laat een te groot verloop zien en is op 17 april opnieuw vervangen door een Diver. Helaas laat ook deze Diver na verloop van tijd een onacceptabel verloop zien. De automatisch ingewonnen data zijn onbetrouwbaar en worden niet gepresenteerd. De waarneming van peilbuis PB8 beperken zich daardoor tot een aantal handaflezingen. De Diver in peilbuis PB1 (boezemsloot) blijft de standaard meetmethode.

2.1.2 Borehole-Piezometingen grondwaterstand

De in de peilbuizen afgehangen Borehole-Piezometers (VW-drukopnemers) zijn door de Firma Interfels geleverd met bijbehorende calibratie rapporten, zie bijlage C. De gemeten frequenties dienen te worden omgerekend naar kPa en gecorrigeerd met de actuele luchtdruk en de nulpuntmeting, waarna de stijghoogte t.o.v. NAP kan worden berekend. De volledige formule hiervoor is:

$$S = BKPB\text{-Afhangdiepte} + (A \cdot F^2 + B \cdot F + C - (P1 - P0) \cdot 0,1) \cdot 0,10197$$

Hierin:

F = Gemeten frequentie

S = stijghoogte in peilbuis t.o.v. NAP

A, B = conversie factoren van frequentie naar kPa

C = conversie factor bepalen nulpuntmeting

$P1$ = gemeten barometerstand in hPa

$P0$ = barometerstand uit calibratie rapport in hPa

De in de calibratierapporten opgenomen conversiefactor C moet worden gecontroleerd en zo nodig aangepast aan de hand van een nulmeting op locatie. Hiervoor wordt de Borehole-Piezo meter (VW-drukopnemer) boven het waterniveau gehouden en een meting gedaan. De C-waarde wordt zodanig aangepast dat de stijghoogte na omrekening boven het waterniveau ook werkelijk nul is. Deze nulmeting is op 21-09-2011 om 08:17 en 08:19 uur uitgevoerd waarbij tevens de serienummers zijn gecontroleerd en de waterstand in de peilbuizen handmatig is gepeild. Een tweede controle van de serienummers en de waterstand in de peilbuizen is op 08-11-2011 uitgevoerd. Aan de hand van de waterstand in de peilbuis wordt vervolgens de afhangdiepte t.o.v. NAP bepaald. De handpeilingen zijn in tabel 2.3 opgenomen en de gecorrigeerde C-waarde en afhangdiepte in tabel 2.4.

Peilbuis	Type	Serie nummer	BK PB t.o.v. NAP	Waterstand 21-09-2011		Waterstand 08-11-2011	
				t.o.v. Bk Pb	t.o.v. NAP	t.o.v. Bk Pb	t.o.v. NAP
C2-PB1	diver	D5890	-1,97 m	-0,59 m	-2,56 m	-0,59 m	-2,56 m
C2-PB2	piezo	39551	-0,78 m	-1,48 m	-2,26 m	-1,58 m	-2,36 m
C2-PB3	piezo	39552	-0,91 m	-2,21 m	-3,12 m	-2,06 m	-2,97 m
C2-PB4	piezo	39550	-1,83 m	-1,80 m	-3,63 m	-1,77 m	-3,60 m
C2-PB5	piezo	39554	-2,87 m	-1,68 m	-4,55 m	-1,71 m	-4,58 m
C2-PB6	piezo	39559	-4,34 m	-0,67 m	-5,01 m	-0,72 m	-5,06 m
C2-PB7	piezo	39558	-4,93 m	-0,39 m	-5,32 m	-0,50 m	-5,43 m
C1-PB8	piezo	39555	-3,44 m	-0,14 m	-3,62 m	-0,16 m	-3,60 m

Tabel 2.3 Plaatsingsgegevens VW-drukopnemers en gemeten waterstanden (handpeilingen)

Tijdens de handpeilingen mogen de VW-drukopnemers niet uit de peilbuizen worden verwijderd. Opmerkelijk is de waterstand in peilbuis PB2 die ook gedurende droge perioden hoger is dan de (boezem)sloot. Bij controles van de hoogtemetingen van de peilbuizen is dit bevestigd.

Peilbuis	Serie nummer	C-waarde gecorrigeerd	BK PB t.o.v. NAP	Afhangdiepte	
				t.o.v. Bk Pb	t.o.v. NAP
C2-PB2	39551	967,40	-0,78 m	-2,604 m	-3,384 m
C2-PB3	39552	805,59	-0,91 m	-3,545 m	-4,455 m
C2-PB4	39550	858,45	-1,83 m	-2,957 m	-4,787 m
C2-PB5	39554	792,80	-2,87 m	-2,549 m	-5,419 m
C2-PB6	39559	979,80	-4,34 m	-1,407 m	-5,747 m
C2-PB7	39558	1071,76	-4,93 m	-0,995 m	-5,925 m
C1-PB8	39555	923,19	-3,44 m	Zie opm.	Zie opm.

Tabel 2.4 Gecorrigeerde C-waarde en afhangdiepte VW-drukopnemers

Na correctie van de C-waarde en het bepalen van de afhangdiepte blijkt dat de met de VW-drukopnemers gemeten (grond)waterstand met als uitzondering peilbuis PB8, op beide datums nagenoeg overeenkomt met de handpeilingen. De nauwkeurigheid van de metingen bedraagt +/- 1 cm.

De met de VW-drukopnemer gemeten grondwaterstand in peilbuis PB8 wijkt af van de handpeilingen en loopt in de periode tussen beide controle metingen ongeveer 20 cm. De waterstand zou dan boven de bovenkant van de peilbuis uit stijgen. De opnemer is op 17 april vervangen door een Diver. Helaas laat ook deze Diver na verloop van tijd een onacceptabel verloop zien. De automatisch ingewonnen data is onbruikbaar en wordt niet gepresenteerd. De waarneming van peilbuis PB8 beperken zich daardoor tot een aantal handaflezingen.

De resultaten van de uitgewerkte peilbuismetingen met de VW-drukopnemers over de periode vanaf 23-08-2011 t/m 08-11-2011 zijn in bijlagen B4 grafisch t.o.v. NAP uitgezet.

2.2 Extensometermetingen verticale deformatie

Voor het meten van de verticale deformatie (krimp of uitzetting) in het veenpakket van de kade ten gevolge van verdroging of vernatting, is op 19-08-2011 ter hoogte van dwarsprofiel C-2 halverwege het binnentalud een viertal borehole extensometers model A3 van Geokon geplaatst. Het meetbereik (maximale verplaatsing) van de extensometer is in beide richtingen 25 mm. De calibratierapporten zijn opgenomen onder bijlage D.

De locatie is met RTK-GPS ingemeten en staat omgerekend naar een afstand in het dwarsprofiel op 10,00 m uit nulpunt naar binnen. De locatie van de extensometers is ook op de situatie bijlage A-1. ingetekend.

In een boorgat zijn op verschillende dieptes de ankers geplaatst. Aan het anker is een staaf bevestigd welke aan het maaiveld is verbonden met een nauwkeurige verplaatsingsopnemer. De verplaatsingsopnemers van de verschillende ankers zijn ondergebracht in een referentieblok en aangesloten op de logger.

De formule voor het omrekenen van de verplaatsing ten opzichte van het nulpunt is:

$$D=A*(F^2/1000)^2+B*(F^2/1000)+C+((T1-T0)*(((F^2/1000)*0.00033)+0.415)*G)$$

Hierin is:

F = gemeten frequentie

A en B = conversie factoren van frequentie naar kPa

C = conversie factor C , bepalen van nulpunt meting

$T1$ = gemeten temperatuur

T_0 = initiële temperatuur
 G = lineaire factor uit het calibratiesheet

De bovenkant van de buis gemeten op 21-09-2011 bedroeg NAP-2,93 m en het maaiveld lag op NAP-2,96 m. De ankers zijn genummerd C2-EX-1 t/m C2-EX-4 waarbij C2-EX-4 geplaatst is in het zandpakket. De plaatsingsdiepte en het serienummer van de ankers is opgenomen in tabel 2.5.

Nummer	Serienummer	Lengte buis	Diepte t.o.v. NAP
C2-EX-1	1109553-45001	0,85 m	-3,78 m
C2-EX-2	1109552-45000	1,85 m	-4,78 m
C2-EX-3	1109551-44999	2,85 m	-5,78 m
C2-EX-4 (zand)	1109550-44998	7,60 m	-10,53 m

Tabel 2.5 Plaatsingsgegevens extensometers

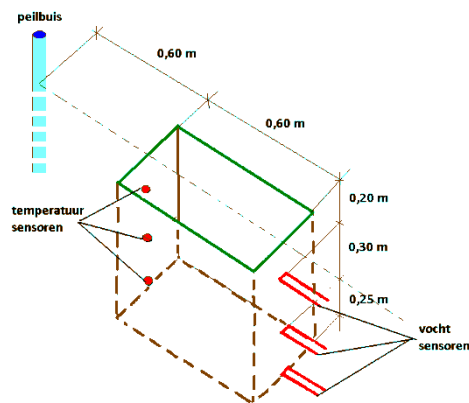
Vanaf 21-09-2011 wordt de temperatuur van de extensometer meegenomen in de metingen. Daarvoor is de temperatuurmeting in de loggerkast gebruikt. De gemeten verticale verplaatsingen zijn grafisch in bijlage E-1 weergegeven. De extensometer EX-4 meet de totale deformatie van het boven de zandlaag gelegen grondpakket. Uitgangspunt hierbij is dat EX-4 geplaatst in het zandpakket niet qua hoogte veranderd. De gemeten verplaatsing op EX-4 is dus de maaiveldzakking/stijging. Extensometer EX-3 meet de verplaatsing vanaf het anker tot aan het maaiveld. Door de verplaatsing van EX-3 met die van EX-4 te verminderen krijgt men de verplaatsing van het anker en daarmee de deformatie van het grondpakket boven de zandlaag tot aan het anker van EX3. Een positieve verplaatsing geeft hier een uitzetting van het grondpakket weer en een negatieve verplaatsing krimp. De na plaatsing gemeten uitzetting van de grond is in overeenstemming met de verwachting en komt overeen met elders (Bloemendalerpolder) waargenomen meetresultaten.

2.3 Vocht- en temperatuurmetingen

Voor het meten van het vochtgehalte (volumetrisch vochtgehalte) in het veenpakket zijn op 19-08-2011 op een afstand van ongeveer 1,2 m uit dwarsprofiel C-2 ter hoogte van peilbuis PB2, PB3, PB4, PB5 en PB6 op verschillende dieptes vochtsensoren geplaatst. Deze vochtsensoren van het type CS616 (figuur 2.1) hebben meetpennen van 30 cm lengte welke na het graven van een gat van ongeveer 60x30 cm horizontaal en haaks op het talud in het veen zijn weggedrukt. In het zelfde gat ter hoogte van de peilbuizen 3 en 5 en op dezelfde diepte maar dan in tegenovergestelde richting zijn temperatuur sensoren in het veen weggedrukt. Na het plaatsen van de diepste sensoren is het gat tot de volgende plaatsingsdiepte zorgvuldig met de uitgekomen grond aangevuld waarna de volgende sets geplaatst zijn (zie figuur 2.2). De diepte van de sensoren is zodanig gekozen dat deze boven de freatische lijn in het veenpakket staan.



Figuur 2.1. Vochtsensor



Figuur 2.2. Gegraven gat voor plaatsing

In tabel 2.6 zijn de plaatsingsgegevens van de vocht- en temperatuursensoren weergegeven. Op de locatie V6 kon alleen een ondiepe sensor worden geplaatst in verband met de hoge grondwaterstand in de teen.

Sensor nummer	Afstand uit nul	Diepte t.o.v. maaiveld	Diepte t.o.v. NAP
C2-V2-1	-1,85 m	-0,20 m	-1,60 m
C2-V2-2	-1,85 m	-0,50 m	-1,90 m
C2-V2-3	-1,85 m	-0,75 m	-2,15 m
C2-V3-1	2,60 m	-0,20 m	-1,80 m
C2-V3-2	2,60 m	-0,50 m	-2,10 m
C2-V3-3	2,60 m	-0,75 m	-2,35 m
C2-T3-1	2,60 m	-0,20 m	-1,80 m
C2-T3-2	2,60 m	-0,50 m	-2,10 m
C2-T3-3	2,60 m	-0,75 m	-2,35 m
C2-V4-1	6,91 m	-0,20 m	-2,55 m
C2-V4-2	6,91 m	-0,50 m	-2,85 m
C2-V4-3	6,91 m	-0,75 m	-3,10 m
C2-V5-1	12,29 m	-0,20 m	-3,70 m
C2-V5-2	12,29 m	-0,50 m	-4,00 m
C2-V5-3	12,29 m	-0,75 m	-4,25 m
C2-T5-1	12,29 m	-0,20 m	-3,70 m
C2-T5-2	12,29 m	-0,50 m	-4,00 m
C2-T5-3	12,29 m	-0,75 m	-4,25 m
C2-V6-1	20,70 m	-0,20 m	-5,05 m

Tabel 2.6 Plaatsingsgegevens vocht- en temperatuur sensoren

Op 10 september 2011 zijn de kabels van 2 vochtmeters (C2-V2-1 en C2-V2-2) bij maaiwerkzaamheden doorgesneden. Repareren van de kabels was niet mogelijk en beide sensoren zijn op 21 september 2011 vervangen. De sensoren zijn in het zelfde gat en op dezelfde diepte geplaatst, zie foto's 2.2 en 2.3.



Foto 2.2 Herplaatsen van de sensoren



Foto 2.3 Detail plaatsing vochtsensoren

De gemeten vochtgehalten (%) op de locaties V2 t/m V6 zijn in de bijlagen E-1 en E-2 grafisch weergegeven en de gemeten bodemtemperaturen op de locaties T3 en T5 in bijlage E3.

De gemeten volumetrische vochtgehalten bovenin de dijk op een diepte circa 0,75 m minus maaiveld ligt bij aanvang van de metingen op 60 à 70%. Tijdens het eerder uitgevoerde grondonderzoek is bovenin de dijk een Begemann boring gemaakt, waaruit op die diepte van een monster eveneens het vochtgehalte is bepaald. Het gravimetrisch (gewichtpercentage) vochtgehalte van dat monster (C1-1A, zie factual report veld- en labonderzoek) bedroeg 190 % (massa % t.o.v. droge stof). Omgerekend naar een volumetrisch vochtgehalte is dit circa 60%, wat min of meer overeenkomt met de metingen van de vochtsensoren op die diepte.

2.4 Meteo-station

Het meteo-station is op 13-09-2011 geplaatst in de nabijheid van de logger (zie foto 2.4) ongeveer halverwege het binnentalud. Deze registreert de neerslag, de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid per tijdseenheid van 1 uur op circa 1,00 m boven maaiveld. De op de locatie gemeten luchttemperatuur en luchtvochtigheid zijn grafisch weergegeven in bijlage F-1. De hoeveelheid neerslag gevallen in 1 uur is op bijlage F-2 weergegeven.



Foto 2.4. Opstelling meteo-station

2.4.1 Neerslag

Omdat tijdens een natte periode in oktober getwijfeld werd aan de juiste werking van de regenmeter, zijn de meetresultaten vergeleken met die van het KNMI. Hiervoor zijn de gegevens van 3 in de buurt gelegen neerslagstations van de KNMI-website gedownload. Deze neerslagstations zijn Lijnden (437), Amsterdam (441) en Abcoude (572) en registreren de hoeveelheid neerslag gedurende 24 uur in de periode van 08:00 uur (voorafgaande dag)

tot 08:00 uur (huidige dag). In onderstaande tabel zijn de coördinaten opgenomen waar deze stations liggen.

Neerslagstation	X-coörd. [km]	Y-coörd. [km]
Meetlocatie	123	480
Lijnden (437)	112	485
Amsterdam (441)	123	487
Abcoude (572)	127	475

Tabel 2.7 Locaties neerslagstations

Opgemerkt moet worden dat het neerslagstation Amsterdam binnen de bebouwde kom ligt dicht bij de IJ-tunnel en daardoor mogelijk minder relevant voor de meetlocatie. Het neerslagstation Lijnden ligt ten westen van Amsterdam in de Haarlemmermeerpolder en het neerslagstation Abcoude ligt ten zuiden hiervan langs de Amstel. De op de stations geregistreerde hoeveelheden neerslag is samen met die van de meetlocatie, eveneens over een periode van 24 uur en van 08:00 tot 08:00 uur, in onderstaande tabel weergegeven. De droge periode van 23-09-2011 t/m 05-10-2011 met neerslag hoeveelheden van minder dan 1 mm is niet opgenomen.

Datum-tijd	Meet-locatie [mm]	Lijnden 437 [mm]	Amsterdam 441 [mm]	Abcoude 572 [mm]
14-09-2011	1,4	0,9	0,6	0,5
15-09-2011	0,0	0,0	0,2	0,0
16-09-2011	0,0	0,0	0,0	0,0
17-09-2011	0,0	0,0	0,0	0,0
18-09-2011	4,0	7,9	6,0	5,0
19-09-2011	10,2	10,3	13,5	3,4
20-09-2011	0,0	0,0	0,0	0,1
21-09-2011	0,0	0,0	0,0	0,0
22-09-2011	0,2	0,8	0,7	0,1
06-10-2011	0,2	5,8	4,9	3,5
07-10-2011	0,0	7,8	8,6	6,1
08-10-2011	0,0	9,1	10,0	11,3
09-10-2011	0,8	2,8	4,1	2,9
10-10-2011	0,2	5,9	6,0	6,3
11-10-2011	0,4	0,0	0,0	0,1
12-10-2011	0,2	15,0	14,2	12,2

Tabel 2.8 Neerslaghoeveelheden meetlocatie en neerslagstations KNMI

Zoals bekend kunnen neerslaghoeveelheden vooral in de zomerperiode per locatie sterk verschillen. Kort na plaatsing in september blijkt de regenmeter nog naar behoren te werken in vergelijking met de neerslagstations van het KNMI. In oktober echter tijdens een natte periode wijkt de met de regenmeter geregistreerd hoeveelheid neerslag sterk af. Op 08-11-2011 is op locatie de regenmeter gecontroleerd. Deze bleek vol water te staan door een verstopt filter.

2.4.2 Luchtdruk en temperatuur

Voor het vergelijken van de op de meetlocatie gemeten luchtdruk zijn de gegevens van het dichtstbijzijnde KNMI-station (Schiphol-240) gebruikt. Voor de meetlocatie is het gemiddelde van waarnemingen op een dag (24 uur) bepaald en vergeleken met de gemiddelde dagwaarnemingen van Schiphol, zie tabel 2.9. De verschillen tussen beide waarnemingen zijn nihil.

Datum	Luchtdruk [hPa]	
	Meetlocatie	Schiphol
14-09-2011	1016	1016
15-09-2011	1021	1021
16-09-2011	1017	1015
17-09-2011	1008	1007
18-09-2011	1004	1003
19-09-2011	1012	1012
20-09-2011	1020	1019
21-09-2011	1018	1017
22-09-2011	1018	1018

Tabel 2.9 Luchtdruk

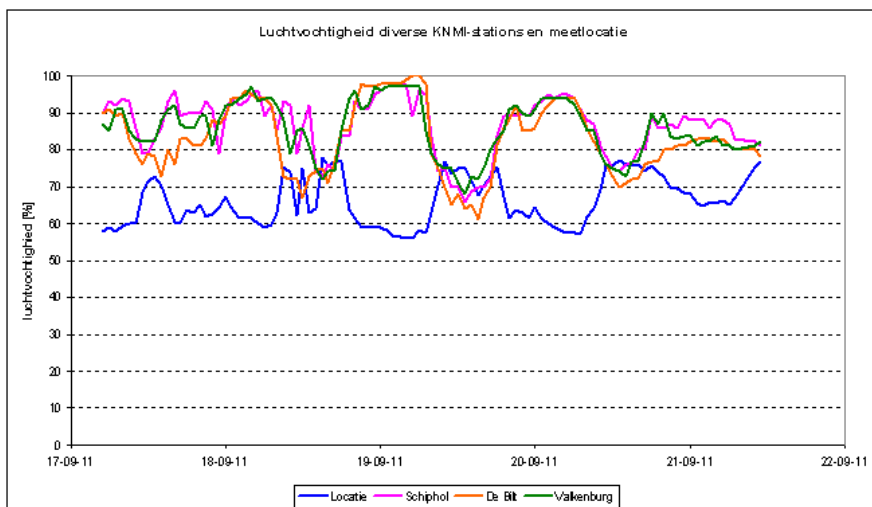
2.4.3 Luchtvochtigheid en luchttemperatuur

De luchtvochtigheid en luchttemperatuur wordt gemeten met de 'Temperature and Relative Humidity Probe, CS215' van de Firma Campbell Scientific. Ook deze gegevens zijn vergeleken met die welke op het KNMI-station Schiphol is gemeten. Voor de meetlocatie is hiervoor de gemiddelde waarde aangehouden welke op die dag is gemeten. Ook Schiphol geeft een etmaal gemiddelde van zowel de temperatuur als de relatieve vochtigheid in %.

Datum	Luchtvochtigheid [%]		Luchttemperatuur [°C]	
	Meetlocatie	Schiphol	Meetlocatie	Schiphol
14-09-2011	72	73	14	15
15-09-2011	76	77	13	14
16-09-2011	70	80	14	14
17-09-2011	63	89	15	15
18-09-2011	66	88	12	12
19-09-2011	65	84	12	13
20-09-2011	68	86	15	16
21-09-2011	70	84	15	16
22-09-2011	71	72	14	15

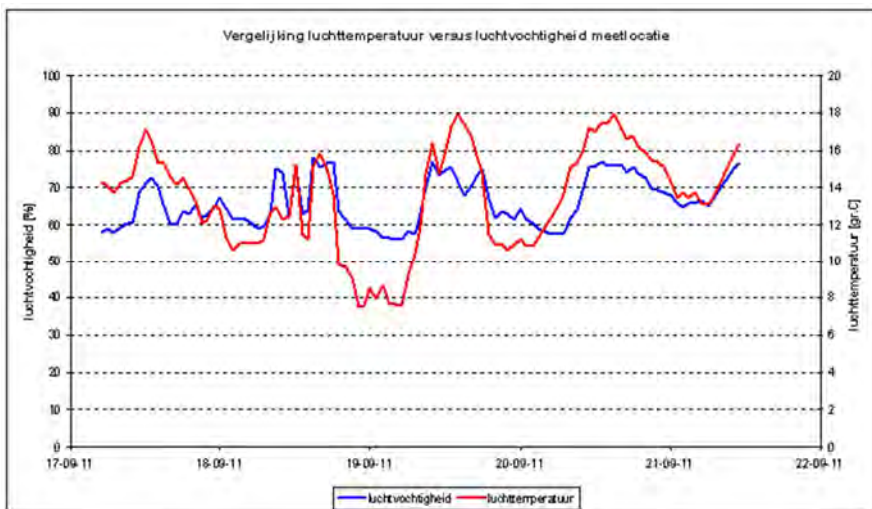
Tabel 2.10 Luchtvochtigheid en luchttemperatuur

Uit deze vergelijking blijkt dat de luchttemperatuur nagenoeg overeenkomt maar de relatieve luchtvochtigheid vrij veel afwijkt, zie tabel 2.10. Om meer duidelijkheid te krijgen waardoor dit is veroorzaakt zijn in figuur 2.3 de uurswaarnemingen van de relatieve luchtvochtigheid van diverse KNMI-stations samen met die van de meetlocatie uitgezet. Opvallend is dat de luchtvochtigheid op de KNMI-stations gedurende de nacht stijgt, terwijl deze op de meetlocatie lager wordt. Gedurende het jaar zijn er op de meetlocatie echter ook metingen waarbij de relatieve luchtvochtigheid stijgt bij een dalende luchttemperatuur.



Figuur 2.3. Luchtvochtigheid diverse KNMI-stations en meetlocatie

In een volgende stap is de op locatie gemeten luchtvochtigheid uitgezet tegen de op locatie gemeten luchttemperatuur, zie figuur 2.4.



Figuur 2.4. Luchtvochtigheid en luchttemperatuur meetlocatie

Bij een dalende temperatuur zou de relatieve luchtvochtigheid moeten stijgen in plaats van dalen. Een duidelijke verklaring voor de afwijkende metingen van de luchtvochtigheid kan niet worden gegeven. Tijdens een locatie bezoek is geen duidelijke oorzaak voor deze afwijking gevonden. Gedurende het jaar zijn er op de meetlocatie echter ook metingen waarbij de relatieve luchtvochtigheid stijgt bij een dalende luchttemperatuur.

3 Samenvatting

De ondiepe peilbuizen voor het meten van de freatische lijn in de kade reageren na een aanpassingsperiode conform de verwachtingen op natte en droge perioden.

De ondiepe peilbuis PB2 geeft ook tijdens droge perioden een hogere waterstand dan de (boezem)sloot. Dat is in het veld gecontroleerd en bevestigd.

De opnemer in de diepe peilbuis PB8 laat een te groot verloop zien en is vervangen door een Diver. Deze Diver laat na verloop van tijd eveneens een onacceptabel verloop zien. De automatisch ingewonnen data zijn niet betrouwbaar en worden niet gepresenteerd.

De met de extensometer gemeten verticale deformaties in de verschillende lagen, welke een geringe volumetoename te zien geven, komen overeen met de verwachtingen. Ook elders (Bloemendalerpolder) is in dezelfde periode een volumetoename van de bodem gemeten.

Vrijwel alle vocht- en temperatuursensoren in de bodem lijken correct te werken. Temperatuursensor C2-T5-2 zit wel in het verwachtte gebied, maar laat veel ruis zien.

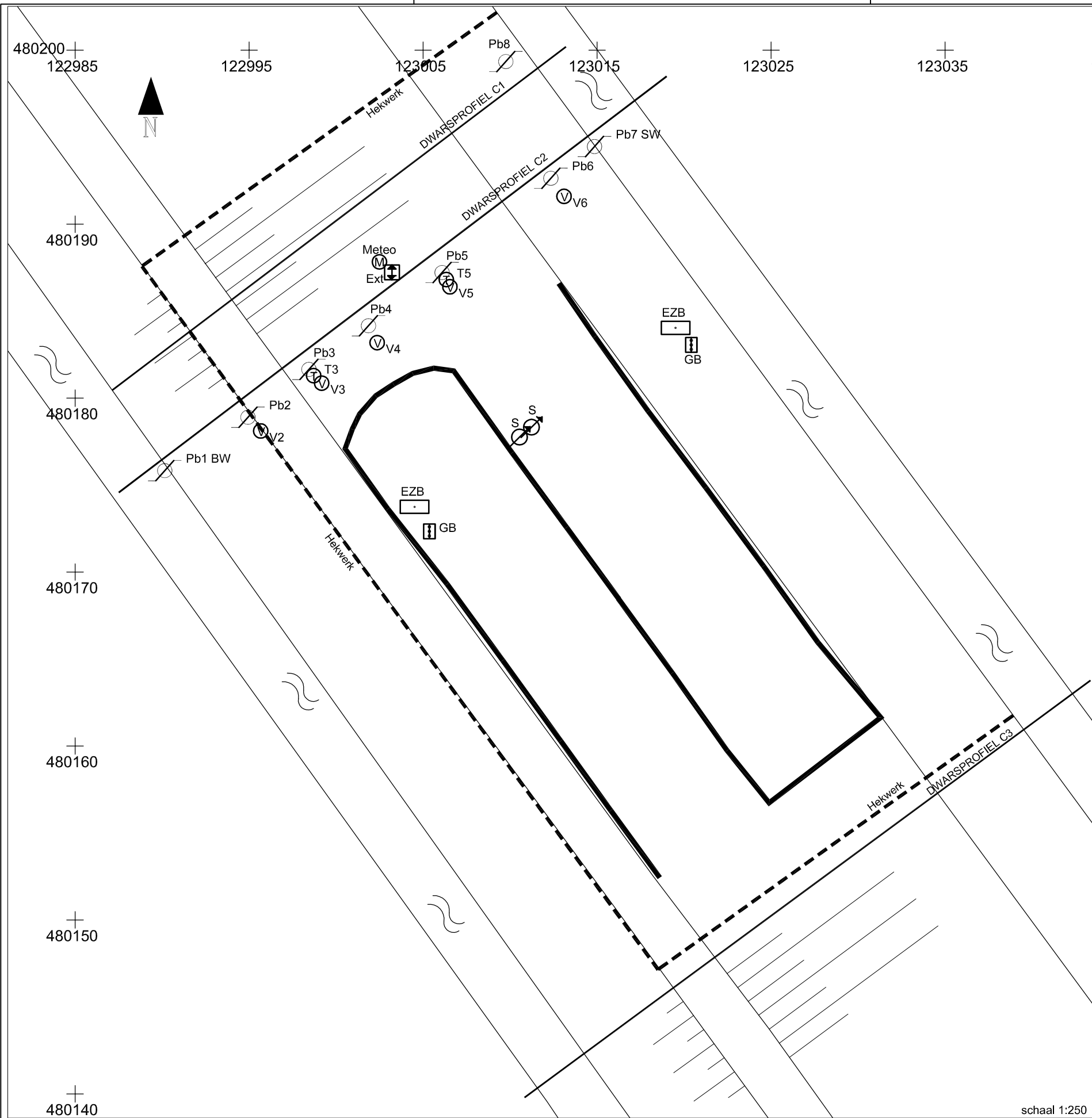
Het met de vochtsensoren gemeten volumetrisch vochtgehalte op een diepte van circa 0,75 m beneden maaiveld komt nagenoeg overeen met een in het laboratorium gemeten vochtgehalte van een monster op min of meer dezelfde diepte en dezelfde periode.

De regenmeter heeft in het begin correct de hoeveelheid neerslag gemeten in vergelijking met neerslaghoeveelheden van in de buurt gelegen regenstations van het KNMI. Door een externe oorzaak is het filter echter verstopt geraakt, waardoor de metingen onbetrouwbaar bleken.

De op de meetlocatie gemeten luchtdruk en luchttemperatuur geeft vergelijkbare waarden als welke gemeten zijn op het KNMI-station Schiphol.

De op locatie gemeten luchtvochtigheid wijkt af van wat op het KNMI-station Schiphol wordt gemeten. De luchtvochtigheid op Schiphol neemt gedurende de nacht toe terwijl dat op de meetlocatie niet altijd het geval lijkt te zijn.

A Situatie meetlocatie



Meetconfiguratie:
Deltares:

- peilbuis
 - bodenvocht sensor
 - bodemtemperatuur sensor
 - meteo station
 - extensometer
- Alert Solutions:
- geobeads
 - digitale zakbaak
 - waterspanningsmeter

TenCate:
 deformatie en temperatuur

schaal 1:250

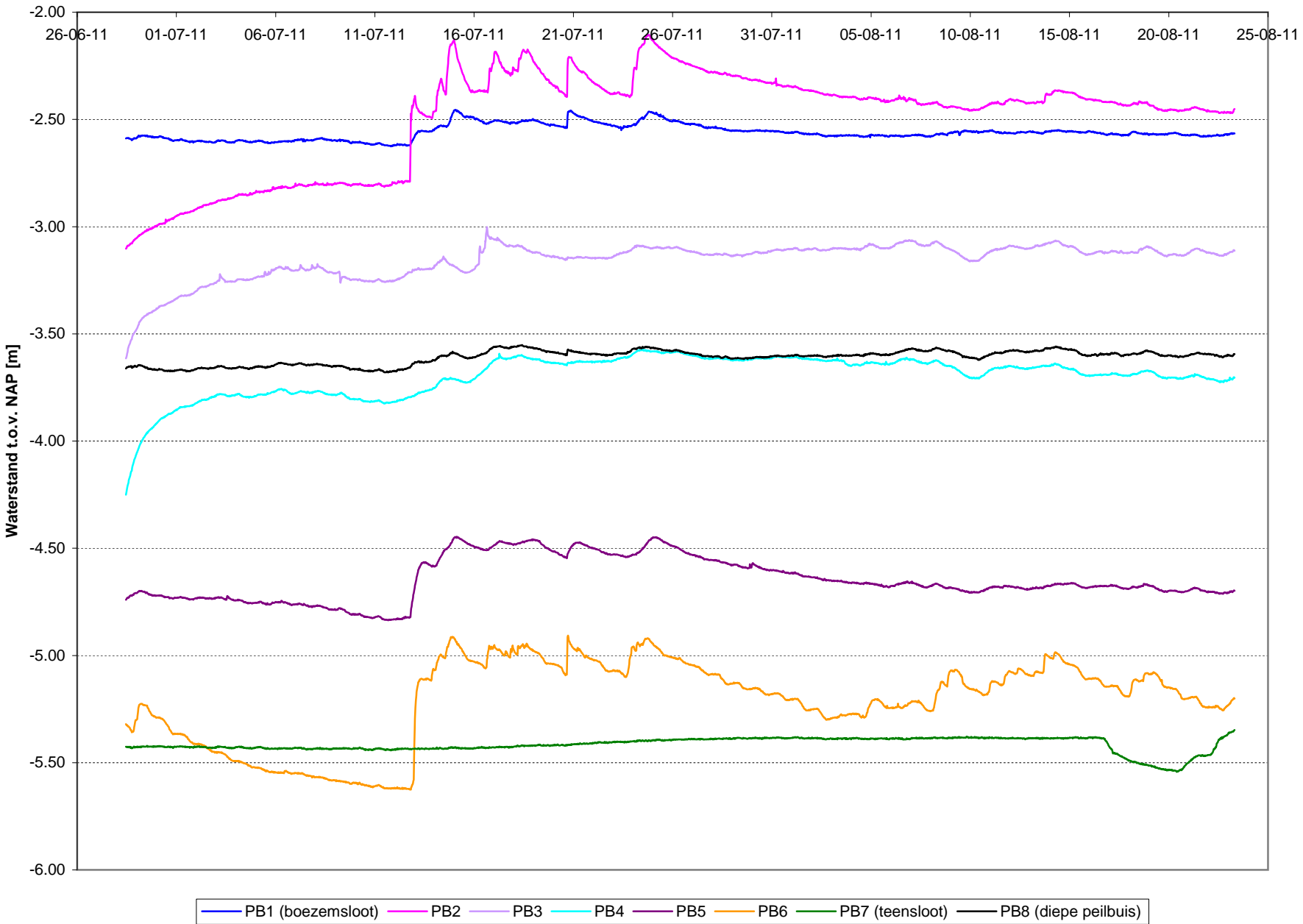
Bestandnaam: sit_ref_monitoring Afdeling: GEO-GTC Gewijzigd: 19-10-2011

Deltares PO Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands T +31 (0)88 335 7200 www.deltares.nl
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft, The Netherlands F +31 (0)15 261 0821 info@deltares.nl

**MONITORING DROOGTE ONDERZOEK
DE VEENDERIJ
SITUATIE MEETLOCATIE**

datum	get.
19-10-2011	Ros.
project	gez.
1203255.004	Ett.
bijlage	form.
A-1	A3

B Metingen grondwaterstand



Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
14-11-2011

get.
Ett

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

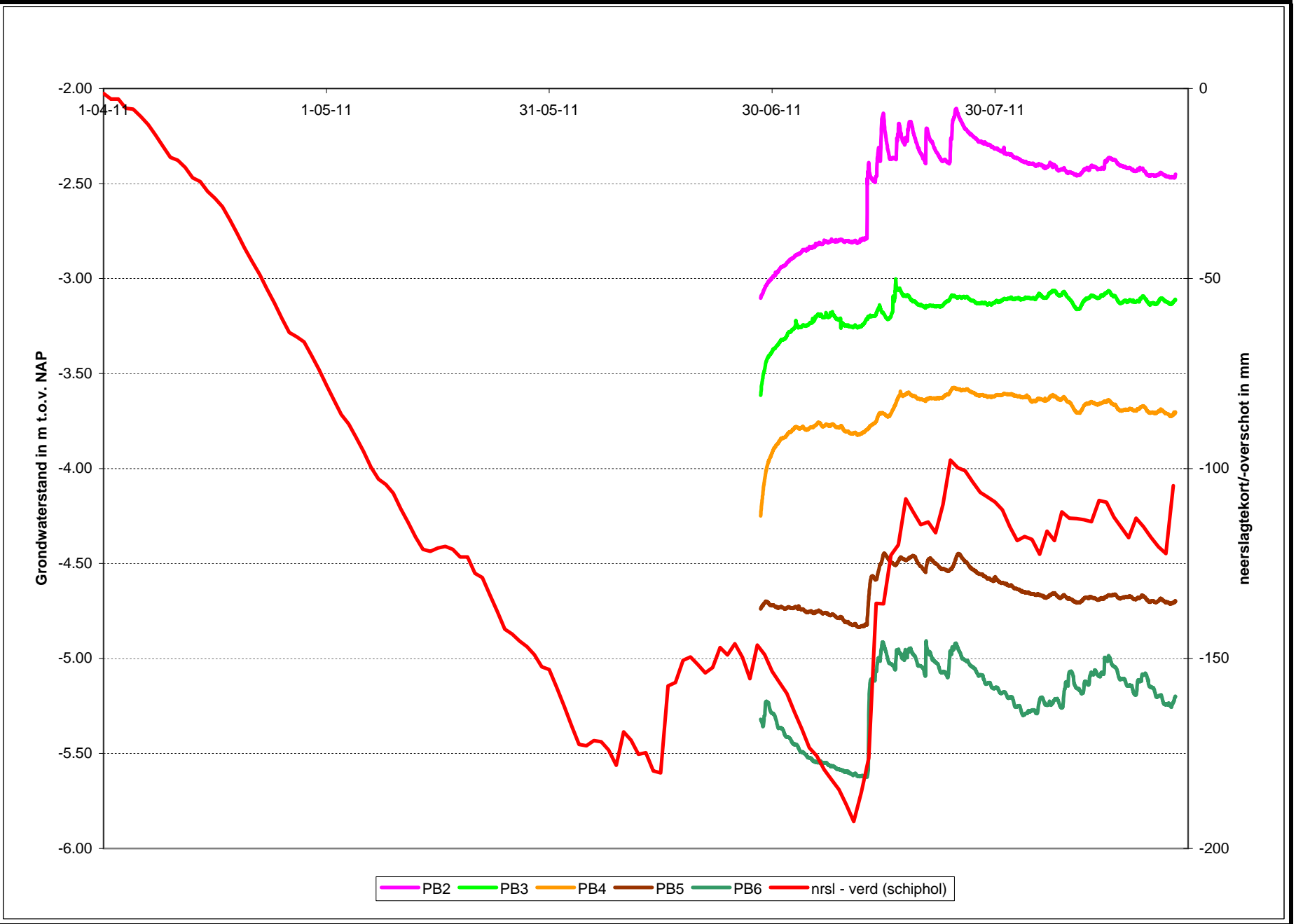
opdrachtnummer
1203255-004

gez.
*

Divermetingen, 1e periode

bijlage B-1

form.
A4



Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
14-11-2011

get.
Ett

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEENDERIJ

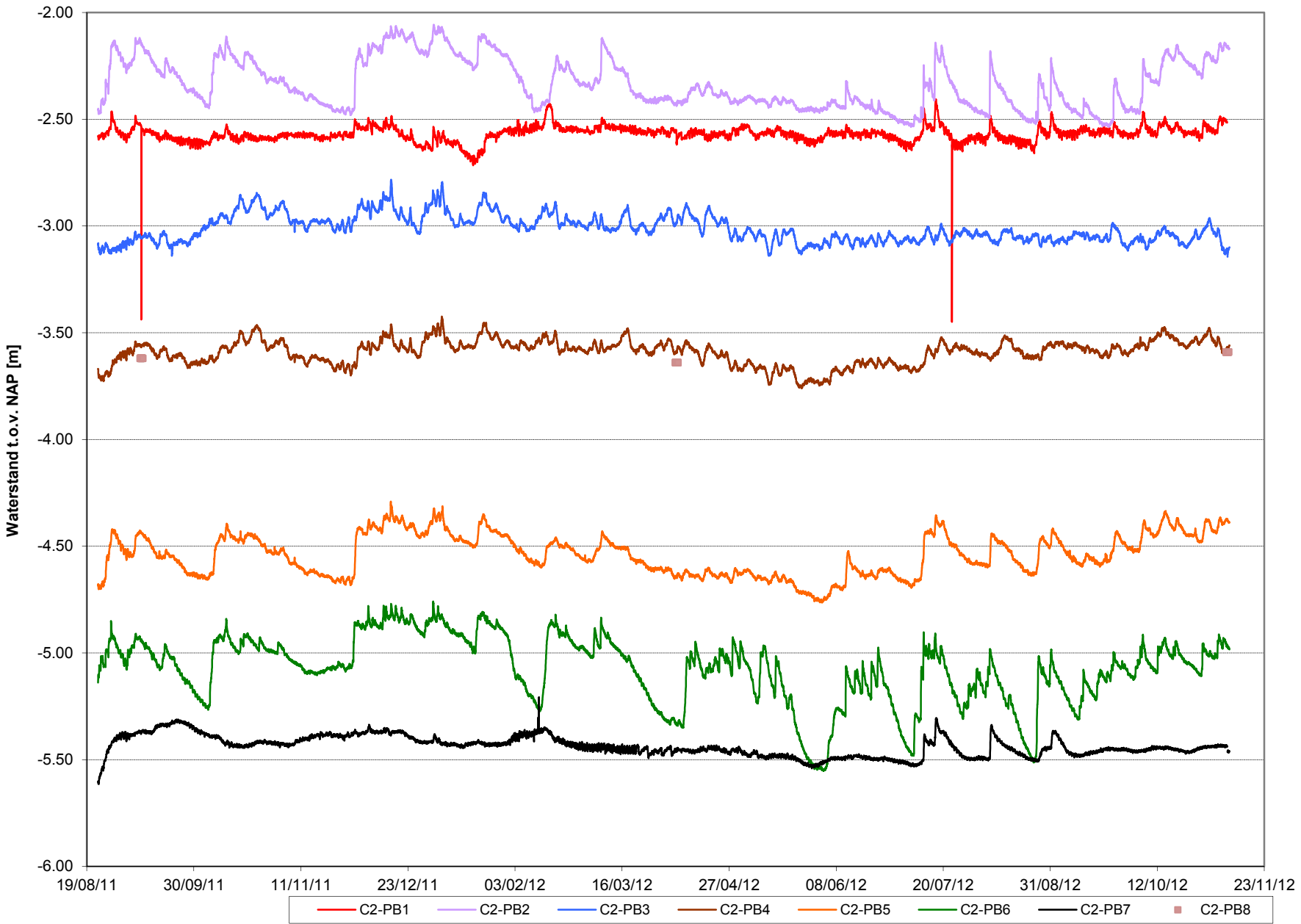
opdrachtnummer
1203255-004

gez.
*

Grondwaterstand en neerslagtekort of -overschot

bijlage **B-2**

form.
A4



Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

get.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

opdrachtnummer
1203255-004

gez.
*

Stijghoogte Peilbuizen

bijlage **B-3**

form.
A4

C Calibratierapporten Borehole-Piezometers

Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39550	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	25.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39550

