


Gasbestendige waterspanningsmeter

Eindrapport ontwikkelingsfase

POV



MACRO
STABILITEIT

Auteurs: ir. A.D. Pool & ir. F. Hogervorst

Datum: 08-12-2020

Versie: 1.0

Samenvatting

Achtergrond ontwikkeling verbeterde waterspanningsmeter

Waterspanningsmeters worden ingezet om de stijghoogte in een grondlichaam, zoals bijvoorbeeld een dijk, te meten. De indruk bestaat dat met name gasvorming rondom of in het instrument de metingen nadelig beïnvloedt. Omdat waterspanningsmeters een cruciale informatiebron zijn voor risicobeheersing en projectbeheersing bij dijkgerelateerde werkzaamheden is vanuit de Projectoverstijgende Verkenning Macrostabieliteit (hierna POVM) een opdracht verleend aan het consortium WSM+NL (Deltares, Fugro en Wiertsema & Partners) om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit eindrapport is het eindproduct van de Ontwikkelingsfase van het innovatiepartnerschap.

Ontwikkelingsfase 'ontwikkelen waterspanningsmeter'

De scope van de ontwikkelingsfase was tweeledig:

1. Het produceren van een verbeterd prototype van de Fugro-waterspanningsmeter met gasfilter en deze testen in meerdere veldtesten;
2. Het uitvoeren van een analyse en beperkte laboratoriumtest naar de werkingduur van de antibacteriële gel die in de Onderzoeksfase (fase 2) is bedacht.

Veldtesten gasfilter

De waterspanningsmeters met verbeterd gasfilter zijn samen met standaard waterspanningsmeters getest in drie veldtesten. De eerste en grootste veldtest vond plaats in Vianen langs het Merwedekanaal. Bij de veldtest zijn in totaal 13 WSM's geplaatst in vier clusters. Naast waterdruk zijn luchtdruk, temperatuur, neerslag en openwaterpeilen gemeten. Deze veldtest heeft een weelde aan meetgegevens opgeleverd. Daarnaast zijn twee aanvullende veldtesten uitgevoerd in de zomerperiode van 2020 op locaties in Spijk (West-Betuwe) en Ouderkerk aan den IJssel. Bij beide veldtesten zijn twee Fugro WSM's met gasfilter geplaatst naast WSM's zonder gasfilter.

De belangrijkste conclusies van de veldtesten zijn :

- Op basis van de metingen kan zeker gesteld worden dat op de meetlocatie in Vianen in de meetperiode gasvorming is opgetreden.
- De gebruikte meetopstelling, met name bij de veldtest in Vianen, was geschikt voor het beoogde doel (testen van het gasfilter).
- De werking van een gasfilter is gericht op het voorkomen van gasbeldruk-opbouw in de waterkamer van de WSM en zo mogelijk ook het voorkomen van gasbeldruk in de directe nabijheid van de WSM. Op basis van de veldtests kan niet worden geconcludeerd dat de gasfilters er in slagen om dit doel te bereiken, maar het kan ook niet worden uitgesloten dat dat doel wel wordt bereikt.

- De toegepaste gasfilters zijn in dit experiment (nog) niet in staat gebleken om te voorkomen dat gasbeldruk de meting van zuivere waterspanning verstoort;
- De metingen hebben aanleiding gegeven tot de hypothese dat gasbellen bij hun ontstaan en verplaatsing herkend kunnen worden aan 3 typen drukveranderingen:
 - Type 1: abrupte drukdaling gevolgd door gestage toename / herstel (hypothese: ontsnapping van bellen uit omgeving WSM.);
 - Type 2: abrupte stijging van druk gevolgd door gestage daling (hypothese: binnendringen van bellen in omgeving van WSM);
 - Type 3: gestaag oplopende druk, vaak gevolgd door bereiken van plateau of abrupte drukdaling (hypothese: toename van druk door ontstaan en groei van gasbellen uit oververzadigd grondwater en microbiologische activiteit).
- Vervolg hypothese: WSM's die type 2-verstoringen waarnemen, werken correct, uitgaande van de hypothese dat deze verstoring veroorzaakt wordt door de aankomst van een gasbel uit een dieper niveau.
- Vervolg hypothese: WSM's die type 1 en type 3 druk registreren, kunnen mogelijk zelf betrokken zijn als oorzaak. Een gasbel ontsnapping vanuit de WSM waterkamer vereist immers het opbouwen van de luchtintredewaarde van het grondfilter en de fijne versmeerde bodemdelen rondom het instrument.
- Gasbeldruk type 3 kan worden weggenomen door een diepe onderdruk aan te brengen op de atmosferische zijde van het gasfilter (vacuümbehandeling).
- Onder de hypothese dat type 2-gasbeldruk niet het gevolg kan zijn van de WSM's zelf, is het geheel ontbreken van type 2 in reeksen van Geopoint-sensoren verdacht.
- Het kan niet worden uitgesloten dat de oorzaak van gasbeldruk deels moet worden gezocht in de materialen of vorm van de Fugro WSM's . In dat geval is een deel van de gasbeldruk mogelijk te elimineren door voor toepassing in ondiep veen gebruik te maken van PVC of andere inerte kunststoffen.

De belangrijkste aanbevelingen en leerpunten van de veldtesten zijn:

- Bespreek de resultaten van de veldtest in een discussie met een aantal zorgvuldig geselecteerde specialisten uit verschillende disciplines en/of toepassingsgebieden.
- Onderzoek of het praktisch haalbaar is om de Fugro WSM met gasfilter te voorzien van een automatische ontgassingsmogelijkheid.
- Onderzoek en test in een laboratoriumopstelling of gecontroleerde omgeving de hypothesen die tijdens deze Ontwikkelingsfase zijn gevormd over samenhang tussen gasbeldruk-verstoringen en lage barometrische efficiency (het doorwerking van veranderingen in luchtdruk op veranderingen in waterspanning). Er lijkt een verband te bestaan tussen de mate waarin gasbeldruk-verstoringen worden geregistreerd door Fugro WSM's en een lage barometrische efficiency van diezelfde instrumenten. Dit verband kan weer verdwijnen en dat lijkt samen te vallen met gasbeldruk door verplaatsingen van gasbellen. Deze relatie blijkt niet uit de reeksen van Geopoint WSM's, die een structurele en vrijwel complete barometrische in-efficiency vertonen en tevens geen enkele verstoring door gasbeldruk registreren.

- Onderzoek een aantal hypothesen uit deze rapportage met laboratoriumtesten naar het drukverloop van verschillende type gasbelverplaatsingen. Deze testen kunnen veel inzicht toevoegen aan de interpretatie van veldwaarnemingen. Waar in dit project sterke aanwijzingen zijn gevonden voor een achterliggend proces (grondwaterontgassing met daarop volgend migratie van gasbellen door een cohesief, inhomogeen, poreus materiaal) kan door een zorgvuldig opgezet laboratoriumexperiment een deel van de hypothesen getoetst worden.
- Doe onderzoek naar de vragen:
 - Wat is de samenhangt tussen de ‘schijnbare barometrische inefficiency’ en de gevoeligheid van de instrumenten voor kleine drukveranderingen?
 - Hoe kunnen de verschillen tussen de WSM’s van Fugro en Geopoint verklaard worden?
 - Hoe gaan we in de meetpraktijk het beste om met drukeffecten van gasbellen?
 - Zijn de meetresultaten van de veldtest belangrijk voor de vakgemeenschap of alleen interessant voor de onderzoeksgemeenschap?
 - Wat is de schaal van gasvormende processen en wat is de invloed van gasvorming op geotechnische faalmechanismen van dijken?
 - Wat is een passend meetnetontwerp, rekening houdend met wat we nu weten over de kans van optreden van gasvorming?
- De veldtesten hebben een aantal inzichten opgeleverd die helpen bij het interpreteren van toekomstige waterspanningsmetingen.
- De veldtesten hebben geholpen om te bepalen waar de energie ingestoken moet worden in de toekomst als het gaat om waterspanningsmetingen (in methanogene omstandigheden).
- De veldtesten hebben inzicht opgeleverd in nut en noodzaak van gasfilters en vacuümbehandelingsopties.

Laboratoriumonderzoek antibacteriële gel

Uit laboratoriumonderzoek in fase 2 is gebleken dat methaangas microbiologisch geproduceerd lijkt te kunnen worden en vervolgens mogelijk ophoopt in de kamer van de WSM, om daar vervolgens de verstoring van de drukmetingen te veroorzaken. Het steriel houden van de WSM-kamer kan er dus voor zorgen dat er geen microbiële gasvorming optreedt. In het fase 2-onderzoek zijn enkele eerste testen gedaan met antibacteriële stoffen als maatregel om de WSM kamer steriel te houden. De resultaten van deze eerste testen waren positief, en op basis hiervan is vervolgonderzoek uitgevoerd binnen fase 3 van het project. Het doel van dit onderzoek is het verder uittesten van steriele gels.

Het onderzoek focust zich op aanvullend labonderzoek voor het aanbrengen en de werkingsduur van de antibacteriële gel. Hierbij is onder andere gekeken wat een praktische manier is om de gels aan te brengen in de WSM-kamer. Dit bleek een kant-en-klare gelpellet te zijn die direct aan de WSM-kamer kan worden toegevoegd. De pellets worden opgeslagen bij 4°C, en behouden hun werking minimaal 1 maand na maken.

De gelpellets zijn getest in zowel een opstelling met ontgast demiwater als in kolommen met grond en grondwater. In de test met alleen water (zonder roeren), blijkt dat de concentratie van de werkzame stoffen na 22 dagen (einde test) voldoende hoog zijn om groei van de *E.coli*-bacteriën te remmen.

Uit de testen met de antibacteriële gelpellet in de opstelling met grond en grondwater blijkt dat:

- De diffusie in de praktijk langzamer gaat dan uit de berekeningen naar voren komt.
- De gel in de vorm van een pellet in ieder geval tot 112 dagen een remming geeft van de groei van de *E.coli*-bacterie.
- Na 218 dagen is de remmende werking van de pellet niet meer meetbaar.

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen van de onderzoek naar de steriele gel zijn:

- Onder veldomstandigheden is het aannemelijk dat microbiële activiteiten zorgen voor methaanproductie in de WSM-kamer. Deze activiteiten kunnen tenminste 112 dagen geremd worden door het aanbrengen van een antibacteriële gelpellet in de WSM-kamer;
- Praktijktesten met antibacteriële pellets worden aanbevolen, aangezien deze inzicht zullen geven in de mate waarin de remming een positief effect heeft op de levensduur van een ongestoorde WSM-meting, door beperking van microbiële gasvorming.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Inleiding.....	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Ontwikkelingsfase (fase 3)	9
1.2.1 Ontwikkelingsfase conform aanbestedingsleidraad	9
1.2.2 Gerealiseerde scope ontwikkelingsfase	9
1.3 Doel van dit eindrapport	9
1.4 Beschikbaarheid meetdata	10
1.5 Leeswijzer.....	10
1.5.1 Hoofdstuk	10
1.5.2 Bijlagen	10
2. Opzet veldtesten gasfilter	12
2.1 Opzet eerste veldtest Vianen	12
Opzet aanvullende veldtesten	13
2.1.1 Veldtest Spijk	13
2.1.2 Veldtest Ouderkerk	14
3. Resultaten veldtest gasfilter Vianen	16
3.1 Algemeen.....	16
3.2 Drie typen gasdruk-gerelateerde verstoringen.....	16
3.3 Cluster A	17
3.4 Cluster B	19
3.5 Cluster C	21
3.6 Cluster D.....	22
3.7 Samenvatting resultaten veldtest Vianen.....	24
3.7.1 Algemeen.....	24
3.7.2 Ontgassing van grondwater.....	24
3.7.3 Sensoren algemeen	24
3.7.4 Relevante fenomenen	25
4. Resultaten extra veldtesten gasfilter.....	26

4.1	Meetlocatie Spijk	26
4.2	Meetlocatie Ouderkerk	26
5.	Conclusies en aanbevelingen veldtesten.....	28
5.1	Conclusies	28
	5.1.1 Geschiktheid meetlocatie en meetopstelling.....	28
	5.1.2 Prestaties gasfilter.....	28
	5.1.3 Sensoren.....	30
	5.1.4 Materiaalgebruik.....	30
5.2	Aanbevelingen	30
	5.2.1 Gasbelvormende processen en waterspanningsmetingen	30
	5.2.2 Gasfilter.....	30
	5.2.3 Sensoren.....	31
	5.2.4 Geotechnische relevantie gasbelvorming.....	31
5.3	Leerpunten.....	32
6.	Laboratoriumonderzoek steriele gel	34
6.1	Aanleiding en doel.....	34
6.2	Antibacteriële gels.....	34
6.3	Diffusieberekeningen.....	35
6.4	Gel als pellet	35
6.5	Resultaten laboratoriumtesten.....	36
6.6	Algemene conclusies en aanbevelingen.....	36
7.	Conclusies en aanbevelingen.....	37
7.1	Conclusies	37
	7.1.1 Gasfilter.....	37
	7.1.2 Antibacteriële gel.....	38
7.2	Aanbevelingen	38
	7.2.1 Gasfilter.....	38
	7.2.2 Antibacteriële gel.....	39
8.	Referenties.....	40

Bijlagen

- A. Grafieken veldtest Vianen
 - A.1 Cluster A
 - A.2 Cluster B
 - A.3 Cluster C
 - A.4 Cluster D
- B. Analyserapport veldtesten – Fugro
- C. Eindrapport onderzoek steriele gel – Deltares
- D. Startrapportage eerste veldtest – Fugro
- E. Kwartaalrapportage Q1 eerste veldtest – Fugro
- F. Kwartaalrapportage Q2 eerste veldtest – Fugro
- G. Kwartaalrapportage Q3 eerste veldtest – Fugro
- H. Kwartaalrapportage Q4 eerste veldtest – Fugro
- I. Startrapportage extra veldtest Spijk – Fugro
- J. Eindrapportage extra veldtest Spijk – Fugro
- K. Startrapportage extra veldtest Ouderkerk – Fugro
- L. Eindrapportage extra veldtest Ouderkerk – Fugro
- M. Beschrijving datasets POVM WSM-veldtesten

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Waterspanningsmeters (hierna WSM's) worden toegepast om waterdrukken in de waterverzadigde bodem te meten. Waterspanningsmeters kunnen dat veel nauwkeuriger en vooral veel sneller dan peilbuizen, en al helemaal in slecht doorlatend cohesief en plastisch materiaal zoals klei en veen. In de risicobeheersing van grondwerk is waterspanning de enige indicator die het mogelijk maakt om in te grijpen voordat grondvervormingen en schade optreden (diverse publicaties Timo Sweickendiek). Ze worden daarom op grote schaal toegepast in dijkenbouw en grondophogingen, ondanks dat het interpreteren van waterspanningsmeterdata niet altijd zo eenvoudig is als peilbuisdata. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd tot soms wel een kwart van de geïnstalleerde instrumenten niet alleen de waterspanning meet maar ook allerlei andere fenomenen. Een belangrijke oorzaak van verstoringen van waterspanningsmeetdata is gasvorming door bacteriële afbraak van organisch materiaal.

Om antwoord te geven op de belangrijkste vragen en het bieden van oplossingen is vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostablieit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit onderzoek is gegund aan het consortium tussen Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **WSM+NL**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het consortium WSM+NL met als penvoerder Fugro NL Land BV is tijdens de Mededingingsfase (fase 1) als opdrachtnemer geselecteerd. WSM+NL bestaat uit Deltares, Fugro en Wiertsema & Partners.

Het consortium heeft op de opdracht ingeschreven met een reeds door Fugro ontwikkelde oplossingsrichting die gebruik maakt van een gasfilter (membraan) waardoor in water opgeloste gassen kunnen diffunderen naar de atmosfeer achter het gasfilter. Fugro heeft hiervan reeds prototypes geproduceerd. Binnen het innovatietraject wordt deze methode verder onderzocht en het is de bedoeling om een verbeterd prototype te ontwikkelen in de ontwikkelingsfase.

Dit eindrapport is het eindproduct van de Ontwikkelingsfase (fase 3). In deze rapportage worden de resultaten van de Ontwikkelingsfase gepresenteerd. De ontwikkelingsfase is het vervolg op de Onderzoeksfase, waarvan de eindresultaten zijn gepubliceerd in POV Macrostablieit (2018).

1.2 Ontwikkelingsfase (fase 3)

1.2.1 Ontwikkelingsfase conform aanbestedingsleidraad

In de Aanbestedingsleidraad staat de volgende relevantie informatie over de Ontwikkelingsfase:

De Beoogd opdrachtnemer bouwt in deze fase een prototype van de nieuwe waterspanningsmeter en test deze onder laboratoriumcondities. Aan het eind van de ontwikkelingsfase bepaalt de Opdrachtgever of de commerciële fase wordt ingezet.

Omdat het consortium WSM+NL heeft ingeschreven met een oplossing waarvan reeds prototypes waren ontwikkeld, is besloten om in de ontwikkelingsfase een veldtest uit te voeren op locatie waar in het verleden reeds gasvorming optrad.

1.2.2 Gerealiseerde scope ontwikkelingsfase

De ontwikkelingsfase is grotendeels gerealiseerd conform de scope zoals deze beschreven is in het Plan van Aanpak Ontwikkelingsfase (Fugro, 2019a). Op hoofdlijnen bestaat de scope uit de volgende werkzaamheden:

- Het uitvoeren van SEM-onderzoek (elektronenmicroscop) naar het nieuwe gasfiltermateriaal (Fugro, 2019b);
- Het uitvoeren van laboratoriumonderzoek naar de permeabiliteit van het nieuwe gasfiltermateriaal (Fugro, 2019c);
- Het uitvoeren van een analyse en beperkte laboratoriumtest naar de werkingsduur van de geloplossing;
- Het uitvoeren van verschillende veldtesten van de gasfilter-oplossing.

Qua omvang van de werkzaamheden vormen de veldtesten de hoofdmoot van de ontwikkelingsfase. Er zijn uiteindelijk drie veldtesten uitgevoerd:

- De eerste veldtest langs het Merwedekanaal in Vianen; met een totaal gerealiseerde meetduur van 15 maanden (conform PvA was dit 12 maanden);
- Twee extra veldtesten bij 'lopende projecten': in Spijk en Ouderkerk aan de IJssel met een gerealiseerde meetduur van 5 maanden. Conform het PvA was er ruimte voor maximaal 4 extra veldtesten. Mede door de beperkte beschikbaarheid van geschikte projectlocaties zijn er 2 van de 4 extra veldtesten gerealiseerd.

1.3 Doel van dit eindrapport

Het doel van het eindrapport van de Ontwikkelingsfase is het geven van een beknopt overzicht van de resultaten, conclusies en aanbevelingen van alle deelonderzoeken binnen de Ontwikkelingsfase.

Uitgebreidere rapportages van de deelonderzoeken zijn opgenomen als bijlagen bij dit eindrapport.

1.4 Beschikbaarheid meetdata

De geregistreerde meetdata van de veldtesten zijn beschikbaar als dataset(s) via het POVM Gebruikersplatform (Deltares, 2020). Een beschrijving van de datasets is opgenomen in bijlage M.

1.5 Leeswijzer

1.5.1 Hoofdttekst

Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van de opzet van de veldtesten met het gasfilter. De resultaten van de grootste veldtest (in Vianen) staan in hoofdstuk 3 en de resultaten van de extra veldtesten in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en aanbevelingen van de veldtesten met het gasfilter. In hoofdstuk 6 zijn de resultaten opgenomen van het laboratoriumonderzoek naar de antibacteriële gel. De complete conclusies en aanbevelingen die volgen uit de Ontwikkelingsfase staan in hoofdstuk 7.

1.5.2 Bijlagen

De achterliggende rapporten en tussenresultaten die binnen de Ontwikkelingsfase zijn opgeleverd, zijn opgenomen als bijlagen bij dit eindrapport. In het overzicht hieronder staan alle bijlagen genoemd met een beknopte toelichting op de inhoud.

Bijlage	Titel	Toelichting
A	Grafieken veldtest Vianen	Grafieken met meetdata per cluster per periode van twee maanden
B	Analyserapport veldtesten	Rapport met analyse van meetresultaten alle veldtesten (Fugro)
C	Eindrapport onderzoek steriele gel	Eindrapport laboratoriumonderzoek antibacteriële gel (Deltares)
D	Startrapportage eerste veldtest	Beschrijving opzet, SAT en FAT veldtest in Vianen
E	Kwartaalrapportage Q1 eerste veldtest	Feitelijke rapportage veldtest Vianen, periode juni – september 2019
F	Kwartaalrapportage Q2 eerste veldtest	Feitelijke rapportage veldtest Vianen, periode september – december 2019
G	Kwartaalrapportage Q3 eerste veldtest	Feitelijke rapportage veldtest Vianen, periode december 2019 – maart 2020
H	Kwartaalrapportage Q4 eerste veldtest	Feitelijke rapportage veldtest Vianen, periode maart – juni 2020

Bijlage	Titel	Toelichting
I	Startrapportage extra veldtest Spijk	Beschrijving opzet, SAT en FAT aanvullende veldtest in Spijk (West-Betuwe)
J	Eindrapportage extra veldtest Spijk	Feitelijke rapportage aanvullende veldtest in Spijk (West-Betuwe)
K	Startrapportage extra veldtest Ouderkerk	Beschrijving opzet, SAT en FAT aanvullende veldtest in Ouderkerk aan den IJssel
L	Eindrapportage extra veldtest Ouderkerk	Feitelijke rapportage aanvullende veldtest in Ouderkerk aan den IJssel
M	Beschrijving dataset veldtesten	Beschrijving van de data en metadata van de dataset van de drie veldtesten

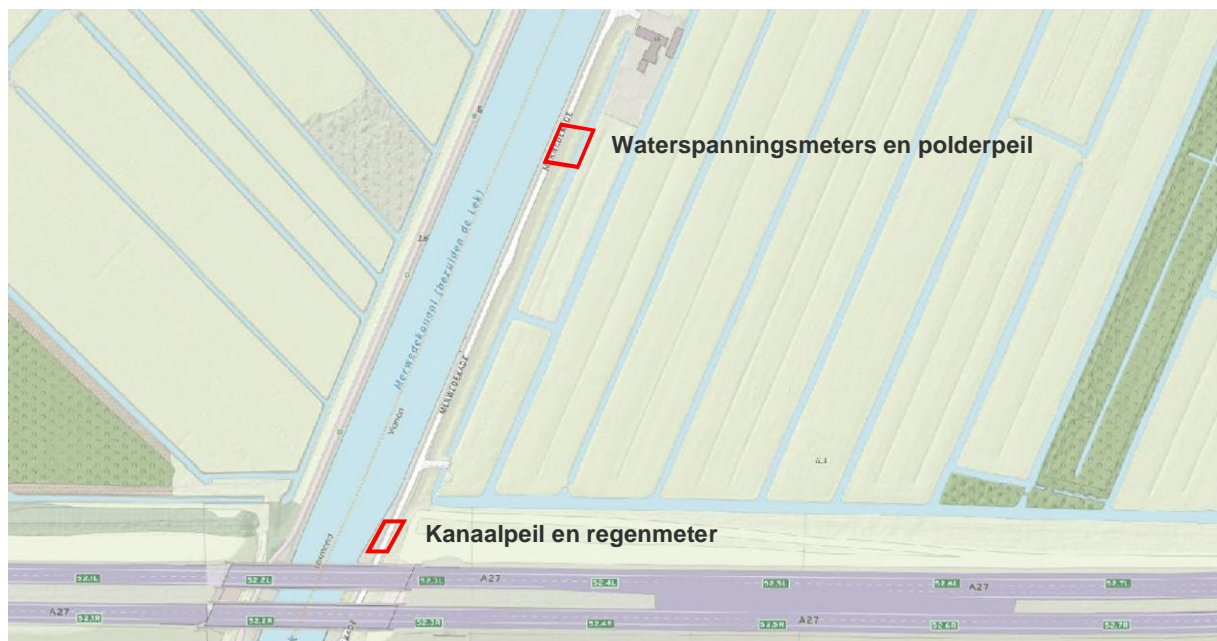
2. Opzet veldtesten gasfilter

2.1 Opzet eerste veldtest Vianen

De uitgebreide, eerste veldtest heeft plaatsgevonden in de nabije omgeving van Merwedekade 18 te Vianen. De meetlocatie is gekozen omdat vrijwel zeker is dat er zich op die locatie verstoringen van meetreeksen door gasbelvorming/verplaatsingen zullen voordoen. Dit is in een eerder project in 2017 op deze locatie ook geregistreerd.

De meetopstelling bevatte in totaal 12 waterspanningsmeters in vier clusters, twee meetpunten voor het (open) waterpeil, een regenmeter en een sensor die de maaiveldtemperatuur registreerde. In figuur 2.1 is de locatie van de meetopstellingen weergegeven en in figuur 2.2 een foto van de vier clusters met waterspanningsmeters.

De meetperiode van de eerste veldtest bedroeg vijf kwartalen, van juni 2019 t/m september 2020. De meetperiode omvatte twee zomers, die van 2019 en 2020. De meetfrequentie van de waterspanningsmeters bedroeg 1 meting per 10 minuten, met een verhoogde frequentie van 1 meting per 2 minuten voor een deel van de sensoren in augustus 2020.



Figuur 2.1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo)



Figuur 2.2: Testveld waterspanningsmeters incl. aanduiding sensoren

Opzet aanvullende veldtesten

2.1.1 Veldtest Spijk

Op een project in Spijk (West-Betuwe) in de Tielerwaard voert Fugro langjarige waterspanningsmetingen uit voor de stabiliteit van een gronddepot. Omdat het een gebied betreft met ondiepe veenlagen in de ondergrond én het langjarige metingen betreft, is dit project geschikt bevonden voor een van de extra veldtesten op lopende projecten. De bestaande waterspanningsmeters (zonder gasfilter) zijn in de kleilaag vlak onder de veenlaag geplaatst, op een diepte van circa 3 m onder maaiveld. In figuur 2.3 is een overzichtsfoto van de projectlocatie langs de A15 met daarin de locaties van de twee waterspanningsmeters waar een WSM met gasfilter is bijgeplaatst.

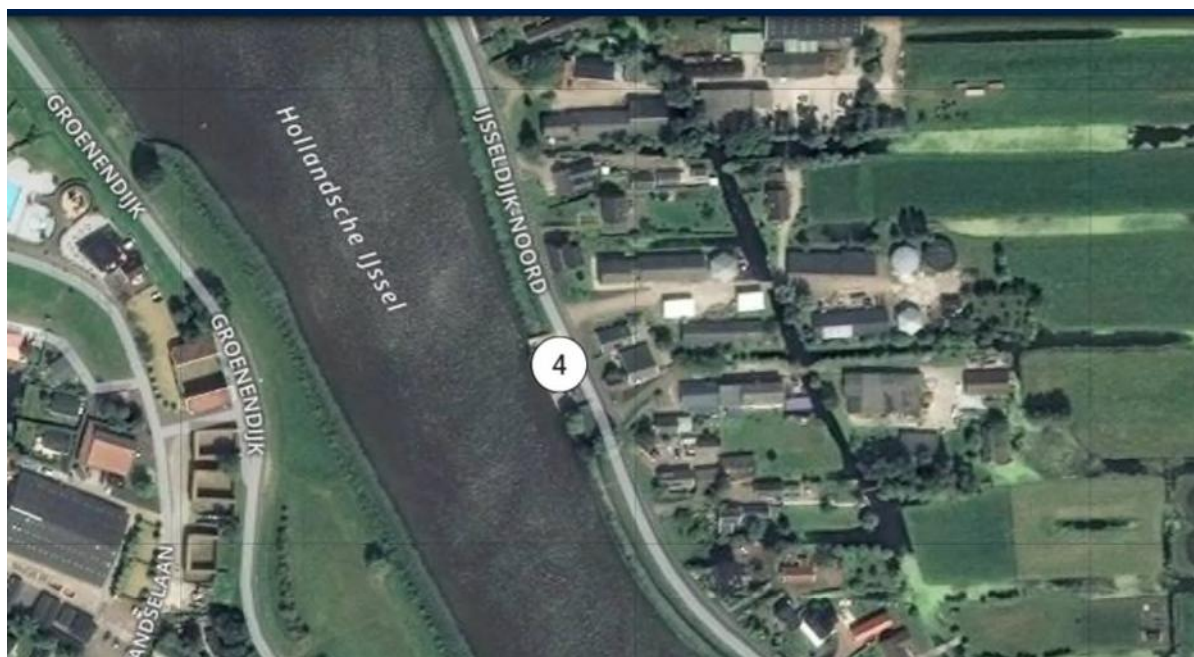
De meetperiode bedroeg vijf maanden in de zomer van 2020.