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00018064	0.092721	859.18	-321.14	123.63	859.18
ft H ₂ O	-0.000060435	0.031021	287.45	-107.44	41.361	287.45
psi	-0.0000262	0.013448	124.61	-46.578	17.931	124.61
m H ₂ O	-0.000018421	0.0094552	87.614	-32.748	12.607	87.614
bar	-0.0000018064	0.00092721	8.5918	-3.2114	1.2363	8.5918
mm_H ₂ O	-0.018421	9.4552	87614	-32748	12607	87614

IF Factor = T

Barometric Pressure:	1002.0 mbar
Elevation above sealevel:	0 m
Thermistor Offset:	0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

Referenced to Standard Atmosphere

<u>kPa</u>	<u>Frequency</u>	<u>%FS Error</u>
0	2452.40	0.04
35	2408.00	0.01
70	2362.70	-0.04
105	2316.10	-0.02
140	2268.50	-0.02
175	2219.60	0.01
210	2169.70	-0.01
245	2118.30	0.01
280	2065.20	0.07
315	2011.00	0.03
350	1955.40	-0.06

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com

Certified: 



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39551	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	25.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39551

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00015484	-0.0038874	967.18	-275.27	-5.1832	967.18
ft H ₂ O	-0.000051804	-0.0013006	323.58	-92.096	-1.7341	323.58
psi	-0.000022458	-0.00056382	140.28	-39.925	-0.75176	140.28
m H ₂ O	-0.00001579	-0.00039642	98.628	-28.071	-0.52856	98.628
bar	-0.0000015484	-0.000038874	9.6718	-2.7527	-0.051832	9.6718
mm_H ₂ O	-0.01579	-0.39642	98628	-28071	-528.56	98628

IF Factor = T

Barometric Pressure:	1002.0 mbar
Elevation above sealevel:	0 m
Thermistor Offset:	0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

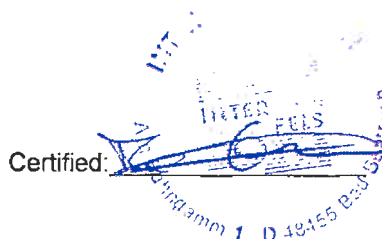
Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2486.50	0.05
35	2441.10	0.00
70	2394.70	-0.02
105	2347.30	-0.02
140	2298.90	-0.02
175	2249.40	-0.01
210	2198.70	0.03
245	2146.90	0.04
280	2093.90	0.04
315	2039.70	0.02
350	1984.20	-0.04

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39552	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	25.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39552

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00015647	0.06035	807.42	-278.17	80.467	807.42
ft H ₂ O	-0.000052349	0.020191	270.13	-93.065	26.921	270.13
psi	-0.000022694	0.008753	117.11	-40.345	11.671	117.11
m H ₂ O	-0.000015956	0.0061542	82.336	-28.366	8.2056	82.336
bar	-0.0000015647	0.0006035	8.0742	-2.7817	0.80467	8.0742
mm_H ₂ O	-0.015956	6.1542	82336	-28366	8205.6	82336

IF Factor = T

Barometric Pressure:	1002.0 mbar
Elevation above sealevel:	0 m
Thermistor Offset:	0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

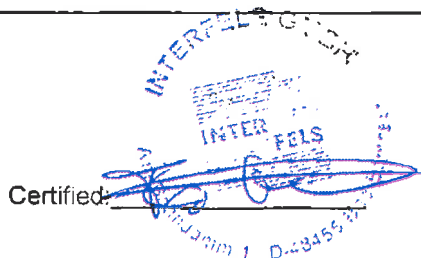
Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2472.60	0.01
35	2423.00	0.01
70	2372.40	-0.02
105	2320.50	-0.02
140	2267.20	-0.01
175	2212.60	-0.02
210	2156.40	-0.01
245	2098.40	0.02
280	2038.80	0.02
315	1977.20	0.02
350	1913.70	-0.03

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39553	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	25.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39553

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00017722	0.066168	922.33	-315.06	88.224	922.33
ft H ₂ O	-0.000059291	0.022137	308.58	-105.41	29.516	308.58
psi	-0.000025704	0.0095969	133.77	-45.696	12.796	133.77
m H ₂ O	-0.000018072	0.0067474	94.054	-32.128	8.9965	94.054
bar	-0.0000017722	0.00066168	9.2233	-3.1506	0.88224	9.2233
mm_H ₂ O	-0.018072	6.7474	94054	-32128	8996.5	94054

IF Factor = T

Barometric Pressure: 1002.0 mbar

Elevation above sealevel: 0 m Thermistor Offset: 0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

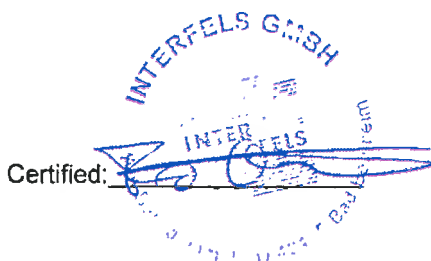
Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2475.50	0.03
35	2432.10	-0.01
70	2387.70	-0.01
105	2342.40	-0.02
140	2296.10	-0.02
175	2248.70	-0.01
210	2200.20	0.00
245	2150.40	0.03
280	2099.50	0.02
315	2047.20	0.02
350	1993.60	-0.03

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39554	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	25.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39554

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00016951	0.10225	794.45	-301.35	136.33	794.45
ft H ₂ O	-0.000056712	0.034209	265.79	-100.82	45.612	265.79
psi	-0.000024585	0.01483	115.23	-43.707	19.773	115.23
m H ₂ O	-0.000017286	0.010427	81.014	-30.731	13.903	81.014
bar	-0.0000016951	0.0010225	7.9445	-3.0135	1.3633	7.9445
mm_H ₂ O	-0.017286	10.427	81014	-30731	13903	81014

IF Factor = T

Barometric Pressure:	1002.0 mbar
Elevation above sealevel:	0 m
Thermistor Offset:	0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

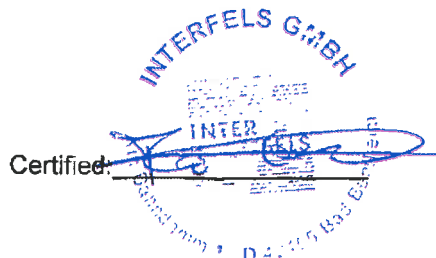
Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2487.20	0.04
35	2439.70	-0.01
70	2390.90	-0.02
105	2340.90	-0.02
140	2289.70	-0.04
175	2236.80	0.02
210	2182.70	0.02
245	2127.00	0.01
280	2069.40	0.04
315	2010.20	0.01
350	1948.90	-0.03

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39555	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	30.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39555

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00018871	0.098303	930.79	-335.48	131.07	930.79
ft H ₂ O	-0.000063135	0.032888	311.41	-112.24	43.851	311.41
psi	-0.00002737	0.014258	135	-48.658	19.011	135
m H ₂ O	-0.000019244	0.010024	94.917	-34.212	13.365	94.917
bar	-0.0000018871	0.00098303	9.3079	-3.3548	1.3107	9.3079
mm_H ₂ O	-0.019244	10.024	94917	-34212	13365	94917

IF Factor = T

Barometric Pressure:	1002.0 mbar
Elevation above sealevel:	0 m
Thermistor Offset:	0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

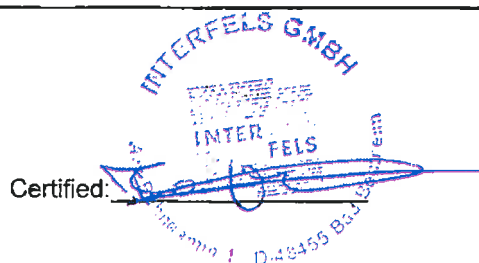
Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2496.40	0.04
35	2454.70	0.00
70	2412.20	-0.04
105	2368.60	-0.02
140	2324.10	-0.01
175	2278.50	0.02
210	2232.10	0.00
245	2184.40	0.02
280	2135.50	0.04
315	2085.50	0.01
350	2034.20	-0.03

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39556	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	30,0 m

Conversion Factors for Serial No. 39556

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00015352	0.020841	848.29	-272.92	27.788	848.29
ft H ₂ O	-0.000051362	0.0069726	283.81	-91.31	9.2968	283.81
psi	-0.000022266	0.0030227	123.03	-39.584	4.0303	123.03
m H ₂ O	-0.000015655	0.0021252	86.504	-27.831	2.8336	86.504
bar	-0.0000015352	0.00020841	8.4829	-2.7292	0.27788	8.4829
mm_H ₂ O	-0.015655	2.1252	86504	-27831	2833.6	86504

IF Factor = T

Barometric Pressure: 1002.0 mbar

Elevation above sealevel: 0 m

Thermistor Offset: 0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

Referenced to Standard Atmosphere

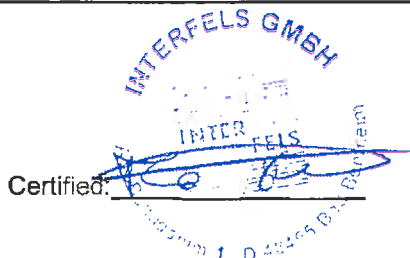
kPa	Frequency	%FS Error
0	2419.50	0.00
35	2370.40	0.03
70	2320.50	0.00
105	2269.50	-0.04
140	2217.00	-0.02
175	2163.30	-0.02
210	2107.90	0.03
245	2051.20	0.03
280	1992.90	0.03
315	1933.10	-0.03
350	1870.80	-0.01

Calibrated at= 22.0 °C

Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39557	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	30.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39557

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00018168	0.08243	890.91	-322.99	109.91	890.91
ft H ₂ O	-0.000060783	0.027578	298.06	-108.06	36.771	298.06
psi	-0.00002635	0.011955	129.22	-46.844	15.94	129.22
m H ₂ O	-0.000018527	0.0084058	90.85	-32.937	11.208	90.85
bar	-0.0000018168	0.0008243	8.9091	-3.2299	1.0991	8.9091
mm_H ₂ O	-0.016527	8.4058	90850	-32937	11208	90850

IF Factor = T

Barometric Pressure: 1002.0 mbar

Elevation above sealevel: 0 m Thermistor Offset: 0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

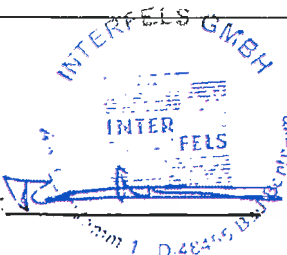
Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2452.80	0.02
35	2409.20	0.00
70	2364.70	-0.02
105	2319.20	-0.03
140	2272.50	0.00
175	2224.90	-0.01
210	2176.00	0.01
245	2125.90	0.02
280	2074.50	0.01
315	2021.70	0.00
350	1967.30	-0.02

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com



Certified:

Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39558	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	30.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39558

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00018316	0.022826	1073.8	-325.62	30.435	1073.8
ft H ₂ O	-0.000061278	0.0076367	359.25	-108.94	10.182	359.25
psi	-0.000026565	0.0033106	155.74	-47.227	4.4141	155.74
m H ₂ O	-0.000018678	0.0023277	109.5	-33.205	3.1036	109.5
bar	-0.0000018316	0.00022826	10.738	-3.2562	0.30435	10.738
mm_H ₂ O	-0.018678	2.3277	109500	-33205	3103.6	109500

IF Factor = T

Barometric Pressure: 1002.0 mbar

Elevation above sealevel: 0 m

Thermistor Offset: 0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

Referenced to Standard Atmosphere

<u>kPa</u>	<u>Frequency</u>	<u>%FS Error</u>
0	2484.20	0.05
35	2444.60	0.01
70	2404.20	-0.01
105	2363.00	0.00
140	2321.10	0.00
175	2278.30	0.02
210	2234.80	0.01
245	2190.20	0.05
280	2144.90	0.03
315	2098.60	0.01
350	2051.20	0.00

Calibrated at= 22.0 °C

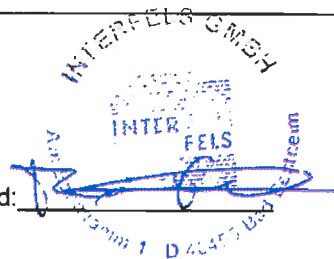
Thermistor Reading= 22.0 °C

Temp. Sensor: blue , blue/white

VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com

Certified:



Calibration Record



VW Borehole Piezometer

Customer	Deltares		
Serial No.	39559	Date	04.07.2011
Part No.	623.1003	Cal. By.	T. Hölscher
Range	0-350 kPa	Cable Length	30.0 m

Conversion Factors for Serial No. 39559

Units	Manual ABC Factors			IDA ABC Factors		
	A	B	C	A	B	C
kN/m ² (kPa)	-0.00019891	0.12111	980.45	-353.62	161.48	980.45
ft H ₂ O	-0.000066548	0.040519	328.02	-118.31	54.025	328.02
psi	-0.000028849	0.017566	142.2	-51.287	23.421	142.2
m H ₂ O	-0.000020284	0.01235	99.981	-36.06	16.467	99.981
bar	-0.0000019891	0.0012111	9.8045	-3.5362	1.6148	9.8045
mm_H ₂ O	-0.020284	12.35	99981	-36060	16467	99981

IF Factor = T

Barometric Pressure:	1002.0 mbar
Elevation above sealevel:	0 m
Thermistor Offset:	0.00 °C

Measuring Value [units] = A x F² + B x F + C, where F = Frequency

Test Data

Referenced to Standard Atmosphere

kPa	Frequency	%FS Error
0	2545.30	0.02
35	2505.70	0.01
70	2465.40	0.01
105	2424.40	-0.02
140	2382.40	0.00
175	2339.60	0.01
210	2295.90	0.01
245	2251.10	0.03
280	2205.40	0.03
315	2158.70	-0.01
350	2110.60	0.00

Calibrated at= 22.0 °C Thermistor Reading= 22.0 °C

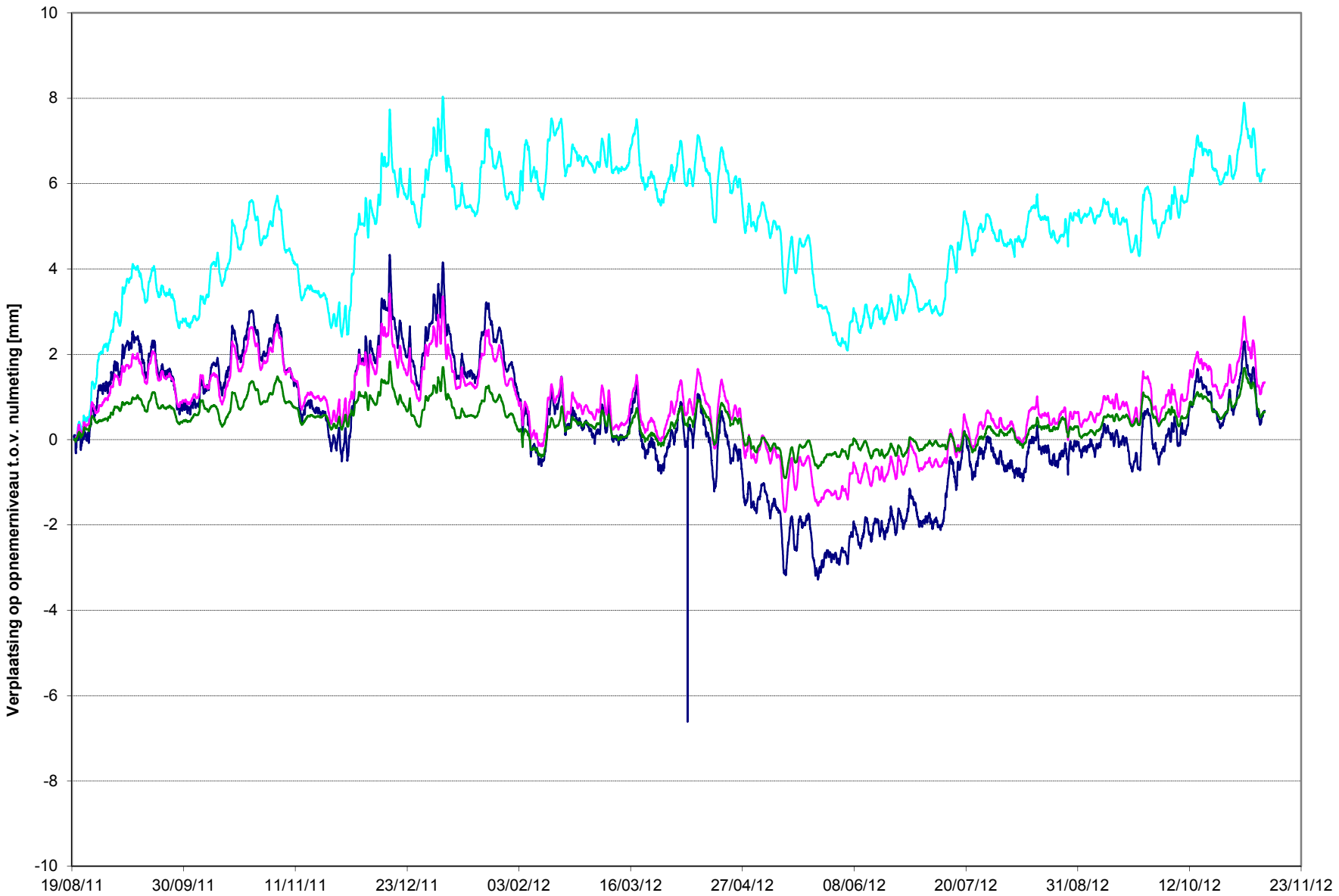
Temp. Sensor: blue , blue/white
 VW Sensor: orange , orange/white

Interfels GmbH
 Am Bahndamm 1
 48455 Bad Bentheim
 +49(0)5922 99 417-0
 www.interfels.com

Certified:



D Verticale deformatiemetingen



— C2-EX-4 maaiveld — C2-EX-1 (ondiep) — C2-EX-2 — C2-EX-3 (diep)

Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

get.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

opdrachtnummer
1203255-004

gez.

Extensometer (verticale deformatie)

bijlage **D-1**

form.
A4



48 Spencer St. Lebanon, N.H. 03766 USA

Vibrating Wire Displacement Transducer Calibration Report

Range: 50 mm

Calibration Date: December 3, 2010

Serial Number: 1109550

44990

Temperature: 24.2 °C

Calibration Instruction: CI-4400

Technician: *H. Rojas*

GK-401 Reading Position B

Actual Displacement (mm)	Gage Reading 1st Cycle	Gage Reading 2nd Cycle	Average Gage Reading	Calculated Displacement (Linear)	Error Linear (%FS)	Calculated Displacement (Polynomial)	Error Polynomial (%FS)
0.0	3063	3058	3061	-0.10	-0.20	-0.01	-0.03
10.0	3880	3884	3882	10.05	0.10	10.03	0.07
20.0	4691	4690	4691	20.05	0.09	19.98	-0.05
30.0	5502	5502	5502	30.08	0.15	30.01	0.01
40.0	6309	6302	6306	40.01	0.01	39.99	-0.02
50.0	7107	7108	7108	49.92	-0.16	50.01	0.01

(mm) Linear Gage Factor (G): 0.01236 (mm/ digit) Regression Zero: 3069

Polynomial Gage Factors: A: 3.9638E-08 B: 0.01196 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

(inches) Linear Gage Factor (G): 0.0004866 (inches/ digit)

Polynomial Gage Factors: A: 1.5605E-09 B: 0.0004707 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

Calculated Displacement: Linear, $D = G(R_1 - R_0)$

Polynomial, $D = AR_1^2 + BR_1 + C$

Refer to manual for temperature correction information.

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.

The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

This report shall not be reproduced except in full without written permission of Geokon Inc.



48 Spencer St. Lebanon, N.H. 03766 USA

Vibrating Wire Displacement Transducer Calibration Report

Range: 50 mm

Calibration Date: December 3, 2010

Serial Number: 1109551 *44999*

Temperature: 24.2 °C

Calibration Instruction: CI-4400

Technician: *K. Lopez*

GK-401 Reading Position B

Actual Displacement (mm)	Gage Reading 1st Cycle	Gage Reading 2nd Cycle	Average Gage Reading	Calculated Displacement (Linear)	Error Linear (%FS)	Calculated Displacement (Polynomial)	Error Polynomial (%FS)
0.0	3033	3031	3032	-0.10	-0.19	-0.01	-0.02
10.0	3851	3850	3851	10.04	0.07	10.02	0.04
20.0	4663	4658	4661	20.06	0.12	19.99	-0.01
30.0	5471	5471	5471	30.09	0.18	30.03	0.05
40.0	6266	6272	6269	39.97	-0.06	39.95	-0.10
50.0	7074	7075	7075	49.94	-0.12	50.02	0.04

(mm) Linear Gage Factor (G): 0.01238 (mm/ digit) Regression Zero: 3040

Polynomial Gage Factors: A: 3.8224E-08 B: 0.01199 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

(inches) Linear Gage Factor (G): 0.0004873 (inches/ digit)

Polynomial Gage Factors: A: 1.5049E-09 B: 0.0004721 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

Calculated Displacement: Linear, $D = G(R_1 - R_0)$

Polynomial, $D = AR_1^2 + BR_1 + C$

Refer to manual for temperature correction information.

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.

The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

This report shall not be reproduced except in full without written permission of Geokon Inc.



48 Spencer St. Lebanon, N.H. 03766 USA

Vibrating Wire Displacement Transducer Calibration Report

Range: 50 mm

Calibration Date: December 3, 2010

Serial Number: 1109552

45000

Temperature: 24.2 °C

Calibration Instruction: CI-4400

Technician: *[Signature]*

GK-401 Reading Position B

Actual Displacement (mm)	Gage Reading 1st Cycle	Gage Reading 2nd Cycle	Average Gage Reading	Calculated Displacement (Linear)	Error Linear (%FS)	Calculated Displacement (Polynomial)	Error Polynomial (%FS)
0.0	3015	3017	3016	-0.04	-0.08	-0.01	-0.01
10.0	3838	3835	3837	10.05	0.09	10.04	0.08
20.0	4642	4645	4644	19.97	-0.07	19.94	-0.12
30.0	5462	5463	5463	30.03	0.07	30.01	0.02
40.0	6279	6274	6277	40.04	0.08	40.04	0.07
50.0	7083	7082	7083	49.95	-0.10	49.98	-0.04

(mm) Linear Gage Factor (G): 0.01229 (mm/ digit) Regression Zero: 3019

Polynomial Gage Factors: A: 1.4775E-08 B: 0.01214 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

(inches) Linear Gage Factor (G): 0.0004840 (inches/ digit)

Polynomial Gage Factors: A: 5.8167E-10 B: 0.0004781 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

Calculated Displacement: Linear, $D = G(R_1 - R_0)$

Polynomial, $D = AR_1^2 + BR_1 + C$

Refer to manual for temperature correction information.

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.

The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

This report shall not be reproduced except in full without written permission of Geokon Inc.



48 Spencer St. Lebanon, N.H. 03766 USA

Vibrating Wire Displacement Transducer Calibration Report

Range: 50 mm

Calibration Date: December 3, 2010

Serial Number: 1109553

45001

Temperature: 24.2 °C

Calibration Instruction: CI-4400

Technician: *[Signature]*

GK-401 Reading Position B

Actual Displacement (mm)	Gage Reading 1st Cycle	Gage Reading 2nd Cycle	Average Gage Reading	Calculated Displacement (Linear)	Error Linear (%FS)	Calculated Displacement (Polynomial)	Error Polynomial (%FS)
0.0	3087	3088	3088	-0.10	-0.19	-0.01	-0.03
10.0	3908	3909	3909	10.04	0.08	10.02	0.05
20.0	4722	4720	4721	20.07	0.14	20.01	0.01
30.0	5530	5528	5529	30.05	0.09	29.98	-0.04
40.0	6336	6336	6336	40.01	0.02	39.99	-0.01
50.0	7139	7140	7140	49.93	-0.14	50.01	0.02

(mm) Linear Gage Factor (G): 0.01235 (mm/ digit) Regression Zero: 3095

Polynomial Gage Factors: A: 3.6798E-08 B: 0.01197 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

(inches) Linear Gage Factor (G): 0.0004860 (inches/ digit)

Polynomial Gage Factors: A: 1.4488E-09 B: 0.0004712 C: _____

Calculate C by setting D = 0 and R₁ = initial field zero reading into the polynomial equation

Calculated Displacement: Linear, $D = G(R_1 - R_0)$

Polynomial, $D = AR_1^2 + BR_1 + C$

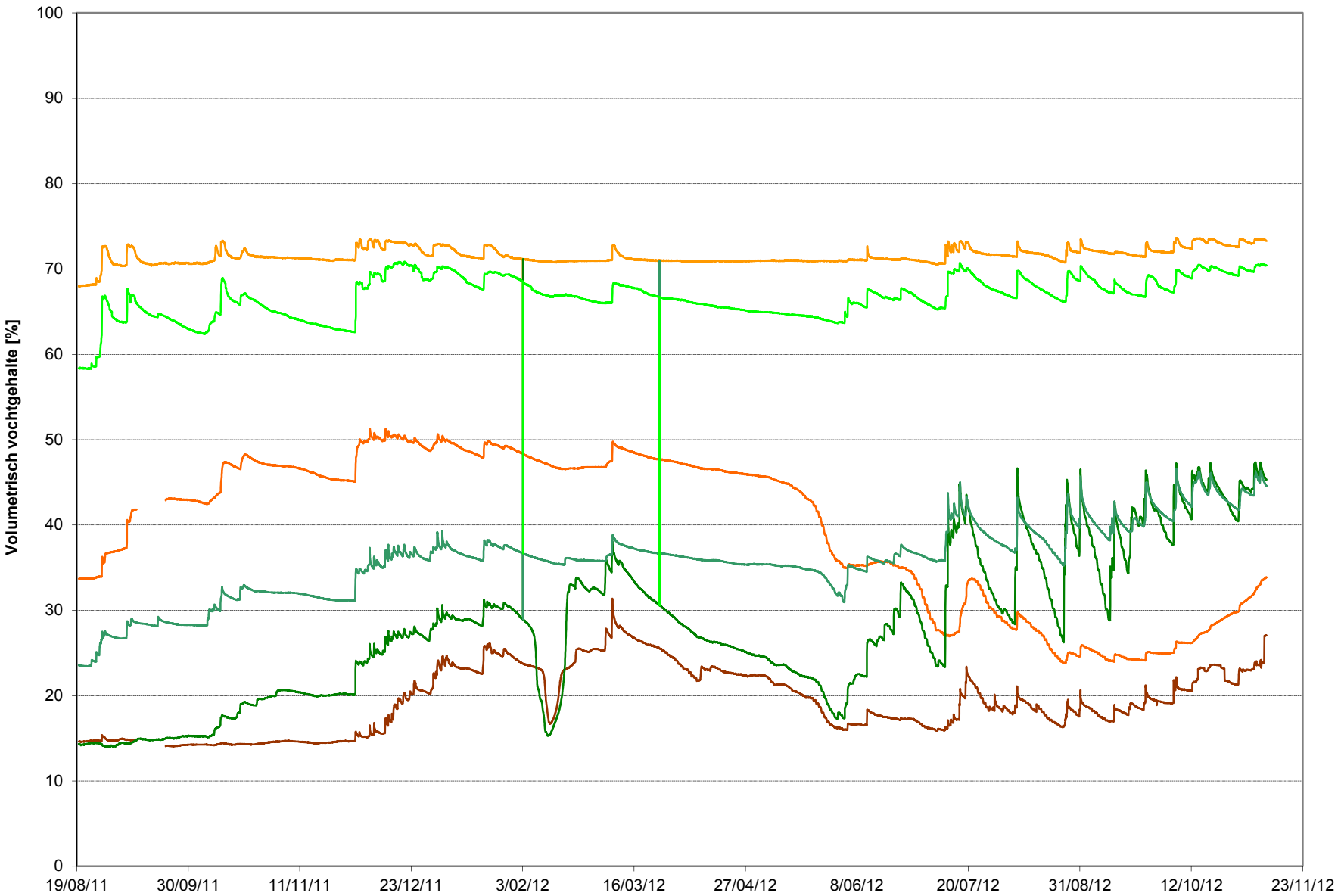
Refer to manual for temperature correction information.

The above instrument was found to be in tolerance in all operating ranges.

The above named instrument has been calibrated by comparison with standards traceable to the NIST, in compliance with ANSI Z540-1.

This report shall not be reproduced except in full without written permission of Geokon Inc.

E Vocht- en temperatuurmetingen bodem



— C2-V2-1 — C2-V2-2 — C2-V2-3 — C2-V3-1 — C2-V3-2 — C2-V3-3

Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

get.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

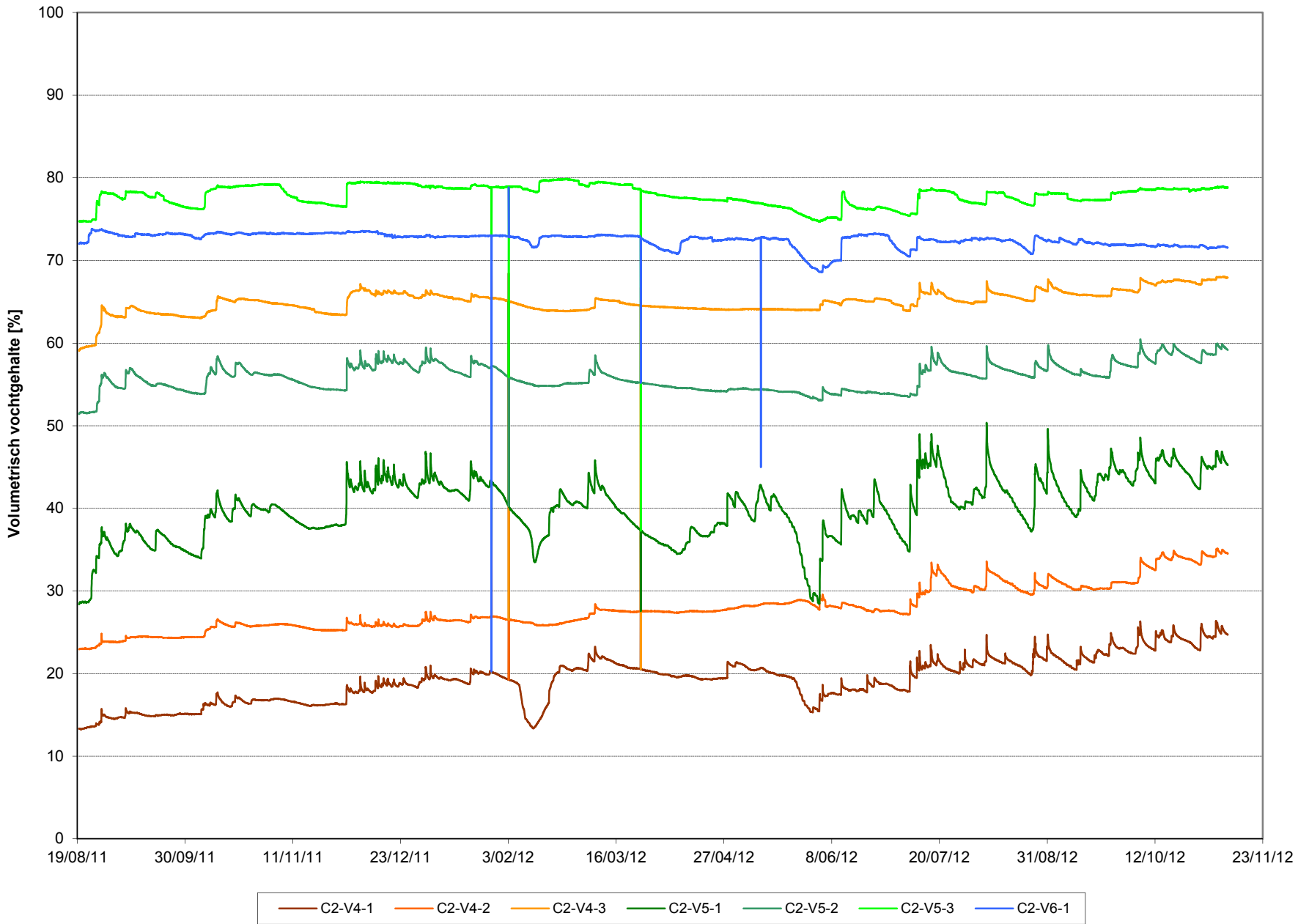
opdrachtnummer
1203255-004

gez.
*

Bodemvocht V2 en V3

bijlage E-1

form.
A4



Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

gez.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEENDERIJ

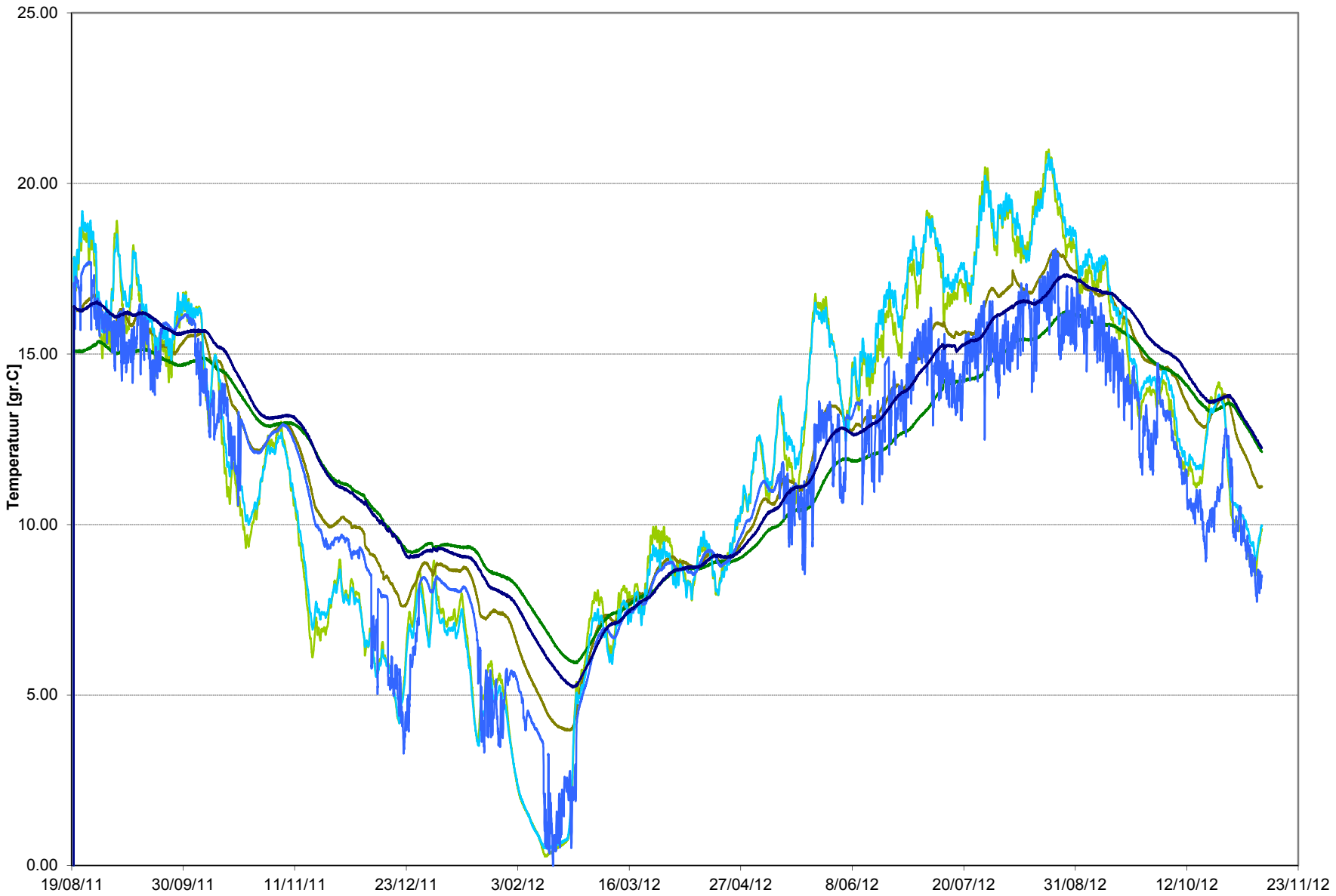
opdrachtnummer
1203255-004

form.
*

Bodemvocht V4, V5 en V6

bijlage **E-2**

A4



— C2-T3-1
 — C2-T3-2
 — C2-T3-3
 — C2-T5-1
 — C2-T5-2
 — C2-T5-3

Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

get.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

opdrachtnummer
1203255-004

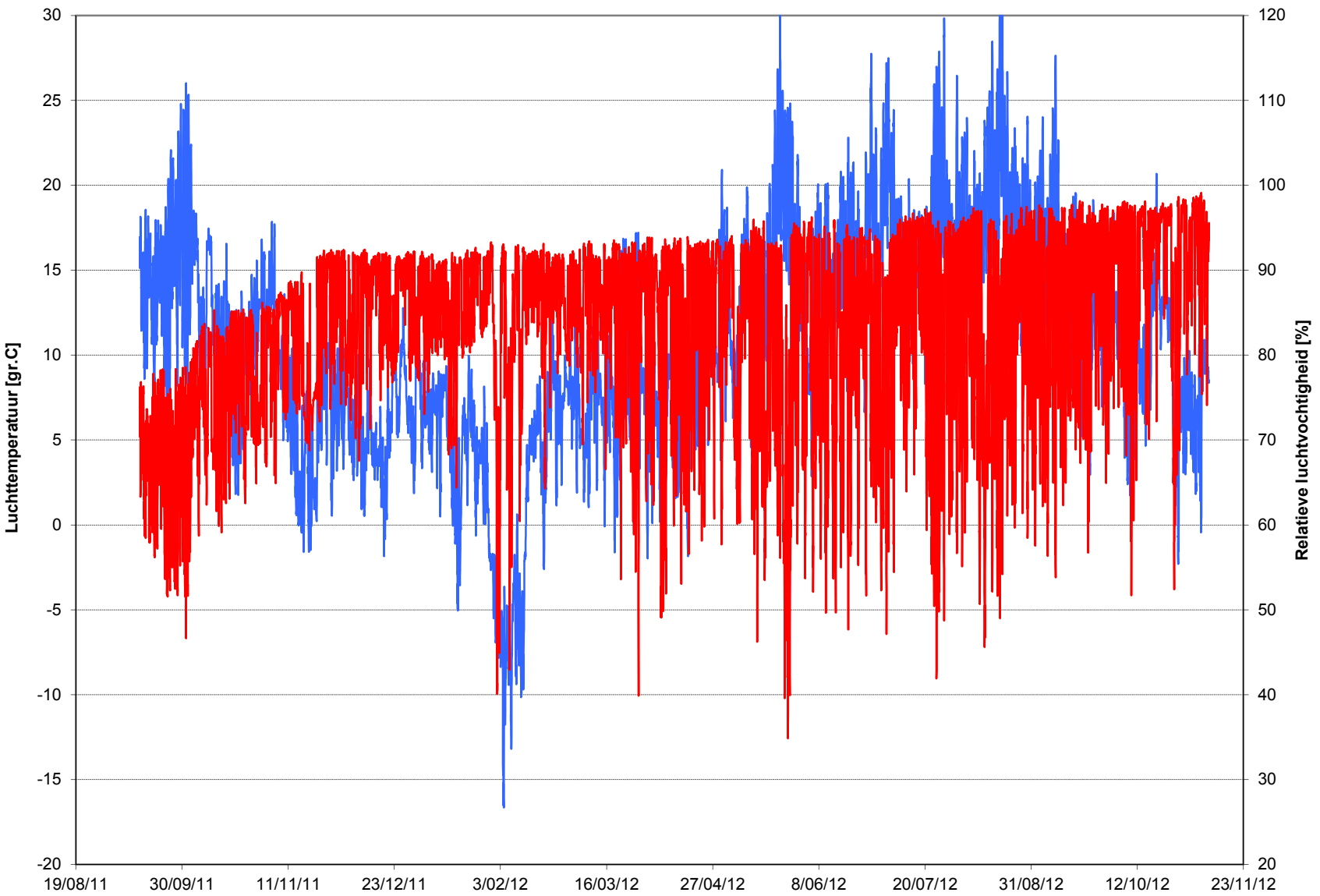
gez.

Bodemtemperatuur

bijlage **E-3**

form.
A4

F Meteo-gegevens



Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

get.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

opdrachtnummer
1203255-004

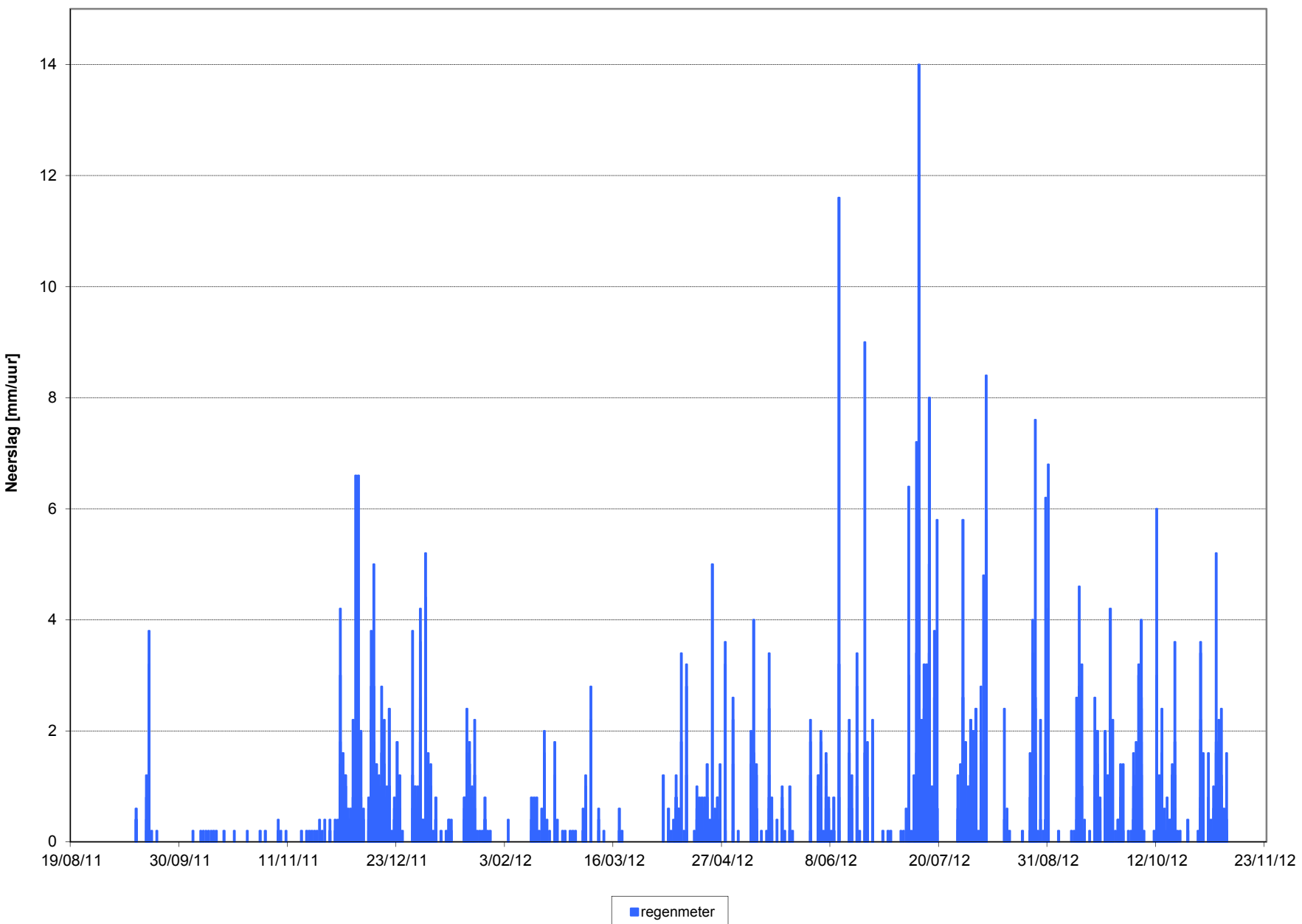
gez.

Luchtvochtigheid en luchttemperatuur op meetlocatie

bijlage **F-1**

form.
A4

— luchttemperatuur — luchtvochtigheid



Deltares

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

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

www.deltares.nl
info@deltares.nl

datum
12-11-2012

get.
Waar

Monitoring droogteonderzoek veenkaden

DE VEEENDERIJ

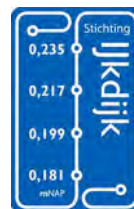
opdrachtnummer
1203255-004

gez.

Neerslag op locatie (regenmeter)

bijlage **F-2**

form.
A4



E Factual report Alert Solutions

RAPPORTAGE 'DE VEENDERIJ'



Droogteonderzoek Veenkaden

Betreft: inzet GeoBeads® monitoring systeem

Proeven uitgevoerd tussen 21 september 2011 en 1 oktober 2012

Locatie: Ouderkerk aan de Amstel

Rapportage opgesteld door:

Alert Solutions BV

Drs. Erik T. Peters

Drs. Pepijn P. van der Vliet

Contactgegevens:

Alert Solutions BV, Molengraaffsingel 12-14, 2629 JD Delft

E. e.peters@alertsolutions.nl / p.vliet@alertsolutions.nl

M. E. Peters 06 – 2883 9709/ P. van der Vliet 06 – 4274 4875

RAPPORTAGE DE VEENDERIJ

INTRODUCTIE:

Onderzoek beschrijving

Droogte problematiek veenkaden

Door langdurige droogte met name voor veenkaden neemt het gewicht en het volume van het veenpakket af, hetgeen van grote invloed is op de stabiliteit van de kade. Wanneer het vochtgehalte in veen beneden een bepaalde waarde daalt, wordt veen waterafstotend. Hierdoor wordt regen- en eventueel kwelwater niet of slechts zeer langzaam door het veen opgenomen. Het effect van langdurige droogte op een kade moet daarom als nieuwe belastingssituatie bij het toetsen van een kade worden meegenomen.

Proefopzet De Veenderij

In De Veenderij is een veenkade geselecteerd met voornoemde problematiek. Aan marktpartijen is de gelegenheid gegeven monitoringsystemen te installeren om gericht (de mate van) het optreden van droogte problematiek te kunnen constateren.

Dit verslag is de rapportage van Alert Solutions inzake de inzet van haar GeoBeads[®] meetsysteem.

Deel A – Factual Report

Alert Solutions BV

Alert Solutions BV ontwikkelt en levert sensor netwerken voor continue monitoring van infrastructurele werken. Onder de naam GeoBeads[®] zijn intussen meer dan 50 projecten ingericht met online monitoring systemen. Systemen waarmee de klant op elk moment van de dag inzicht heeft in de toestand van het gemonitorde object. Alert Solutions is reeds sinds de start betrokken bij de experimenten van de Stichting IJkdijk en levert tevens de meetnetten voor meerdere LiveDijken. Alert Solutions heeft ook actief aan de AIO-SVT proeven deelgenomen.

Opzet Alert Solutions meetsysteem De Veenderij

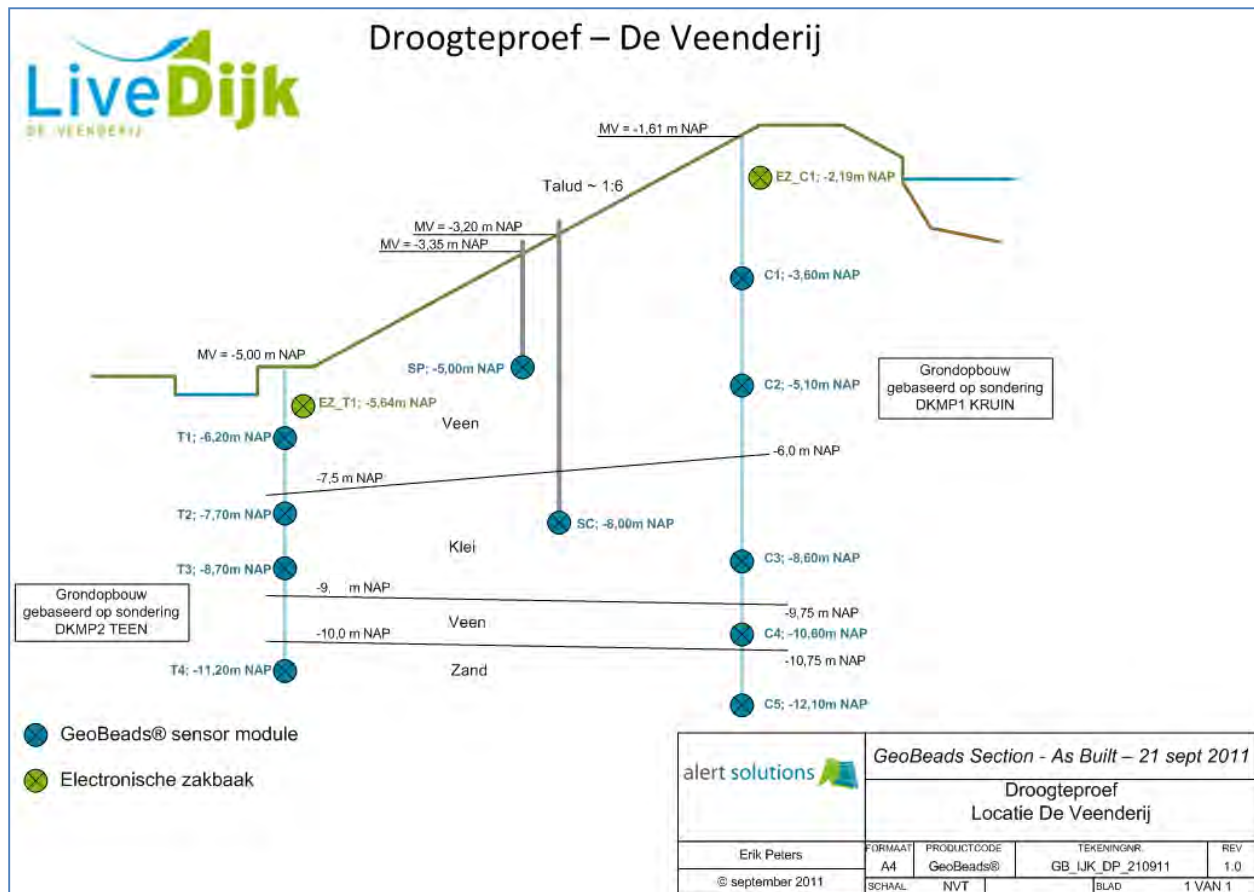
Techniek

Alert Solutions BV heeft in de Veenderij in één dwarsraai meerdere GeoBeads[®] multi-sensor modules aangebracht. Deze modules meten gelijktijdig de waterdruk, de temperatuur van de direct omgeving en de inclinatie (zijnde de hoek van de sensormodule ten opzichte van het verticale zwaartekrachtveld). Deze laatste parameter is een indicatie voor het optreden van beweging in de grondlaag waarin de sensor is geplaatst. Tevens zijn twee elektronische zakkakens aangebracht (experimentele systemen van de BAM) welke de zetting in de bovenste veenlaag registreren.

Doel en meetstrategie

De meetopzet - die nadrukkelijk de veenlaag instrumenteert en als referentie ook de klei- en diepere zandlaag – is gekozen om de invloed van uitdroging op deze dijk te analyseren. De installatie locaties zijn afgestemd op het beschikbare grondonderzoek en gesitueerd in de verschillende grondlagen. Zie Figuur 1 voor de dwarsdoorsnede van de locatie van de sensoren.

Figuur 1: dwarsdoorsnede locatie van GeoBeads® modules



Met de door ons gekozen opzet van het meetsysteem streven we het doel na om mogelijke uitdroging van het veenpakket op te sporen. Daarvoor worden specifiek de volgende metingen beschouwd.

- Door uitdroging krimpt mogelijk het ondiepe veenpakket in. Dit wordt gevolgd met de elektronische zakbakens in kruin en teen en met de inclino sensoren in de multi-sensor modules;
- Door uitdroging zal de waterdruk in het veenpakket mogelijk afnemen (daling van de freatische lijn). Dit wordt gevolgd met de waterspanningsmeters;
- Mogelijk dat door sterke uitdroging een temperatuurprofiel ontstaat, welke wezenlijk afwijkt van het gebruikelijke temperatuur seizoenspatroon dat in veel dijken kan worden waargenomen.

Installatie GeoBeads® monitoringsysteem

Hieronder volgt aan de hand van enkele foto's de wijze van installatie van het sensor netwerk.

Figuur 2: foto's van installatie GeoBeads® keten



De keten met GeoBeads® sensoren op rol voorafgaand aan plaatsing. Een keten bevat meerdere sensor modules. De ruimte tussen de sensormodules is opgevuld met bentoniet kleischalen welke 300% uitzetten na contact met water. Daarmee wordt het sondeergat volledig afgedicht.



Installatie van de GeoBeads® ketens met een licht gewicht mini sondeerrups.

Figuur 3: foto's van de GeoBeads® sensoren in het talud (opgelengd met gasbuis) en de elektronische zakbaken



Halverwege het talud zijn 2 enkelvoudige GeoBeads® waterspanningsmeters geplaatst, beide opgelengd met gasbuis. Eén is geplaatst in de veenlaag, de ander in de kleilaag. Op de foto zijn de twee gasbuizen boven maaiveld zichtbaar. De waterspanningsmeters zijn met de hand geplaatst. Na voorboren is de laatste meter grondverdringend weggedrukt.



Op de kruin en bij de teen van de dijk zijn experimentele elektronische zakbakens van de BAM geplaatst. Hiervoor is een gasbuis tot in de pleistocene zandlaag aangebracht. Vervolgens is om deze gasbuis een kunststof koker geplaatst met metalen 'expander' voor verankering in de veen toplaag. De verankering zit 55 en 60 cm onder maaiveld in de veenlaag. De beweging van de koker ten opzichte van bovenkant gasbuis wordt met een afstandsmeter elektronisch geregistreerd.

Figuur 4: Installatieposities GeoBeads® sensormodules

GeoBeads keten in Kruin ("Crest")

Keten GB-C

	X	Y		Z sensor	Grond beschrijving
				<i>in m NAP</i>	
Maaiveld				-1,61	
Sensoren					
GB_C1	123005,41	480172,43		-3,60	VEEN, organisch materiaal
GB_C2	123005,41	480172,43		-5,10	VEEN, organisch materiaal
GB_C3	123005,41	480172,43		-8,60	KLEI, zwak siltig tot siltig
GB_C4	123005,41	480172,43		-10,60	VEEN
GB_C5	123005,41	480172,43		-12,10	ZAND, zwak siltig tot siltig

GeoBeads keten in Teen ("Toe")

Keten GB-T

	X	Y		Z sensor	Grond beschrijving
				<i>in m NAP</i>	
Maaiveld				-5,00	
Sensoren					
GB_T1	123020,38	480184,03		-6,20	VEEN, organisch materiaal
GB_T2	123020,38	480184,03		-7,70	KLEI, zwak siltig tot siltig
GB_T3	123020,38	480184,03		-8,70	VEEN, organisch materiaal
GB_T4	123020,38	480184,03		-11,20	ZAND tot ZAND, grindig

WSMs in Talud ("Slope") / geplaatst in Clay ("SC") en Peat ("SP")

GB-SP en GB-SC

	X	Y	Z maaiveld	Z sensor	Grond beschrijving
Sensoren			<i>in m NAP</i>	<i>in m NAP</i>	
GB_SP	123011,34	480178,38	-3,35	-5,00	VEEN
GB_SC	123010,54	480177,81	-3,20	-8,00	KLEI

Elektronische zakbakens

EZ-C1 en EZ-T1

	X	Y	Z maaiveld	Z bakens	Grond beschrijving
Sensoren			<i>in m NAP</i>	<i>in m NAP</i>	
EZ-C1	123004,52	480173,56	-1,64	-2,19	VEEN
EZ-T1	123019,56	480184,12	-5,04	-5,64	VEEN

De bekabeling van de GeoBeads® sensoren is naar de teen van de dijk geleid en daar op een Alert Solutions veldkast aangesloten. De veldinfra is van een accu voorzien voor voeding van het systeem. Tevens is de veldkast voorzien van een modem waarmee de meetdata dagelijks is verzonden naar de servers van Alert Solutions. De data is tevens direct aan TNO Anysense geleverd.

Figuur 5: foto veldkast en totale meetraai



De totale installatie van de GeoBeads sensor modules en elektronsiche zakbakens is binnen één dag uitgevoerd. Direct na plaatsing van de veldkast op 21 september 2011 is het systeem online gegaan, met een meet- en verzendfrequentie van 1 meting per sensor per uur.

Karakteristieken van de sensoren per GeoBeads® sensor module

Parameter	Druk	Temperatuur	Inclinatie
Meeteenheid	kPa, datadoorgite in mbar	Graden Celsius	Graden
Meetbereik	0 – 250 kPa	-6 – 100	-180 – 180
Resolutie	0,004% full-scale (0,01 kPa)	0,1 graad Celsius	0,01 graad
Meetnauwkeurigheid	0,02% full-scale (0,05 kPa)	0,5 graad Celsius	0,05 graad t.o.v. startpositie
Calibratie	Direct voor installatie op basis van luchtdruk t.o.v. KNMI metingen	In ijkbad t.o.v. genormeerde temperatuur sensor	Betreft alleen meting van de delta t.o.v. start. Niet gecalibreerd op absolute positie.

Karakteristieken van de elektronische zakkakens

Parameter	Zetting
Meeteenheid	mm
Meetbereik	-800 tot 800 mm
Resolutie	+/- 1 mm
Meetnauwkeurigheid	+/- 5 mm
Calibratie	Direct voor installatie is door Alert Solutions de lineariteit van de meetinstrumenten geanalyseerd.

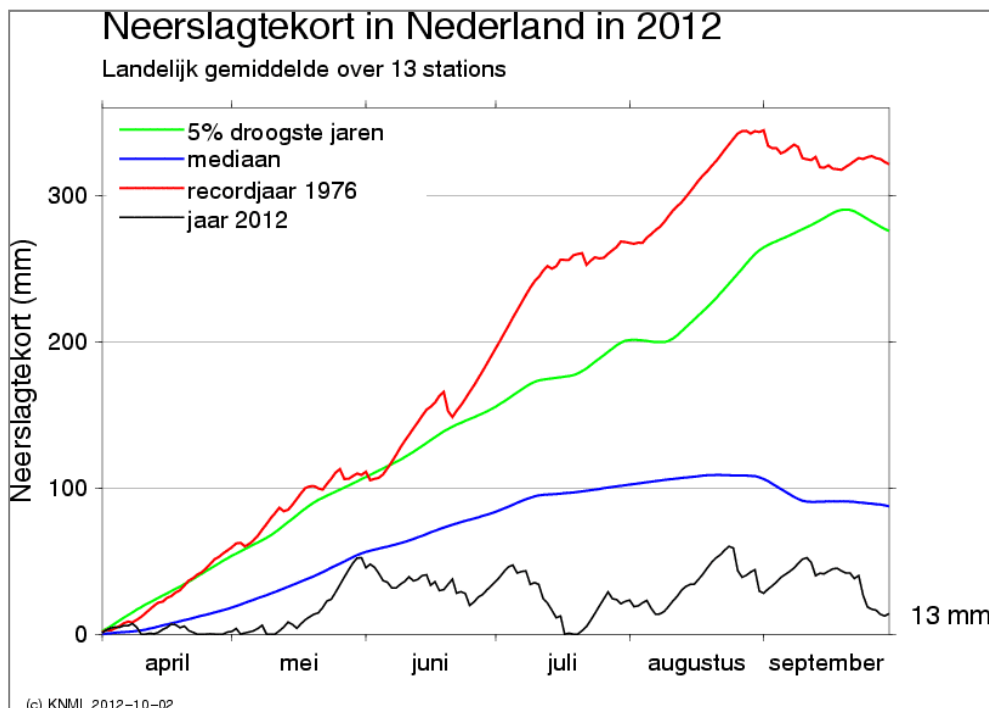
Beschrijving resultaten en gebeurtenissen

Hieronder volgt een beschrijving van de meetresultaten. Daarbij wordt gestart met een beschrijving van de externe omstandigheden gedurende de droogtegevoelige periode. Daarna volgen de metingen van het monitoringsysteem.

Weersomstandigheden

Het KNMI stelt informatie ter beschikking over de mate van droogte in Nederland. Hieronder in figuur 6 de droogte situatie in de periode april – september 2012. Uit deze grafiek kan worden opgemaakt dat genoemde periode zich niet kenmerkt door het optreden van grote of langdurige droogte. Niet in absolute zin en niet in vergelijking tot andere jaren.

Figuur 6: Neerslagtekort in Nederland 2012 (bron KNMI)

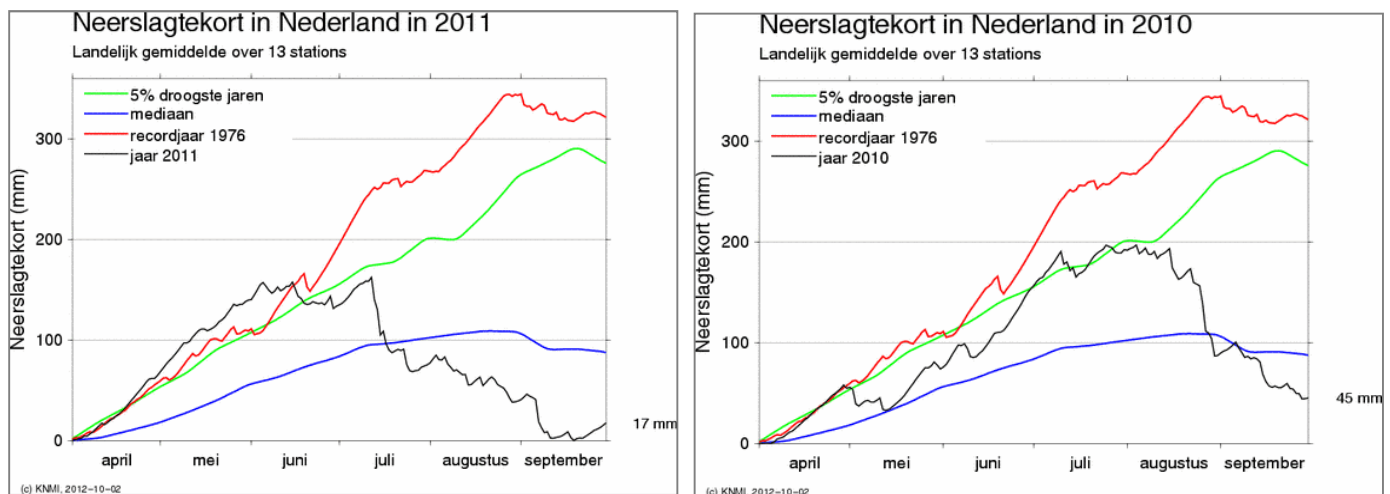


Toelichting van het KNMI op de grafiek

In bovenstaande grafiek toont de zwarte lijn het verloop in de tijd van het neerslagtekort (mm), gemiddeld over 13 stations verspreid over Nederland (de berekende verdamping minus de hoeveelheid neerslag). De hoeveelheden zijn afgerond in hele millimeters. Een stijgende lijn laat een toename in de droogte zien. Bij een dalende lijn is de hoeveelheid neerslag groter dan de verdamping en neemt de droogte gemiddeld over Nederland af.

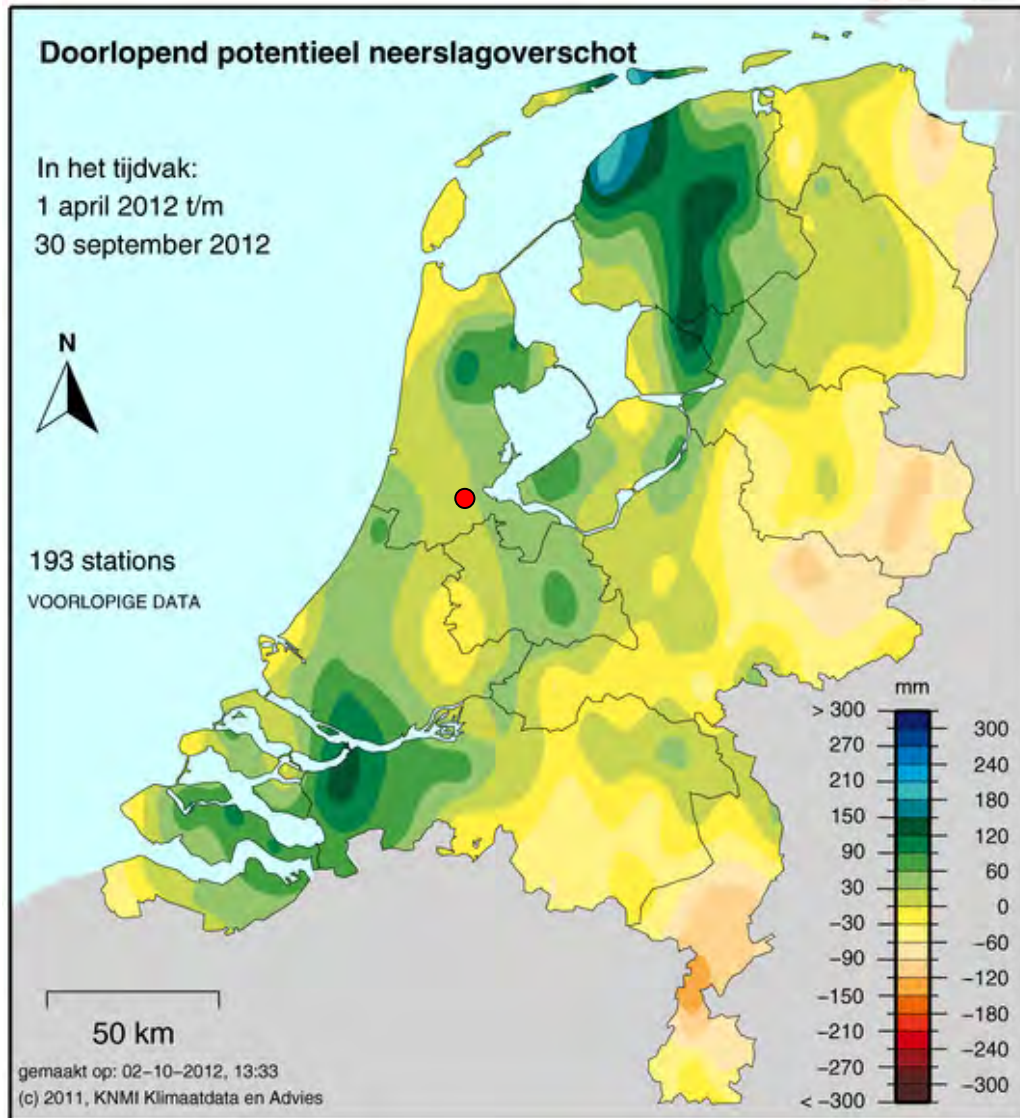
In 2012 blijft het neerslagtekort de gehele periode onder de mediaan liggen (op de eerste dagen april na). De mediaan geeft het neerslagtekort aan dat in meer dan 50% van de jaren wordt overschreden. Het jaar kan dan ook niet als een bijzonder droog jaar worden getypeerd. Ter vergelijking worden hieronder ook de jaren 2011 en 2010 getoond (figuur 7). In die beide jaren is wel sprake van een neerslagtekort dat ruim boven de mediaan ligt en zelfs de 5%-lijn overschrijdt.

Figuur 7: Neerslagtekort in Nederland in 2011 en 2010



De navolgende kaart (figuur 8) toont het doorlopend potentieel neerslagoverschot (in millimeters). Het doorlopend potentieel neerslagoverschot wordt verkregen door het verschil te berekenen tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en de berekende referentie-gewasverdamping. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september. Een negatief getal geeft een tekort aan, een positief getal een overschot. De 'rode bol' in de kaart geeft de locatie van De Veenderij weer.

Figuur 8: Doorlopend potentieel neerslagoverschot naar gebied



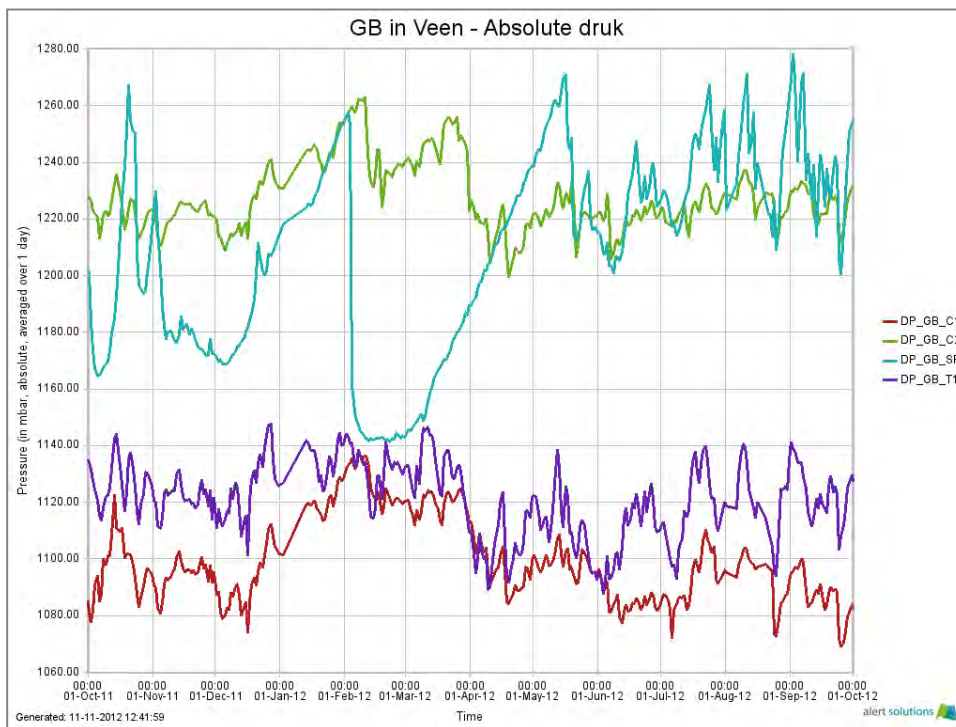
Conclusie

Op basis van voorgaande informatie mogen we concluderen dat in 2012 in vergelijking met voorgaande jaren en in absolute zin geen sprake is geweest van een droog jaar. Dit dient dan ook meegenomen te worden bij beoordeling van metingen uit de dijk.

Meetresultaten Alert Solutions

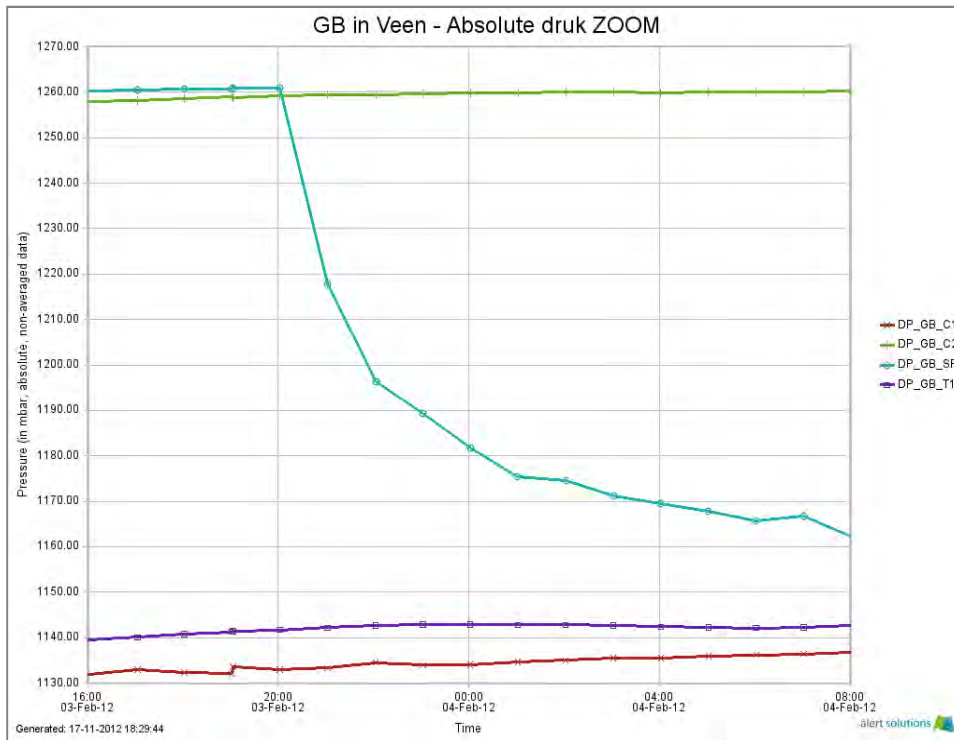
Hieronder wordt een selectie van de meetwaarden van alle sensoren gedurende de volledige projectperiode getoond. Het betreft voornamelijk de meetwaarden uit de veenlaag.

Figuur 9: De absolute drukken gemeten in de veenlaag (daggemiddelden). Het betreft de meetwaarden van de vier (4) sensoren geïnstalleerd in de veenlaag van de kade (C1 en C2 in de kruin, SP halverwege het talud en T1 in de teen)



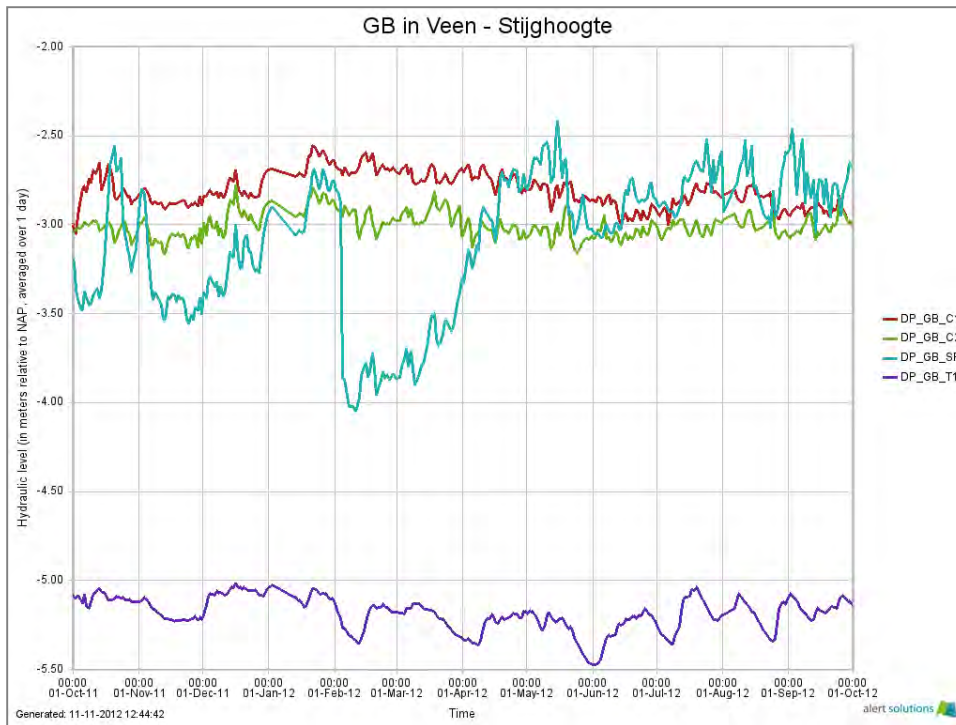
Toelichting: Sensor DP-GB-SP toont een grillig verloop in de periode van begin februari tot medio mei 2012. Na een aanvankelijk zeer scherpe daling (van circa 120 mbar), neemt de druk weer gelijdelijk toe tot oorspronkelijk niveau. Zie voor een nadere beschouwing zie ook grafiek 10.