Figuur 2.3: Luchtfoto locatie Spijk (West-Betuw)

2.1.2 Veldtest Ouderkerk

Voor de tweede aanvullende veldtest is een locatie aan de IJsseldijk-Noord in Ouderkerk aan den IJssel gekozen. In het verleden (2016 en 2017) zijn hier ook waterspanningsmetingen uitgevoerd voor het dijkversterkingsproject KIJK. Op meerdere locaties in dit project zijn de metingen van BAT-filter WSM's verstoord geraakt door vermoedelijk gasbelvorming, gezien het verloop van de gemeten waterspanningen. Er is gekozen om de waterspanningsmeters op dezelfde locatie en op dezelfde diepte te plaatsen als een van de metingen uit 2016 en 2017. De sensordiepte bedraagt circa 3,5 m onder maaiveld. De locatie is weergegeven in figuur 2.4.



Figuur 2.4: Luchtfoto locatie IJsseldijk-Noord, Ouderkerk aan den IJssel

3. Resultaten veldtest gasfilter Vianen

3.1 Algemeen

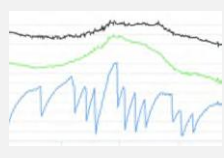
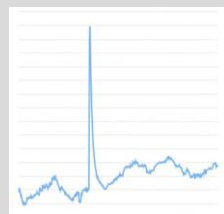
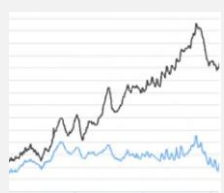
De resultaten van de metingen van de eerste veldtest in Vianen worden in de paragrafen hieronder gepresenteerd met luchtdruk op de tweede verticale as. De variabelen neerslag en temperatuur reguleren de snelheid waarmee bodembacteriën zich ontwikkelen. Een hogere temperatuur en lagere luchtdruk kunnen bij toenemende gasgehaltenes leiden tot het overschrijden van de maximale verzadigingsgraad van grondwater waardoor gasbellen kunnen ontstaan. Uit de analyses (zie rapport in bijlage B) blijkt dat de luchtdruk de belangrijkste en sterkst variërende contextfactor is.

Per cluster worden daarom in de volgende paragrafen alle WSM-drukken getoond met de temperatuur, neerslag en luchtdruk op de tweede verticale as. De tweemaandengrafieken van WSM-druk en luchtdruk van alle clusters zijn als naslagwerk opgenomen in bijlage A. De veldtest in Vianen heeft vanwege de meetfrequentie (6 metingen per uur) en meetperiode (15 maanden) zoveel data opgeleverd, dat de metingen anders niet/nauwelijks toegankelijk zijn.

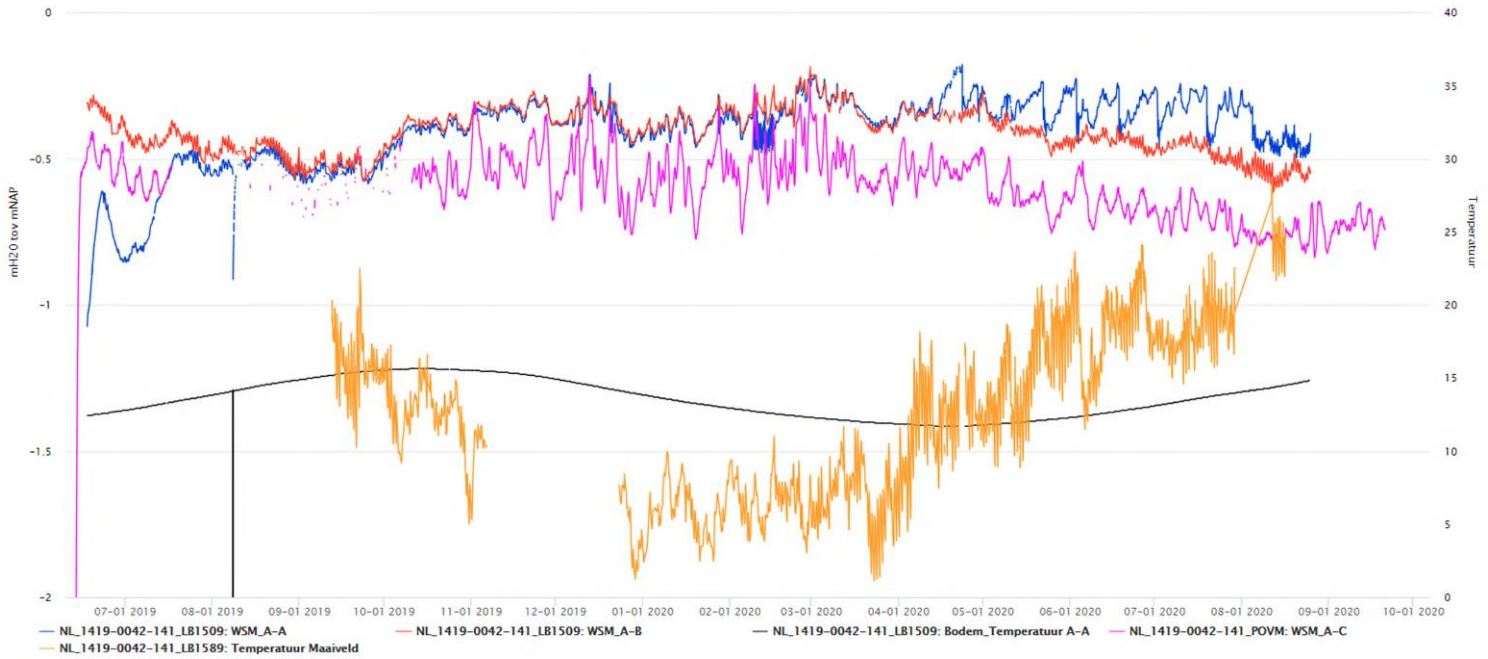
3.2 Drie typen gasdruk-gerelateerde verstoringen

Gasbeldruk kan worden herkend als gas zich verplaatst of ophoopt. Daarbij zijn drie hoofdvormen van afwijkingen te onderscheiden die gerelateerd zijn aan gasbeldruk, ondanks de schijnbaar grote verschillen tussen de reeksen. Deze drie hoofdvormen zijn in tabel 3.1 hieronder beschreven.

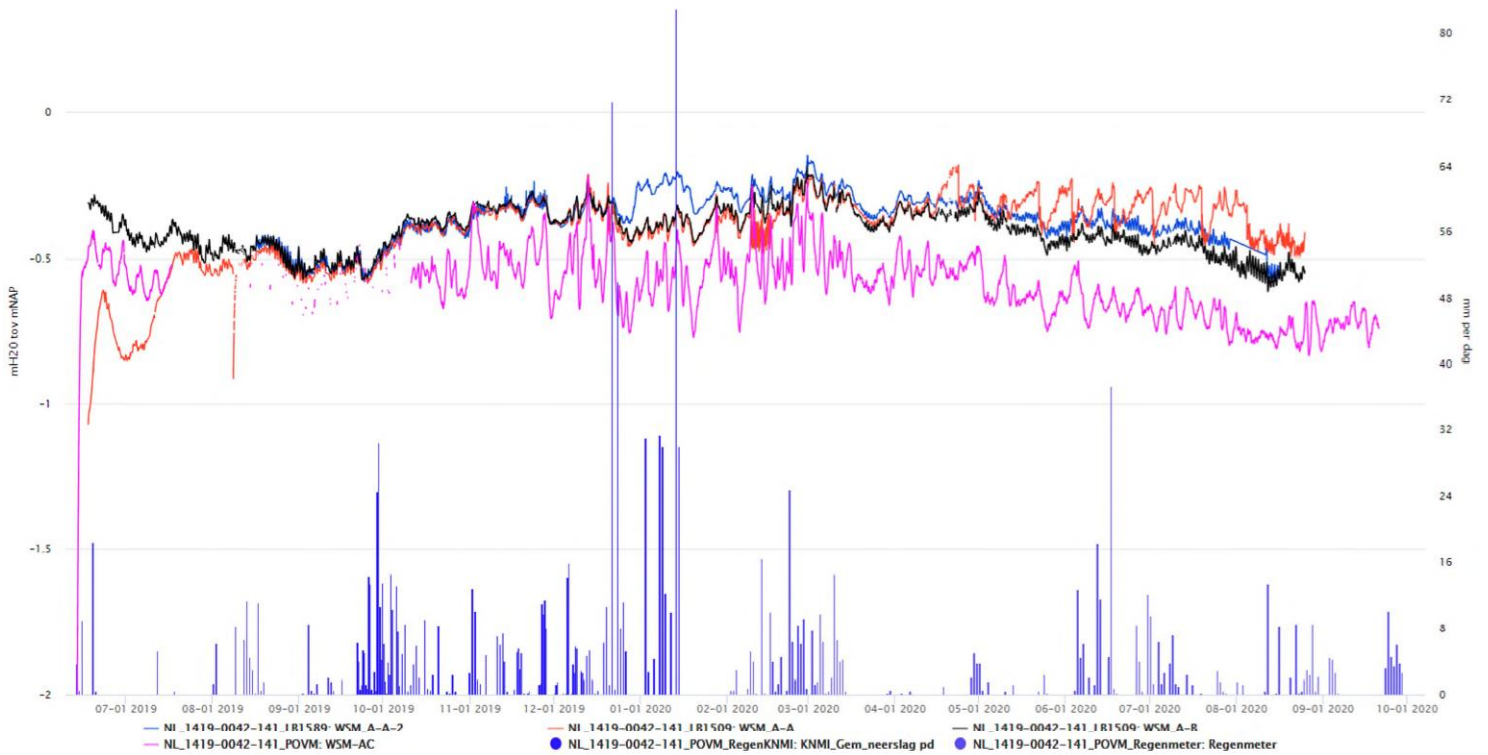
Tabel 3.1: Drie hoofdtypen van druksignalen die aan gasbeldruk zijn toegeschreven

Type	Herkenning		Periode / amplitude	Visueel	Hypothese proces
1	Abrupte druk-afname, zaagtand	Na asymptotische toename	Periodiek, divers / enkele kPa		Ontgassing van water tot bereiken van ontsnappingsdruk (ventiel), doorlopende gasproductie in directe omgeving.
2	Abrupte stijging, zaagtand	Gevolgd door asymptotische daling	Periodiek, divers / enkele kPa		Toetreding door dieper ventiel, gevolgd door relatief snelle uitdrijving van water en/of oplossen in water.
3	Geleidelijke druktoename	Valt pas op in vergelijking met andere reeksen	Weken tot maanden / tot 10 kPa		Ontgassing van water in omgeving waar geen ventiel beschikbaar is binnen fysiek bereik van de bel.