Grafiek 10: Absolute druk gemeten op 3 en 4 februari 2012



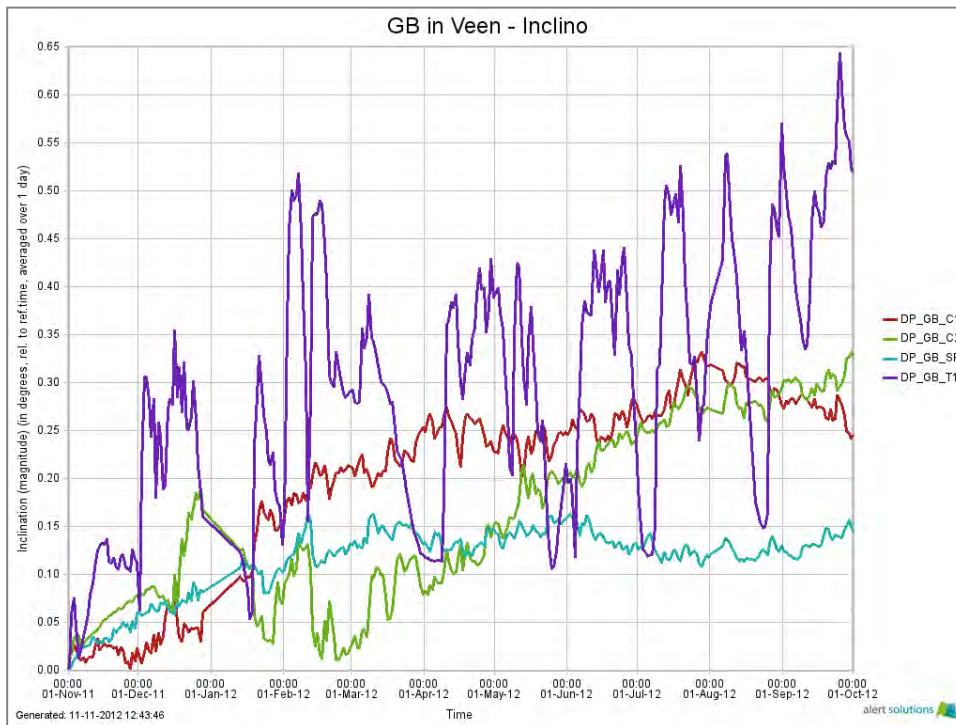
Toelichting: Vanaf 20.00 uur op 3 februari maakt de gemeten absolute druk door sensor DP_GB_SP een scherpe daling door. De ruwe meetwaarden, zoals in bovenstaande grafiek weergegeven, tonen in deze periode geen uitschieters in waarnemingen, maar een geleidelijk verloop. Het sensor element lijkt elektronisch correct te functioneren. Deze waterspanningsmeter is op 1,65m diepte ten opzichte van maaiveld geplaatst en opgelengd met gasbuis. Mogelijk dat een verandering in de directe meetomgeving (kleine grondverplaatsing of verplaatsing van (bijv. door duwen tegen) de gasbuis) tot een wegvloeien van druk heeft geleid.

Figuur 11: De stijghoogte gemeten in de veenlaag (daggemiddelden)



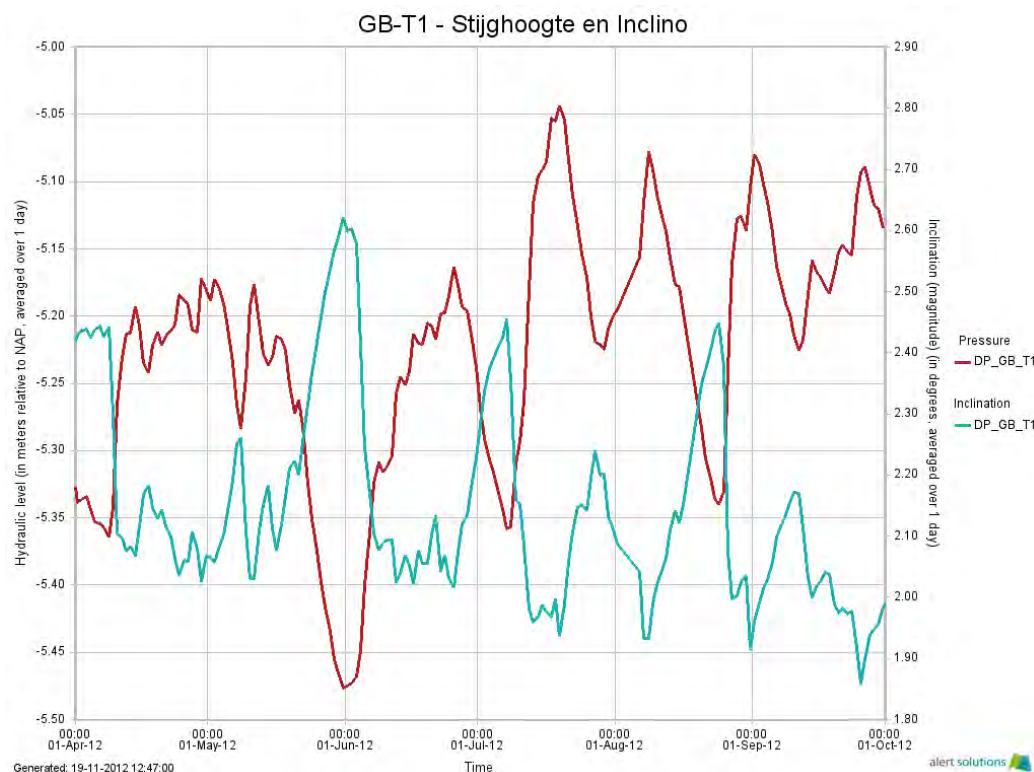
De stijghoogte is berekend door de absolute drukmeting te verminderen met luchtdruk. Dit geeft de waterspanning. Deze waterspanning wordt vervolgens opgeteld bij de installatiediepte van de sensoren in mNAP. Daarbij wordt 1 mbar waterdruk gelijk gesteld aan 1,02 cm waterkolom.

Figuur 12: De inclinatie gemeten in de veenlaag (daggemiddelden)

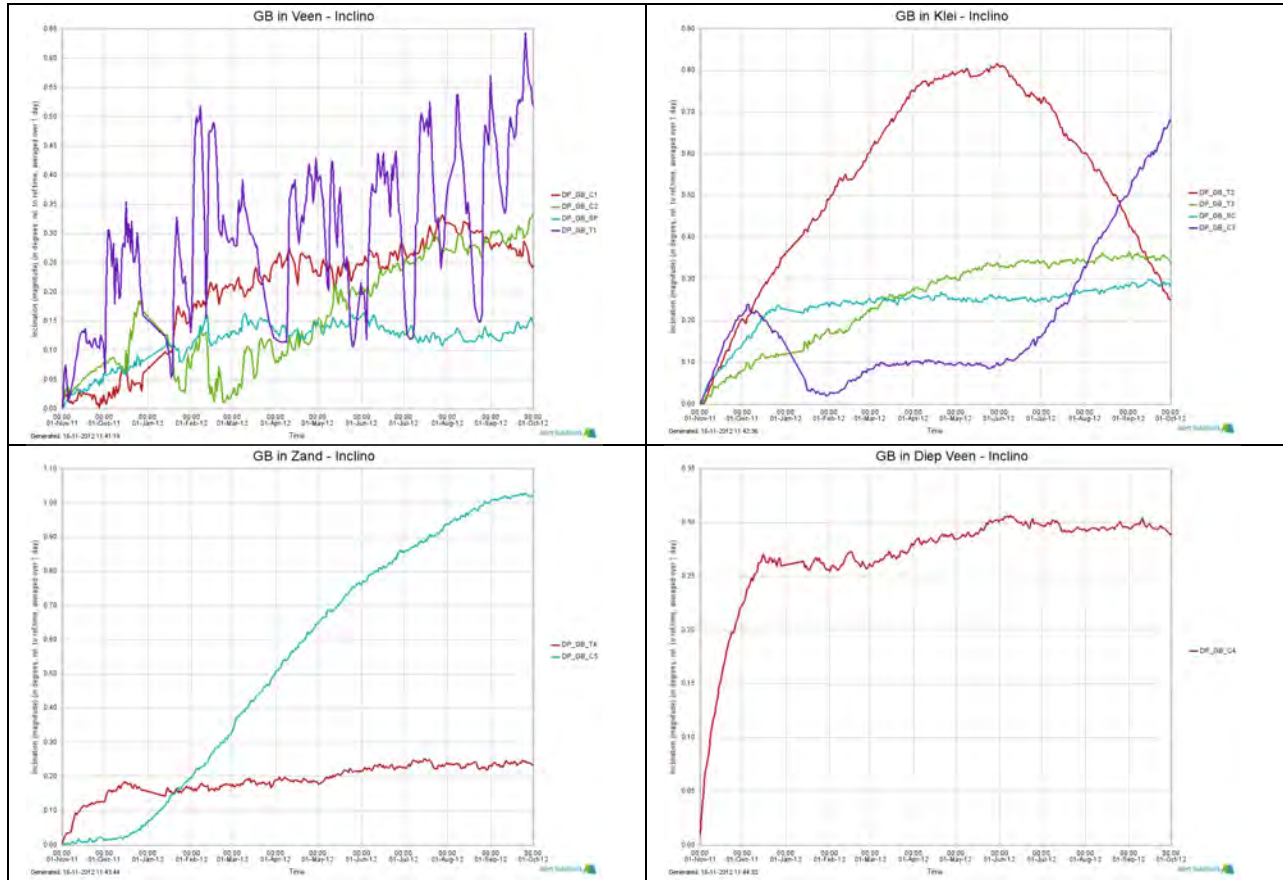


Toelichting: de scherpe veranderingen in de inclino metingen bij sensor DP-GB-T1 vinden plaats bij de teen van de dijk (zeer ondiep). Vanuit visuele observatie kunnen we concluderen dat dit een zeer natte plek is. Het water staat hier tot maaiveld. Mogelijk dat deze situatie voor de relatief grote schommelingen in de grondlaag direct onder maaiveld leidt. Het maaiveld ligt bij de teen op NAP +/- 5,0 m, de sensor is gepositioneerd op NAP +/- 6,20m. De stijghoogte metingen van deze sensor liggen tussen NAP +/- 5,0 en 5,5m. Dit wijst op een freatische lijn die dicht tegen maaiveld aan ligt. De sensor is in een zeer natte laag gepositioneerd. Wanneer de inclinometingen worden vergeleken met de stijghoogte metingen (zie grafiek 13) dan is de samenhang tussen beweging en variatie in stijghoogte direct herkenbaar. De momenten waarop de stijghoogte van stijging naar daling omslaan en vice versa zijn ook de momenten waarop de inclinometingen een verandering van bewegingsrichting laten zien.

Figuur 13: Inclinometingen en stijghoogtemetingen bij de teen van de dijk (gemeten in veenlaag)

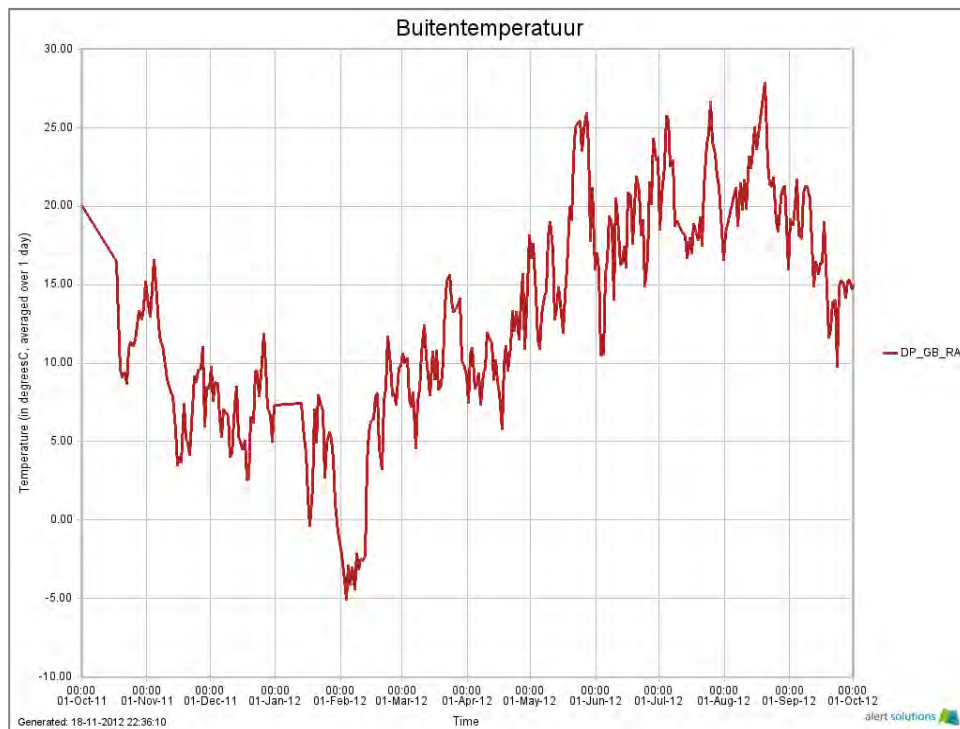
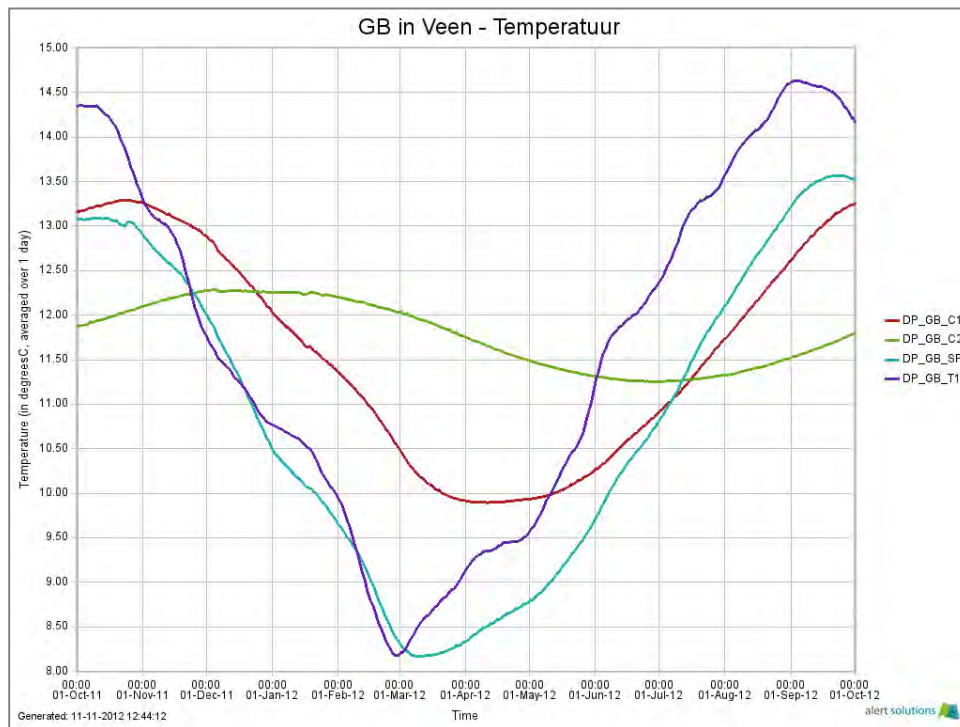


Figuur 14: De inclinatie gemeten in de veenlaag, kleilaag, de diepe veenlaag en zandlaag (daggemiddelden)

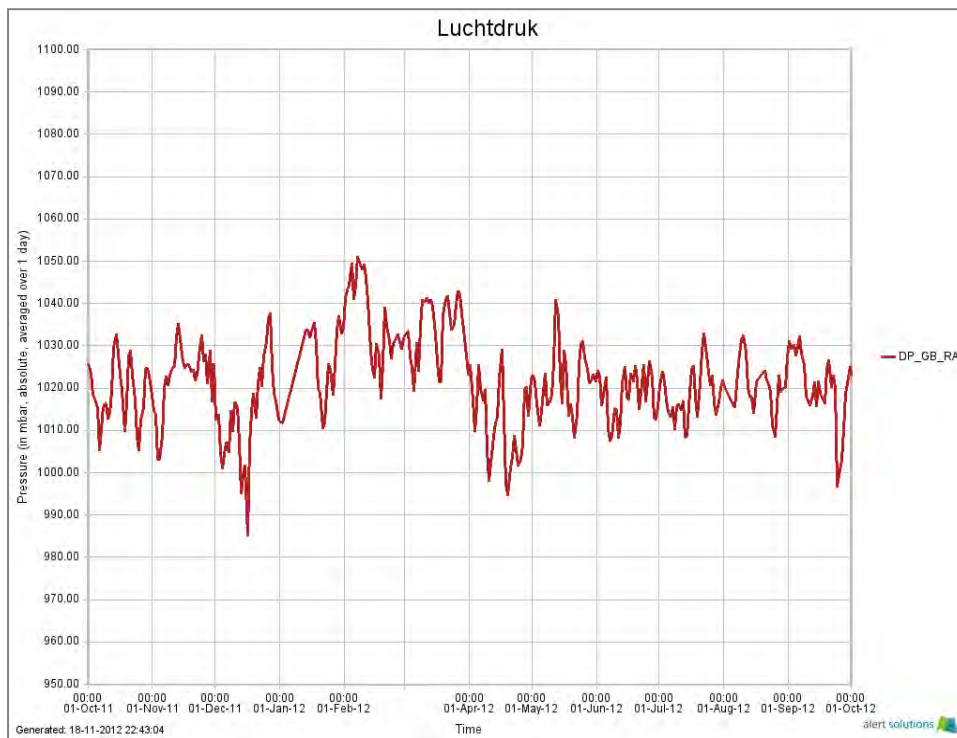
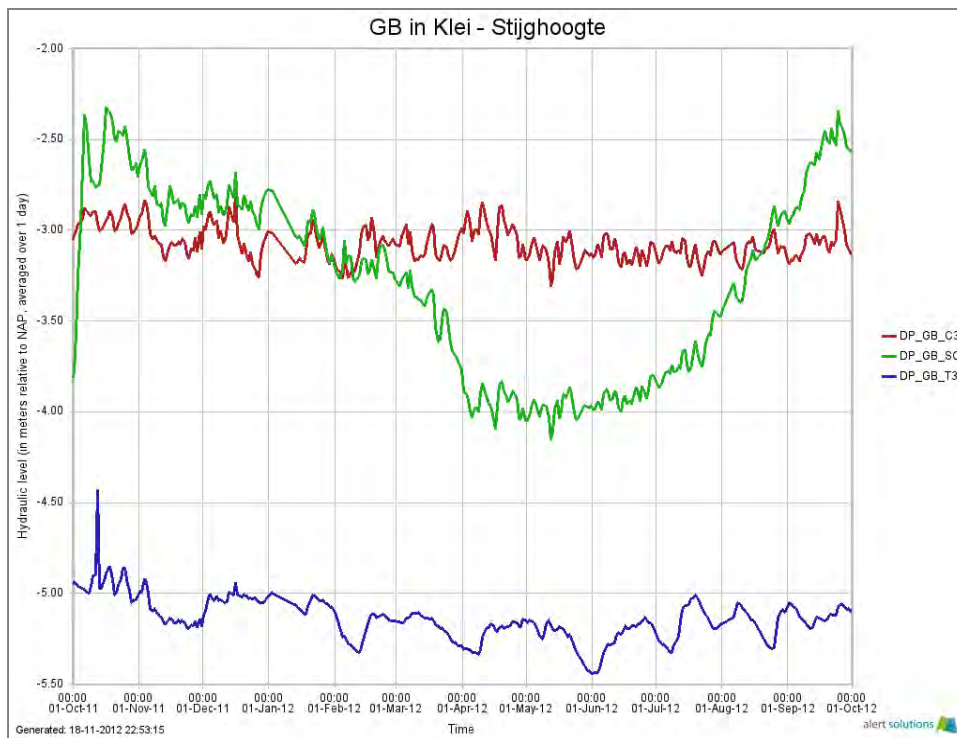


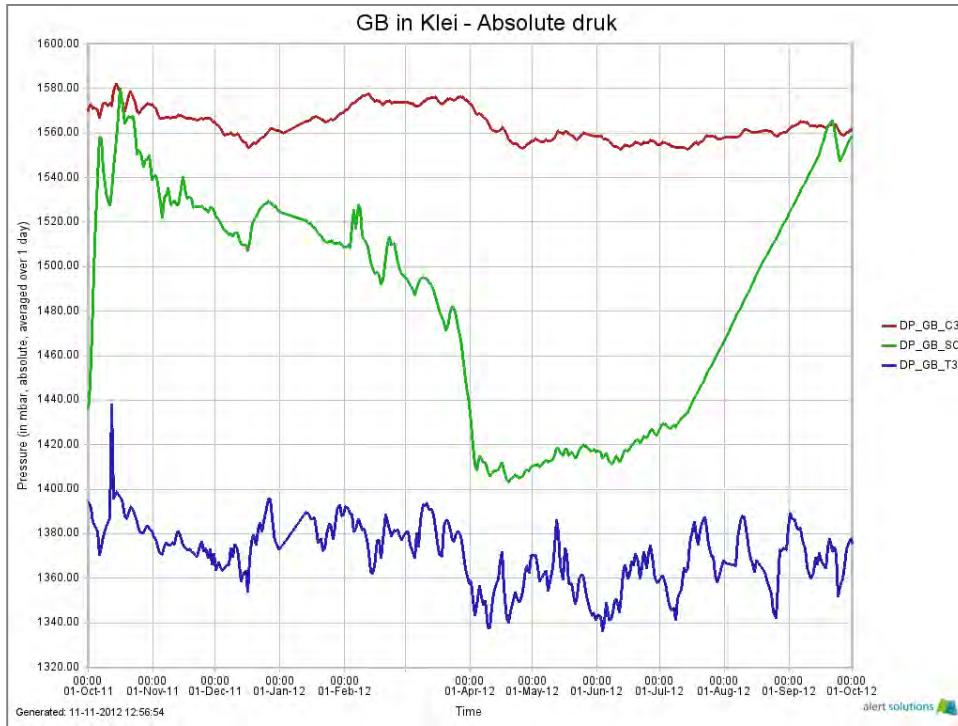
Toelichting: Na meer dan een jaar monitoren, zijn de veranderingen in hellinghoek van de geplaatste sensoren op geen van de posities groter dan 1 graad ten opzichte van de startpositie na installatie.

Figuur 15: De temperatuur gemeten in de veenlaag met daaronder de buitentemperatuur op locatie gemeten in de veldkast van Alert Solutions (daggemiddelden)

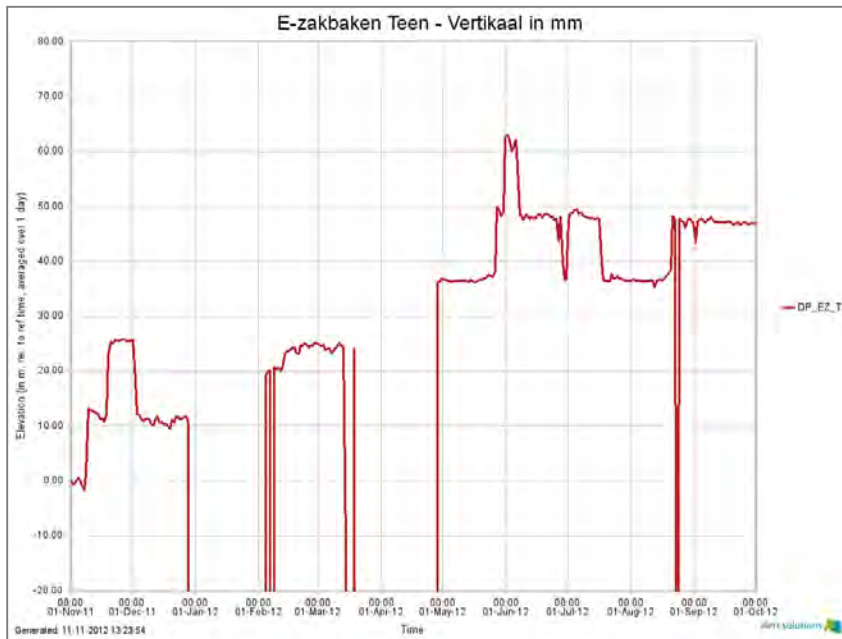


Figuur 16: Gemeten absolute druk in de kleilaag voor de drie (3) sensoren C3 in de kruin, GB_SC in het talud en T3 in de teen (gemiddelden over 1 dag).



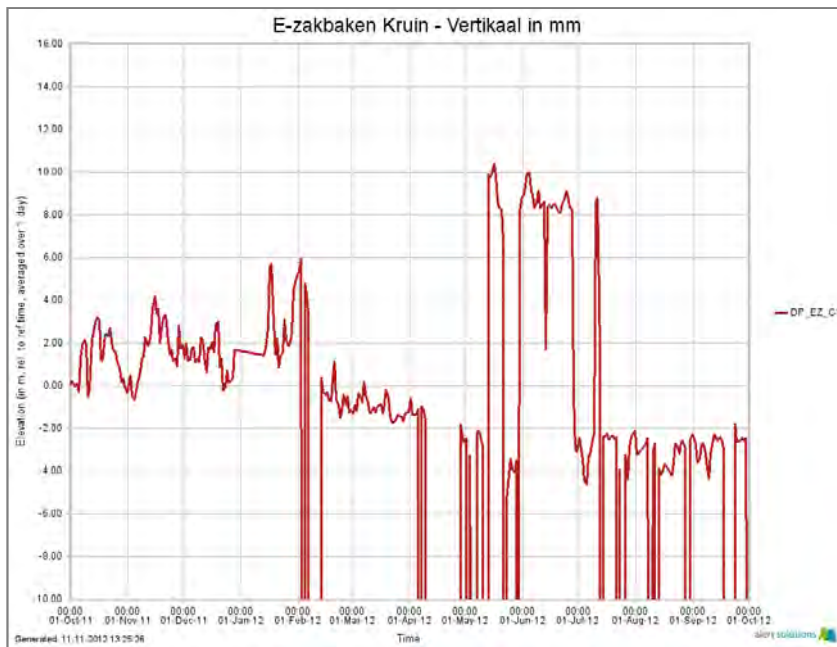


Figuur 17: Gemeten verticale beweging (met elektronisch zakbaken) in bovenste veenlaag in teen en kruin



De elektronische zakbaken zijn als experimentele meting toegevoegd aan het monitoring systeem.

De metingen laten gedurende de proefperiode een instabiel verloop zien. Onderzoek ter plaatse heeft uitgewezen dat met name het 'rol-mechaniek' (de afstandsmeter, waarbij de in- en uitrol van een staalkabeltje over een een wielje, als gevolg van zetting, gemeten wordt) zich niet voldoende stabiel gedraagt. Daardoor slaan waarden uit.



De hier gepresenteerde meetserie is in onze ogen in dit stadium niet betrouwbaar voldoende om deze mee te kunnen nemen in verdere analyse.

Kenmerken van het Alert Solutions systeem

Nauwkeurigheid

De druksensoren hebben een nauwkeurigheid van 0,02% over het volledige meetbereik, van 0 tot 250 kPa. Dit komt overeen met 0,05 kPa, gelijk aan ongeveer 0,5 cm waterkolom. Voorafgaand aan inzet in het veld worden de sensoren allen geïjkt bij kamertemperatuur ten opzichte van de druk gemeten door het KNMI. Deze offset calibratie coefficient wordt per sensor bepaald en direct verwerkt in de meetserie van Alert Solutions. We corrigeren de absolute drukmetingen voor luchtdruk op basis van de door ons lokaal gemeten luchtdruk met een identiek sensorelement als de WSM's. Onze druksensoren hebben een geïntegreerde temperatuurcompensatie. Deze is actief en nauwkeurig tussen 0 tot 80 graden Celsius.

De temperatuursensoren hebben een nauwkeurigheid van 0,5 graad over het volledige meetbereik, zijnde -6 tot + 100 graden Celsius. Voorafgaand aan inzet in het veld worden de sensoren allen geïjkt bij een constante watertemperatuur ten opzichte van de temperatuurmeting door een genormeerde temperatuur sensor. De offset calibratie coefficient wordt per sensor bepaald en direct verwerkt in de meetserie van Alert Solutions.

De versnellingopnemers (voor meting van de inclinatie) hebben gedurende de proefuitvoering een meetresolutie van beter dan 0,01 graad en een nauwkeurigheid beter dan 0,05 graad in het meten van een inclinatieverandering over het volledige meetbereik, zijnde -180 tot +180 graden. Voorafgaand aan inzet in het veld worden de sensoren gecontroleerd op het afgeven van logische waarnemingen bij verticale orientatie. Aangezien voor deze metingen alleen de veranderingen ten opzichte van het startpunt van belang zijn, is ijking van de absolute positie voor deze sensoren niet aan de orde.

De beoogde performance van de door de BAM aangeleverde experimentele elektronische zakbakens is +/- 1 mm resolutie en +/- 5 mm nauwkeurigheid over een totaal bereik van 1600 mm.

Validiteit en betrouwbaarheid

Ter referentie zijn verschillende peilbuizen in de dijk geplaatst. Op 3 posities komt de installatiediepte van de buizen vrijwel overeen met drie geselecteerde GeoBeads sensormodules. Om een uitspraak over validiteit van de metingen te doen, kunnen deze locaties met elkaar worden vergeleken. Daarbij moet evenwel direct het volgende worden opgemerkt:

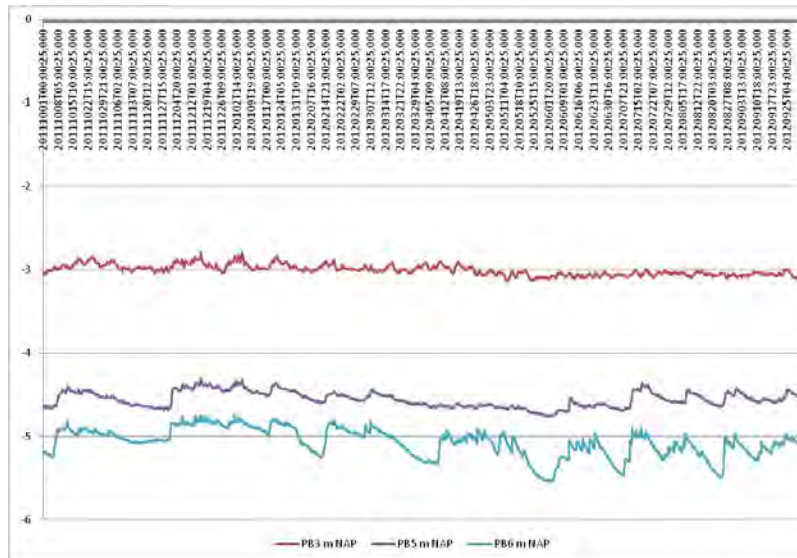
- het betreft een vergelijk tussen peilbuizen en waterspanningsmeters. Ook al worden metingen van beide vertaald naar stijghoogten in m-/-NAP, beide instrumenten hebben een wezenlijk andere installatiewijze in de meetomgeving wat mogelijk invloed op de waarde van de metingen kan hebben.

- Het betreft een vergelijk tussen instrumenten die weliswaar op gelijke diepte geïnstalleerd zijn (in mNAP), maar in lengte richting van de dijk circa 10 meter bij elkaar vandaan liggen. Dus ook daardoor kan verschil in de meetomgeving ontstaan.

Figuur 18: vergelijk GeoBeads – referentiemetingen (periode 1 okt 2011 t/m 30 sep 2012)

	NAP diepte peilbuis (ID)	NAP diepte GeoBead module (ID)	Niveau maaiveld van installatie	
			Peilbuis	GeoBeads
Locatie kruin	NAP +/- 4,11 (PB3)	NAP +/- 3,60 (GB-C1)	NAP +/- 1,60	NAP +/- 1,61
Locatie talud	NAP +/- 4,98 (PB5)	NAP +/- 5,00 (GB-SP)	NAP +/- 3,48	NAP +/- 3,35
Locatie Teen	NAP +/- 5,59m (PB6)	NAP +/- 5,64 (GB-T1)	NAP +/- 4,84	NAP +/- 5,00

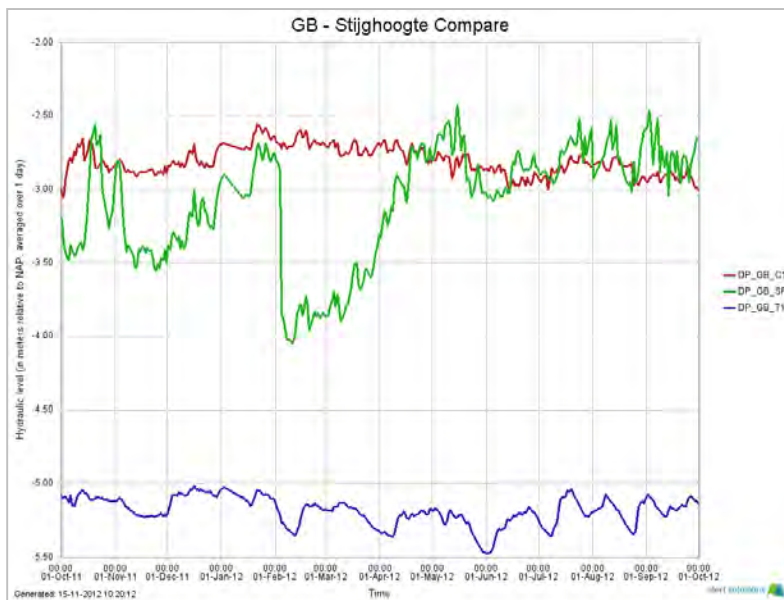
Fig 18a: Toelichting op locaties GeoBeads en Peilbuis sensoren



Voor de GeoBeads module C1 ligt de stijghoogte rond de 3m +/- NAP. PB3 (peilbuis in kruin) laat eveneens een stijghoogte verloop rond 3m +/- NAP zien.

Voor GeoBeads GB-SP ligt stijghoogte tussen 2,5 – 3,5 +/- NAP. PB 5 (peilbuis talud) geeft echter stijghoogte rond 4,5 m +/- NAP.

Fig 18b: stijghoogte van Deltares peilbuizen PB3, 5 en 6



Voor GeoBeads GB-T1 ligt stijghoogte tussen 5,0 – 5,5 +/- NAP. PB 6 (peilbuis teen) geeft eveneens stijghoogte tussen 5 - 5,5m +/- NAP.

Fig 18c: stijghoogte van GeoBeads C1, SP en T1

Men name locatie PB5 en GB-SP toont groot verschil in gemeten waarden. In absolute termen liggen de meetwaarden van beide instrumenten ver uit elkaar. Daarbij is de variatie in de metingen van de GeoBeads opnemer op deze positie aanzienlijk groter dan de metingen in de peilbuis.

Op basis van voorgaande vergelijk achten wij de toestand in kruin en teen goed vergelijkbaar. De situatie in het talud vraagt om nadere bestudering.

Het ontbreekt ons aan de precieze plaatsingsposities en werking van de referentie monitoring ten aanzien van grondtemperatuur sensoren en zettingsmeters / extensometers. Wij kunnen hiermee derhalve geen vergelijk maken voor onze temperatuurmetingen en elektronische zakbaken.

Voor GeoBeads inclinosenoren lijkt geen relevante referentie monitoring beschikbaar te zijn.

Deel B - Analyse

BELANGRIJK

Wij zien het als leverancier van datastromen uit meetinstrumenten niet als onze primaire rol om uitspraken te doen over de stabiliteit van de dijk. Dat is aan betrokken geotechnici. Wij zien het als onze verantwoordelijkheid hen de relevante informatie aan te bieden om tot goed onderbouwde oordeelsvorming te komen. Daarbij gaan wij doorgaans wel verder dan het opleveren van ruwe datastromen. Vertaalslagen naar waterspanningen en stijghoogten zijn daar voorbeelden van.

Kan de techniek de effecten van droogte op een veenkade volgen?

Wanneer het veenpakket in een kade uitdroogt zal de waterspiegel in het dijklichaam, de freatische lijn, verlagen. Onder normale (niet extreem droge) omstandigheden ligt de freatische lijn in boezemkades vrij relatief dicht onder het oppervlak van het binnentalud. Doorgaans staat er continu een hoog boezempeil tegen de kade en is er een aanzienlijk verval naar polderpeil in de teensloot.

Onder de freatische lijn is het veenpakket verzadigd met water. Door in het verzadigde pakket waterspanningsmeters te plaatsen kan de stijghoogte van het water (en daarmee de ligging van de freatische lijn) bepaald worden. Door zowel onder de kruin, het binnentalud en de teen te meten kan ook de vorm (convex, recht of concaaf) van de freatische lijn ingeschat worden. Door continu te meten kan de verandernelheid en trend worden gevolgd. Een sterk dalende freatische lijn tijdens een droge periode is een signaal voor uitdroging van het betreffende dijkvak.

Een droog veenpakket heeft een andere dichtheid dan een nat veenpakket. Een droog veenpakket is makkelijker te comprimeren en zal daardoor de neiging hebben om te krimpen, zeker onder invloed van externe gewichtsbelasting. Deze inkrimping kan verscheidene gevolgen hebben.

- Zetting (of inklinking) van het veenpakket in verticale richting. Dit kan gedetecteerd worden door elektronische zakbakens of andere zettingsdetectoren.
- Scheurvorming, door zowel verticale als horizontale krimp van het veen. Het ontstaan hiervan kan gedetecteerd worden middels inclinometers. Ook hierbij geldt dat plaatsing onder kruin, binnentalud en binnenteen een goede basisconfiguratie is voor een boezemkade van gemiddelde omvang.
- Bij eerste neerslag na droogte, wordt het regenwater slecht door het veen geabsorbeerd en kan het in de gevormde scheuren de bodem invloeien. Deze waterstroming in het grondpakket zou door temperatuursensoren gesignaleerd kunnen worden. Zonder verhoogde waterdoorstroming laat de temperatuurtrend slechts een geleidelijk verloop zien als seizoenseffect. Infiltratie van regenwater kan tot veel snellere veranderingen leiden. De sensoren dienen geplaatst te worden op een diepte waartoe scheurvorming zich kan uitstrekken in verticale richting. 1 a 2 meter onder de grasbekleding is wellicht een goede vuistregel.