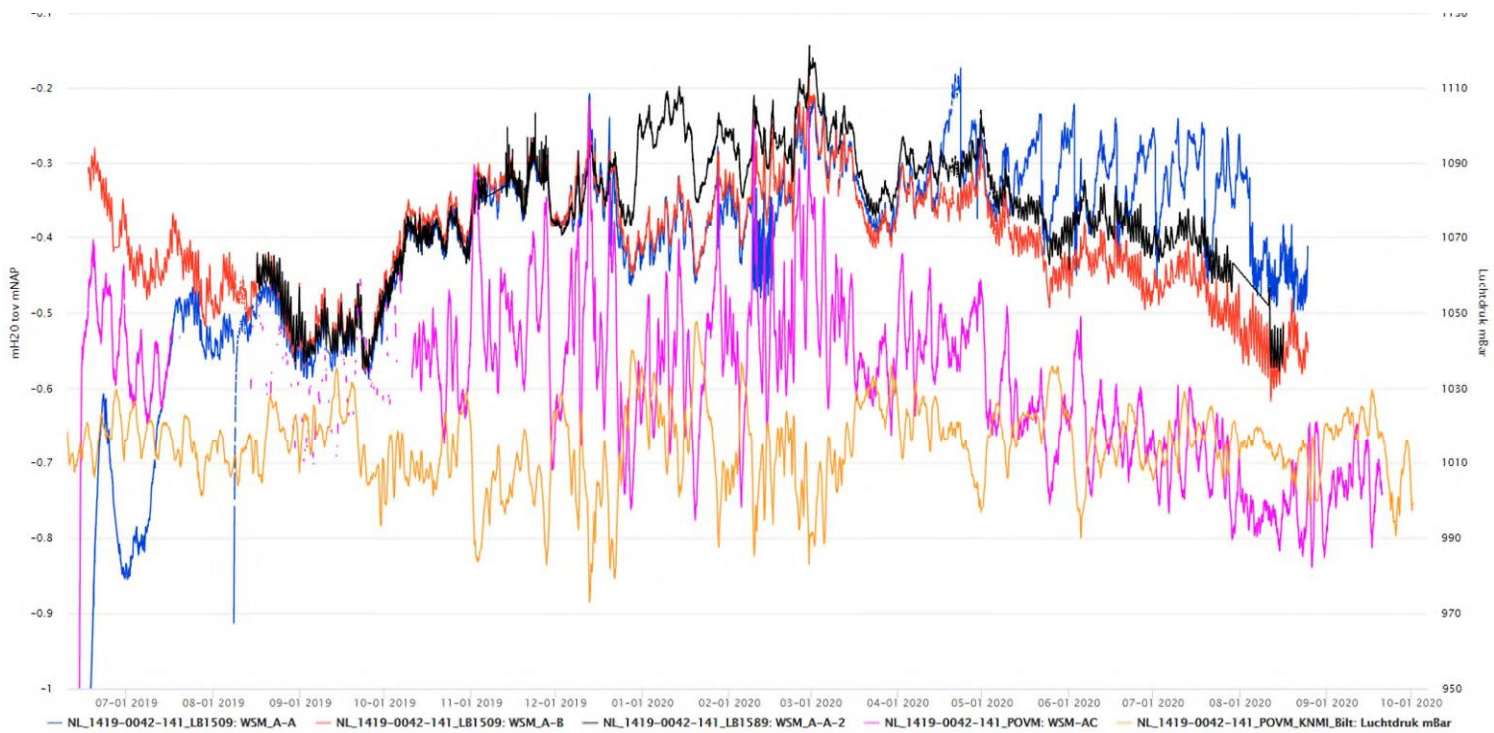
3.3 Cluster A



Figuur 3.1: Cluster A – druk met bodemtemperatuur en maaiveldtemperatuur

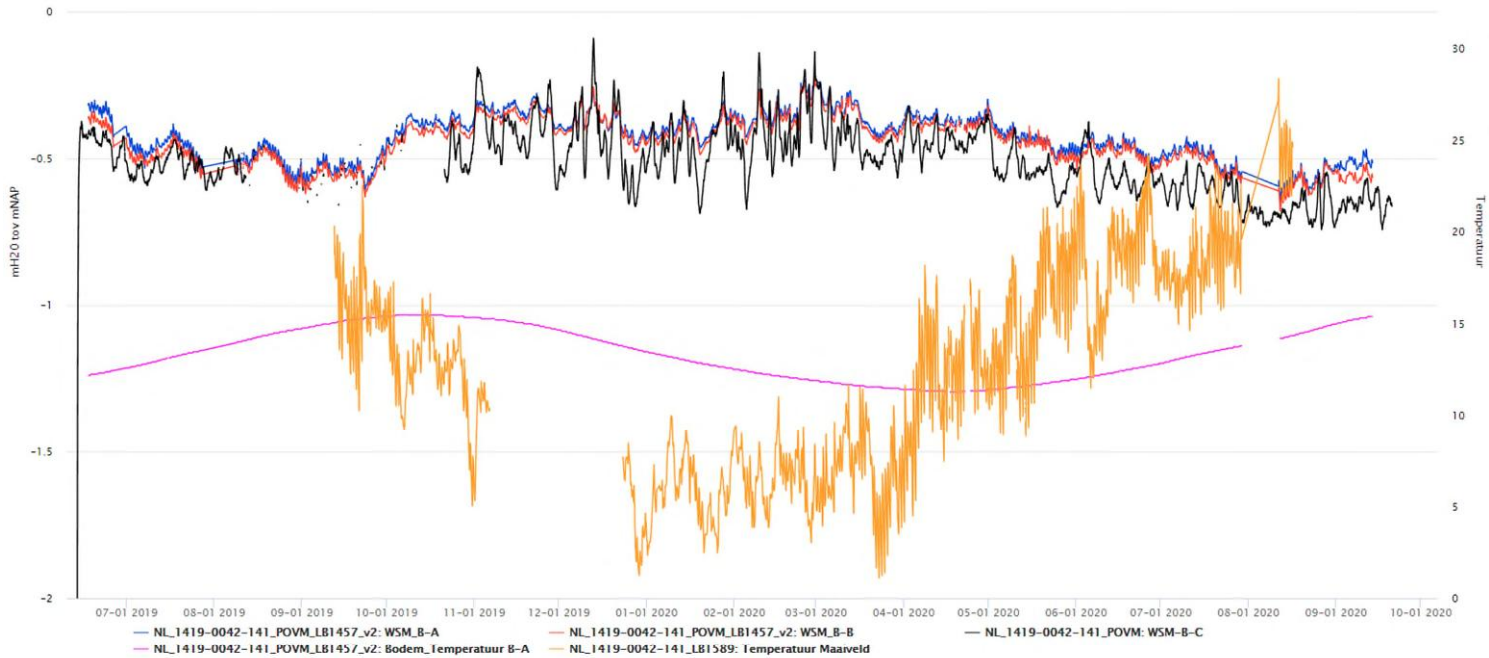


Figuur 3.2: Cluster A – druk met neerslag.

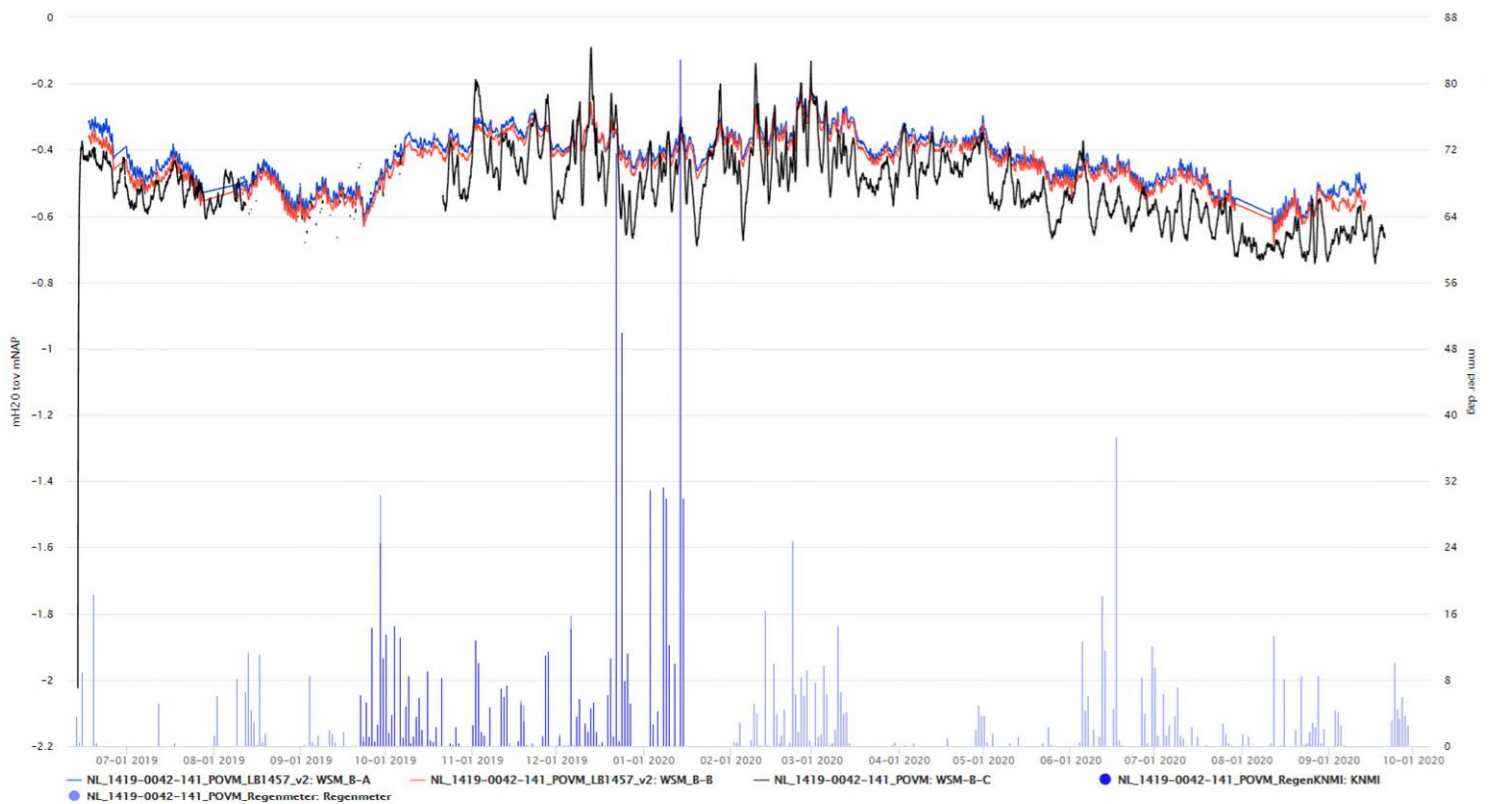


Figuur 3.3: Cluster A – druk met luchtdruk

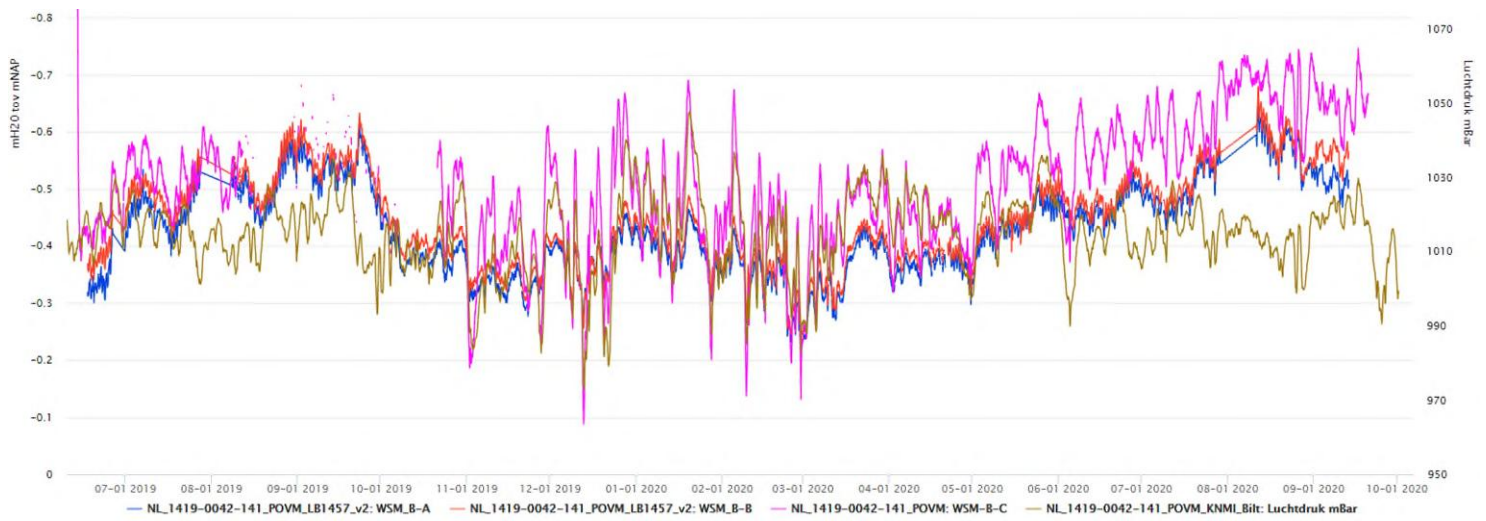
3.4 Cluster B



Figuur 3.4: Cluster B met temperatuur

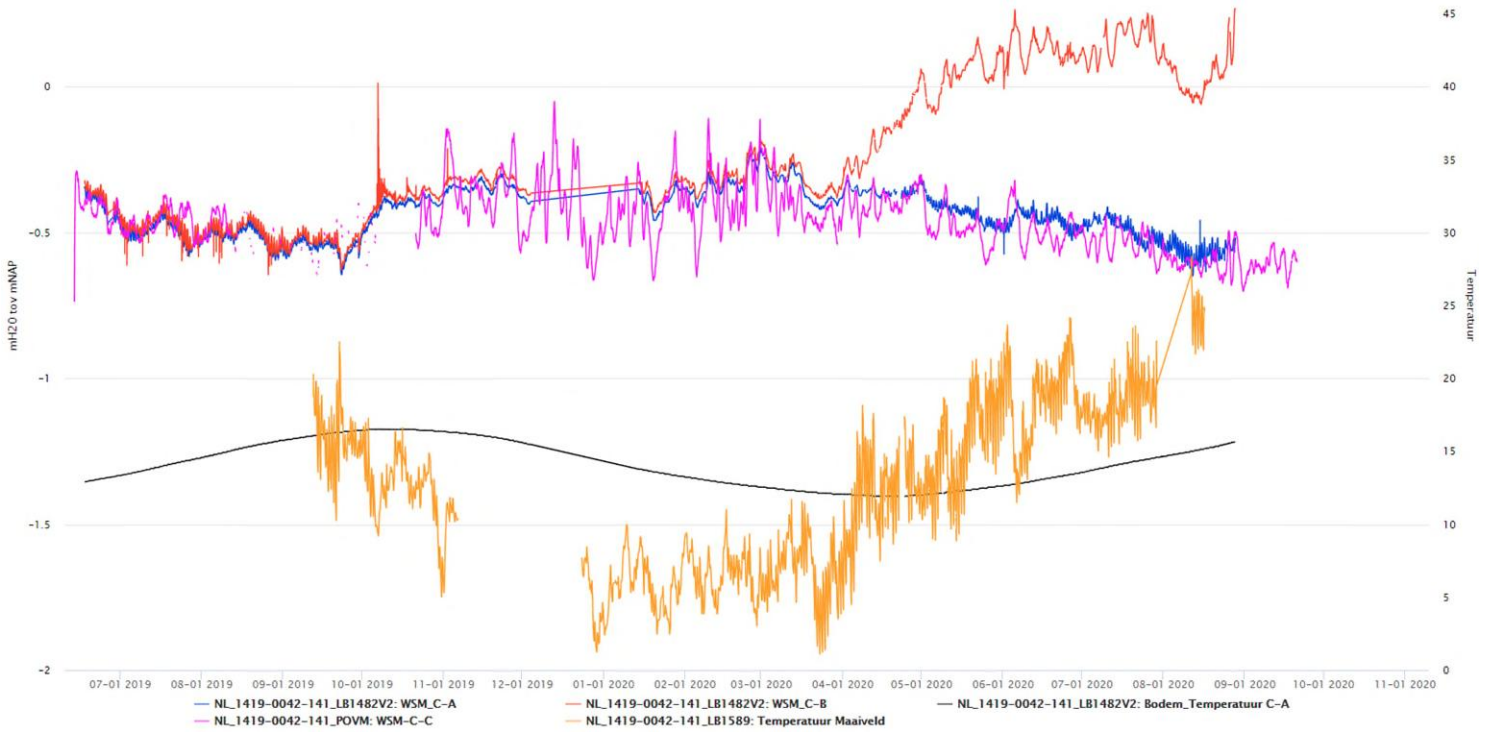


Figuur 3.5: Cluster B met neerslag

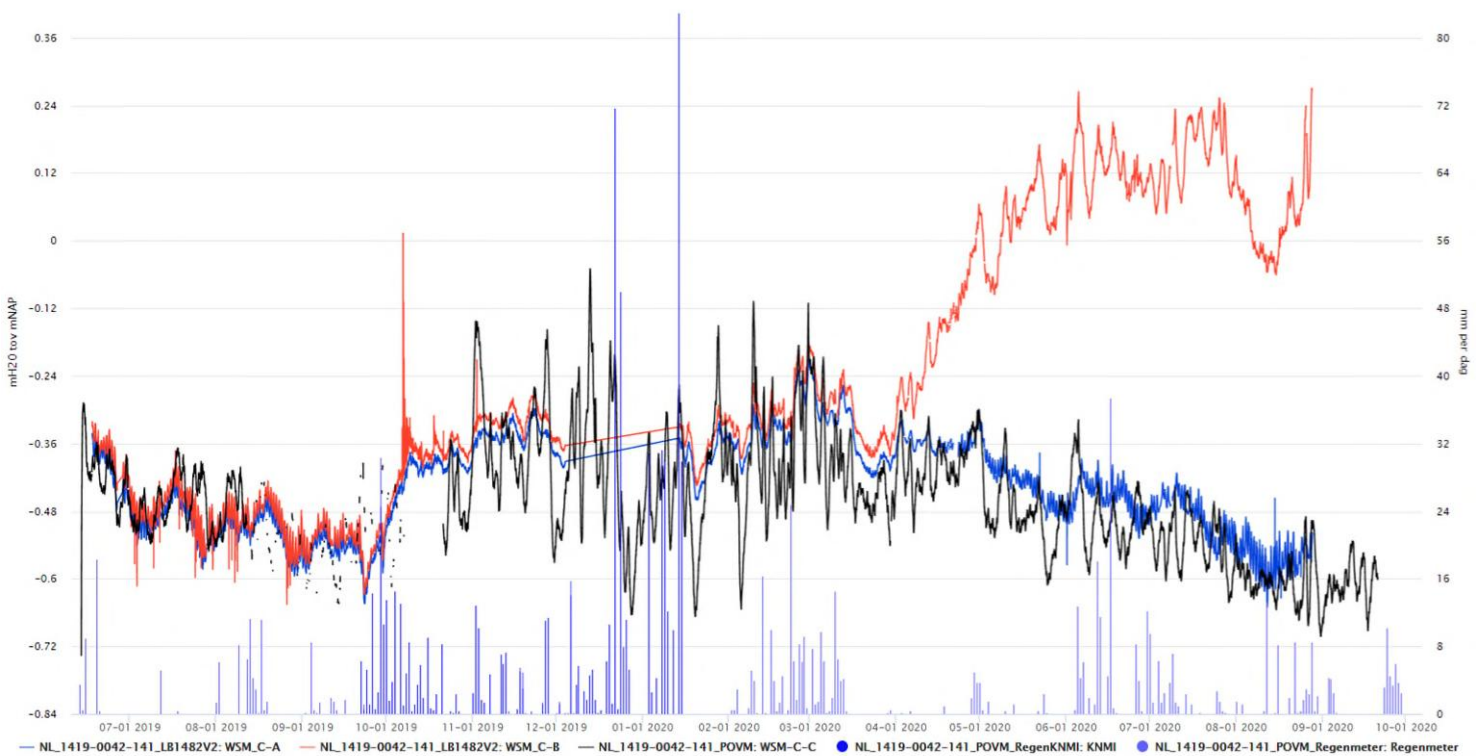


Figuur 3.6: Cluster B met luchtdruk

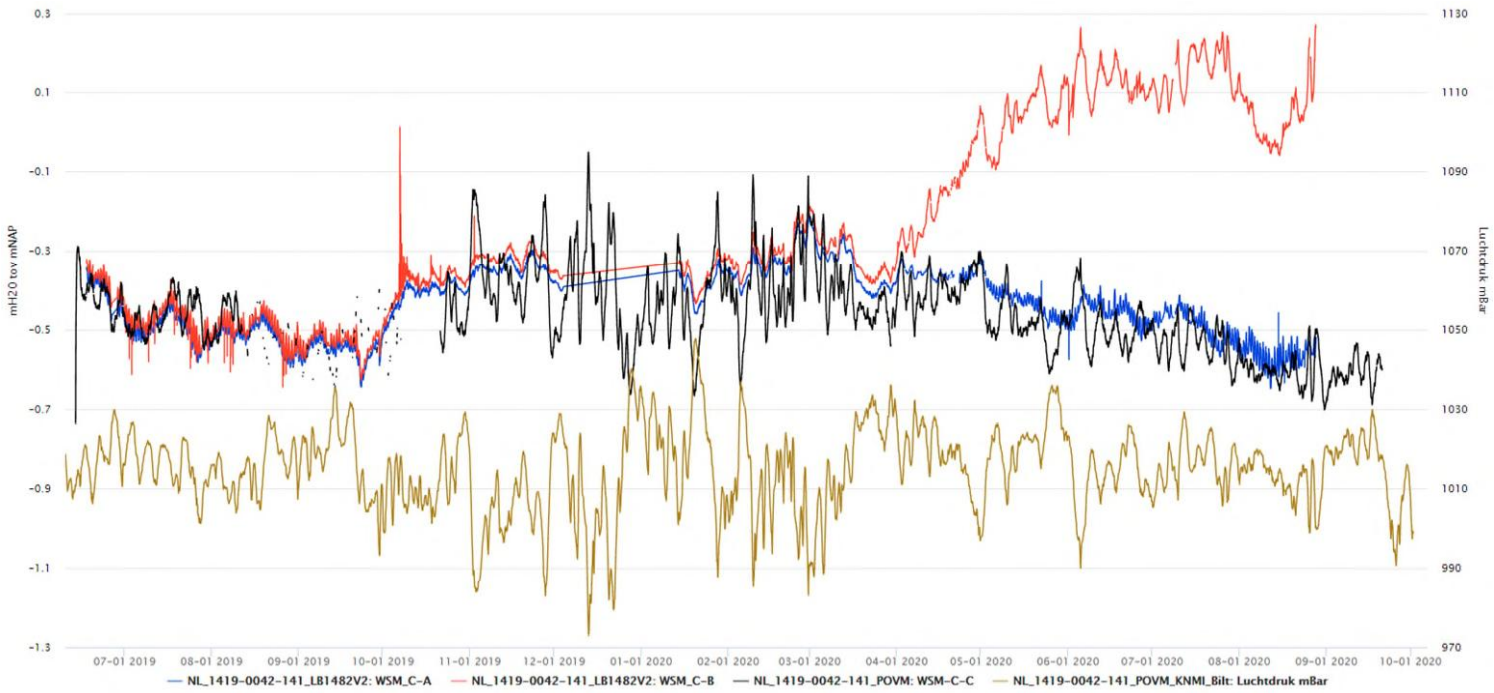
3.5 Cluster C



Figuur 3.7: Cluster C met temperatuur

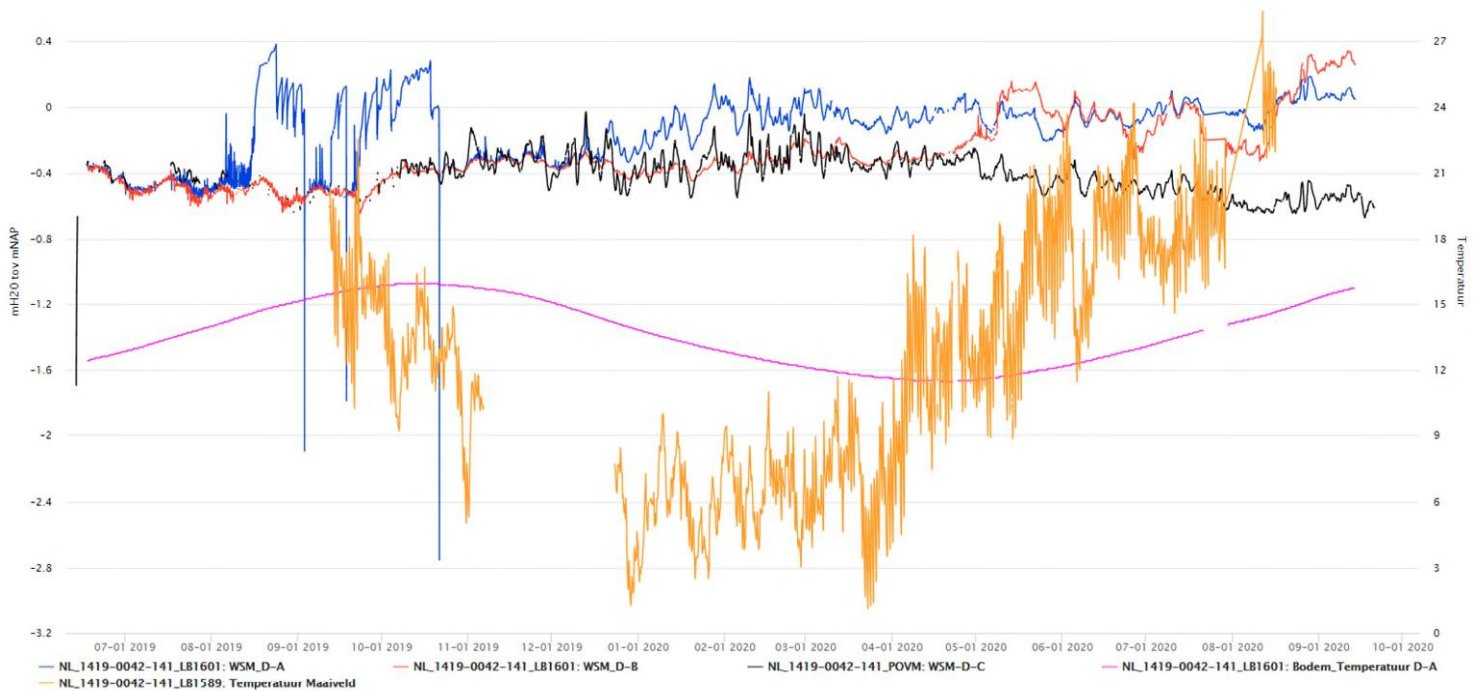


Figuur 3.8: Cluster C met neerslag

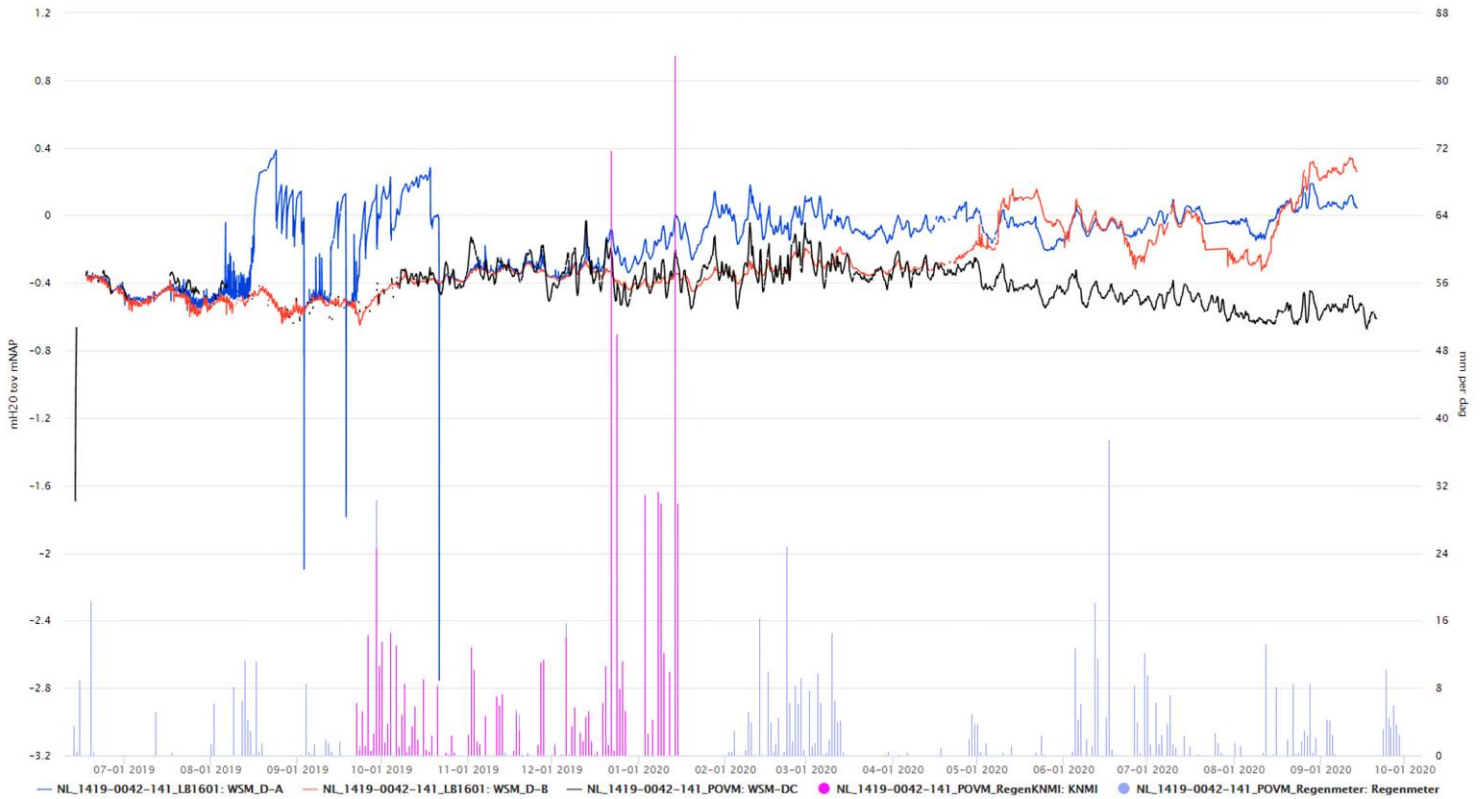


Figuur 3.9: Cluster C met luchtdruk

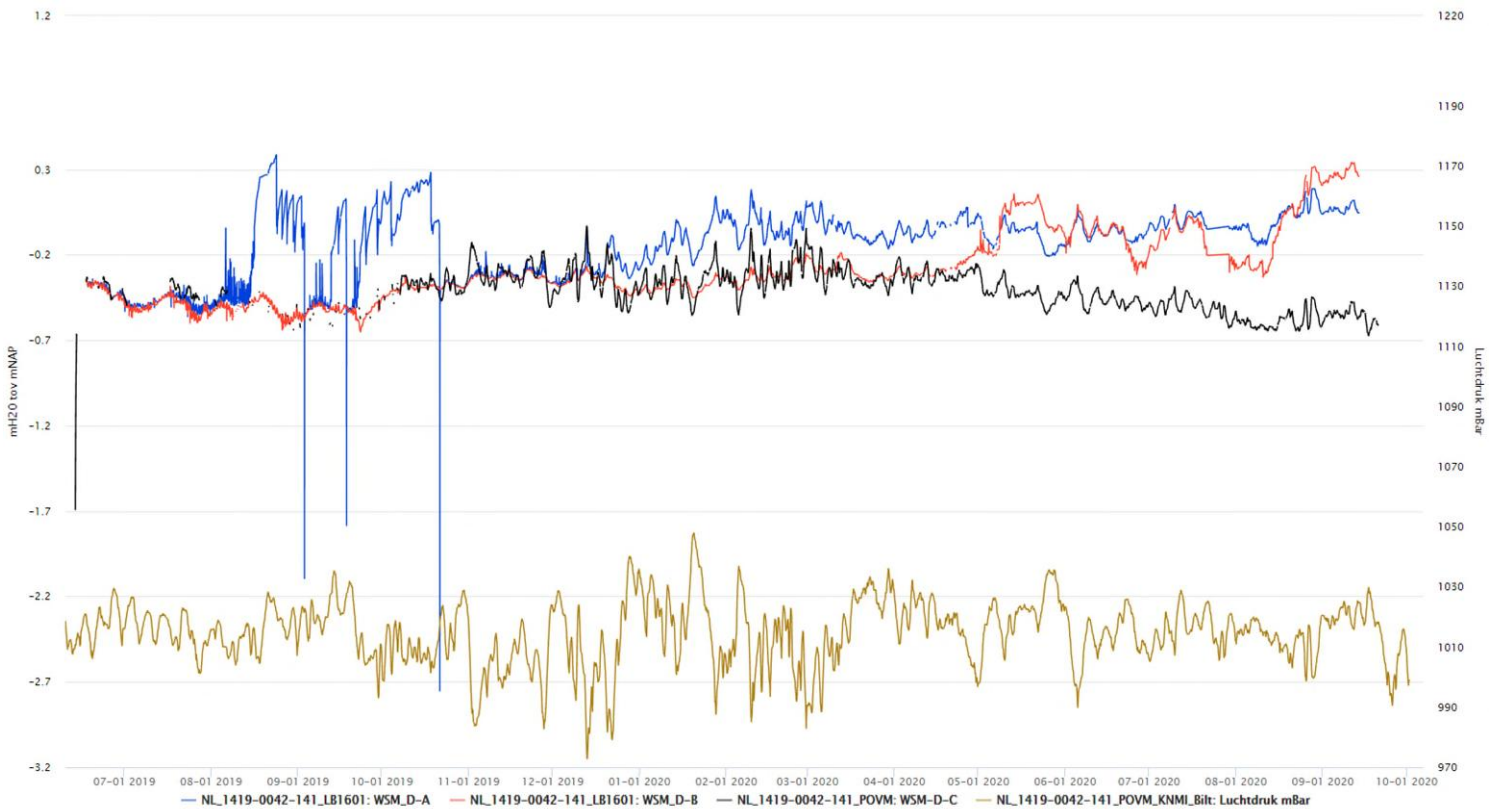
3.6 Cluster D



Figuur 3.10: Cluster D met temperatuur in bodem en aan maaiveld.



Figuur 3.11: Cluster D met neerslag.



Figuur 3.12: Cluster D met luchtdruk.

3.7 Samenvatting resultaten veldtest Vianen

3.7.1 Algemeen

De veldtest in Vianen is een langdurige veldtest geweest met een totale meetperiode van vijf kwartalen (15 maanden). De opzet van de veldtest was deels experimenteel, met prototype waterspanningsmeters met gasfilter en temperatuurmetingen die niet standaard uitgevoerd worden.

In hoofdstuk 4 van het Analyserapport (zie bijlage B) is een overzicht gegeven van de wijzigingen die tijdens de veldtest hebben plaatsgevonden, bijvoorbeeld het vervangen van slecht-functionerende sensoren. Dit overzicht is opgenomen, zodat hier rekening mee gehouden kan worden bij de interpretatie van de meetresultaten. Benadrukt wordt dat – ondanks de genoemde wijzigingen / incidenten – de meeste instrumenten het grootste deel van de tijd goed (normaal) hebben gefunctioneerd.

3.7.2 Ontgassing van grondwater

Ontgassing van grondwater is een bekend fenomeen en de belangrijkste mechanismen daarachter zijn bekend. De productiesnelheid van grondwatergassen in veen is het gevolg van anaerobe microbiële afbraak en daardoor sterk bepaald door temperatuur. De bodemtemperatuur bereikt haar maximum in de herfst waardoor normaal gesproken de gasbeldruk-gerelateerde fenomenen vooral in de late zomer tot de late herfst worden waargenomen.

In de kwartaalrapportages (bijlage E t/m H) is gewezen op een sterke samenhang tussen zeer lage luchtdruk (passage van depressies) en versterkingen in ‘drukvariaties gerelateerd aan gasbeldruk’. In de eerste kwartaalrapportages is duidelijk zichtbaar dat bij zeer lage luchtdruk abrupte versterkingen ontstaan van amplitude en kortere intervallen type 1, 2 en 3 en dat ze op die momenten ook in elkaar overgaan. In de winter van 2019 - 2020 bleek vooral type 3-gasdruk maandenlang te blijven bestaan. De meest extreme type 1 en 2 druk bleven beperkt tot de zomerse bodemtemperatuurpiek in augustus en september.