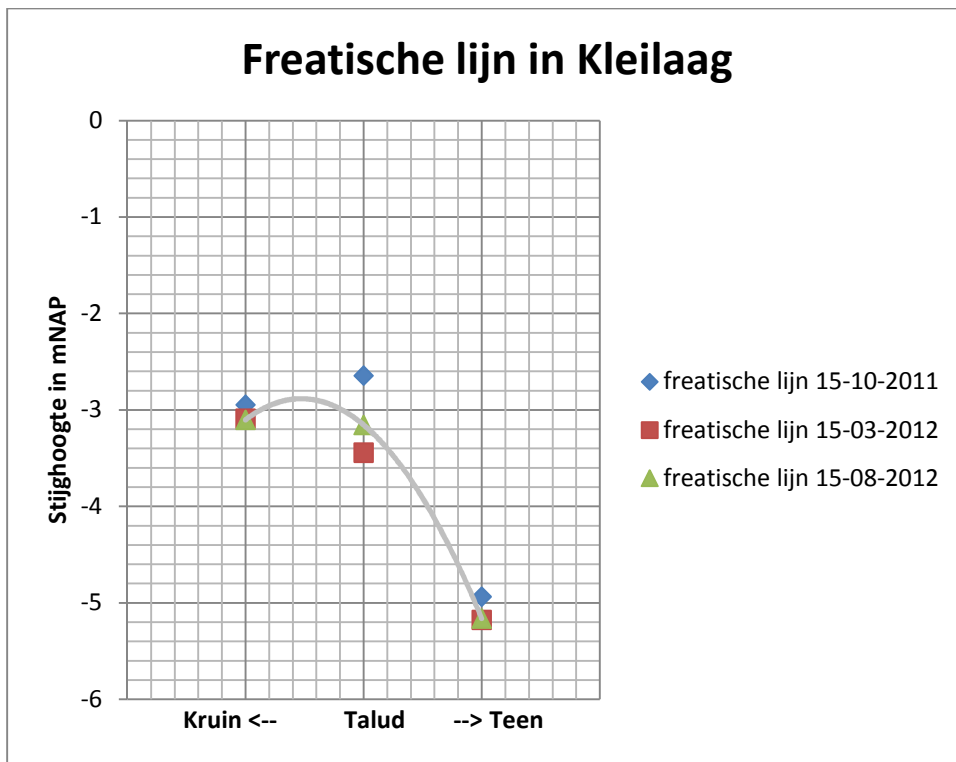
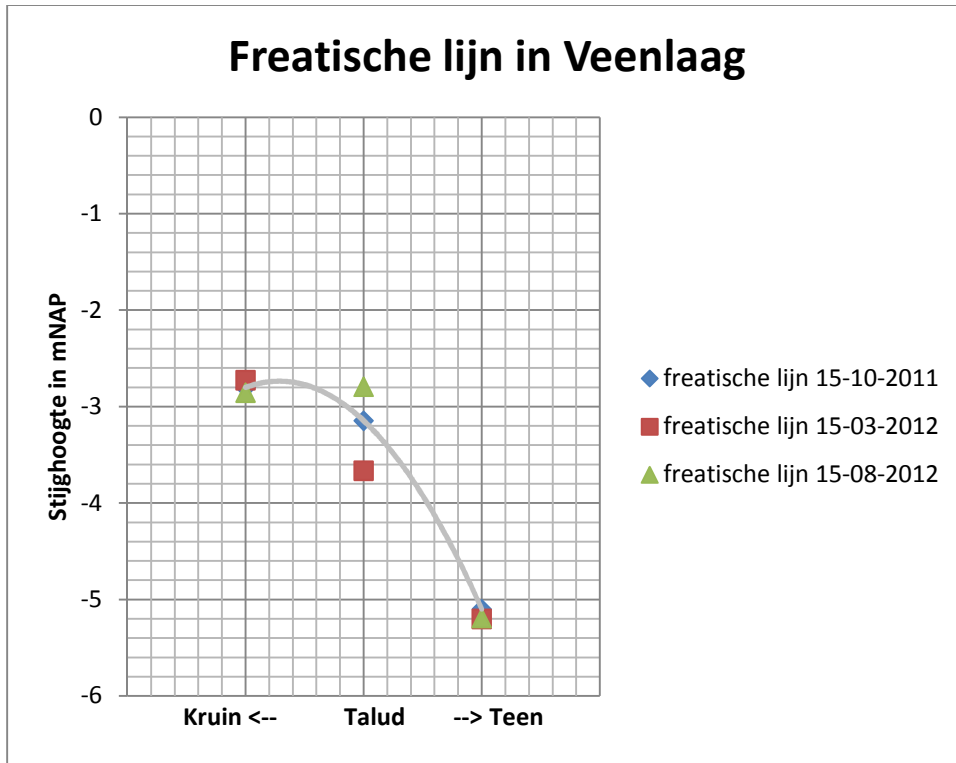
Boven de freatische lijn is het veenpakket niet verzadigd met water. In dat gebied zou de mate van uitdroging nader bepaald kunnen worden met bodemvochtsensoren. Deze zouden een goede toevoeging op het ingezette meetnet kunnen vormen om tot een complete meetoplossing te komen.

Daarnaast zijn neerslaggegevens vanzelfsprekend van belang. Een lokale regenmeter op de dijk, in plaats van een weerstation in de omgeving, zal de nauwkeurigheid ten goede komen.

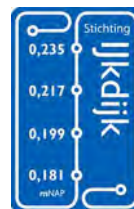
Wat concluderen wij op basis van onze metingen:

- Gedurende de proefperiode is er geen sprake geweest van een (langdurige) droogteperiode.
- Gedurende de proefperiode is er vanuit de meetdata geen teken van enige uitdroging van de veenkade. De veenkade is juist onverminderd zeer nat gebleven.
- De multi-sensor GeoBeads met meetdata aangaande waterspanning, temperatuur en helling (inclino) hebben naar verwachting gefunctioneerd.
- De waterspanningsmeetreeksen gemeten in de kruin en de teen van de dijk laten een vrij constante stijghoogte zien. Daarmee geen significante verandering in de freatische lijn, ookwel grondwaterstand in het dijklichaam. Met name in het talud zijn wel verschuivingen in de waterspanning en dus stijghoogte meetbaar. Zie in grafiek 19 de freatische lijn in zowel het veen als kleipakket op basis van maandgemiddelden in oktober 2011, maart 2012 en augustus 2012.

Figuur 19: Freatische lijn in veen en kleilaag op basis van maandgemiddelden.



- De temperatuurtrends laten een normaal seizoensgebonden verloop zien. Afhankelijk van de plaatsingsdiepte is er demping en tijdverschuiving van de temperatuurfluctuatie. Ook dit is normaal voor een min of meer stilstaand waterpakket in de grond. Van hoge mate van extra waterinfiltratie, bijvoorbeeld door scheuren, is geen signaal te onderscheiden.
- De veranderingen in hellinghoeken zijn geleidelijk en beperkt. Een veenpakket zal altijd enige beweging (inklinking en squeezing) laten zien, maar van aanzienlijke veranderingen die duiden op scheurvorming lijkt geen sprake te zijn.
 - Uitzondering hierop is, zoals eerder aangegeven, de inclinometing van de sensor ondiep geïnstalleerd in de teen van de dijk. De relatief kleine bewegingen gemeten door deze sensor (GB_T1) hangen direct samen met de daar gemeten veranderingen in stijghoogte.
 - Ook al is er enig verschil in meetverloop tussen de sensoren, geen van de meetseries van de inclinometers geeft tot op heden aanleiding om het dijkvak, danwel een specifieke laag, als instabiel te betitelen. We gaan uit dat de waargenomen bewegingen slechts het gevolg zijn van reguliere zetting, inklinking of seizoenseffecten.
- De geïnstalleerde experimentele elektronische zakbakens laten geen logisch verloop in de meetdata zien en worden beschouwd als onvoldoende betrouwbaar.
 - Zetting wordt wel gezien als relevante meting. Het is interessant om een alternatieve methodiek (bijvoorbeeld de liquid level techniek) te beproeven.
- Een nuttige aanvulling op het door ons ingezette meetsysteem zou kunnen bestaan uit:
 - Bodemvochtmeters in de zone boven de freatische lijn (eerste 0,5 a 1 meter onder de grasbekleding)
 - Lokale regenmeter.



F Factual report Ecoflight



PROJECTRAPPORTAGE

Meten aan droogte bij veenkades met multispectrale fotografie



Auteur:
dr. Rick I. Ghauharali
commercieel-technisch manager VB Ecoflight

Datum:
17 november 2012

Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Beschrijving techniek en doel.....	3
3.	Meetopzet en -strategie	4
4.	Uitgevoerde metingen.....	4
5.	Representatieve resultaten	5
6.	Discussie.....	9

1. Inleiding

In het voorjaar en de zomer van 2012 heeft VB Ecoflight multispectrale fotografische metingen gedaan aan de grasmat een veenkade nabij Amstelveen, in het kader van het project “LiveDijk De Veenderij”.

Deze rapportage beschrijft de doelstelling van de metingen en de proefopzet, geeft een overzicht van de verrichte metingen, presenteert de resultaten van de metingen en trekt conclusies.

2. Beschrijving techniek en doel

Multispectrale fotografie is een meetmethode voor het opsporen van vegetatiestress, nog voordat met het blote oog effecten van stress zichtbaar zijn. Bij de meting wordt het door de vegetatie weerkaatste zonlicht in 4 kleuren (blauw, groen, rood en nabij-infrarood (onzichtbaar voor het menselijk oog)) separaat digitaal gefotografeerd. Met name de reflectie in het nabij-infrarode domein is een gevoelige maat voor de vitaliteit van de vegetatie. Vitale vegetatie reflecteert veel nabij-infrarood licht, gestreste vegetatie weinig.

Uitdroging van de bodem is een belangrijke stress factor. Doel van het onderzoek is het vaststellen of door met multispectrale fotografie te kijken naar de vegetatiestress door droogte op veenkades, het mogelijk is om niet-destructief en niet-invasief droogteverschijnselen in de veenkade op te sporen, nog voordat met het blote oog effecten zijn waar te nemen.

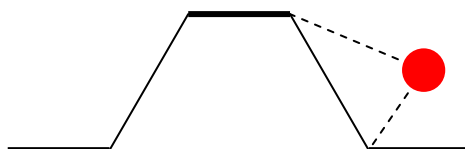
Door een correlatie te leggen tussen de vegetatie stress metingen en in-situ metingen aan de veenkade kunnen

- de in-situ metingen ruimtelijk geïnterpoleerd worden en
- de vegetatie stress metingen gekalibreerd worden (welk vegetatie stress niveau hoort bij welke toestand, zoals bepaald met de in-situ metingen, van de veenkade).

Met deze laatste informatie ontstaat dus een monitoringsmethode waarbij kijkend met multispectrale fotografie naar vegetatie op een veenkade informatie wordt verkregen over de (droogte)toestand in de kade.

3. Meetopzet en -strategie

Idealiter worden multispectrale opnames vanuit een vliegend platform gemaakt. Vanwege de hoge kosten van een dergelijke opzet en het beperkte budget binnen dit project is hiervan afgeweken en wordt vanaf de grond de kade gefotografeerd. De geometrie is als volgt:



De kade wordt dus vanaf de zijkant bekeken (het talud wordt gefotografeerd). De camera wordt gemonteerd op een stellage met een hoogte van ongeveer 2 m. De afstand tussen talud en camera is ongeveer 100m. Het gehele proefvlak van ongeveer 30 m en de zone erbuiten wordt afgebeeld. Het beelddetail (resolutie) is 2 – 3 cm.

Gepland is om gedurende het groeiseizoen (maart tot en met september 2012) periodiek een opname te maken. De camera meet dus niet continu. In extreme situaties (langdurige droogte) wordt de tijdsperiode tussen twee opnames verkort.

Na elke meting wordt een vegetatie stress analyse gedaan, door middel van een optimalisatie en visuele inspectie van de opgenomen beelden.

Voor deze meetserie is een 3 CCD multispectrale camera gebruikt. De eerste CCD registreert het 'gewone' RGB daglicht beeld. De andere twee CCDs leggen het nabij-infrarode licht in twee separate banden vast. Meer details over de camera zijn hier <http://www.quest-innovations.com/condor3-series/condor3-pch-i5.html> te vinden.

4. Uitgevoerde metingen

In totaal zijn 10 metingen uitgevoerd:

1	24 maart	6	20 juni
2	16 april	7	4 juli
3	9 mei	8	21 juli
4	15 mei	9	14 augustus
5	24 mei	10	22 augustus

5. Representatieve resultaten

5.1 Weersomstandigheden

De neerslaggegevens in de meetperiode zijn als volgt (zie

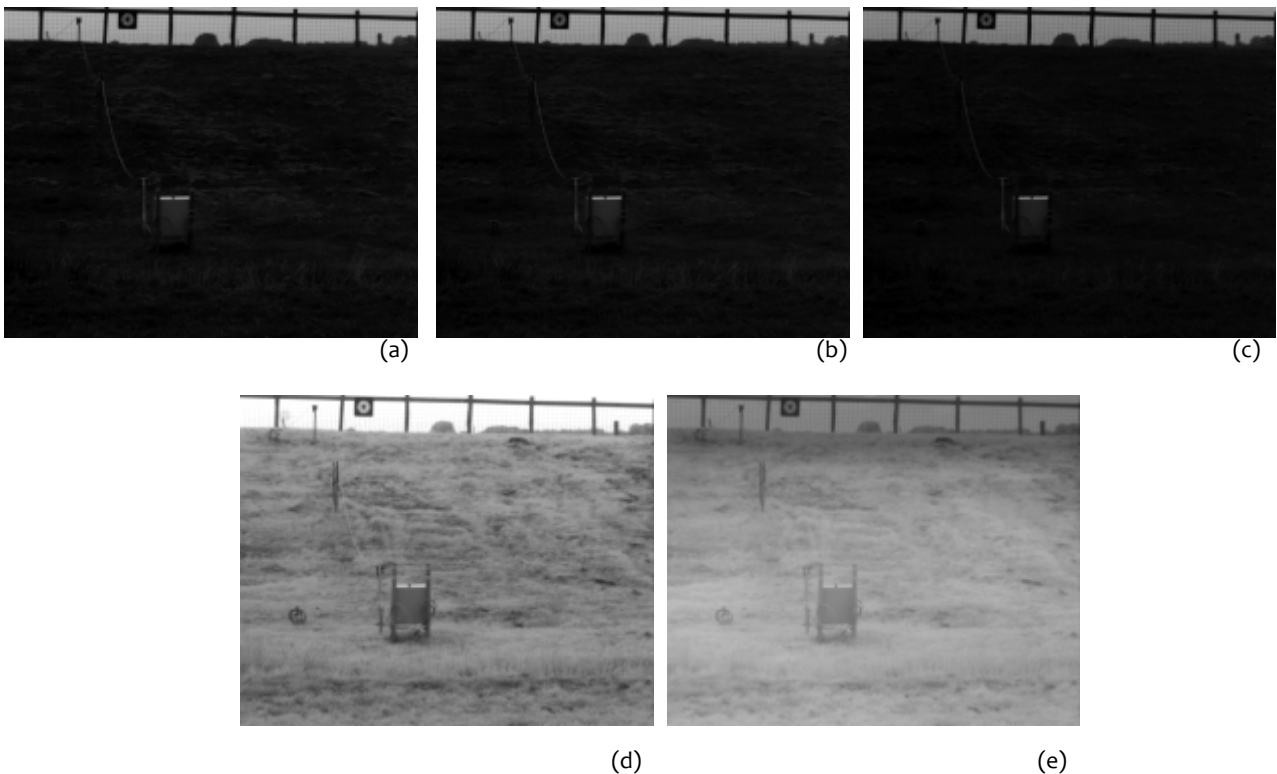
http://www.bayercropscience.nl/bayer/cropscience/bcs_nl.nsf/id/NL_Neerslag_hoeveelheid_tijd_deze_maand):

Maand	Neerslag (mm)	Langjarig gemiddelde neerslag (mm)
Maart	20	67
April	48	42
Mei	84	62
Juni	91	66
Juli	91	81
augustus	92	73

De gegevens laten zien dat de meetperiode natter was dan het langjarig gemiddelde en van droogte, dus, geen sprake was.

5.2 Meetresultaten

Figuur laat een typisch ruw multispectraal beeld zien. Het beeld bestaat uit 5 sub-beelden. Beelden (a), (b) en (c) zijn het rode, blauwe en groene kanaal. Beelden (d) en (e) het respectievelijk lage en hoge nabij-infrarode kanaal.



Figuur 1. Ruw multispectraal beeld.

De nabij-infrarode beelden zijn lichter dan de zichtbaar licht beelden. Dat komt doordat vitaal gras (vegetatie in het algemeen) in het nabij-infrarode spectrale domein meer zonlicht reflecteert dan in het zichtbare spectrale domein.

Combinatie van de zichtbaar licht kanalen levert het traditionele zichtbaar licht beeld, zoals weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Combinatie van het rode, groene en blauwe kanaal tot een zichtbaar licht beeld.

Combinatie van het groene, rode en laag nabij-infrarode beeld levert een zogenaamde valse kleuren visualisatie op, zoals weergegeven in figuur 3. In dit beeld corresponderen helder rode delen van het beeld met veel nabij-infrarood licht en daarmee met vitale vegetatie en donkere delen van het beeld met weinig nabij-infrarood licht en daarmee met gestresste vegetatie.

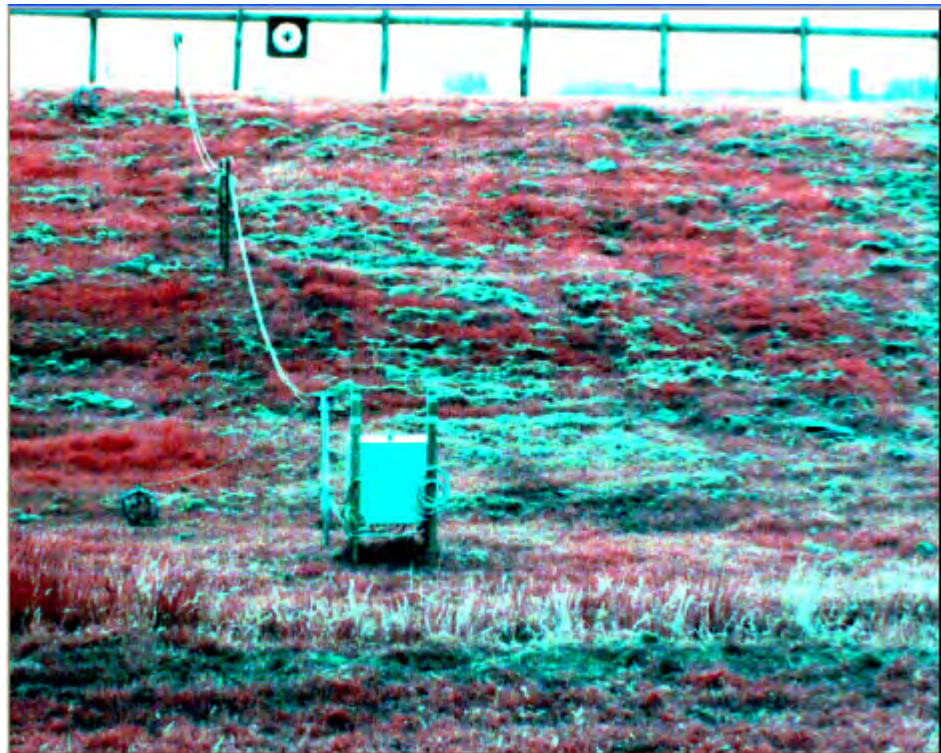


Figuur 3. Valse kleuren visualisatie van een multispectraal beeld.

Ten tijde van deze opname (14 augustus) was het gras zojuist gemaaid en was het gemaaid gras niet verwijderd. Deze extreme vorm van vegetatiestress (verdroogd gras) is duidelijk te zien in figuur 3 als donkere verkleuringen temidden van helder rode vitale delen.

Voor het detecteren van zwaar gestresste vegetatie is geen multispectraal beeld nodig: het verdroogde gras is in het zichtbaar licht beeld in figuur 2 net zo goed zichtbaar. Voor de detectie van mildere vormen van stress zijn multispectrale doorgaans de betere keus, vanwege de hogere reflectie in het nabij-infrarode domein. Er is simpelweg meer licht (zie ook figuur 1), zodat kleine verschillen gemakkelijker kunnen worden gedetecteerd.

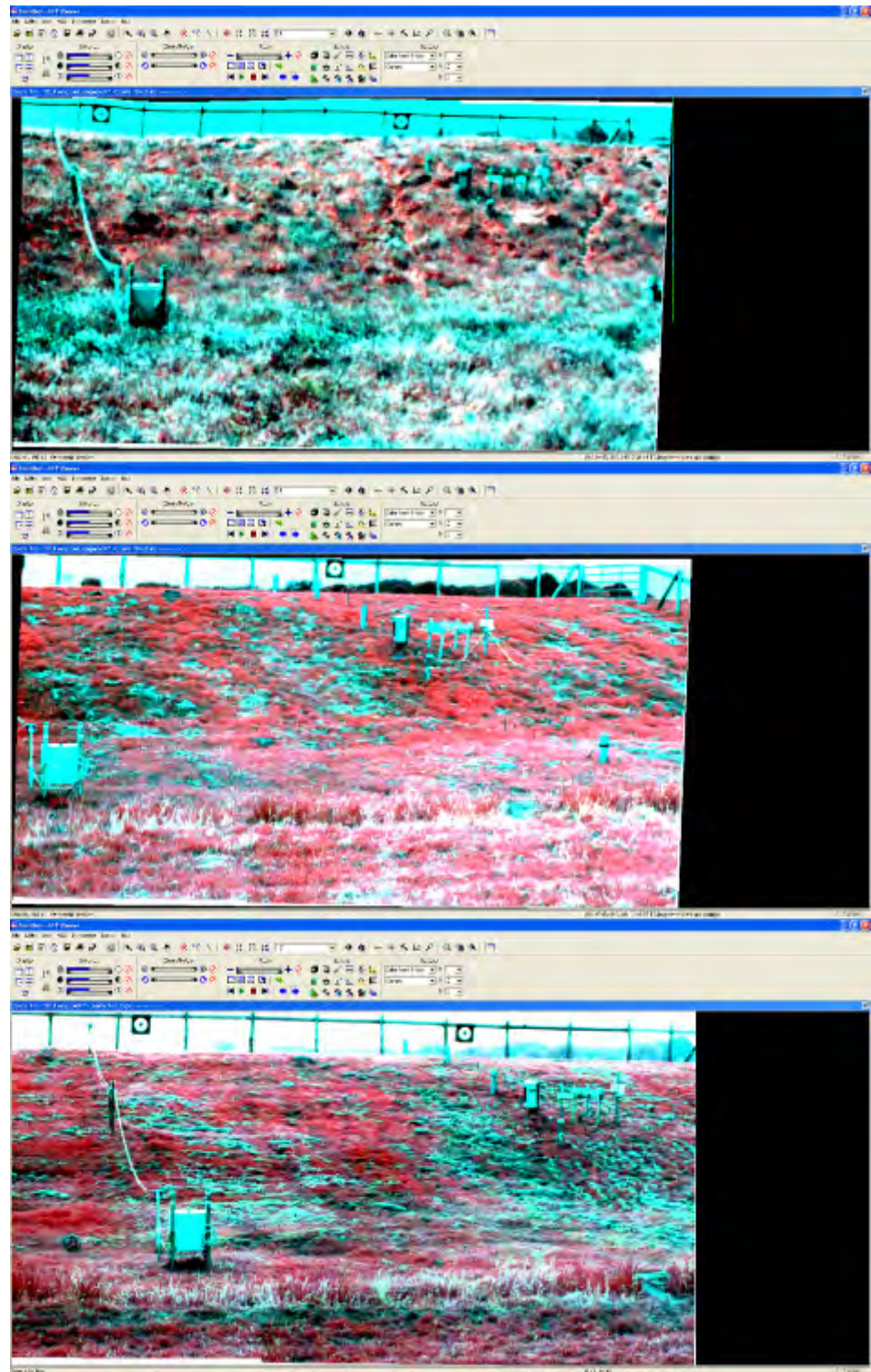
Voor de detectie van kleine hoeveelheden vegetatiestress gebruiken we, in tegenstelling tot de standaard contrast instellingen van figuur 3, een zogenaamde niet-lineaire regionale histogram equalisatie, waarmee minieme intensiteitsverschillen (die “weggedrukt” worden in de standaard visualisatie van figuur 3) duidelijker naar voren komen. Het resultaat van een dergelijke histogram optimalisatie is te zien in figuur 4. Vergelijking met figuur 3 geeft duidelijk aan dat in het geoptimaliseerde beeld (figuur 4) veel meer contrast en daarmee detail zichtbaar is.



Figuur 4. Contrast-geoptimaliseerde valse kleuren visualisatie van een multispectraal beeld: meer contrast en meer details.

In figuur 5 zijn van drie verschillende meetdagen de contrast-geoptimaliseerde valse kleuren visualisaties weergegeven. Er is een veelheid van contrasten zichtbaar, die ruimtelijk willekeurig lijken te zijn verdeeld. Naar alle waarschijnlijkheid worden deze contrasten veroorzaakt door natuurlijke variaties in a) vegetatie vitaliteit ten gevolge van verschillen in bijvoorbeeld bodemsamenstelling en -dichtheid (en daarmee samenhangend de natuurlijke vochthoudding en b) vegetatiedichtheid. Alhoewel de analyse wordt bemoeilijkt doordat

het gemaaide gras is blijven liggen, zijn geen consequente stress locaties aan te wijzen. Ook een analyse van de beelden van de overige meetdagen laat geen consistente stress patronen zien. Uit beknoptheidsoverwegingen zijn deze resultaten niet opgenomen in deze rapportage.



Figuur 5. Contrast-geoptimaliseerde valse kleuren visualisaties van de multispectrale beelden van 24 mei, 4 juli en 8 augustus: geen consistente stress patronen.

6. Discussie

In deze proef is gekeken of met multispectrale fotografie droogtestress in de grasmat van de veenkade kon worden gedetecteerd.

In de meetperiode was geen sprake van droogte. Het was eerder natter dan gemiddeld.

Validiteit.

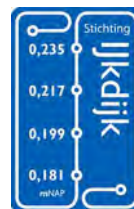
Gedemonstreerd is dat een extreme vorm van stress, verdroging na maaien, met multispectrale fotografie goed in beeld kan worden gebracht. Door het ontbreken van droogteperiodes hebben we niet kunnen analyseren of mildere vormen van stress, zoals stress in de grasmat door verdroging van de kern van de kade, aangetoond kunnen worden. De resultaten in Appendix wekken de suggestie dat dit welmogelijk moet zijn.

Betrouwbaarheid.

Door het ontbreken van droogteperiodes hebben we geen betrouwbaarheidsanalyse kunnen uitvoeren.

Kan de techniek de effecten van droogte op een veenkade volgen?

Door het ontbreken van droogteperiodes hebben we deze vraag niet kunnen beantwoorden.



G Factual report Miramap

Passieve Microgolven Waarnemingen van Veenkades

Een studie naar de toepasbaarheid van mobiele L-band radiometrie voor droogte inspectie van veenkades.



*Eindrapport 1201 van het IJkdijk project
“Metten aan droogtegevoeligheid van veenkades”.*

November 2012

miramap **transmissivity**

Miramap © 2012

Dit onderzoek is uitgevoerd door:

Miramap B.V. (ir. Roland Haarbrink)
Business Center ‘De Terp’
Kokermolen 11
3994 DG Houten

In samenwerking met:

Transmissivity (dr. Richard de Jeu)
Donizettihof 9
2151 ND Nieuw Vennepe

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het IJkdijk project “Meten aan droogtegevoeligheid van veenkades”.

Foto voorkant: Mobiele L-band radiometer op de veenkade

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
Deel 1 Factual Report	5
1.1 Inleiding en Project Doelstelling	5
1.2 Techniek.....	6
1.2.1 Theoretische Achtergrond.....	6
1.2.2 L-band Radiometer	7
1.3 Meetstrategie.....	7
1.4 Studiegebied.....	8
Deel 2 Analyse.....	8
2.1 Resultaten en Interpretatie	8
2.2 Conclusies en Aanbevelingen	12
Referenties	13

Samenvatting

Miramap heeft in samenwerking met Transmissivity, spin-off van de VU Amsterdam, een technologie ontwikkeld om op een snelle manier ruimtelijke informatie te verkrijgen van vochtcondities van een kadedijk. Hierbij wordt gebruik gemaakt van metingen van een L-band radiometer, een meettechniek die zijn oorsprong kent in de ruimtevaart, maar door Miramap is doorontwikkeld voor dijkinspectie toepassingen. Met een L-band radiometer is het mogelijk om de ruimtelijke variatie van bodemvocht van de eerste centimeters in kaart te brengen met een ruimtelijke resolutie van 1 m. Binnen dit IJkdijk project hebben we onderzocht hoe goed de effecten van verdroging van de veenkade te volgen zijn aan de hand van deze observaties. Door op verschillende tijdstippen de dijk in te meten hebben we de ruimtelijke vochtdynamiek van een dijklichaam in kaart gebracht en deze informatie is gebruikt om de effecten van verdroging te ontrafelen.

In een periode van ongeveer 1 jaar zijn er onder wisselende vochtomstandigheden zes verschillende metingen verricht. Deze microgolven metingen zijn omgezet naar bodemvocht kaarten van ongeveer 20 bij 20 m. De bodemvocht waarnemingen uit de microgolven observaties zijn verder gevalideerd met *in situ* om zo de betrouwbaarheid van de metingen te waarborgen. De metingen hadden een goede correlatie met *in situ* puntwaarnemingen (Pearson's correlatie coëfficiënt, $R^2=0.6$) en een verwaarloosbare bias. De zes verschillende bodemvochtkaarten laten een sterke ruimtelijke dynamiek zien in bodemvocht waarbij met name opvalt dat bepaalde locaties op de helling de grootste bodemvocht range laten zien. Deze gebieden zijn het meest kwetsbaar voor droogte omdat zij het sterkste uitdrogen in de loop van de tijd. Verder is opgevallen dat de bodemvochtwaarnemingen ook een goede correlatie hebben met de grondwaterstanden en dus een sterke potentie laten zien om uit L-band radiometer observaties freatische lijnen te bepalen. In deze studie hebben we alleen gekeken naar de relatie tussen de bodemvochtwaarnemingen en de grondwaterstanden, maar de combinatie van L-band bodemvocht waarnemingen met bijvoorbeeld een hydrologisch model maakt het mogelijk om zeer nauwkeurig freatische lijnen te bepalen.

Geconcludeerd kan worden dat L-band radiometrie een unieke techniek is die op 1 m schaal ruimtelijk bodemvocht van een veenkade in kaart kan brengen. De techniek is gebaseerd op observaties en kan direct gebruikt worden om zo de kwetsbare plekken voor droogte (*i.e.* gebieden met een sterke bodemvocht range) te detecteren, waarbij het van belang is dat er onder verschillende vochtomstandigheden ingemeten wordt. Want alleen op deze manier kan met L-band radiometrie daadwerkelijk de hydrologische dynamiek als gevolg van droogte op een veenkade in kaart worden gebracht.

Deel 1 Factual Report

1.1 Inleiding en Project Doelstelling

De afgelopen jaren zijn er verschillende tests uitgevoerd met een L-band radiometer om uit te zoeken of deze nieuwe technologie een toegevoegde waarde heeft ten opzichte van huidige meetmethoden voor dijkinspectie. Uit lopend onderzoek is al gebleken dat je met L-band radiometrie informatie kunt verkrijgen over variaties in de ondergrond tot +/- 1 m diepte. In [1] wordt een samenvatting gegeven van de mogelijkheden met microgolven radiometrie en daaruit blijkt dat het mogelijk is om holle ruimtes op te sporen, kwelzones in kaart te brengen, en plotselinge laagvariaties binnen de bekleding te detecteren.

De hoofdvraag binnen dit onderzoek richt zich meer op de toepasbaarheid van deze technologie voor droogteonderzoek op veenkades en kijkt in hoeverre we vochtvariaties in de boezemkade kunnen determineren en of deze gegevens gebruikt kunnen worden om zo de effecten van droogte te kunnen volgen.

De afgelopen tijd zijn er veel verschillende technieken ontwikkeld om de kwaliteit van de Nederlandse dijken in kaart te brengen. Zo zijn er onlangs technieken ontwikkeld die gebruik maken van laser altimetrie of satelliet radar interferometrie [2] om dijkvervormingen te registreren. Thermische metingen worden momenteel ingezet bij veendijken om natte plekken te vinden, en verschillende geofysische opsporingsmethoden om de stabiliteit van de ondergrond beter te begrijpen [3]. De stichting toegepast onderzoek waterbeheer (STOWA) is hier ook al een aantal jaar mee bezig en [3] geeft een goed overzicht van verschillende innovatieve technieken.

Elke techniek heeft zijn voor- en nadelen in toepasbaarheid en mogelijkheden. Passieve microgolven sensors zijn gevoelig voor vocht, materiaal en temperatuur variaties in de ondiepe ondergrond (tot +/- 1 m) en hebben als grote voordeel dat ze op een niet destructieve manier snel de ondiepe ondergrond in kaart kunnen brengen. Een nadeel van deze techniek is de beperkte penetratie diepte van maximaal een meter die ook nog eens sterk afneemt als de ondergrond erg nat is of als er dichte (natte) vegetatie op groeit (bijv. een kletsnat dichte grasbedekking).

Miramap (www.miramap.com) heeft onlangs speciaal voor water- en waterkeringenbeheerders in Nederland, een passieve microgolf scanner systeem ontwikkeld die het mogelijk maakt om op een zeer snelle manier variaties binnen de dijkbekleding in kaart te brengen. Dit systeem is voor dit onderzoek op een buggy geïnstalleerd en getest om zo een klein stuk dijk in te meten. Maar het kan bijvoorbeeld ook op een quad geïnstalleerd worden en dan is het mogelijk om een dijk in te meten met een snelheid van plus minus 5 km per uur. Figuur 1 laat verschillende configuraties in de praktijk zien. Je kunt zo op een niet destructieve manier snel ruimtelijke informatie verkrijgen over de toestand van de dijkbekleding.

In dit rapport beschrijven we de resultaten van de metingen die zijn verricht op de boezemkade van de Veenderij even ten zuiden van Amsterdam. Voor dit rapport zijn zes metingen verricht onder verschillende vocht omstandigheden en zijn de metingen omgezet naar bodemvochtkaartjes met een resolutie van 1m.



Figuur 1: Links; De microgolven scanner systeem is hier gemonteerd op een utility quad waardoor je op een snelle manier een dijk kunt inmeten. Rechts; De microgolven scanner is hier gemonteerd op een buggy waardoor je op een zeer gedetailleerde manier een dijk kan inmeten. De buggy configuratie is ook het meeste geschikt voor complexe gebieden (denk bijvoorbeeld aan een veenkade met veel hekken).

1.2 Techniek

1.2.1 Theoretische Achtergrond

Een L-band radiometer meet de natuurlijke uitstraling van het grondoppervlak in het microgolvenbereik. Het is een passieve sensor en voor een L-band radiometer meet hij de uitstraling bij een golflengte van 21 cm. De radiometer drukt deze uitstraling uit in helderheidtemperaturen (T_b , wat staat voor brightness temperatures).

Voor een kadedijk kan de helderheidtemperatuur observatie van de L-band radiometer wiskundig worden beschreven als

$$Tb_p = \sum_{i=1}^n f_i T_i \quad (1)$$

waarin f de fractie energie is die door laag i , p de polarisatie (horizontaal of vertikaal), T_i de effectieve temperatuur van laag i en n de totale hoeveelheid lagen. De effectieve reflectiviteit ($R_{eff[p]}$) van de kadedijk kan dan worden beschreven als

$$R_{eff[p]} = 1 - \sum_{i=1}^n f_i \quad (2)$$

De waarde van f is direct gerelateerd aan de diëlectrische constante van de laag en kan eenvoudig worden uitgerekend aan de hand van de Maxwell vergelijkingen [4]. De diëlectrische constante is een fysische grootheid die beschrijft hoe een elektrisch veld een medium beïnvloedt en erdoor beïnvloed wordt.

De diëlectrische constante is gedefinieerd als een complex getal opgedeeld in een reële eenheid en imaginaire eenheid. Het reële gedeelte bepaald de propagatie karakteristieken van de energie als deze omhoog beweegt door het materiaal. Het imaginaire gedeelte bepaalt het energieverlies.

Elk materiaal heeft een unieke diëlectrische constante en er is met name een zeer groot verschil tussen droog materiaal zoals bijvoorbeeld droge klei en water. Het reële gedeelte van de diëlectrische constante van een droge klei bijvoorbeeld

bedraagt ongeveer 5 tot 8 en water heeft een waarde van 80, waardoor een vochtige kleiige bodem een diëlectrische constante van 30 of hoger kan bereiken. Deze verschillen maken de passieve microgolven radiometer tot een belangrijk hulpmiddel om vochtverschillen in de bodem te bepalen.

Naast het materiaal in de bodem heeft ook de vegetatie die erop groeit een invloed op de metingen. Een dicht vegetatiedek verzwakt de signalen van de ondergrond, waardoor het moeilijker wordt om bodemvocht variaties te bepalen. Dit is met name het geval als de vegetatie nat is.

In 2009 is er door De Jeu et al., [5] een model ontwikkeld dat L-band observaties kan converteren naar bodemvocht waarbij de invloed van vegetatie en temperatuur ook meegenomen wordt. Dit model is gebaseerd op een simpel stralingsmodel en succesvol toegepast op verschillende locaties en platforms (satelliet, vliegtuig, veld) [6, 7, 8].

1.2.2 L-band Radiometer

Tijdens deze studie is gebruik gemaakt van een door Miramap ontwikkelde passieve microgolven scanner. Deze scanner registreert de natuurlijke uitstraling bij 1.4 GHz (L-band). Dit komt overeen met een golflengte van 21 cm. De sensor registreert de observaties in helderheidstemperaturen met een nauwkeurigheid van 1 K. Voor deze studie is er zowel in de horizontale als in de verticale modus ingemeten. Op deze manier kan bodemvocht het beste bepaald worden.

De radiometer is gekalibreerd en kan zonder additionele stroomvoorzieningen 3 uur meten. Elke meting wordt voorzien van een GPS locatie en intern opgeslagen.

De observatiesnelheid van de sensor is 1 seconde met een ruimtelijke resolutie van om en nabij 1 m. De penetratiediepte van de sensor over de kadedijk varieert tussen een paar centimeter als het heel nat is tot maximaal een meter wanneer er nauwelijks vocht aanwezig is.

1.3 Meetstrategie

In het kader van de studie naar de toepasbaarheid van L-band radiometrie voor het onderzoek naar de effecten van verdroging van de veenkade, zijn er zes metingen verricht in het aangegeven meetveld (zie Figuur 2). De L-band observaties werden in de horizontale en verticale modus ingemeten.

Voor de validatie studie is er tijdens de microgolven metingen ook een aantal 0-5 cm *in situ* bodemvocht metingen gedaan met een Decagon ECHO frequency domain bodemvocht sensor. Deze bodemvocht sensor meet met een nauwkeurigheid van 3 Vol.% en resolutie van 1 Vol.%. Voor nadere informatie over de specificaties van deze bodemvocht sensor wordt verwezen naar de website van de leverancier:

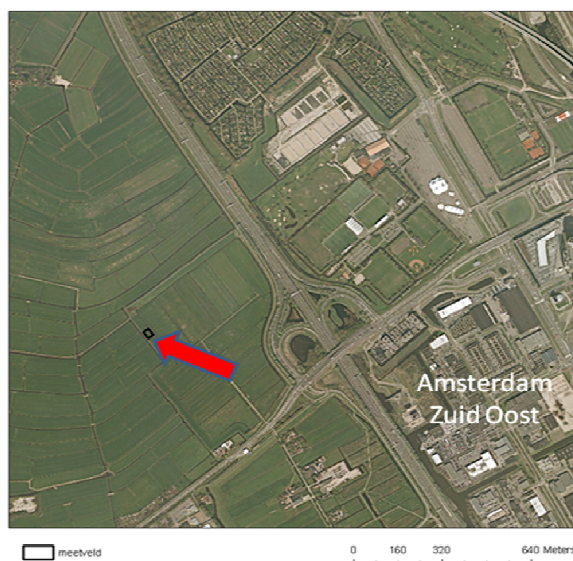
<http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/ec-5-soil-moisture-small-area-of-influence/>

Een aangepaste versie van het Land Parameter Retrieval Model [5] is daarna gebruikt om de observaties om te zetten naar bodemvocht waarnemingen en de resultaten zijn vergeleken met de *in situ* waarnemingen. Naast de *in situ* bodemvocht waarnemingen zijn de microgolven observaties ook vergeleken met grondwaterstanden die verkregen

zijn uit de pijlbuizen van Deltares (peilbuis 2 t.m. peilbuis 6, zie [9] voor meer details). Dit is gedaan om te kijken in hoeverre de bodemvochtobservaties gekoppeld kunnen worden aan freatische lijnen.

1.4 Studiegebied

Voor dit onderzoek zijn er metingen verricht op de boezemkade van de Veenderij ten zuiden van Amsterdam. Deze kade met dijktrajectnummer AO3-2010C wordt beheerd door Waternet. Er zijn metingen verricht onder verschillende hydrologische omstandigheden (nat en droog). Op 1 oktober 2011, 25 november 2011, 25 januari 2012, 3 april 2012, 23 augustus 2012 en 8 november 2012 is de kadedijk ingemeten door de radiometer. Figuur 2 geeft een detail kaart van de locatie van het meetveld.



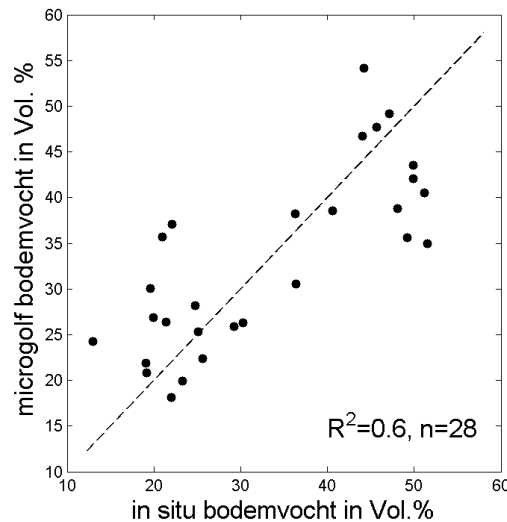
Figuur 2: Detailkaart van de meetlocatie ten zuiden van Amsterdam.