3.7.3 Sensoren algemeen

Op het eerste gezicht is duidelijk sprake van een tweedeling in de reeksen. Enerzijds de vier vrijwel parallel lopende reeksen afkomstig van de Geopoints. Anderzijds de Fugro reeksen met een veel grilliger verloop. Na verdere analyse van de Geopoint-reeksen blijkt een negatief verband tussen de luchtdruk en WSM-druk (in de Geopoints). Alle Geopoint-reeksen vertonen in deze veldtest een bijna 100% barometrische inefficiency. Dat wil zeggen dat veranderingen in luchtdruk niet leiden tot verandering in gemeten druk. De Fugro-sensoren vertonen dit gedrag in veel mindere mate, hoewel de barometrische inefficiency wel toe neemt op het moment dat de Fugro-sensoren verstoord worden door type 3-gasbeldruk. Het effect lijkt te verdwijnen op het moment dat de gasbelverstoreningen verdwijnen.

3.7.4 Relevante fenomenen

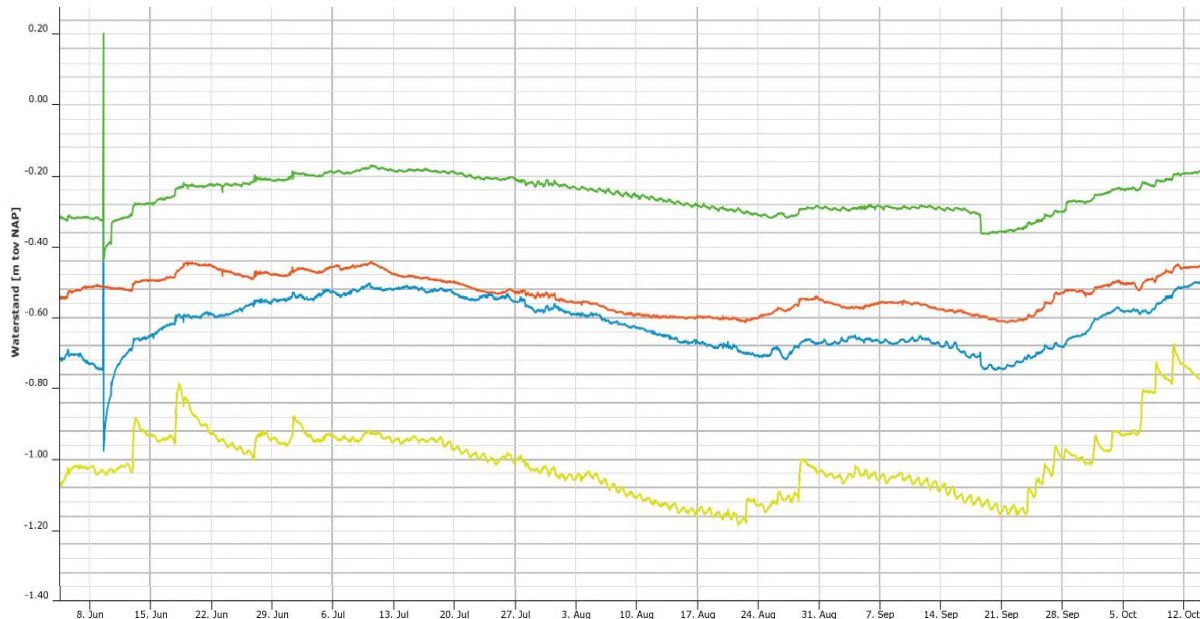
In deze paragraaf worden kort enkele relevante fenomenen opgesomd die beschreven zijn in het Analyserapport (bijlage B):

- Diverse sensoren laten gasbel-gerelateerde verstoringen zien (type 1, 2 en 3), zowel in de zomer als in de winter. De meest extreme verstoringen treden echter in de zomermaanden op.
- Fugro-sensoren meten structureel een 2 kPa hogere druk dan de Geopoint-sensoren; dit kan niet verklaard worden uit een verschil in plaatsingsdiepte.
- Minimaal twee sensoren (WSM_A-A2 en WSM_C-B) vertonen kleine, abrupte drukdalingen (nervositeit) in de middaguren.
- De reeksen WSM_A-A2 en WSM_A-B vertonen een etmaalvariatie van ongeveer 0,2 kPa. De etmaalvariatie is in de zomer groter dan in de winter en lijkt temperatuurafhankelijk te zijn.
- Een aantal Fugro-WSM's met gasfilter zijn enkele malen voorzien van een 'vacuümbehandeling' waarbij met een injectiespuit actief gas is aangezogen uit de WSM's. Dit leidt tot herstel van de gemeten druk die waarschijnlijk hoort bij een onverstoorde meting. Het effect houdt enkele uren tot enkele etmalen aan.

4. Resultaten extra veldtesten gasfilter

4.1 Meetlocatie Spijk

De meetreeksen van de vier WSM's van de extra veldtest in Spijk zijn weergegeven in figuur 4.1.