Deel 2 Analyse

2.1 Resultaten en Interpretatie

De metingen zijn geanalyseerd en worden hieronder besproken. De footprint metingen zijn geïnterpoleerd met de inverse distance weighting interpolatie techniek om zo een dekkende kaart te genereren met een resolutie van 1 m. Daarna zijn de geobserveerde helderheidstemperaturen geconverteerd naar bodemvochtwaarden met het Land Parameter Retrieval Model [5]. De bodemvochtwaarden die uit dit model rollen zijn representatief voor de eerste centimeters van de bodem. Ter verificatie zijn deze waarnemingen vergeleken met puntwaarnemingen van de eerste 5 centimeters met de ECHO bodemvocht sensor. Figuur 3 laat de bodemvocht validatie zien met 28 *in situ* observaties. De Pearson's correlatie coëfficiënt (R^2) is hier 0.6 met een standaard error van 8 Vol.% en een verwaarloosbare bias. Deze plot laat helder zien dat de L-band radiometer goed in staat is om bodemvocht te determineren. De daadwerkelijke kwaliteit van de L-band bodemvocht bepaling is in werkelijkheid eigenlijk nog veel

hoger dan hier is aangegeven omdat een groot deel van de scatter verklaard kan worden door schaling. De L-band observatie is namelijk een geïntegreerde waarde van een +/- 1 bij 1 m footprint en de in situ meting is een punt observatie van een paar centimeter. De grootte van deze schaalfout was 25 januari 2012 onderzocht door 30 ECHO observaties binnen een 1 m footprint te meten. Deze meetserie genereerde een standaard deviatie van 3.3 Vol. % bij een gemiddelde bodemvocht van 40.2 Vol.%. Wetenschappelijke studies die hier rekening mee hebben gehouden hebben laten zien dat L-band Radiometrie een zeer nauwkeurige bodemvocht sensor is die een nauwkeurigheid van binnen de 4.Vol. % kan halen onder vergelijkbare omstandigheden [10].

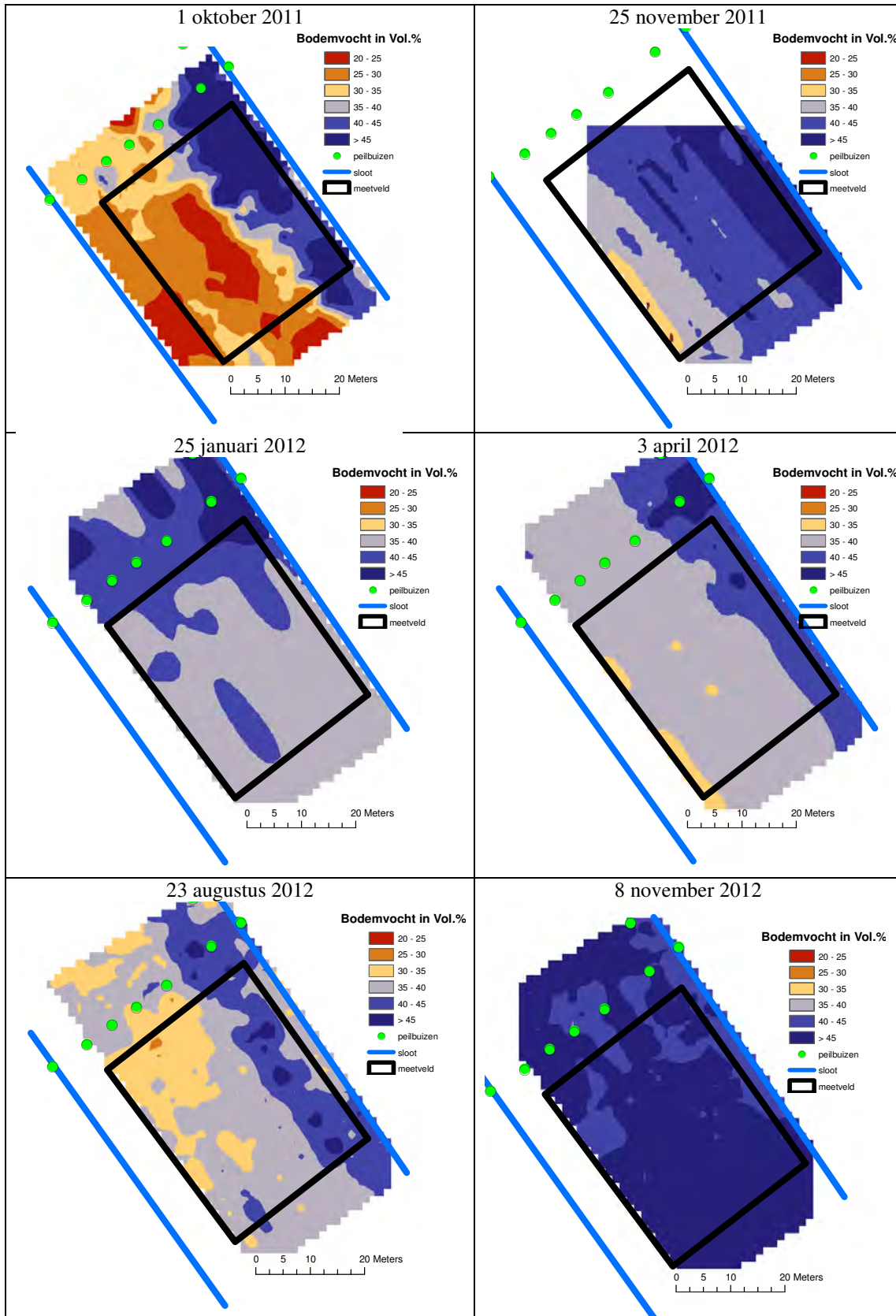


Figuur 3: Scatterplot van in situ bodemvocht observaties van de ECHO 0-5 cm sensor versus de ruimtelijke bodemvocht observaties die door het Land Parameter Retrieval Model verkregen zijn uit de Vertikale en Horizontale L-band metingen.

Naast het hierboven beschreven effect van schaling (punt meting versus 1 m footprint) hebben de volgende zaken invloed op de gevonden scatter in Figuur 3:

- De onnauwkeurigheid van de meetinstrumenten. De L-band radiometer meet met een nauwkeurigheid van 1 Kelvin en de in situ sensor zelf heeft ook een onnauwkeurigheid;
- De gras bedekking zorgt voor een verminderde gevoeligheid voor bodemvocht. Saleh et al. RSE, 2006 [10] en De Jeu et al., IEEE 2009 [5] haalde een nauwkeurigheid van +/- 3 a 4 Vol.% met L-band observaties bij gras. We kunnen aannemen dat dit L-band systeem een vergelijkbare nauwkeurigheid heeft boven gras;
- De kijkhoek van het instrument heeft ook een lichte invloed op de onnauwkeurigheid. Je meet op een vrij onregelmatig terrein waardoor de kijkhoek niet overal hetzelfde is. Dit heeft (hetzij relatief klein) een invloed op de nauwkeurigheid.

Deze observaties in acht nemend kan dus gezegd worden dat de L-band radiometer een nauwkeurige sensor is om bodemvocht in kaart te brengen. Figuur 4 laat de bodemvocht variaties zien die zijn ingemeten door de radiometer gedurende de verschillende metingen.

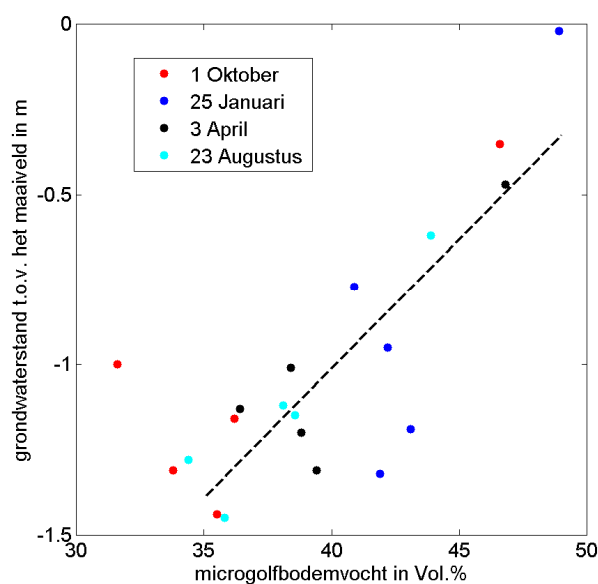


Figuur 4: Ruimtelijk bodemvocht van de Kadedijk op 6 verschillende tijdstippen. De L-band observaties zijn geconverteerd naar bodemvocht met het Land Parameter Retrieval Model en laten duidelijk een sterke vochtdynamiek zien. De helling is het gevoeligste voor verdroging en bij de teen zijn een aantal natte zones zichtbaar.

Figuur 4 laat de bodemvochtkaartjes van de verschillende metingen zien die uit L-band observaties zijn verkregen. De bodemvochtvariaties die hier zijn gepresenteerd zijn representatief voor de toplaag (0-5 cm) in Vol. %. De variatie van bodemvocht gedurende de metingen zit tussen de 20 Vol.% en 55 Vol.%. De droogste waarden zijn aangetroffen op 1 oktober 2011 op de helling van de dijk. De natste waarden bevinden zich met name bij de teen waarbij opvalt dat een stuk ten noorden van het meetveld bij alle metingen bijna continu tegen verzadiging aan zit. De meting van 8 november 2012 zijn gedaan onder zeer natte omstandigheden (gras was ook lang en heel nat) en hebben daardoor een grotere onzekerheid dan de andere 5 metingen.

Uit deze metingen valt ook op dat met name de helling en de kruin de sterkste temporele bodemvocht variatie vertonen. Juist deze gebieden kunnen kwetsbaar zijn tijdens een periode van droogte omdat hier scheurvorming kan plaatsvinden, met name als de veenconcentratie hoog is in de ondergrond.

Naast het karteren van bodemvocht is er ook als extra studie nog gekeken naar de relatie van bodemvocht met de grondwaterstanden die uit de peilbuizen verkregen is. Figuur 5 laat deze relatie zien. Hierbij zijn de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld vergeleken met de bodemvochtobservaties die uit de microgolf metingen verkregen zijn. Wat hier opvalt is dat er ondanks de scatter er een sterke relatie is tussen de twee metingen en dat er ook consistentie is tussen de verschillende metingen met een sterke droge outlier op 1 oktober 2011. De Pearson's correlatie (R^2) = 0.6 (0.73 zonder het extreme punt van 1 oktober 2011), met een standaard error van 24 cm (21 cm zonder het extreme punt) voor 20 observaties. Verder valt op dat de scatter wat groter wordt naarmate de grondwaterstand lager ligt. Dit is ook logisch omdat dan de koppeling tussen bodemvocht van de eerste centimeters en grondwater minder direct is. Deze simpele studie laat echter wel direct zien dat er dus ook potentie is om de microgolven observaties te gebruiken voor het bepalen van freatische lijnen. In alle waarschijnlijkheid gaat dit het beste in combinatie met een hydrologisch model. Maar dit is iets wat in een later stadium nog verder uitgezocht moet worden.



Figuur 3: Scatterplot van microgolf bodemvocht versus grondwaterstanden die verkregen zijn uit de peilbuizen voor de verschillende meetperioden. De stippellijn geeft de berekende lineaire relatie tussen de twee hydrologische metingen aan (in dit geval zonder de droge outlier van 1 oktober 2011).

2.2 Conclusies en Aanbevelingen

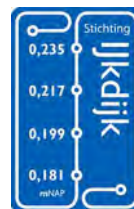
Dit onderzoek laat heel duidelijk zien dat je met L-band microgolven radiometrie de bodemvocht condities van een kadedijk kunt karteren. De metingen zijn gevalideerd met in situ observaties en laten zien dat de nauwkeurigheid goed genoeg is om de hydrologische variabiliteit in ruimte en tijd weer te geven. Deze unieke eigenschap zorgt er ook voor dat het inderdaad mogelijk is om de hydrologische effecten van droogte van een veenkade weer te geven. De radiometer kan met een paar metingen onder verschillende hydrologische omstandigheden precies zien welke gebieden kwetsbaar zijn voor droogte (i.e. welke gebieden dus sterk uitdrogen). Door middel van additionele technieken (bijv. met boringen om de veenconcentratie te bepalen) kan zelfs weergegeven worden welk deel van de veenkade kwetsbaar is voor scheurvorming. Dit is nog niet getest binnen dit project maar wel een logische vervolgstap. Deze kennis kan ook gebruikt worden om alleen daar waar nodig sensoren te plaatsen die continu ("live") meten.

Verder is er ook gekeken of passieve microgolven radiometrie potentie heeft voor het bepalen van freatische lijnen. Uit de eerste test is duidelijk gebleken dat er bij deze veenkade er een sterke relatie is tussen bodemvocht van de top laag en grondwaterstand. Het is dus goed mogelijk om radiometrie hiervoor in te zetten. Het is echter ook duidelijk dat de relatie minder wordt naarmate de grondwaterstand dieper onder het maaiveld gaat liggen. Dit is logisch en kan eventueel ondervangen worden door een hydrologisch model in te voeren wat gevoed wordt door radiometrische bodemvocht observaties. Dit is tot nu toe nog niet gedaan, maar een logisch vervolgstap om de hydrologische weerbaarheid van de Nederlandse veenkades helder in beeld te krijgen.

Concluderend kan dus gezegd worden dat je met passieve microgolven radiometrie een zeer snelle methode tot je beschikking hebt die je kunt gebruiken om een gebiedsdekkend beeld te krijgen van de bodemvocht condities van een kadedijk, zonder breekwerk, boorwerk of ingraafwerk te verrichten. Met een mobiele L-band radiometer is het zelfs mogelijk om per dag verschillende kilometers in te meten. Het signaal is echter wel complex en enige mate van expertise is noodzakelijk om de verzamelde observaties om te zetten naar bruikbare informatie.

Referenties

- [1] RAM de Jeu, R Haarbrink, en Y Provoost, Passieve microgolven radiometer houdt de dijken in de gaten, *Land en Water*, Aug 2011
- [2] LMTh. Swart, Remote Sensing voor inspectie van waterkeringen, Swartvast in opdracht voor Rijkswaterstaat, Delft, 140 pp, ISBN 978-90-79331-01-7, 2007
- [3] Stichting toegepast onderzoek waterbeheer, Een overzicht van meettechnieken, Dienst Weg en Waterbouwkunde Rijkswaterstaat (DWW-RWS) Delft, 106 pp, ISBN 90-577-3328-5, 2006
- [4] TT Wilheit, Radiative Transfer in a Plane Stratified Dielectric," *IEEE. Trans. Geosc. Electr.*, vol. 16, pp. 138-143, 1978.
- [5] RAM de Jeu et al., Parameterization of the Land Parameter Retrieval Model for L-band Observations using the Nafe'05 Dataset, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6, 630-634, doi:10.1109/LGRS.2009.2019607, 2009
- [6] M Owe, RAM De Jeu, and JP Walker A Methodology for Surface Soil Moisture and Vegetation Optical Depth Retrieval Using the Microwave Polarization Difference Index. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 1643-1654, 2001
- [7] RAM de Jeu and WW Wagner Water in the ground – Soil moisture, In: *Treatise on Water Science – Volume 2 Chapter 21 Observation of hydrological processes using remote sensing (Ed. Z. Su)*, Elsevier Press, ISBN 978-0-444-53193-3, 2011
- [8] RAM de Jeu et al. Global Soil Moisture Patterns Observed by Space Borne Microwave Radiometers and Scatterometers, *Surveys in Geophysics*, 28, 399-420 doi 10.1007/s10712-008-9044-0, 2008
- [9] R. van. Etten, Monitoring Droogteonderzoek veenkades, Factual Report en veld- en labonderzoek, Deltares, 1203255-004, 2011
- [10] Saleh et. al., Semi-empirical regressions at L-band applied to surface soil moisture retrievals over grass. *Remote sensing of Environment* 101, 415-426, 2006



H Factual report ITC

Droogteproef experiment 2012

Veenderij, Amsterdam

10 november 2012

University of Twente

Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)

Executive summary

De Universiteit Twente, Faculteit Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), heeft data ingewonnen voor de evaluatie van opties voor de bepaling van oppervlakte grondvochtigheid van een veen dijk met remote sensing op de Veenderij, Droogteproef Stowa locatie in Amsterdam.

De data is ingewonnen in de context van een onderzoeksproject naar de mogelijkheden om de kwaliteit van dijken vast te stellen met remote sensing. Dit project wordt gedaan in RSDYK, Flood Control 2015 project.

Er is een veldwerk campagne gedaan, aangezien het weer gedurende 2012 dusdanig was dat het vochtigheidsgehalte in de dijk te weinig veranderde om het nuttig te maken meer data in te winnen.

Data analyse en vergelijking is dan ook niet mogelijk aangezien geen data met andere vochtigheidswaarden zijn opgenomen.

Het wordt verwacht dat gedurende 2013 wel data zal kunnen worden ingewonnen onder droge condities, en vergeleken met de data opgenomen in 2012.

Speculatief kan worden gesteld dat op grond van data opgenomen met remote sensing op een andere veen dijk het oppervlakte vochtigheidsgehalte waarschijnlijk indicaties geeft over de opbouw van de dijk en ondergrond en daarmee voor de kwaliteit van de dijk.

1 Introductie

De Universiteit Twente, Faculteit Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), heeft data ingewonnen voor de evaluatie van opties voor de bepaling van oppervlakte grondvochtigheid van een veen dijk met remote sensing op de Veenderij, Droogteproef Stowa locatie in Amsterdam.

De data is ingewonnen in de context van een onderzoeksproject naar de mogelijkheden om de kwaliteit van dijken vast te stellen met remote sensing. Dit project wordt gedaan in het RSDYK, Flood Control 2015 project (Flood Control 2015, 2012).

Er is een veldwerk campagne gedaan, aangezien het weer gedurende 2012 dusdanig was dat het vochtigheidsgehalte in de dijk te weinig veranderde om het nuttig te maken meer data in te winnen.

Data analyse en vergelijking is dan ook niet mogelijk aangezien geen data met andere vochtigheidswaarden zijn opgenomen.

Het wordt verwacht dat gedurende 2013 wel data zal kunnen worden ingewonnen onder droge condities, en vergeleken met de data opgenomen in 2012.

1.1 Veldwerk Campagne

De veldwerk campagne en data inwinning heeft plaatsgevonden op 17 en 18 augustus 2012.

1.2 Veldwerk vereisten

Vereist voor het verzamelen van de gegevens zijn een heldere hemel. De eerste gelegenheid waarop dit plaatsvond, en dat apparatuur en personeel beide beschikbaar waren, was op 17 en 18 augustus 2012.

Voor het onderzoek is vereist dat onderzoek kan worden gedaan op het hetzelfde oppervlak met verschillende vochtigheid. Helaas is dat in 2012 niet mogelijk geweest omdat de beoogde gegevens inwinning op een relatief droge dijk niet kon worden uitgevoerd omdat het weer in 2012 vrij nat was, en de test locatie niet erg droog is geworden.

1.3 Data sets en kwaliteit

Gegevens zijn opgenomen voor 110 punten in het studiegebied van de Droogteproef locatie. Hiervan blijkt 1 punt niet geschikt vanwege in en op de dijk aanwezige kabels. De data punten liggen op 10 lijnen van de onderkant van de dijk tot de top. De afstand tussen de lijnen is 5 m. Elke lijn heeft 11 opname punten op onderling 2.5 m afstand (zie Figuur 11, appendix 1 voor de layout en Tabel 1 voor de coördinaten).

1.4 Type data

De volgende data zijn opgenomen per locatie:

- Oppervlakte vochtigheid met een z.g. soil moisture probe (ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x (by Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK).
- Hyperspectral gereflecteerde straling met een ASD Fieldspec Pro (alleen op 18 augustus 2012; rond 12;30 uur),
- Gewoon licht opnames met een (standaard) Canon EOS camera (Canon EOS 400D van Canon Inc., Tokyo, Japan). (rond 14;00 uur),
- Grond temperatuur opnamen met een NEC thermo tracer (rond 13;00 en 16;00 uur op 17 augustus, en rond 05;00, 10;00 en 14;00 uur op 18 augustus).

2 Project doelstelling

Dijken zijn een beschermingsmechanisme tegen overstroming in Nederland en vele andere landen. Volgens Van Baars (2005), beveiligen primaire (3 200 km) en secundaire (14 000 km) dijken in Nederland meer dan 50% van het land tegen overstroming. Voor het onderhouden van de grondwaterstand en afvoer van de neerslag van de lagere gebieden, wordt water van de sloten in kanalen gepompt en daar vandaan in zee. Vele van de kanalen worden gevormd door secundaire dijken. Veel van de secundaire dijken zijn zogenaamde "veen dijken". Deze dijken bestaan uit in-situ veen dat niet is afgegraven terwijl het omringende veen werd afgegraven. Het veen werd afgegraven voor brandstof vanaf de vroege middeleeuwen.

Vanwege de grote lengte is het onmogelijk om de dijken regelmatig grondig op kwaliteit te onderzoeken. Momenteel wordt de kwaliteit van de dijken vastgesteld door voornamelijk visuele inspectie en wordt alleen meer diepgaand onderzocht op locaties waar de kwaliteit visueel wordt geacht beneden standaard te zijn. Afgezien van het feit dat een visuele inspectie traag is en subjectief, is een belangrijker probleem dat de kwaliteit van een dijk seizoensgebonden kan zijn en/of afhankelijk van het dagelijks weer. De visuele controle is over het algemeen beperkt tot een keer per jaar.

Inspectie vanuit de lucht door middel van remote sensing is veel sneller en in principe ook goedkoper. Voor langere tijd wordt er al gedacht aan inspectie door middel van remote sensing, echter dit is niet systematisch onderzocht. Het onderzoek beschreven in dit rapport is onderdeel van een groter project naar de mogelijkheden om remote sensing te gebruiken voor dijk inspecties.

2.1 Remote sensing

De vegetatie aanwezig rond en op dijken wordt beïnvloed door wijzigingen in de grondwaterstand en de vochtigheid van het dijk materiaal. De meest waarschijnlijke

wijzigingen treden naar verwachting op in de chlorofyl concentraties van de vegetatie (Van der Meijde et al., 2006). Adams et al. (1999) laat zien dat de efficiëntie van absorptie van het chlorofyl afneemt en de IR reflectie daalt als gevolg van veranderingen in de celstructuur van de plant wanneer de vegetatie onder “stress” staat, i.e. minder gezond is. Dit leidt tot een afname van de reflectie in de IR gelijktijdig met een toename van reflectie in het rood.

De ruimtelijke spreiding van de oppervlaktetemperatuur rond de dijk kan worden gerelateerd aan het vochtgehalte van de bodem. De variatie van de temperatuur in de ondergrond hangt af van het thermische richtgetal dat een functie is van het watergehalte. Het effectieve bodem vochtgehalte is maximaal aan het begin van de lente en neemt vervolgens af tot het einde van de zomer (Behaegel et al., 2006). Thermische bodemeigenschappen worden sterk beïnvloed door het volumetrisch watergehalte, volume fractie van vaste stoffen, en het volume deel van lucht in de bodem.

Als de stabiliteit van veendijken en mogelijk ook klei dijken afhangt van het vochtgehalte, en de gezondheid van de vegetatie op een dijk afhankelijk is van het vochtgehalte, en het is mogelijk om de gezondheid van de vegetatie door remote sensing vast te stellen, dan moet het ook mogelijk zijn om een relatie te leggen tussen de grondgegevens, remote sensing en de kwaliteit van het veen en waarschijnlijk de kwaliteit van een dijk. Daarom wordt het voorliggende onderzoek gedaan. De oppervlakte gegevens van verschillende data wanneer het vochtigheidsgehalte verschild worden geanalyseerd in samenhang met de ondergrond gegevens.

3 Gebruikte apparatuur

3.1 ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x

De vochtigheid van het oppervlak op iedere locatie bepaald met een ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x (by Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) (Figuur 1).



Figuur 1. ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x.

3.2 Fieldspec Pro spectrometer

Hyperspectrale reflectiecoëfficiënt spectra voor elke locatie zijn gemeten met de (draagbare) ASD Fieldspec Pro spectrometer (van ASD, Inc., Boulder, Colorado)

(Figuur 2, Figuur 3, specificaties zie appendix 2). Deze draagbare spectrometer heeft een spectrale range van 350-2500 nm. Een 8° voorgrond-optiek is gebruikt op een hoogte van ongeveer 75 cm boven het grond oppervlak teneinde gegevens in te winnen over ongeveer hetzelfde oppervlak als de andere gebruikte beeld-gebaseerde remote sensing instrumenten.



Figuur 2. ASD Fieldspec Pro spectrometer.



Figuur 3. (draagbare) ASD Fieldspec Pro spectrometer.

3.3 Canon EOS 400D

Iedere locatie is opgenomen met een (standard) zichtbaar licht opname met een digitale Canon EOS 400D camera (specificaties zie appendix 2) (Figuur 4).



Figuur 4. Canon EOS 400 D Camera.

3.4 Thermo Tracer TH9100PRO

De thermische camera die is gebruikt voor de thermische straling imaging is een NEC Thermo Tracer TH9100Pro (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd, Tokya, Japan) (Figuur 5) (specificaties zie appendix 2) heeft een spectrale opname van 8 tot en met 14 μm , een resolutie van ongeveer 0.04°C , en een focus afstand van 30 cm tot oneindig. De pixelgrootte van het thermische beeld is ongeveer 1.2 mm op een afstand van 1 m, en 1,2 cm op een afstand van 10 m en de grootte van elke afbeelding is 320 X 240 pixels.

Op het scherm van de camera wordt een afbeelding getoond van het opgenomen oppervlak met de temperatuur waarden weergegeven door verschillende kleuren. De stralingsenergie van het oppervlak wordt ontvangen door de detector en omgezet in een afbeelding in pixelwaarden van radiometrische temperaturen. De camera heeft een ingebouwde automatische continue kalibratie aan een zwart lichaam en de mogelijkheid om stralingsvermogen waarden te definiëren. Het bereik van stralingsvermogen voor grond componenten voor bodem en vegetatie varieert bij een bepaalde golflengte volgens hun fysieke eigenschappen en het watergehalte (Fuchs en Tanner 1966, Van de Griend et al. 1991).



Figuur 5. Thermo Tracer TH9100pro TIR camera voor opnemen temperatuur images.

4 Evaluatie

4.1 Canon zichtbaar licht opnames

Figuur 6 en Figuur 7 zijn voorbeelden van opnames in het zichtbare licht.



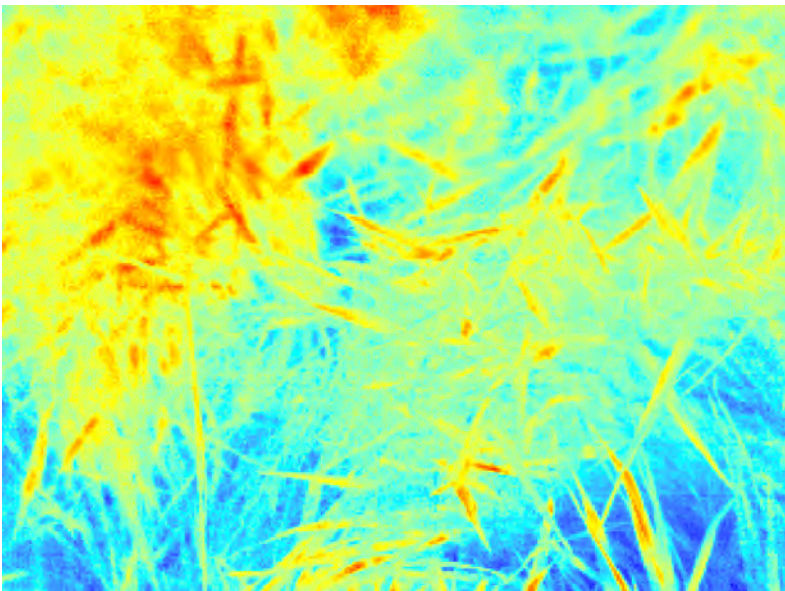
Figuur 6. Canon zichtbaar licht opname voor locatie 00-01.



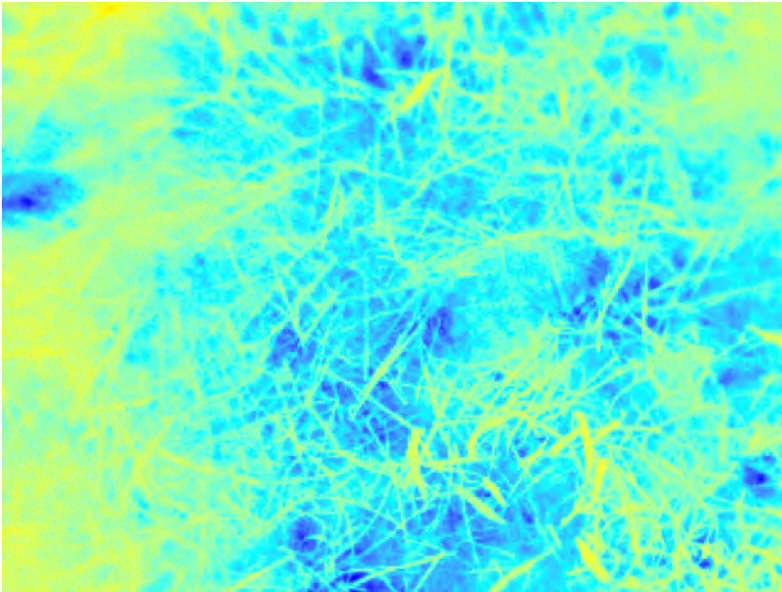
Figuur 7. Canon zichtbaar licht opname voor locatie 00-09.

4.2 NEC Thermo Tracer opnames

Figuur 8 en Figuur 9 zijn voorbeelden van opnames gemaakt met de NEC Thermo Tracer. De kleuren verschillen geven de temperatuur aan, waarbij rood een hogere temperatuur aangeeft en blauw een lagere.



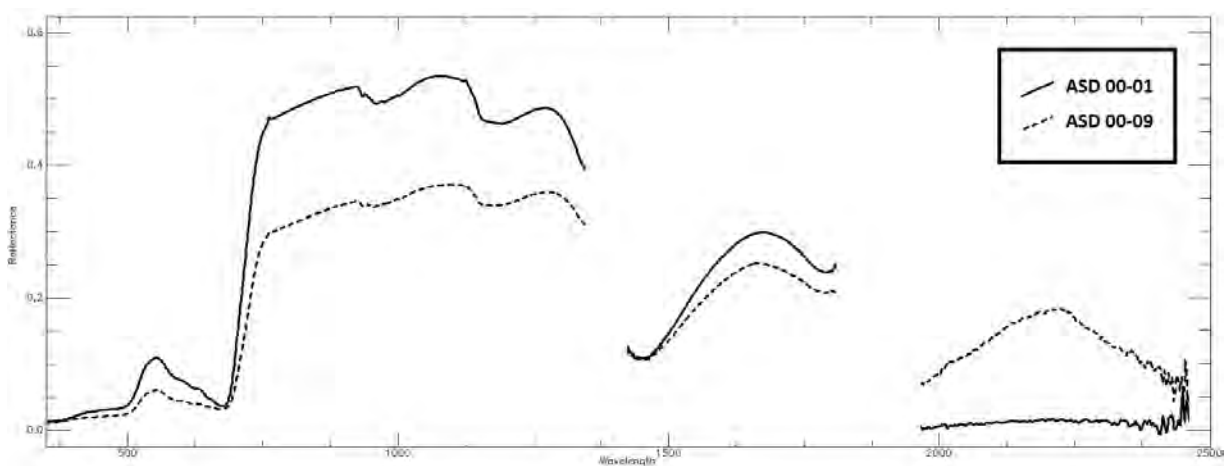
Figuur 8. NEC thermo tracer opname van locatie 00-01.



Figuur 9. NEC thermo tracer opname van locatie 00-09.

4.3 Fieldspec Pro spectrometer

Figuur 10 is een voorbeeld van de data opgenomen met de ASD Fieldspec Pro spectrometer van locaties 00-01 en 00-09.



Figuur 10. ASD Fieldspec Pro spectrometer voor locaties 00-01 en 00-09.

4.4 Discussie

Slechts één (de "basis") dataset kon worden ingewonnen. De data set voor de dijk onder droge toestand kon niet worden verkregen vanwege het weer in 2012. Vergelijking van data sets van natte en droge omstandigheden kon dus niet worden gedaan. Datasets van andere partijen werden pas in november 2012 ontvangen. Het

tijdsbestek tot dit verslag was te kort om een beoordeling en vergelijking te doen met de gegevens van andere partijen.

5 Conclusies

Het doel van het verzamelen van gegevens is een vergelijking tussen remote sensing en grond gegevens verzameld tijdens natte en droge omstandigheden van de locatie. Dat doel is niet bereikt vanwege de weersomstandigheden. Aangezien in de meeste jaren wel langdurige droge periodes voorkomen, wordt verwacht dat in 2013 weersomstandigheden zodanig zullen zijn dat gegevens onder droge omstandigheden wel kunnen worden ingewonnen.

Speculatief, gebaseerd op ervaring met een andere veen dijk, is het waarschijnlijk dat de ingewonnen data kunnen worden gecorreleerd met het vochtgehalte in het materiaal aan het oppervlak van dijk wat een indicatie geeft van heterogeniteit in de ondergrond (Cundill et al., 2012, Hack et al., 2008).

6 Personen die project hebben uitgevoerd

The volgende personen hebben het project uitgevoerd:

Sharon Cundill, MSc; University Twente, ITC

Dr. Robert Hack; University Twente, ITC

Referenties

Adams, M.L., Philpot, W.D., Norvell, W.A., 1999. Yellowness index: An application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. *International Journal of Remote Sensing*. 20 (18). DOI: 10.1080/014311699211264. pp. 3663-3675.

Béhaegel, M., Sailhac, P., Marquis, G., 2007. On the use of surface and ground temperature data to recover soil water content information. *Journal of Applied Geophysics*. 62 (3). DOI: 10.1016/j.jappgeo.2006.11.005. pp. 234-243.

Cundill, S.L., Hack, H.R.G.K., Van der Meijde, M., Van der Schrier, J.S., Ngan-Tillard, D.J.M., 2012. Quality of peat dykes evaluated by remote sensing. In: Klijn, F., Schweckendiek, T. (Eds), *Comprehensive Flood Risk Management: Research for Policy and Practice*. CRC Press, Leiden. ISBN: 978-0415621441. pp. CD-Rom.

Hack, H.R.G.K., Van der Meijde, M., Van der Schrier, J.S., Awaju, J.H., Rupke, J., Barritt, S., Van 'T Hof, J., Maccabiani, J., Maresch, S., Calero, D.P., Reymer, A., Schweckendiek, T., Stoop, J., Wilbrinck, H., Zomer, W., 2008. Strength of peat dykes evaluated by remote sensing (Gebiedsdekkende dijksterkte bepaling met remote sensing), Pilot project: RSDYK2008, Program Flood Control 2015. *Flood Control 2015*, Delft. p. 135.

Flood Control 2015, 2012. *Flood Control 2015*. <http://www.floodcontrol2015.com/> [Accessed: 20 November 2012]

Fuchs, M., Tanner, C.B., 1966. Infrared thermometry of vegetation. *Agronomy Journal*. 58. pp. 597-601.

Van Baars, S., 2005. The horizontal failure mechanism of the Wilnis peat dyke. *Géotechnique*. 55 (4). DOI: 10.1680/geot.2005.55.4.319. pp. 319–323.

Van de Griend, A.A., Owe, M., Groen, M., Stoll, M.P., 1991. Measurement and spatial variation of thermal infrared surface emissivity in a savannah environment. *Water Resources Research*. 27. pp. 371-379.

Van der Meijde, M., Van der Werff, H.M.A., Van der Meer, F.D., 2006. Detection of anomalous vegetation related to pipeline leakages using airborne hyperspectral measurements : final report. University Twente, ITC, Enschede. p. 25.

Appendix 1

Data locaties

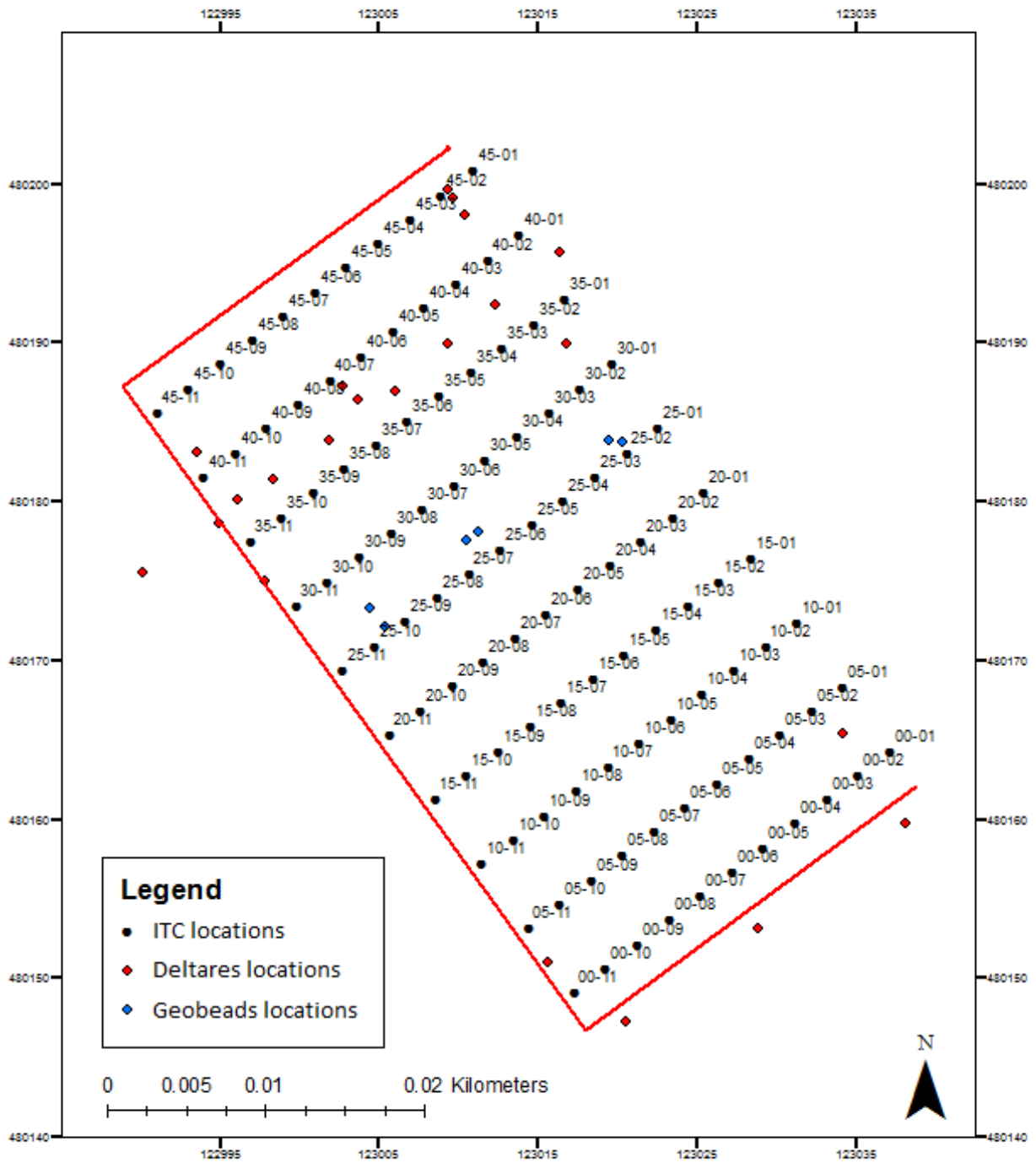
Tabel 1. Coördinaten test locaties.