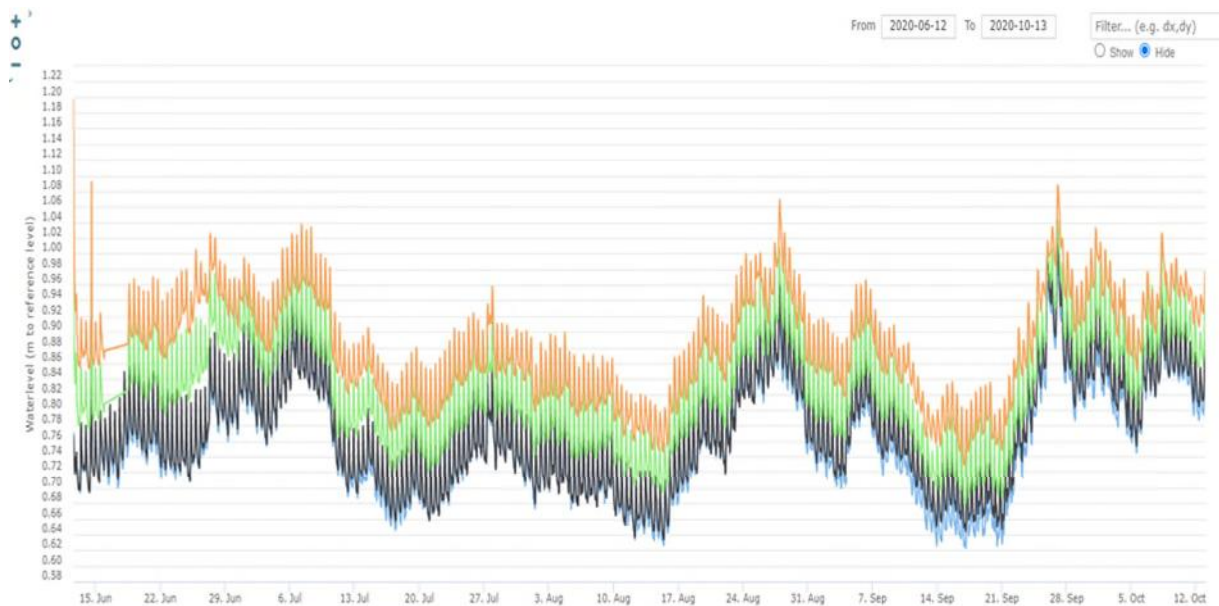
Figuur 4.1: Meetreeksen Spijk; WSM_2 (groen), POVM2 (blauw), WSM_6 (rood), POVM6 (geel)

Duidelijk zichtbaar zijn de type 2-drukstijgingen in POVM6 (geel in figuur 4.1) met daaropvolgende gestage dalingen. Opvallend is ook dat de etmaalvariatie in sensor POVM6 de grootste amplitude heeft van de vier sensoren. De sensor is in juni geplaatst en vrijwel direct worden de drukstijgingen waargenomen. Deze drukstijgingen kunnen eigenlijk niet anders dan het gevolg zijn van een gasbel die zich een weg naar boven werkt.

Op locatie 2 zijn ook wat bewegingen te zien waarvan die op 19 december in beide sensoren wijzen op een ontsnappende gasbel. Ook kan het zijn dat op dat moment iets veranderd aan de massa van de omgeving.

4.2 Meetlocatie Ouderkerk

De meetreeksen van de vier WSM's van de extra veldtest in Ouderkerk zijn weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2: Meetreeksen Ouderkerk aan den IJssel

De reeksen langs de Hollandse IJssel zijn gedurende de zomer van 2020 niet verstoord geraakt door bewegingen van bodemgas. De kans dat er ongemerkt gasbeldruk heeft opgebouwd is niet groot, omdat vier sensoren een vrijwel gelijkopgaand verloop laten zien. De gelegenheid voor grondwater ontgassing zijn er wel degelijk op deze locatie. Door de sterk variërende druk zou een eventueel oplopende gasconcentratie al snel bij laagwater kunnen leiden tot overschrijden van de oplosbaarheid en daardoor tot gasbelvorming. Desondanks is dat niet gebleken.

5. Conclusies en aanbevelingen veldtesten

Dit hoofdstuk bevat een samenvatting van de conclusies en aanbevelingen zoals die volgen uit het analyserapport van de veldtesten (bijlage B). De conclusies en aanbevelingen zijn gegroepeerd volgens de onderwerpen gasfilter, sensoren en materiaalgebruik / grondfilter.

5.1 Conclusies

5.1.1 Geschiktheid meetlocatie en meetopstelling

De locatie van de veldtest in Vianen lijkt achteraf gezien erg geschikt gebleken: de meetperiode van 15 maanden (incl. twee zomers) heeft waardevolle metingen opgeleverd die zeker samen hangen met gasbeldruk-gerelateerde verstoringen. De aanvullende testlocaties (Spijk en Ouderkerk) hebben achteraf gezien niet veel aanvullende informatie opgeleverd. Bij de test in Spijk zijn bij één WSM verstoringen gemeten; bij de test in Ouderkerk aan den IJssel zijn geen verstoringen waargenomen.

Conclusie: Op basis van de metingen kan zeker gesteld worden dat op de meetlocatie in Vianen in de meetperiode wel gasvorming is opgetreden. Bij de meetlocatie in Spijk is het aannemelijk dat bij één waterspanningsmeter wel gasvorming is opgetreden; bij de meetlocatie in Ouderkerk aan den IJssel is in de meetperiode naar verwachting geen gasvorming opgetreden.

De meetopstelling in Vianen (met vier clusters van elk drie typen waterspanningsmeters) is achteraf gezien heel waardevol gebleken. Voor zover bekend is nog niet eerder één kubieke meter Hollandveen zo intensief in-situ bemeten, met 13 waterspanningsmeters. Doordat de sensoren binnen één cluster binnen een afstand van 10 cm van elkaar hebben gemeten, is het mogelijk om metingen onderling te vergelijken. De veldtest in Spijk is vergelijkbaar met een 'regulier' project, waar op twee locaties binnen het project is gemeten en de waterspanningsmeters met gasfilter in de veenlaag zijn geplaatst terwijl de waterspanningsmeters zonder gasfilter net onder de laag hebben gemeten. De opzet van de test in Ouderkerk aan den IJssel is vergelijkbaar met Vianen (alle sensoren op dezelfde diepte en binnen een afstand van 1 m), alleen met minder instrumenten.

Conclusie: De gebruikte meetopstelling, met name bij de veldtest in Vianen, was geschikt voor het beoogde doel.

5.1.2 Prestaties gasfilter

In de veldtest in Vianen hebben drie van vijf WSM's met gasfilter zeer duidelijke gasbeldruk-fenomenen vertoond. Van de vier WSM's zonder gasfilter waren dat er twee. De vier Geopoints vertoonden geen van allen duidelijke gasbeldruk-verstoringen.

Bij Spijk is één van twee WSM's met gasfilter duidelijk beïnvloed, tegen nul van twee zonder gasfilter. Bij Ouderkerk aan den IJssel is geen van vier WSM's beïnvloed door gasbeldruk; dus geen verschil tussen de twee met en twee zonder gasfilter.

Dit leidt tot de eerste conclusie: **De toegepaste gasfilters zijn in dit experiment (nog) niet in staat gebleken om te voorkomen dat gasbeldruk de meting van zuivere waterspanning verstoort.**

De hypothese is nog steeds dat gemeten drukvariaties veroorzaakt worden door een achterliggend proces: het ontgassen van grondwater. De verplaatsingen van gasbellen veroorzaken drukvariaties die meetbaar zijn, en daarbij maakt het veel uit hoe dichtbij de WSM's zich bevinden. Zolang de ontgassing van grondwater en/of de vorming van gassen die daaraan ten grondslag ligt niet door en/of in de instrumenten zelf wordt veroorzaakt, is geen sprake van foute metingen of onbruikbare resultaten. Gas maakt immers deel uit van de bodem.

Bij de verstoringen moet onderscheid gemaakt worden tussen drie varianten:

- Type 1 vindt plaats als een gasbel ontsnapt uit de omgeving van een WSM.
- Type 3 vindt plaats als gasbellen gestaag meer ruimte innemen in een afgesloten bodemvolume. Die kan worden geregistreerd als de WSM zich in dat volume bevindt. Als een WSM zelf (mede) oorzaak is van grondwaterontgassing of gasproductie (oxidatie of bijvoorbeeld als katalysator van anaerobe microbiologische activiteit) kan dat leiden tot type 3 en daaropvolgende type 1 gasbeldruk fenomenen.
- Type 2 gasbeldruk wordt op dit moment gezien als een signaal van aankomst van een gasbel uit de omgeving, vermoedelijk vanuit de diepere bodem. Het optreden van type 2 gasbeldruk kan hierdoor worden gezien als een bewijs van correcte registratie van natuurlijke processen van gasvorming en gasbelverplaatsingen. Type 2 kan oorzaak zijn van type 3-gasbeldrukopbouw, en daarna type 1-gasbeldrukontsnappingen, ook als WSM's geen rol spelen als oorzaak.

Dit leidt tot conclusie twee: **WSM's die type 2 registreren, werken correct, uitgaande van de hypothese dat dit veroorzaakt wordt door aankomst van gas uit de omgeving.**

Conclusie drie: **Omdat we de gasvormende processen nog niet goed snappen, is het de vraag of het wenselijk is om gasbeldruk wel of niet te meten en dus wel of niet weg te nemen met een gasfilter. Het is momenteel te vroeg om het gasfilter als standaardproduct grootschalig in de markt te zetten.**

De werking van een gasfilter is gericht op het voorkomen van gasbeldruk-opbouw in de waterkamer zelf, en zo mogelijk ook het voorkomen van gasbeldruk in de directe nabijheid van de WSM. Conclusie vier: **Op basis van de veldtests kan niet worden geconcludeerd dat de gasfilters er in slagen om dit doel te bereiken, maar het kan ook niet worden uitgesloten dat dat doel wel wordt bereikt.**

Het is mogelijk om de WSM's met gasfilter een vacuümbehandeling te geven met een injectiespuit. Tijdens de veldtest in Vianen is deze methode enkele malen succesvol ingezet. Vijfde conclusie: **Gasbeldruk kan worden weggenomen door een diepe onderdruk aan te brengen op de atmosferische zijde van het gasfilter (vacuümbehandeling).**

5.1.3 Sensoren

De veldtest heeft aangetoond dat Geopoint-sensoren geen gasbeldruk detecteren, terwijl naastgelegen Fugro-sensoren wel degelijk type 2-gasbeldruk registeren. Onder de hypothese dat type 2-gasbeldruk niet het gevolg kan zijn van de WSM's zelf, is het ontbreken van type 2 in reeksen van Geopoint verdacht. Dezelfde constatering kan worden geïnterpreteerd als een zeer hoge gevoeligheid van Fugro WSM's in vergelijking met ongevoeligere Geopoints. De oorzaak daarvan zou moeten worden gezocht in grondfilter-eigenschappen (porositeit, poriënafmetingen, effectief oppervlak) en/of waterkamer vorm.

Een tweede verschil tussen Fugro WSM's en Geopoints blijkt in deze data uit de barometrische in-efficiency (doorwerking van veranderingen in luchtdruk op veranderingen in waterspanning) die in de Geopoints bijna compleet lijkt te zijn. De oorzaak hiervan is niet vastgesteld, maar ook hier liggen de grondfilter-kenmerken als belangrijke verschillen tussen Geopoint en Fugro WSM's voor de hand.

5.1.4 Materiaalgebruik

Het kan niet worden uitgesloten dat de oorzaak van gasbeldruk of een gedeelte daarvan moet worden gezocht in de materialen of vorm van de Fugro WSM's . Dit sluit aan bij eerdere vermoedens dat ook kunststof BAT-systeem filters gevoeliger zijn dan WSM's van andere leveranciers. Als materialen van de WSM's een rol spelen bij gasbelvorming, is een deel van de gasbeldruk mogelijk te elimineren door voor toepassing in ondiep veen gebruik te maken van PVC of andere inerte kunststoffen.

5.2 Aanbevelingen

5.2.1 Gasbelvormende processen en waterspanningsmetingen

Gasbelvorming in de bodem, de invloed daarvan op waterspanningsmetingen en de processen die daarmee samenhangen is complexe materie die nog niet goed begrepen wordt. De veldtest in Vianen, waar een kubieke meter veen uitgebreid in-situ getest is, heeft een hoogwaardige dataset opgeleverd. Het is de moeite waard om deze test en de resultaten in een discussie met specialisten uit verschillende disciplines (geotechniek, metrologie, bio-geochemie, bodemfysische meetsystemen, etc.) te bespreken.

Aanbeveling: **Wij bevelen aan om de resultaten van de veldtest te bespreken in een discussie met een aantal zorgvuldig geselecteerde specialisten uit verschillende disciplines en/of toepassingsgebieden.**

5.2.2 Gasfilter

Het gasfilter is in laboratoria en in het veld beoordeeld en bruikbaar bevonden voor het gestelde doel, al is niet zeker dat het dampdrukverschil tussen bodem en atmosfeer voldoende is voor permanent voldoende lage concentraties in de WSM-waterkamers. De lengte van het gasfilter kan nog worden vergroot, maar het is niet op voorhand zeker dat de maximale praktische lengte van het gasfilter voldoende is.

De gasbeldruk-herstelbehandelingen (vacuüm) hebben in alle gevallen in deze testperiode een drukverlaging tot gevolg gehad die de WSM reeksen gedurende enkele uren tot een etmaal ongevoelig hebben gemaakt voor andere oorzaken van waterspanningsverandering.

Door geautomatiseerd te ontgassen kan dit worden teruggebracht tot perioden die korter zijn dan de gangbare meetintervallen van WSM-meetsystemen. Aansluiting van alle gaslangen op een vacuümpomp kan effectief zorg dragen voor een controleerbaar herstel, zoals dat ook voor tensiometers wordt toegepast. Daarbij is naar verwachting voldoende als ieder etmaal om 00:00 uur 5 minuten wordt gepompt.

Aanbeveling: **De bruikbaarheid van de Fugro WSM met gasfilter kan worden vergroot door een automatische ontgassingsmogelijkheid. Aanbevolen wordt om uit te zoeken of een praktisch haalbaar ontwerp mogelijk is.**

5.2.3 Sensoren

Er lijkt een verband te bestaan tussen de mate waarin gasbeldruk-verstoringen worden geregistreerd door Fugro WSMs en een lage barometrische efficiency (doorwerking van veranderingen in luchtdruk op veranderingen in waterspanning) van diezelfde instrumenten. De Fugro WSM's die sterke type 3-signalen laten zien, kennen in die perioden ook een sterkere barometrische in-efficiency. Dit verband kan weer verdwijnen en dat lijkt samen te vallen met gasbeldruk door verplaatsingen van gasbellen. Deze relatie blijkt niet uit de reeksen van Geopoint WSMs, die een structurele en vrijwel complete barometrische in-efficiency vertonen en tevens geen enkele verstoring door gasbeldruk registreren. De gevormde hypothesen over deze samenhang kunnen in laboratoriumopstellingen en gecontroleerde omgevingen getest worden.