X	Y	Location ID
123037.237668	480164.521099	00-01
123035.253528	480163.000182	00-02
123033.269387	480161.479265	00-03
123031.285247	480159.958349	00-04
123029.301107	480158.437432	00-05
123027.316967	480156.916515	00-06
123025.332827	480155.395598	00-07
123023.348687	480153.874682	00-08
123021.364546	480152.353765	00-09
123019.380406	480150.832848	00-10
123017.396266	480149.311931	00-11
123034.320227	480168.581707	05-01
123032.336092	480167.060784	05-02
123030.351952	480165.539867	05-03
123028.367812	480164.018950	05-04
123026.383672	480162.498033	05-05
123024.399531	480160.977116	05-06
123022.415391	480159.456200	05-07
123020.431251	480157.935283	05-08
123018.447111	480156.414366	05-09
123016.462971	480154.893449	05-10
123014.478831	480153.372532	05-11
123031.402787	480172.642316	10-01
123029.418613	480171.121445	10-02

X	Y	Location ID
123027.434473	480169.600529	10-03
123025.450333	480168.079612	10-04
123023.466193	480166.558695	10-05
123021.482052	480165.037778	10-06
123019.497912	480163.516861	10-07
123017.513772	480161.995945	10-08
123015.529632	480160.475028	10-09
123013.545492	480158.954111	10-10
123011.561352	480157.433194	10-11
123028.485346	480176.702924	15-01
123026.501164	480175.182065	15-02
123024.517024	480173.661149	15-03
123022.532884	480172.140232	15-04
123020.548744	480170.619315	15-05
123018.564603	480169.098398	15-06
123016.580463	480167.577482	15-07
123014.596323	480166.056565	15-08
123012.612183	480164.535648	15-09
123010.628043	480163.014731	15-10
123008.643903	480161.493815	15-11
123025.567905	480180.763533	20-01
123023.583767	480179.242613	20-02
123021.599627	480177.721696	20-03
123019.615487	480176.200779	20-04
123017.631347	480174.679863	20-05
123015.647207	480173.158946	20-06
123013.663066	480171.638029	20-07
123011.678926	480170.117112	20-08
123009.694786	480168.596196	20-09

X	Y	Location ID
123007.710646	480167.075279	20-10
123005.726506	480165.554362	20-11
123022.650465	480184.824141	25-01
123020.666312	480183.303241	25-02
123018.682172	480181.782324	25-03
123016.698032	480180.261408	25-04
123014.713892	480178.740491	25-05
123012.729752	480177.219574	25-06
123010.745612	480175.698657	25-07
123008.761472	480174.177740	25-08
123006.777331	480172.656824	25-09
123004.793191	480171.135907	25-10
123002.809051	480169.614990	25-11
123019.733024	480188.884749	30-01
123017.748865	480187.363860	30-02
123015.764724	480185.842943	30-03
123013.780584	480184.322026	30-04
123011.796444	480182.801109	30-05
123009.812304	480181.280193	30-06
123007.828164	480179.759276	30-07
123005.844024	480178.238359	30-08
123003.859883	480176.717442	30-09
123001.875743	480175.196526	30-10
122999.891603	480173.675609	30-11
123016.815584	480192.945358	35-01
123014.831454	480191.424427	35-02
123012.847313	480189.903510	35-03
123010.863173	480188.382593	35-04
123008.879033	480186.861677	35-05

X	Y	Location ID
123006.894893	480185.340760	35-06
123004.910753	480183.819843	35-07
123002.926613	480182.298926	35-08
123000.942472	480180.778010	35-09
122998.958332	480179.257093	35-10
122996.974192	480177.736176	35-11
123013.898143	480197.005966	40-01
123011.914001	480195.485052	40-02
123009.929861	480193.964135	40-03
123007.945721	480192.443218	40-04
123005.961581	480190.922302	40-05
123003.977440	480189.401385	40-06
123001.993300	480187.880468	40-07
123000.009160	480186.359551	40-08
122998.025020	480184.838634	40-09
122996.040880	480183.317718	40-10
122994.056740	480181.796801	40-11
123010.980702	480201.066574	45-01
123008.996559	480199.545662	45-02
123007.012419	480198.024746	45-03
123005.028279	480196.503829	45-04
123003.044139	480194.982912	45-05
123001.059998	480193.461995	45-06
122999.075858	480191.941079	45-07
122997.091718	480190.420162	45-08
122995.107578	480188.899245	45-09
122993.123438	480187.378328	45-10
122991.139298	480185.857411	45-11



Figuur 11. Droofteproef Stowa site. Test locaties voor oppervlakte metingen.

Appendix 2

Specifications Fieldspec Pro spectrometer

Spectral Range	350-2500 nm
Spectral Resolution	3 nm @ 700 nm 10 nm @ 1400/2100 nm
Sampling Interval	1.4 nm @ 350-1050 nm 2 nm @ 1000-2500 nm
Scanning Time	100 milliseconds
Stray light specification	VNIR 0.02%, SWIR 1 & 2 0.01%
Wavelength reproducibility	0.1 nm
Wavelength accuracy	0.5 nm
Maximum radiance	VNIR 2X Solar, SWIR 10X Solar
Channels	2151
Detectors	VNIR detector (350-1000 nm): 512 element silicon array SWIR 1 detector (1000-1800 nm): Graded Index InGaAs Photodiode, TE Cooled SWIR 2 detector (1800-2500 nm): Graded Index InGaAs Photodiode, TE Cooled
Input	1.5 m fiber optic (25° field of view). Optional narrower field of view fiber optics available.
Noise Equivalent Radiance (NE_{dL})	VNIR 1.0 X10 ⁻⁹ W/cm ² /nm/sr @ 700 nm SWIR 1 1.2 X10 ⁻⁹ W/cm ² /nm/sr @ 1400 nm SWIR 2 1.9 X10 ⁻⁹ W/cm ² /nm/sr @ 2100 nm
Weight	5.44 kg (12 lbs)
Calibrations	Wavelength, absolute reflectance, radiance*, irradiance*. All calibrations are NIST traceable. (*radiometric calibrations are optional)

ASD FieldSpec Pro Description (from ASD Inc.)



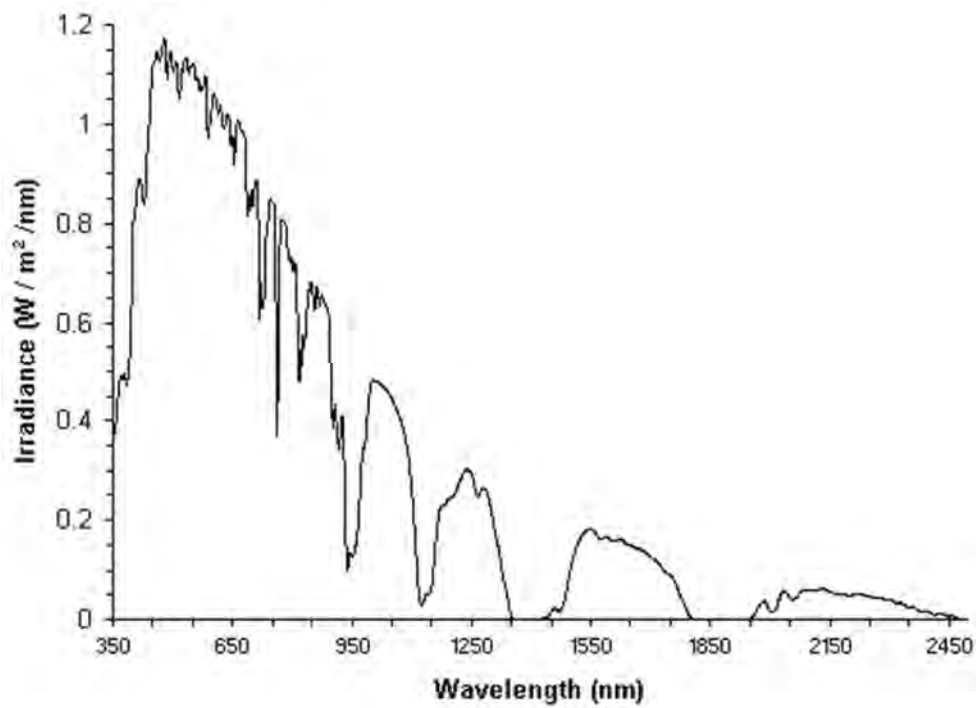
Figuur 12. ASD FieldSpec Pro spectrometer.

Features

ASD's flagship model, the FieldSpec Pro (Figuur 12 en Figuur 13) is the industry standard for a wide range of challenging Remote Sensing applications, and offers superior signal-enhancing features and high resolution with a 350 - 2500 nm spectral range. The instrument is backpack-mounted to enable the collection of spectral measurements wherever you want to go. Acquiring field data has never been faster or easier!

Designed to collect solar reflectance, radiance and irradiance measurements, these instruments are ideal for applications in mining, optical remote sensing, oceanography, forestry, plant physiology and geology. With exceptional portability, the FieldSpec Pro is compact and easy to set up, letting you collect more data from more sites in less time.

A Contact Reflectance Probe can be fixed as a foreoptic attachment to the fibre-optic cable to provide all-weather spectral capabilities for the FieldSpec Pro. This attachment brings the ASD FieldSpec in line with other instruments such as the PIMA II, allowing the user to collect high quality reflectance spectra over a range of surfaces, with improved signal to noise ratios, thus making it ideal for spectral library creation across a range of applications.



Figuur 13. Example Solar Spectrum Measured with ASD FieldSpec.

Specificaties Canon EOS 400D

Specifications

• Type

Type:	Digital, single-lens reflex, AF/AE camera with built-in flash
Recording media:	Type I or II CF card * Compatible with Microdrive and 2GB or larger CF cards
Image sensor size:	22.2 x 14.8mm
Compatible lenses:	Canon EF lenses (including EF-S lenses) (35mm-equivalent focal length is approx. 1.6 times the lens focal length)
Lens mount:	Canon EF mount

• Imaging Element

Type:	High-sensitivity, high-resolution, large single-plate CMOS sensor
Pixels:	Effective pixels: Approx. 10.10 megapixels Total pixels: Approx. 10.50 megapixels
Aspect ratio:	3:2
Color filter system:	RGB primary color filter
Low-pass filter:	Located in front of the image sensor, non-removable
Dust deletion feature:	(1) Sensor cleaning: Auto (2) Sensor cleaning: Manual (3) Dust Delete Data appended to image data

• Recording System

Recording format:	Design rule for Camera File System 2.0
Image type:	JPEG, RAW (12bit)
RAW+JPEG simultaneous recording:	Provided
File size:	(1) Large/Fine: Approx. 3.8MB (3888 x 2592 pixels) (2) Large/Normal: Approx. 2.0MB (3888 x 2592 pixels) (3) Medium/Fine: Approx. 2.3MB (2816 x 1880 pixels) (4) Medium/Normal: Approx. 1.2MB (2816 x 1880 pixels) (5) Small/Fine: Approx. 1.3MB (1936 x 1288 pixels) (6) Small/Normal: Approx. 0.7MB (1936 x 1288 pixels) (7) RAW: Approx. 9.8MB (3888 x 2592 pixels) **Exact file sizes depend on the subject, ISO speed, Picture Style, etc.
File numbering:	Consecutive numbering, auto reset, manual reset
Color space:	sRGB, Adobe RGB
Picture Style:	Standard, Portrait, Landscape, Neutral, Faithful, Monochrome, User Def. 1 - 3
Interface:	USB port (USB 2.0 Hi-Speed): For connection to a personal computer and direct printing Video OUT terminal (NTSC/PAL)

166

Specifications "Thermo Tracer TH9100PRO" camera.

Specifications

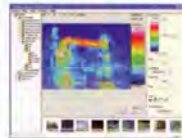
Measuring range	TH9100PMV	TH9100PWV	
	Range 1	-20 to 100°C	-40 to 120°C
	Range 2	0 to 250°C	0 to 500°C
	Range 3 (option)	100 to 800°C	200 to 2000°C
	Range 4 (option)	200 to 2000°C	—
Resolution	Range 1	0.06°C (at 30°C 60Hz)	0.08°C (at 30°C 60Hz)
		0.02°C (at 30°C Σ 64)	0.03°C (at 30°C Σ 64)
Accuracy	$\pm 2^\circ\text{C}$ or $\pm 2\%$ of reading whichever greater		
Detector	Uncooled focal plane array (microbolometer)		
Spectral range	8 to 14 μm		
I.F.O.V.	1.2mrad		
Focusing range	30cm to infinity		
Field of view	21.7°(H) x 16.4°(V)		
Frame time	60 frames/sec		
Display	View finder and 3.5 inch LCD monitor with auto switch		
Thermal image pixels	320 (H) x 240 (V) pixels		
A/D resolution	14 bits		
Measuring functions	Run/Freeze		
S/N improvement	Σ 2, Σ 8, Σ 16, Σ 32, Σ 64 and spatial filter ON/OFF		
Alarm	Screen display and alarm sound (ON/OFF)		
Interval measurement	Recording on built in real time memory : 160 to 3600 sec interval		
	Recording on memory card : 5 to 3600 sec interval (thermal image)		
	30 to 3600 sec. (thermal & visual image)		
	Trigger function provided		
Emissivity correction	0.10 to 1.00 (at 0.01 step), Emissivity table provided		
Env. temp. correction	Provided (including interval NUC)		
User setup	Pre-registration of environmental setup (max. 10 setups)		
Background comp.	Provided		
Auto functions	Full automatic (level, sense, focus)		
	Level trace, auto-gain control		
Display functions	Thermal/visual composite image display		
	Display color : color/monochrome, positive/negative		
	Gradation : 16, 32, 64, 128, 256		
	Color palette : rainbow, brightness, shine, hot-iron, medical, line		
	Isothermal band display : max. 4 bands		
	Thumbnail display : 12 thermal images replay		
Image processing functions	Multi-sense display, Battery life indicator		
	Line-profile : X, Y line profile (waveform display)		
	Multilingual menu		
	Variable level/sense		
	Multi-point temperature display (10pts)		
	Multi-point emissivity display (10pts)		
Annotation	Δ display		
	Max/Min (peak hold) temperature display		
	Alarm (full screen or specified box)		
	Digital zoom : 2, 4 times (Run/Freeze)		
	Box setting (max. 5 boxes)		
	Text and voice annotation (30 sec per image)		
Storage device	Compact flash memory card for:		
	Thermal image in SIT or BMP file format		
	Visual image in SIT or JPEG file format		
	Thermal/visual composite image in BMP file format		
Movie recording	Real-time memory : 1664 images (max. 60Hz)		
Video signal output interface	NTSC/PAL composite video signal, S-video		
	IEEE1394, RS-232C		
Operating temp./humidity	-15 to 50°C, 90% RH or less (not condensed)		
Storage temp./humidity	-40 to 70°C, 90% RH or less (not condensed)		
Power supply	AC adaptor : 100V to 240V, DC 7.2V (nominal)		
Power consumption	Approx. 6W (typ)		
Shock and vibration	294m/sec ² (IEC60068-2-27), 29.4m/sec ² (IEC60068-2-6)		
Environmental protection	IP54 (IEC60529)		
Dimensions	Approx. 108 (W) x 113 (H) x 189 (D) mm (excluding projection)		
Weight	Approx. 1.4kg (excluding LCD & battery) Approx. 1.7kg (including LCD & battery)		
Standard accessories	AC adaptor, battery pack (2pcs), battery charger, compact flash memory card, grip belt, neck strap, lens cap, carrying case, viewer software, operation manual		

Specifications are subject to change without prior notice.

Visual Camera

Pixels	0.41Mega pixels
Effective image pixels	752 (H) x 480 (V) pixels
Field of view	30.1° (H) x 22.7° (V)
Sensitivity	1 lux
Focusing distance	30cm to infinity
Auto exposure	Provided
Video signal	NTSC/PAL

Viewer Software



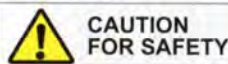
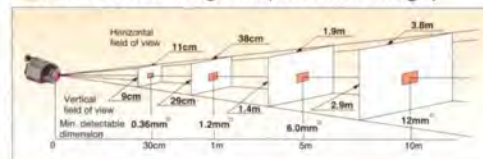
- Thermal image display :
- Thermal image thumbnail (Windows Explorer)
- Thermal image replay
- Image preview
- Setup & Functions :
Level, Sense, Span, Voice replay,
Selection of thermal or visual image,
Color bars, Gradation, Page
- Edit :
Image save (BMP or JPEG)
Select folder

Options

TH91-390	High temperature range for TH9100PMV *1 R3: 100 to 800°C, R4: 200 to 2000°C
TH91-392	High temperature range for TH9100PWV *1 R3: 200 to 2000°C
TH91-313	USB interface with TH91-737 remote program *1
TH91-382	Telephoto lens (x2) 10.9°(H) x 8.2°(V) with visual camera
TH91-383	Wide angle lens 42.0°(H) x 32.1°(V) with visual camera
TH91-386	Close-up lens, 95 μm , 30mm(H) x 22mm(V) W.D. 75mm
TH91-385	Close-up lens, 37 μm , 11mm(H) x 8mm(V) W.D. 13mm
TH91-387	External lens adaptor for TH71-344A wide angle lens, TH71-377/378 close up lenses
TH71-464	Rechargeable battery pack (Li-ion) 7.2V 1800mAh
TH71-340	Battery charger for 100/110V (2 battery slots)
TH71-339	Battery charger for 220/240V (2 battery slots)
TH71-334	AC adaptor (100/110V AC)
TH71-360	AC adaptor (110V AC) UL
TH71-359	AC adaptor (220/240V AC) CE
TH91-375	Remote controller
TH91-398-L05	5m cable for remote controller TH91-375
TH71-347	LCD remote controller (TH91-347-L connecting cable is required)
TH91-347-L05	5m cable for LCD remote controller TH71-347
TH91-347-L10	10m cable for LCD remote controller TH71-347
TH91-347-L15	15m cable for LCD remote controller TH71-347
TH91-347-L20	20m cable for LCD remote controller TH71-347
TH91-349	RS232C Cable
TH91-348	S-video cable
TH91-713	Report Generator Software *2
TH91-711	Image Processor Software (TH91-713 is required) *2
TH91-712	Image Processor Pro Software *2
TH71-717	IEEE1394 Data Capture Software *2
MikroSpec	Thermal Imaging Software *2
MikroSpec R/T	Real-Time Thermal Data Acquisition & Analysis Software *2
irMotion	Recorder, Trigger and Measurement Software *2
Trigger Box	Trigger box for irMotion

*1 Specify these options when ordering the main unit (TH9100PMV/PWV)
*2 Compatible with the Microsoft Windows 2000 professional, Windows XP

Field of View Diagram (Thermal image)



Please read "WARNING" & "CAUTION" in the operation manual attached to the product carefully for proper operation before using the product.

NEC San-ei Instruments, Ltd.

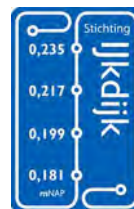
ebs
Automatisierte Thermographie
und Systemtechnik GmbH
Kienzstrasse 1
85737 Ismaning - Germany
Telefon: +49 (0)89 9230 687-10
Telefax: +49 (0)89 9230 687-29
e-Mail: info@irPOD.net
Internet: www.irPOD.net

1-25-12, Akebono-cho, Tachikawa-shi,
Tokyo 190-8537, Japan
Phone: +81-42-522-0529
Fax : +81-42-522-0538
E-mail: osd@necsan-ei.co.jp
Web : http://www.necsan-ei.co.jp/osd/



Catalog ref : 048

10506A3 Printed in Japan



I Factual report Ten Cate GeoDetect

IJkdijk 3 Veendijkproject Amsterdam

Rek en temperatuur monitoring met TenCate GeoDetect[®]
Rapport 30 november 2012

Rapport opgesteld voor
Stiching IJkdijk

Door
Dr. Olivier Artières
Global Technology Manager TenCate GeoDetect[®]

30 november 2012

Rapport Veendijk monitoring met TenCate GeoDetect– pagina 1/13

TenCate Geosynthetics France S.A.S.
9, rue Marcel Paul – B.P. 40080
95873 Bezons Cedex – France
Tel +33 (0)1 34 23 53 63
Fax +33 (0)1 34 23 53 98
www.tencate.com

S.A.S. au capital de 11 475 000 €
RCS Pontoise B 353 782 410
Siret 353 782 410 000 24
Code APE 247Z
N° identification FR 14 353 782 410



Certification AFAQ N° 1997/8666a
pour la conception, la fabrication
et la vente de géotextiles et
produits apparentés

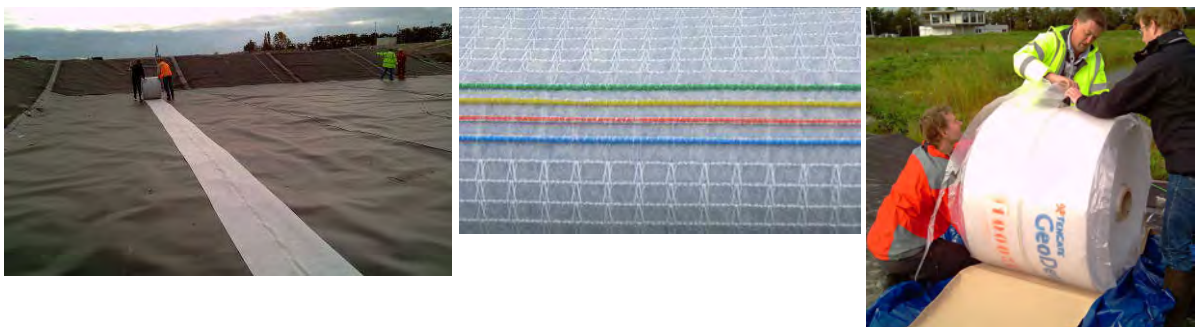
1. Inleiding

Dit IJkdijkproject is hoofdzakelijk gericht op het gedrag van veendijken onder veranderende klimaatomstandigheden. TenCate Geosynthetics is betrokken bij dit experimentele onderzoek dat ten doel heeft metingen te verrichten aan een bestaande veendijk in de omgeving van Amsterdam. In aanvulling op andere meetsystemen heeft de oplossing TenCate GeoDetect® ten doel het evalueren van de bodembewegingen en de temperatuursveranderingen over de lengte van de dijkstrekke.

2. De oplossing TenCate GeoDetect®

De oplossing TenCate GeoDetect® is een met glasvezel sensoren uitgerust geotextiel dat functioneert als sensor (een composiet-geotextiel met optische fibers, optische aansluitfibers, verbindings-pigtails en lasdozen) en een optische interrogator (uitleesunit) voor gegevensregistratie.

Het TenCate GeoDetect® S-BR met sensoren uitgerust geotextiel bestaat een strook van 0,76 m breed voorzien van 4 optische fibers, 2 voor temperatuurmeting en 2 voor rekmeting. In dit project worden zowel rek als temperatuursmetingen verricht met 1 optische fiber voor temperatuursmeting en 1 optische fiber rekmeting. Zie ook het bijgevoegde productgegevensblad.



Figuur 1. De TenCate GeoDetect® S-BR textiel-composiet sensor en de optische fibers (gekleurd)

Anders dan bij bestaande detectiesystemen samengesteld uit lokaal aangebrachte en apart aangesloten sensoren, wordt met deze oplossing ononderbroken gemeten over de gehele lengte van de dijkstrekke. Hierdoor is het niet nodig te schatten waar stabiliteitsproblemen of lekkages zouden kunnen optreden. Het systeem geeft de plaats van evt. lekkage -bijvoorbeeld door kwelstroming- en deformatie aan met een ruimtelijke resolutie van 1 meter, in sommige gevallen zelfs van 0,5 m. Het systeem met deze techniek kan enkele tientallen kilometers dijkstrekke bewaken.

Na installatie leveren de glasvezel sensoren in het geotextiel door lasergestuurde uitlezing gegevens over de rek en temperatuur in de bodem aan de instrumentatie

van het systeem. Rek in het geotextiel en daarmee in het grondoppervlak kunnen vanaf 0,01% worden gemeten en met de juiste software kunnen temperatuursveranderingen worden gemeten van 0,1 tot 1°C met een ruimtelijke resolutie (gemiddelde afstand over de glasvezel sensor) van 0,5 m to 1,0 m.

3. Meetstrategie

Het doel van de TenCate GeoDetect[®] sensor is het meten van zowel rek als temperatuur over de lengte van de dijk op drie verschillende posities in het talud van de dijk. Relatieve rekveranderingen die op bodembeweging wijzen worden gelokaliseerd langs de dijk. De droogte- en zwelcycli kunnen zo worden gevolgd en de invloed op bewegingen in de dijk kan worden beoordeeld, met name in de lente/zomer, wanneer de meest interessant veranderingen verwacht worden. Van jaar tot jaar is het mogelijk te observeren of de bewegingen (krimp door droogte en zwelling in natte perioden) in de dijk omkeerbaar zijn.

Temperatuur is een geschikte parameter voor het opsporen van lekkage door de dijk. Vooral na een lange periode van droogte wordt aangenomen dat lekkage door scheuren in de dijk optreden.

Het is de bedoeling om de datalogger (uitleesunit) te installeren:

- periodiek één dag om een meting te verkrijgen en de permanente veranderingen in de dijk te volgen;
- continu gedurende 1 tot 3 maanden in het droge seizoen om te observeren wat de gevolgen zijn van droogte voor de stabiliteit van de dijk van de dijk en voor mogelijk optredende lekken ten gevolge van scheurvorming.

4. Het meetgebied

Het TenCate GeoDetect[®] systeem wordt gebruikt om te meten over een dijk lengte van ongeveer 30 m (Figuur 2) aan de zuidzijde van de dijk. De stroken zijn geïnstalleerd op drie verschillende niveaus: de kruin, het midden van de helling, en de teen. Ze zijn ingegraven in een 40 cm diepe sleuf (Figuur 3).



Figuur 2. De locatie van de veendijk



Figuur 3. Installatie van de TenCate GeoDetect® S-BR sensor in de sleuven

De TenCate GeoDetect® S-BR stroken zijn zonder onderbreking in de sleuven gelegd in twee “U-vormige profielen”, één strook in de bovenste en middelste sleuf, de tweede strook in de onderste sleuf (Teen 1 en Teenr 2). De “U-bocht” van de strook ligt aan de zuidzijde. In totaal is een sensorlengte van 160 m op deze locatie geïnstalleerd.

De optische fibers van de TenCate GeoDetect® stroken en de verbindingsfiber zijn aan elkaar verbonden door middel van een optische lasverbinding in 2 lasdozen aan de noordzijde van het terrein, één op het niveau aande Kruin en één op het niveau aan de Teen. De afstand tussen de noordzijde van het meetgebied en het gedeelte met de referentie monitoring instrumenten is ongeveer 5m (Figuur 4).



Figuur 4. De noordkant van het terrein met de twee mangaten

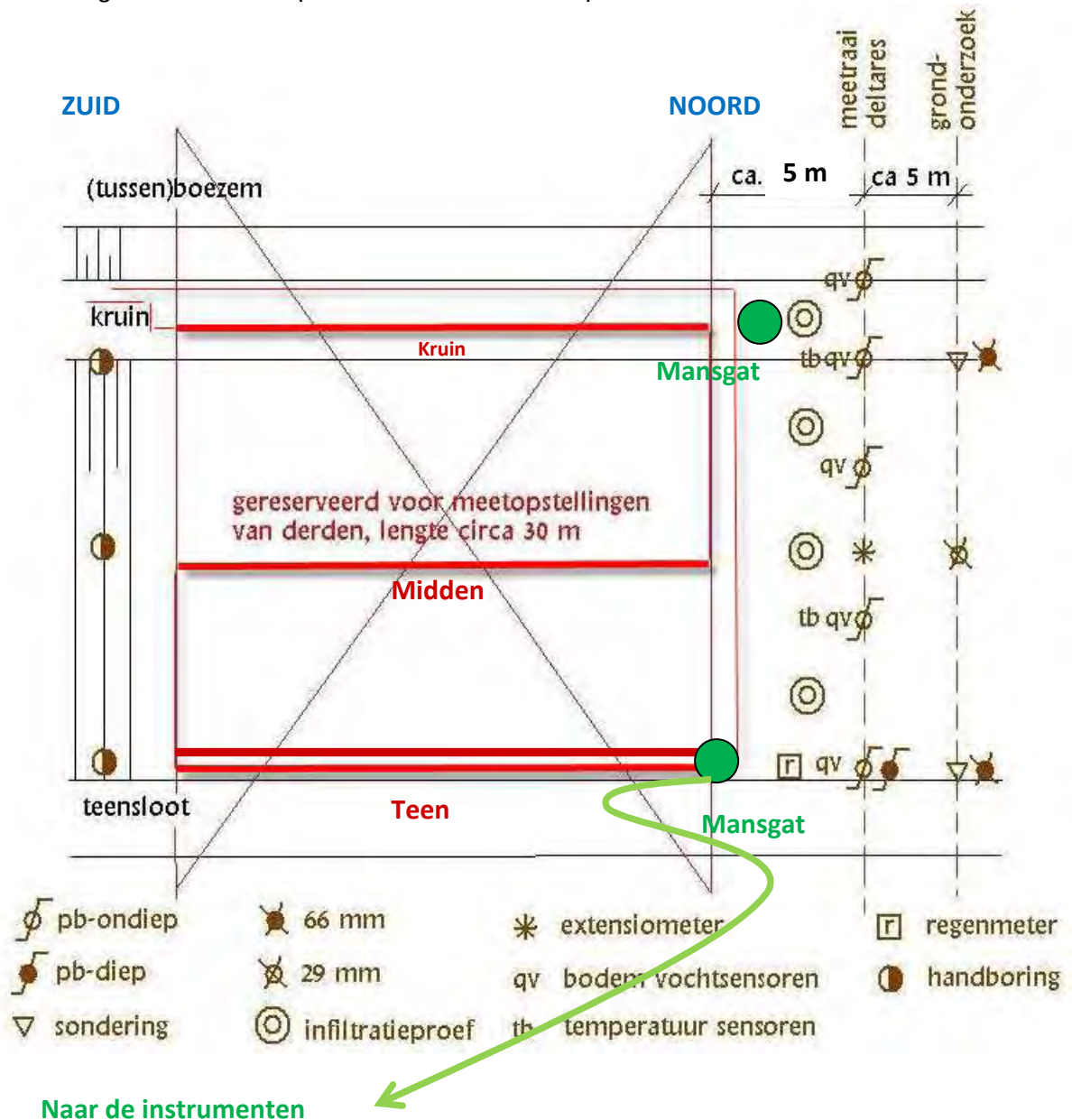


Het gebied dat gemonitord wordt is met behulp van een in de grond ingegraven optische fiber aangesloten op de in een container geplaatste instrumentatie (Figuur 5).

Er is één optische lus aangelegd voor rekmeting en één lus voor temperatuurmeting met de daarvoor bestemde optische fibers die zijn geïntegreerd in de sensorstroken.

Figuur 5. De Brillouin interrogator geïnstalleerd in de container

Figuur 6 toont de plaats van de stroken op het terrein.



Figuur 6.

Schematisch bovenaanzicht van de plaats van de TenCate GeoDetect® S-BR strook

(De exacte X-, Y-, Z-positie van de sensoren is niet ingemeten)

5. Meetperiodes in 2011 en 2012

De Uitleesunit is op 2 november 2011 geïnstalleerd en aangesloten op de sensoren. Het verzamelen van gegevens is gestart met een frequentie van 4 metingen per dag, respectievelijk om 0, 6, 12, en 18 uur.

Helaas werd op 26 november 2011 bij werkzaamheden van de boer op zijn veld in de buurt van de container de verbindingsfiber doorgesneden.

Op 2 december 2011 is een bezoek gebracht aan het terrein om de schade te beoordelen. Hoewel hoed te herstellen bleek, directe reparatie niet mogelijk en het uitlees apparaat is derhalve daarna enkele maanden niet ingezet voor dit project.

Reparatie en aansluiting zijn gerealiseerd op 21 mei 2012. De uitleesunit bleek echter losgekoppeld door derden waardoor revisie benodigd was. De uitleesunit is derhalve voor reparatie tijdelijk buiten bedrijf gesteld.

Op juli 2012 is heeft een nieuw site bezoek plaatsgevonden met de herstelde apparatuur. Helaas bleek de stroomvoorziening in geplaatste container niet te werken. Met de ter plaatse beschikbare generator was het wel mogelijk één enkele nieuwe uitlezing te realiseren. Daarna is gewacht op herstel van de stroomvoorziening.

Als gevolg van deze gebeurtenissen zijn de metingen voor het droge seizoen 2012 niet gerealiseerd volgens plan.

Er zijn alleen periodiek rekpunten gemeten. Onze verwachting is, indien de mogelijkheid zich voordoet, een nieuwe ononderbroken meetperiode te starten in de lente/zomer van 2013.

Er zijn geen nieuwe metingen uitgevoerd sinds 12 juli.

6. Analyse

6.1. Resultaten van 6 november 2011 tot 12 juli 2012

Figuur 7 toont de relatieve rekveranderingen tussen begin en eind november 2011. Te zien is dat de veranderingen een zeer kleine amplitude hadden, minder dan 0,02%. Dit wordt waarschijnlijk uitsluitend veroorzaakt door zetting en stabilisatie van de grond in de sleuven, niet door duidelijke beweging van de dijk door droogte of een juist natte periode.

Als voorbeeld toont Figuur 8 het dagelijks temperatuurverloop op 26 november om 0.00uur, 6.00uur en 12.00 uur vergeleken met de temperatuur om 18.00 uur de voorgaande dag. Ook zijn de temperatuursveranderingen erg klein, minder dan 1°C, terwijl uiteraard de hoogste temperatuur rond de middag, om 12 uur, wordt gemeten.

Figuur 9 toont de veranderingen in rek tussen het moment van installatie en november 2011. Figuur 10 toont de veranderingen in rek tussen het moment van installatie en juli 2012. Als we de twee grafieken vergelijken is te zien dat tussen de twee perioden de gemiddeld gemeten rek sterk is gestegen, van $\pm 0,02\%$ tot $\pm 0,2\%$. Dergelijke veranderingen zijn waarschijnlijk onomkeerbaar. Er zijn zes maanden verlopen tussen deze twee incidentele waarnemingen. Het is moeilijk om een relatie aan te geven met het waterniveau, de temperatuursveranderingen of de neerslag. Continue meting gedurende een periode van 2-3 maanden zou het mogelijk kunnen maken een correlatie te vinden tussen de rekveranderingen en veranderingen in de omgevingsomstandigheden

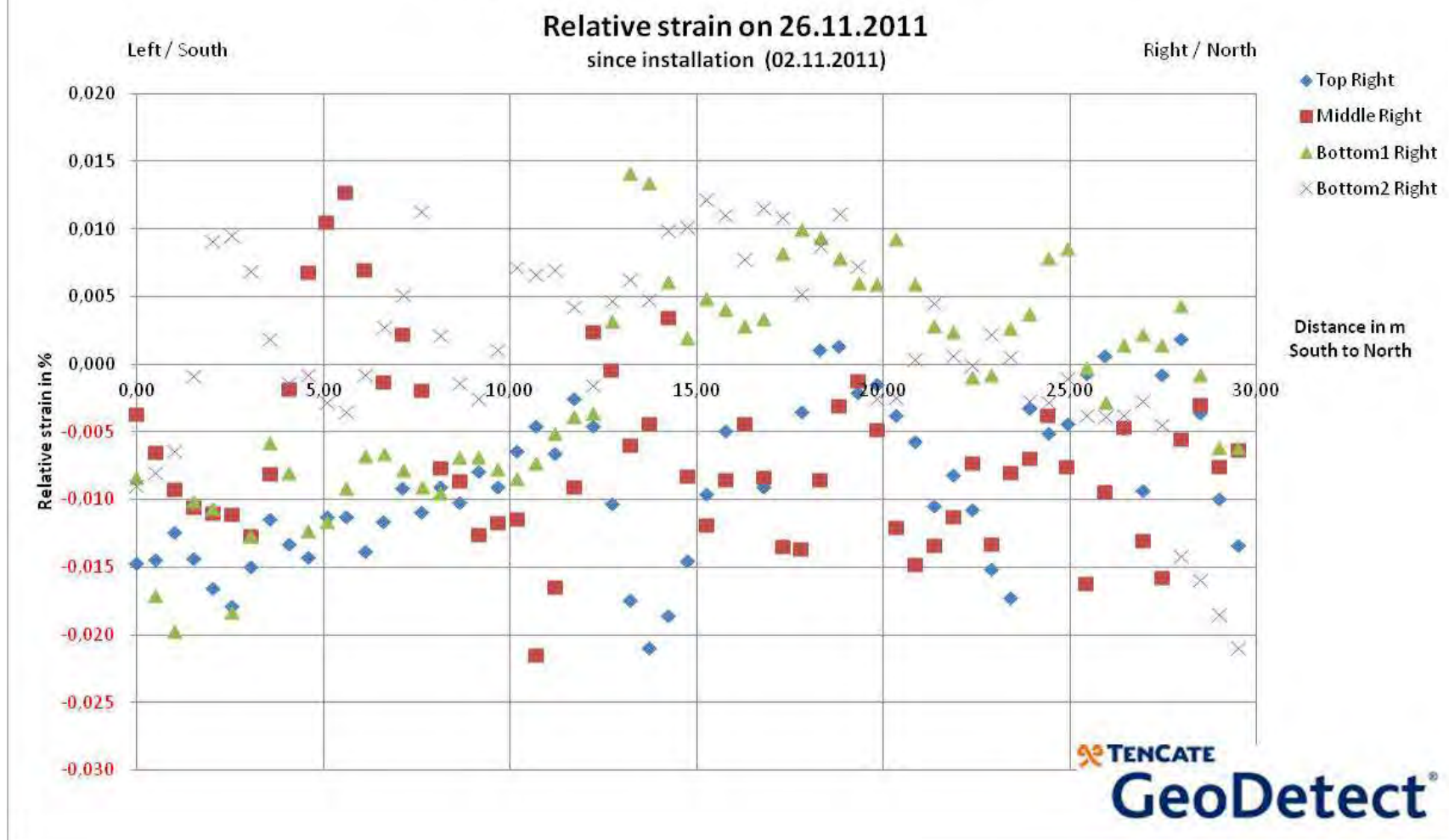
6.2. Validering van de metingen en betrouwbaarheid

De metingen tonen een toename van de rek gedurende het eerste semester van 2012, wat overeenkomt met sterke bewegingen van de dijk. Dit zijn geen grote verschuivende gebieden, maar eerder lokale bewegingen. Het lijkt er wel op dat de rek in het bovenste en middelste niveau hoger zijn (mediaanwaarde rond $0,02\%$) dan in het onderste niveau (mediaanwaarde lager dan $0,008\%$).

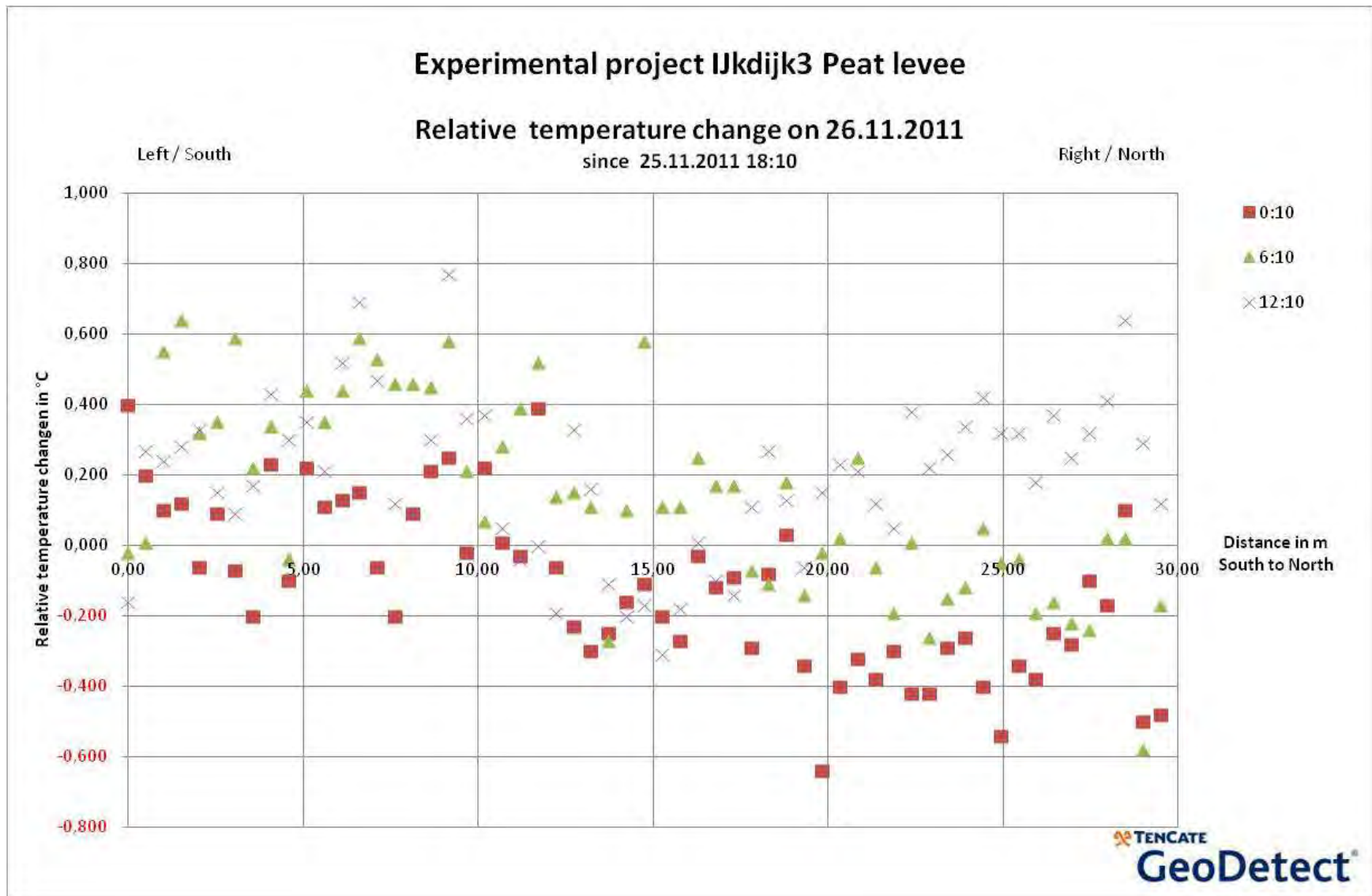
7. Conclusie

Door de bovenvermelde onderbrekingen (beschadigde fiber, storing en schade van de apparatuur, storing in de stroomvoorziening) was het niet mogelijk om het gehele droge seizoen te volgen. Op basis van incidentele metingen tussen de winter van 2011 en de zomer van 2012 nemen is een toenemende rek waargenomen.

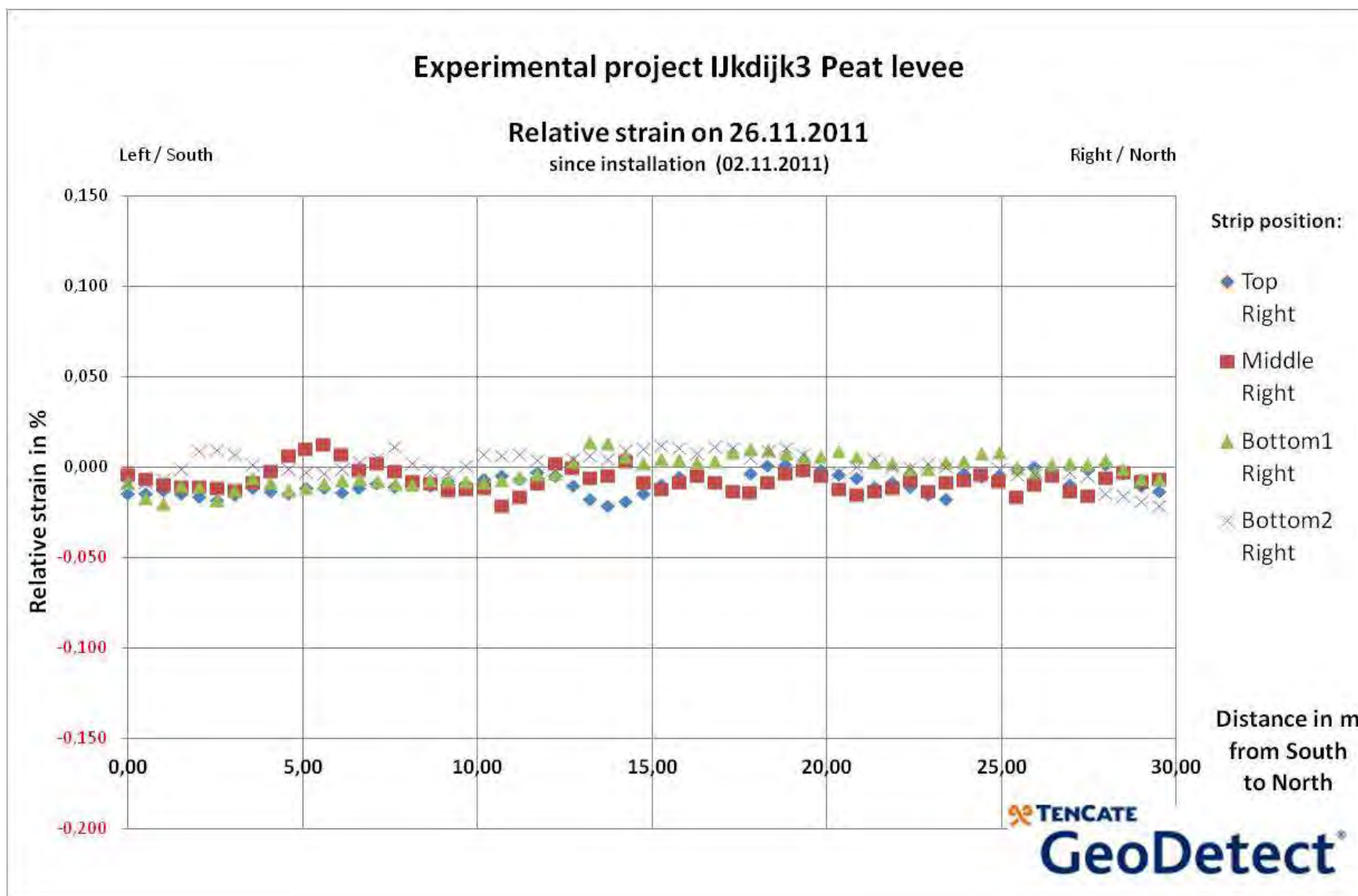
Experimental project IJkdijk3 Peat levee



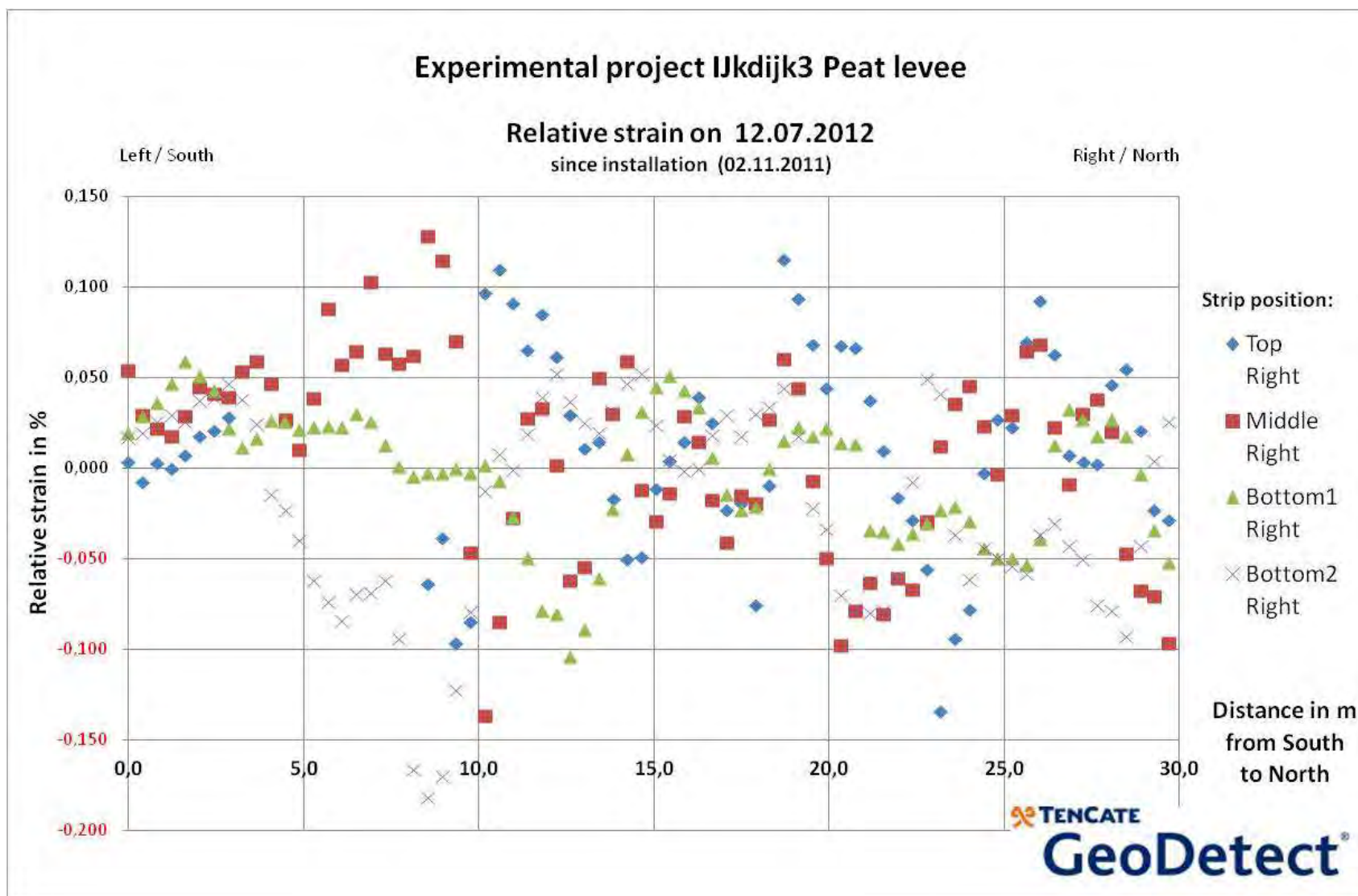
Figuur 7 : Relatieve rek tussen 2 november en 26 november 2011 gemeten met de 4 stroken.



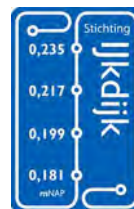
Figuur 8 : Dagelijkse temperatuurvariatie vanaf 18 uur de voorgaande dag



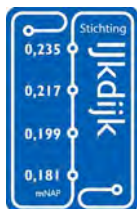
Figuur 9 : Relatieve rek gemeten met de 4 stroken (grote schaal) tussen moment van installatie and 26 november 2011.



Figuur 10 : Relatieve rek gemeten met de 4 stroken (grote schaal) tussen installatie and 12 juli 2012



J Factual report Intech



1203255-006-GEO-0001, Versie 03, 19 december 2012, definitief

Deel A – Factual Report

Beschrijving techniek en doel

InTech Dike Security Systems BV heeft een remote sensing techniek ontwikkeld om faalmechanismen van waterkeringen vroegtijdig te kunnen opsporen. Deze techniek berust op het op afstand meten van de uitstraling van infrarood van de waterkering met infrarood sensoren in combinatie met speciaal ontwikkelde software. Met behulp van speciale software kunnen verschillende faalmechanismen zoals uitdroging, piping, micro-instabiliteit, overloop en overslag in een vroeg stadium worden gedetecteerd.

Doordat met deze techniek op afstand wordt gemeten wordt het dijklichaam niet verstoord of verzwakt. Dit systeem is ingezet bij het meten van uitdroging van de Veendijk te Ouderkerk aan de Amstel van november 2011 tot en met oktober 2012.



installatie meetopstelling

In deze rapportage worden de resultaten weergegeven en gevisualiseerd. Voor het verrichten van de metingen tijdens het experiment heeft InTech gebruik gemaakt van een meetopstelling die zich in en op een container bevindt.

Meetstrategie

Door middel van het meten van de temperatuur aan het dijkoppervlak kan uitdroging van een veenkade worden vastgesteld.

Voorgesteld was om in deze proef 4 beelden per dag vast te leggen. De beschikbare data is geüpload naar de server van TNO

Instrumentatie en installatie

Voor de droogteproef is gebruik gemaakt van een door InTech ontwikkelde meetopstelling. De meetopstelling bevindt zich in een container. Op de container is een getuide mast van 5 meter bevestigd waarop de infrarood sensor is bevestigd. De container is voorzien van eigen stroomvoorziening. Deze bestaat uit zonnepanelen, een windmolen en een noodaggregaat. Deze stroomvoorziening is tevens gebruikt door andere participanten. Ook bevindt zich er een draadloze internetverbinding, dataopslag en een dataprocessing voorziening in de container. Hiermee is de data zowel op locatie als op afstand bereikbaar en analyseerbaar.

Het volledig systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- Infrarood sensor
- Mast (5 meter)
- Computer server voor on-site data processing en opslag
- UMTS router en internet verbinding voor data transmissie
- Energievoorziening bestaande uit twee zonnepanelen en een windmolen
- Accusysteem en noodstroomaggregaat met omschakelautomaat

In de periode van november 2011 tot en met oktober 2012 zijn in totaal ca 1300 metingen verricht.

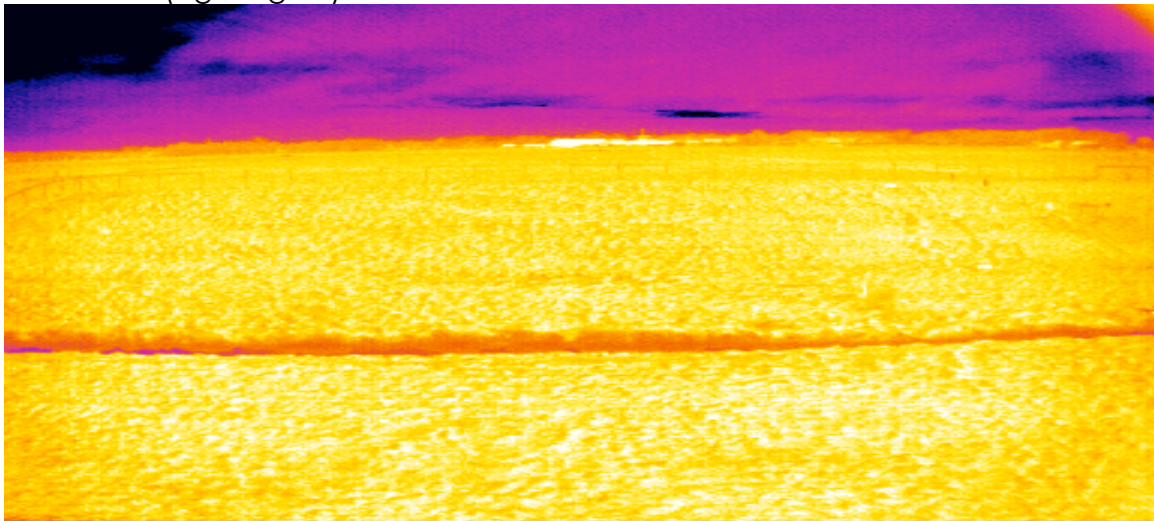
Analyse

Beschrijving van de resultaten en gebeurtenissen

Voor analyse van de data is gefocust op een droge en een natte periode. Daarbij is gekeken of er een relatie bestaat tussen de temperatuur van de bovenkant en de teen van de dijk in vergelijking met het vochtgehalte.

Natte periodes

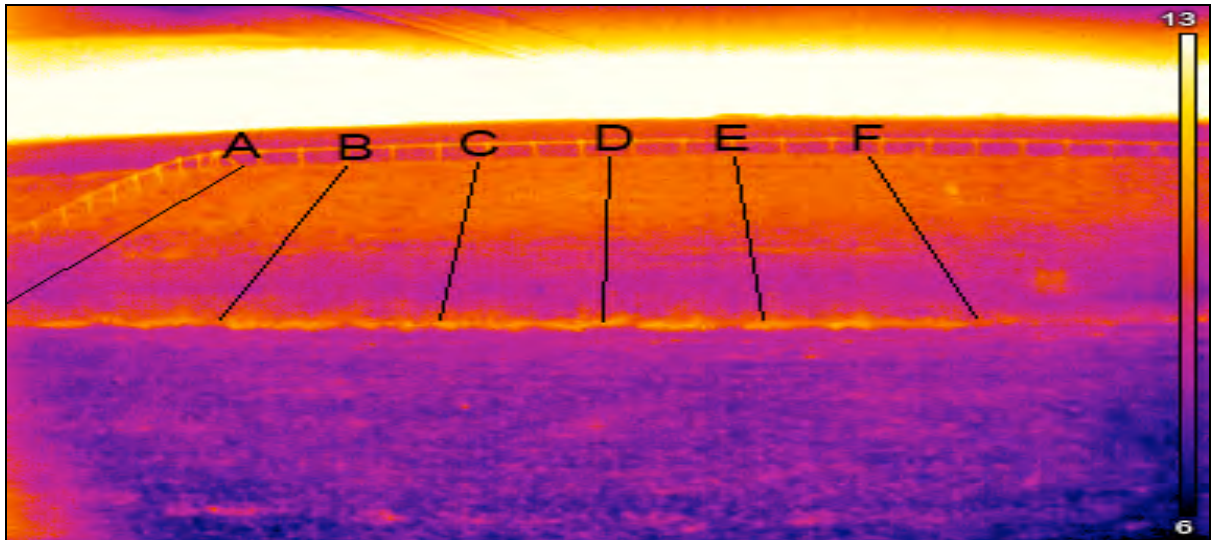
Op onderstaande afbeelding is een temperatuur beeld van het dijkoppervlak weergegeven van 28 januari 2012 om 13:30 uur. In het temperatuurbeeld van het dijkoppervlak is duidelijk te zien dat de temperatuur over het gehele proefvak constant is (egaal geel).



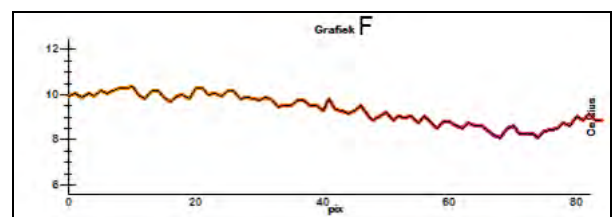
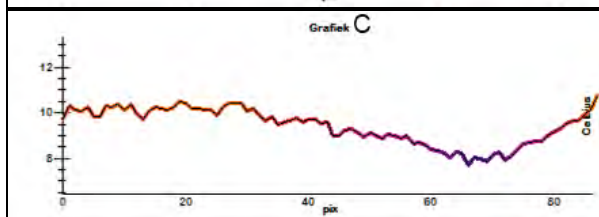
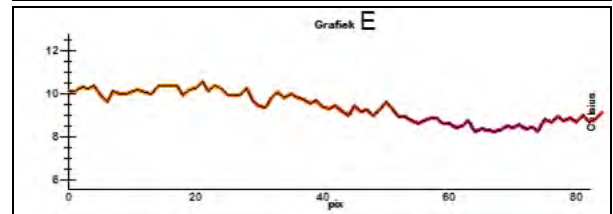
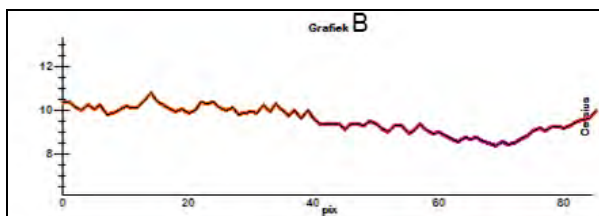
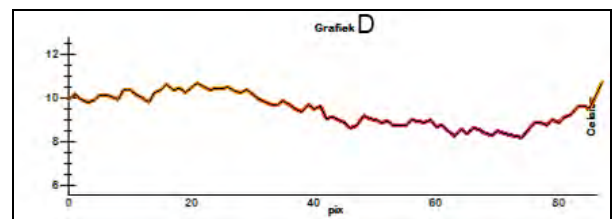
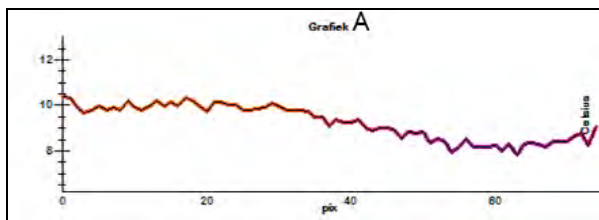
PROEFVAK 28 JANUARI 2012 13:30

Droge periodes

Onderstaand een afbeelding van 15-08-12 om 2:00 uur. De periode hieraan voorafgaand is relatief droog geweest. Uit dit temperatuur beeld blijkt dat er een verschil is tussen de temperatuur aan de top van de dijk in vergelijking met de temperatuur aan de teen van de dijk. De temperatuur aan de kruin van de dijk is hoger dan aan de teen van de dijk. Een hoger vochtgehalte zorgt voor een lagere temperatuur. Deze trend is tevens duidelijk terug te vinden in de resultaten van de referentiemonitoring.



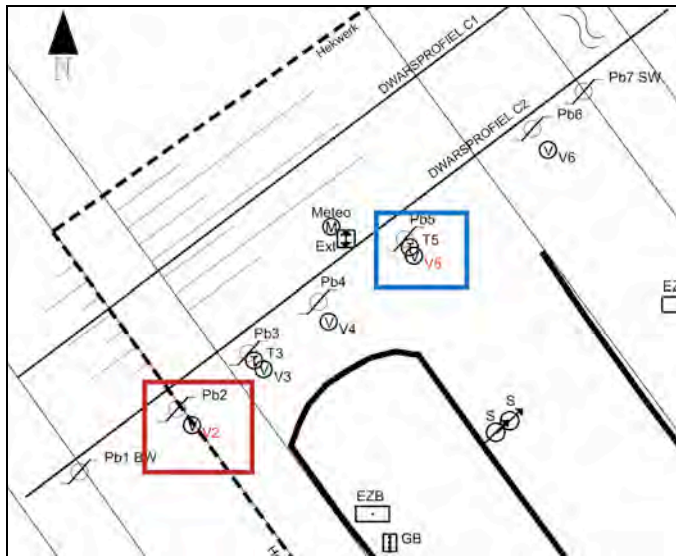
Voor nadere analyse is het verticale temperatuurverloop over zes raaien nader onderzocht. In onderstaande grafieken is het verloop van temperatuur op het dijkoppervlak per raai weergegeven. De koudere teen van de dijk als gevolg van een hoger vochtgehalte is in alle grafieken zichtbaar.



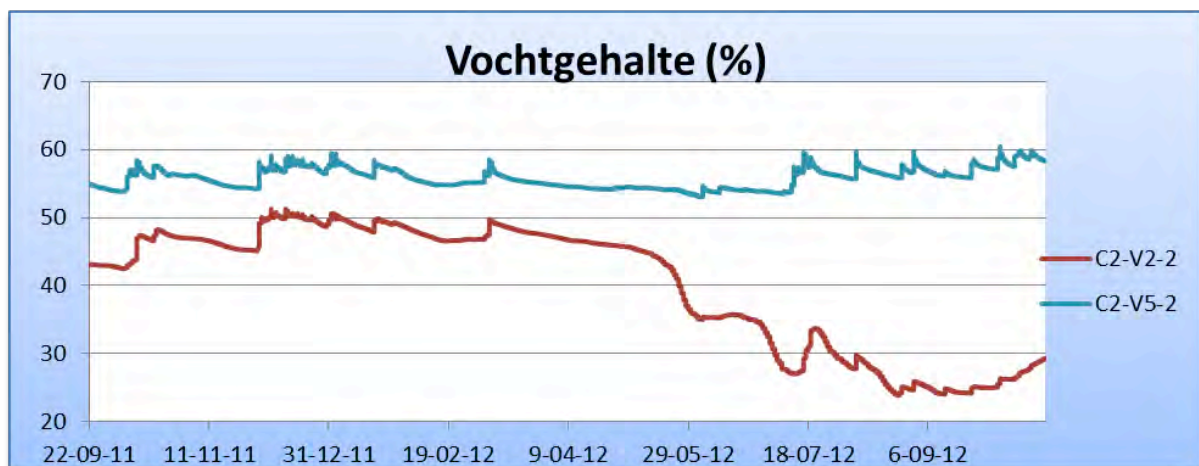
Uit analyse van de referentie monitoring blijkt dat ook het vochtgehalte in de kruin van de dijk relatief laag is ten opzichte van nattere periodes. De data van een vochtsensor in de kruin van de dijk is vergeleken met de data van een vochtsensor in de teen van de dijk. De gebruikte sensoren zijn:

	Afstand uit nul	Diepte t.o.v. maaiveld	Diepte t.o.v. NAP
C2-V2-2	-1.85 m	-0.50 m	-1.90 m
C2-V5-2	12.29 m	-0.50 m	-4.00 m

Op onderstaande afbeelding is weergegeven waar de sensoren zich bevinden.



In onderstaande grafiek een verschil in droogte in de teen van de dijk, ten opzichte van de kruin van de dijk zichtbaar (kruin-droog; teen-nat).



Helaas is voor uitdroging van veen een (langdurige) droge periode noodzakelijk. Gedurende het experiment is er geen langdurige droge periode geweest waardoor het feitelijk vaststellen van uitdroging helaas niet mogelijk is. Het vermoeden bestaat dat bij uitdroging van veendijken met infrarood duidelijk scheurvorming aan het oppervlak zichtbaar moet zijn. Verder is tijdens het experiment waargenomen dat de lengte van het gras een duidelijke invloed heeft op de temperatuur. Bij kort gras bleek het oppervlak duidelijk warmer dan bij lang gras. Het vermoeden bestaat dan

ook dat de lengte van het gras invloed heeft op uitdroging van veendijken. Wellicht in een vervolg van dit experiment kan dit nader worden onderzocht.

Validiteit

Gedurende de proef zijn er zowel natte als droge perioden geweest. Het streven was om te meten wat er met de dijk gebeurt in extreem droge perioden. Extreme droogte is echter niet voorgekomen.

Wel is er een trend gevonden in het temperatuursverloop op het dijk oppervlak. In droge perioden is er een duidelijk verschil te meten tussen de temperatuur in de top van de dijk en de temperatuur in de teen van de dijk. Opvallend is dat de referentie monitoring in de dijk, een zelfde trend laten zien als de temperatuur beelden.

Door problemen met een harde schijf is een deel van de data verloren gegaan. Hierdoor is er over een deel van de perioden waarin gemeten is, geen data meet beschikbaar.

Betrouwbaarheid

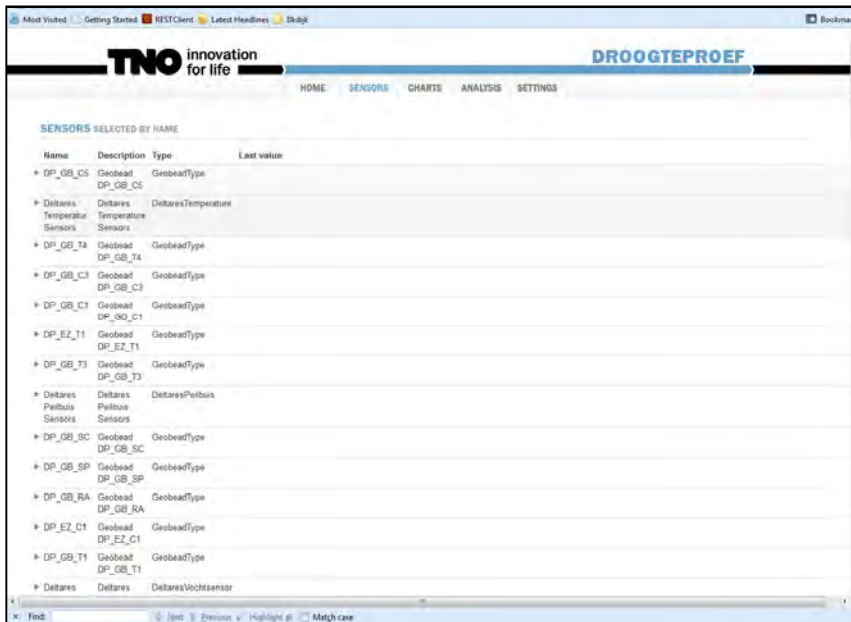
Gebruik is gemaakt van een gekalibreerde sensor met een nauwkeurigheid van 0,05°.

Antwoord op de vraag:

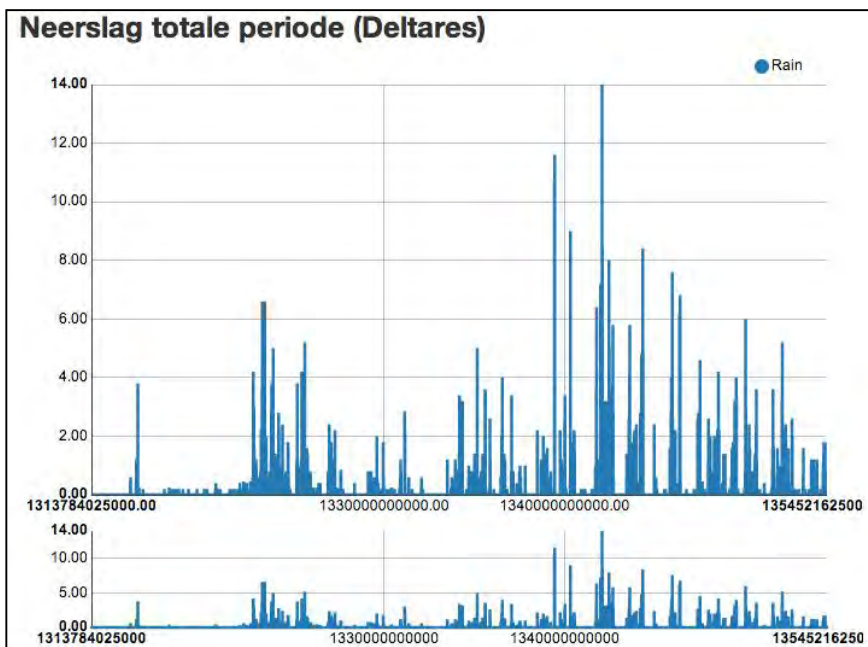
Kan de techniek de effecten van droogte op de veenkade volgen?

Antwoord: Ja, wanneer de veendijk uitdroogt, is er een duidelijk verschil meetbaar in de temperatuur in de teen van de dijk ten op zichten van de temperatuur in de top van de dijk. Uitdroging kan dus worden gevolgd met infra rood metingen.

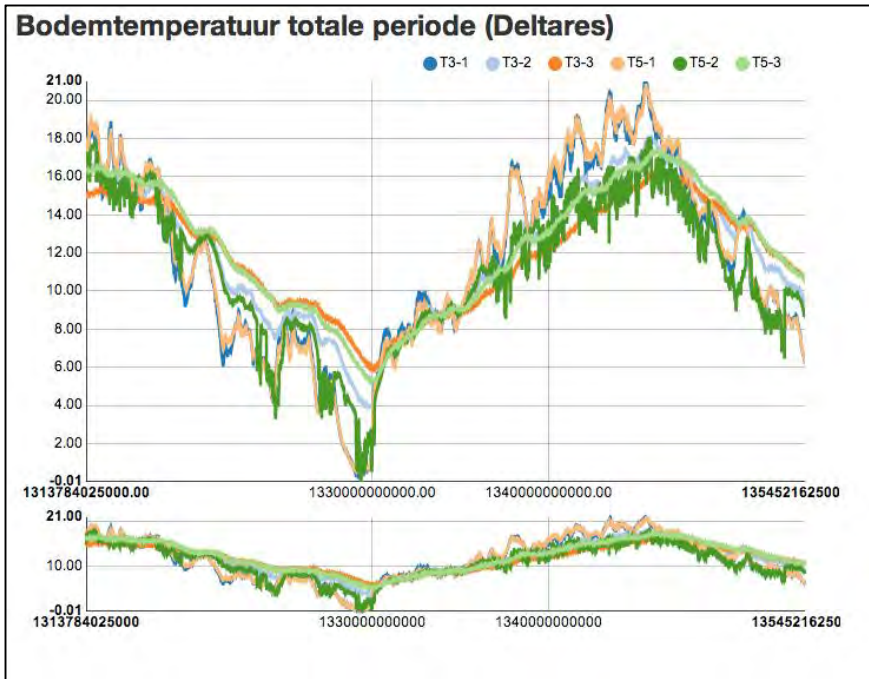
K Voorbeeldgrafieken AnySenseConnect



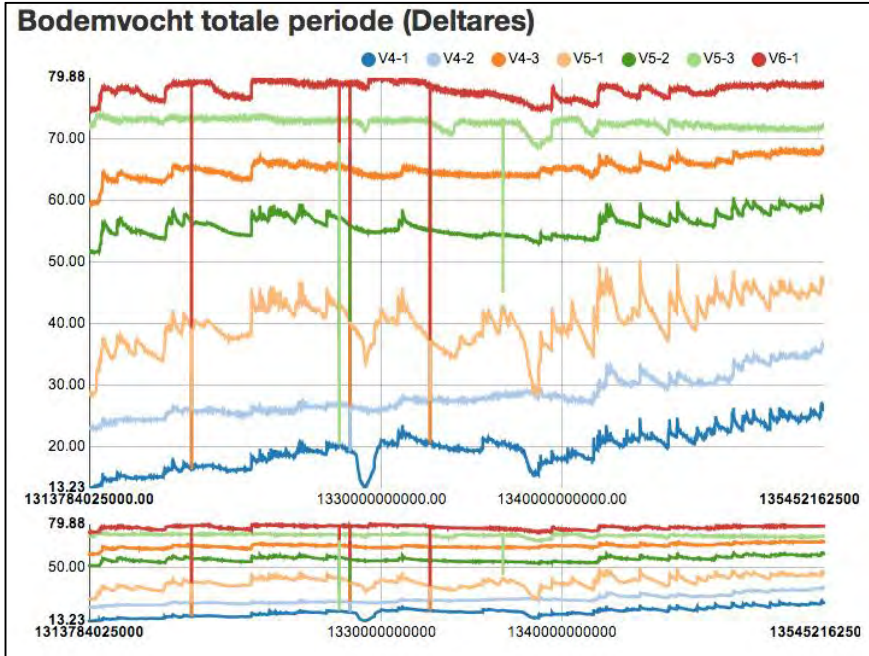
Figuur 1 Overzicht in het dashboard van de aangesloten sensoren



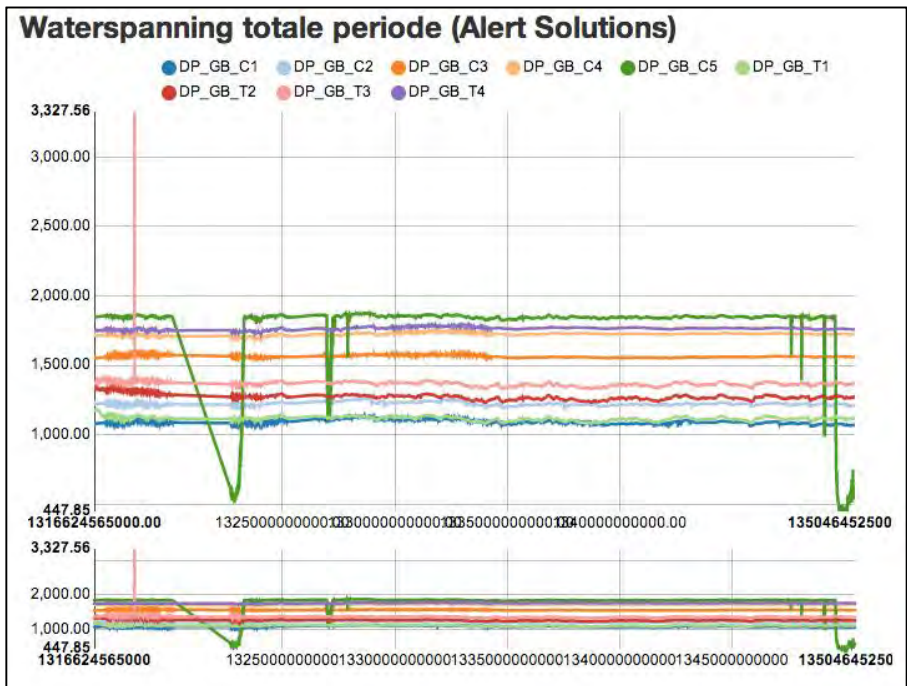
Figuur 2: Neerslagmetingen Deltares over de gehele meetperiode (19 aug. 2011 – 3 december 2012)



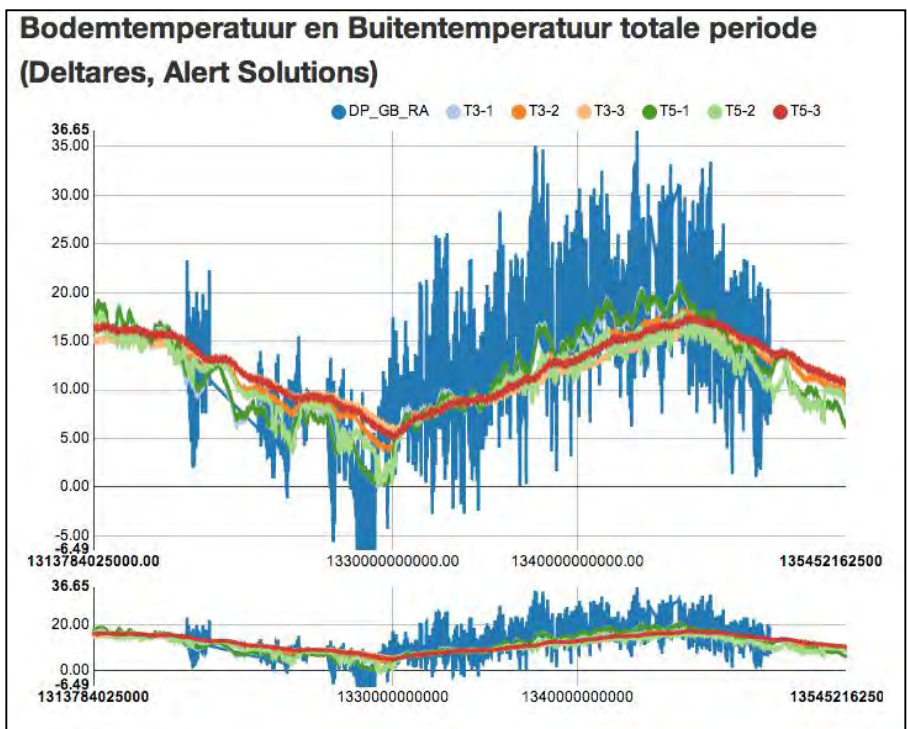
Figuur 3 Bodemvochtmetingen Deltares over de gehele meetperiode (19 aug. 2011 – 3 december 2012)



Figuur 4 Bodemvochtmetingen Deltares over de gehele meetperiode (19 aug. 2011 – 3 december 2012)



Figuur 5 Waterspanningsmetingen Alert Solutions over de gehele meetperiode (19 aug. 2011 – 3 december 2012)



Figuur 6 Bodemtemperatuurmetingen (Deltares) en buitentemperatuur (Alert Solutions, sensor DP_GB_RA) over de gehele proefperiode (19 aug. 2011 – 3 december 2012)