Een laboratoriumtest voor het verkennen van drukverloop bij verschillende typen gasbelverplaatsingen kan veel inzicht toevoegen aan de interpretatie van veldwaarnemingen. Waar in dit project sterke aanwijzingen zijn gevonden voor een achterliggend proces (grondwaterontgassing met daarop volgend migratie van gasbellen door een cohesief, inhomogeen, poreus materiaal) kan door een zorgvuldig opgezet laboratoriumexperiment een deel van de hypothesen getoetst worden. Dit zijn:

- gasbelafvoer bij het gasfilter;
- drukverlaging bij vacuümbehandeling;
- condoomtest met vacuümbehandeling en luchtdrukvariatie;
- drukdaling bij afvoer van bel uit waterkamer tijdens vacuümbehandeling;
- drukopbouw in waterkameer bij geforceerde gasbelinjectie.

Aanbeveling: **Wij bevelen aan om laboratoriumtesten te doen naar het drukverloop van verschillende type gasbelverplaatsingen om een aantal hypothesen uit deze rapportage te testen.**

5.2.4 Geotechnische relevantie gasbelvorming

In de veldtesten, met name de langdurige veldtest in Vianen, zijn gebeurtenissen gemeten die we toeschrijven aan gasbeldruk-gerelateerde fenomenen. Het feit dat de meeste

gebeurtenissen door slechts één WSM in een cluster gemeten worden, suggereert dat het zeer lokale fenomenen betreft. We weten dit echter niet zeker. We weten ook niet hoe groot de invloed van gasvorming is op het falen van dijken en kades, bijvoorbeeld op het faalmechanisme macro-instabiliteit. Het is momenteel nog niet bekend wat de omvang van het fenomeen is: bij welke grondsoorten kan gasbeldruk optreden en welke niet? Op welke diepten is het relevant en welke niet? Deze vragen kunnen pas beantwoord worden als er (meer) inzicht is.

Aanbeveling: **We bevelen aan om verder (fundamenteel) onderzoek te doen naar de schaal van gasvormende processen en de invloed daarvan op geotechnische faalmechanismen van dijken.**

5.3 Leerpunten

De veldtesten hebben een aantal leerpunten opgeleverd. Hieronder zijn de belangrijkste opgenomen.

- De veldtesten hebben belangrijke onderzoeksvragen opgeleverd:
 - Hoe hangt de in dit project waargenomen ‘schijnbare barometrische inefficiency’ samen met de gevoeligheid van de instrumenten voor kleine drukveranderingen?
 - Hoe kunnen we de grote verschillen tussen de Fugro- en Geopoint-WSM’s verklaren? En waar moeten we rekening mee houden zolang dit onverklaard is?
 - Hoe kun je in de meetpraktijk het beste omgaan met druk-effecten gasbelvorming en verplaatsingen?
 - Nu wetende dat de verschillen in ruimte en tijd zo groot zijn, weten we ook dat we pas een eerste indicatie hebben van het spectrum van amplitudes, frequenties en volumes van deze processen. Is dit aanleiding voor bredere kennisgeving van de vakgemeenschap of is dit hooguit interessant voor de onderzoeksgemeenschap?
 - Wat is de invloed van gasbelvorming op geotechnische faalmechanismen van dijken nu we weten op welke ruimtelijke en temporele schaal deze zich kennelijk voordoen?
 - Wat zou in de toekomst een passend meetnetontwerp kunnen zijn, rekening houdend met wat we nu weten over de kans van optreden van gasvorming?
- De veldtesten hebben een aantal inzichten opgeleverd die gaan helpen bij het interpreteren van toekomstige waterspanningsmetingen:
 - Meetfrequentie,
 - Typen van gasbeldrukopbouw,
 - Onvoorspelbaarheid van optreden (diepte, temperatuurverloop, luchtdruk)
- De veldtesten hebben ons geholpen om te bepalen waar leveranciers van meetopstellingen hun energie in moeten steken bij WSM’s in veen:
 - Lusten en lasten van diverse instrumenten en telemetrische apparatuur;
 - Eerste- en tweedelijns interpretatie van meetdata;
 - Reservering tijd voor preventief onderhoud en planning,

- Meetnetontwerp (aantallen per cluster, raai, diepte).
- De veldtesten hebben inzicht opgeleverd in nut en noodzaak van gasfilters en vacuümbehandelingsopties.

6. Laboratoriumonderzoek steriele gel

6.1 Aanleiding en doel

Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat verstoring van het meetsignaal van WSM's optreedt in gronden bestaande uit klei, klei / veen, of klei met silt en dat de verstoring wordt veroorzaakt door methaangas. Uit laboratoriumonderzoek, uitgevoerd in 2017-2018 bij Deltares, is gebleken dat dit methaangas microbiologisch geproduceerd lijkt te kunnen worden en vervolgens mogelijk ophoopt in de kamer van de WSM, om daar vervolgens de verstoring van de drukmetingen te veroorzaken (POV Macro stabiliteit, 2018). In de drukkamers van de WSM's waar verstoring optrad, werden grote aantallen methaanproducerende (methanogene) bacteriën gevonden. In de drukkamers van de WSM's waar geen verstoring plaats vond, waren de aantallen van deze micro-organismen veel lager. Het steriel houden van de WSM-kamer kan er dus voor zorgen dat er geen microbiële gasvorming optreedt. In het onderzoek uit 2017-2018 zijn enkele eerste testen gedaan met antibacteriële stoffen als maatregel om de WSM kamer steriel te houden. De resultaten van deze eerste testen waren positief, en op basis hiervan is vervolgonderzoek uitgevoerd binnen fase 3 van het project.

Het doel van dit onderzoek is het verder uittesten van de maatregelen voor het tegengaan van microbiële gasvorming in de kamer van de waterspanningsmeter (WSM) met behulp van steriele gels.

Het onderzoek focust zich op aanvullend labonderzoek voor het aanbrengen en de werkingsduur van de antibacteriële gel. Hierbij is onder andere gekeken wat een praktische manier is om de gels aan te brengen in de WSM-kamer. Daarbij staat voorop dat bedrijven die WSM's gebruiken, dit ook zelf zouden kunnen toepassen.

6.2 Antibacteriële gels

In eerdere testen met antibacteriële gels (POV Macro stabiliteit, 2018) is uitgegaan van natriumazide en zilversulfaat als antibacteriële component. Uit de testen is verder gebleken dat agarose het meest geschikt was als het hulpstof en daar is het onderzoek in fase 3 verder mee uitgevoerd.

Om de werking van antibacteriële gels in WSM's te onderzoeken, wordt uitgegaan van een zo hoog mogelijke concentratie van natriumazide en zilversulfaat in de WSM. Daarvoor is het enerzijds van belang om een geschikte concentratie van deze biociden in de gel aan te brengen. Er zijn testen uitgevoerd om te bepalen wat de maximale hoeveelheid is die in de gel kan worden aangebracht.

Anderzijds is het belangrijk om de diffusie vanuit de gel naar het water in de WSM-kamer vast te stellen. Diffusieberekeningen zijn uitgevoerd om in te schatten wat de potentiële werkingsduur van de gel in de WSM is. Vervolgens zijn testen uitgevoerd om te verifiëren hoe de diffusie in praktijk uitwerkt. In deze testen zijn gels als een laagje of in de vorm van een pellet in verschillende WSM's toegevoegd, om de werkingsduur van de antibacteriële werking vervolgens onder verschillende omstandigheden te testen.

De tweede manier waarop de concentratie/beschikbaarheid van antibacteriële componenten kan afnemen is door :

- microbiële of chemische omzetting;
- complexvorming (opgeloste organische moleculen en zuren) of;
- binding aan WSM-materialen (metalen en keramische componenten).

De maximale oplosbaarheid van natriumazide is 400 g/l en van zilversulfaat is 8,3 g/l. Het streven is om een zo'n hoog mogelijke concentratie in de gel te brengen. Voor zilversulfaat bleek het mogelijk om de hoeveelheid tot de maximale oplosbaarheid in de gel te brengen, voor natriumazide bleek dat praktisch niet mogelijk. Het is wel mogelijk om een gel te maken van 300 g/l. De gels die verder getest zijn, bevatten dan ook allemaal 8,3 g/l zilversulfaat en 300 g/l natriumazide.

6.3 Diffusieberekeningen

De antibacteriële werkingsduur van de gel is afhankelijk van hoe snel de natriumazide en zilversulfaat uit de gel diffunderen en vervolgens door de filters van de WSM naar de omringende grond/grondwater diffunderen. De diffusie van de gel naar het water in de WSM-kamer zorgt ervoor dat bacteriën die aan een voldoende hoge concentratie worden blootgesteld het niet overleven. De diffusie vanuit de WSM-kamer naar het omringende grondwater zorgt er juist weer voor dat de concentratie daalt. Voor de werkingsduur is het dus van belang dat de concentratie in de kamer lang genoeg voldoende hoog blijft om bacteriën te doden en het water in de WSM-kamer steriel te houden.

Voorafgaand aan de laboratoriumtesten zijn diffusieberekeningen uitgevoerd voor Geopoint WSM's, waarbij voor het diffusieoppervlak de oppervlakte van de vier filters zijn genomen. Op basis van een 'worst case' benadering is berekend dat dat – bij een toepassing van 0,5 ml gel – het een dag duurt voordat natriumazide en zilversulfaat volledig uit de WSM-kamer zijn gediffundeerd. Dat zou relatief te kort zijn om de WSM-kamer langdurig steriel te houden. Het is echter zeer aannemelijk dat dit in de praktijk veel langer duurt aangezien we uitgaan van de hoogste diffusieconstanten in water. Met behulp van laboratoriumonderzoek kunnen we dit aantonen.

6.4 Gel als pellet

Tijdens een workshop met veldmedewerkers van Fugro en Wiertsema & Partners kwam naar voren dat het zelf maken en aanbrengen van de gel, voorafgaand aan het installeren van de WSM's praktisch eigenlijk niet uitvoerbaar is. De wens werd uitgesproken om een kant-en-klare gel te hebben die direct aan de WSM-kamer kan worden toegevoegd. Daarbij is gezocht naar een toepasbare oplossing met een zo'n klein mogelijk diffusie oppervlak. De oplossing is gevonden in een gelpellet. De gelpellet kan gemakkelijk van te voren worden gemaakt en bij de veldvoorbereiding van de WSM eenvoudig worden toegevoegd aan de kamer. Het protocol voor het maken van deze agarose pellets staat beschreven in Bijlage B van het eindrapport van Deltares (bijlage C bij dit rapport). De pellets worden opgeslagen bij 4°C, en behouden hun werking minimaal 1 maand na maken.

6.5 Resultaten laboratoriumtesten

De gelpellets zijn getest in zowel een opstelling met ontgast demiwater als in kolommen met grond en grondwater. In de test met alleen water (zonder roeren), blijkt dat de concentratie van de werkzame stoffen na 22 dagen (einde test) voldoende hoog zijn om groei van de *E.coli*-bacteriën te remmen.

Uit de testen met de antibacteriële gelpellet in de opstelling met grond en grondwater blijkt dat:

- De diffusie in de praktijk langzamer gaat dan uit de berekeningen naar voren komt.
- De gel in de vorm van een pellet in ieder geval tot 112 dagen een remming geeft van de groei van de *E.coli*-bacterie.
- Na 218 dagen is de remmende werking van de pellet niet meer meetbaar.

6.6 Algemene conclusies en aanbevelingen

Onder veldomstandigheden is het aannemelijk dat microbiële activiteiten zorgen voor methaanproductie in de WSM-kamer. Deze activiteiten kunnen tenminste 112 dagen geremd worden door het aanbrenge van een antibacteriële gelpellet in de WSM-kamer.

Praktijktesten met antibacteriële pellets worden aanbevolen, aangezien deze inzicht zullen geven in de mate waarin de remming een positief effect heeft op de levensduur van een ongestoorde WSM-meting, door beperking van microbiële gasvorming.

7. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste conclusies en aanbevelingen voor zowel het gasfilter als de antibacteriële gel beschreven. Voor een uitgebreidere toelichting verwijzen we naar de hoofdstukken 5 en 6de achtergrondrapporten in de bijlagen: bijlage B voor het gasfilter en bijlage C voor de antibacteriële gel.

7.1 Conclusies

7.1.1 Gasfilter

Meetlocatie en meetopstelling

- Op basis van de metingen kan zeker gesteld worden dat op de meetlocatie in Vianen in de meetperiode wel gasvorming is opgetreden. Bij de meetlocatie in Spijk is het aannemelijk dat bij één waterspanningsmeter wel gasvorming is opgetreden; bij de meetlocatie in Ouderkerk aan den IJssel is in de meetperiode naar verwachting geen gasvorming opgetreden.
- De gebruikte meetopstelling, met name bij de veldtest in Vianen, was geschikt voor het beoogde doel.

Prestatie gasfilter

- De werking van een gasfilter is gericht op het voorkomen van gasbeldruk-opbouw in de waterkamer van de WSM en zo mogelijk ook het voorkomen van gasbeldruk in de directe nabijheid van de WSM. Op basis van de veldtests kan niet worden geconcludeerd dat de gasfilters er in slagen om dit doel te bereiken, maar het kan ook niet worden uitgesloten dat dat doel wel wordt bereikt.
- De toegepaste gasfilters zijn in dit experiment (nog) niet in staat gebleken om te voorkomen dat gasbeldruk de meting van zuivere waterspanning verstoort.
- De metingen hebben aanleiding gegeven tot de hypothese dat gasbellen bij hun ontstaan en verplaatsing herkend kunnen worden aan 3 typen drukveranderingen:
 - Type 1: abrupte drukdaling gevolgd door gestage toename / herstel (hypothese: ontsnapping van bellen uit omgeving WSM.);
 - Type 2: abrupte stijging van druk gevolgd door gestage daling (hypothese: binnendringen van bellen in omgeving van WSM);
 - Type 3: gestaag oplopende druk, vaak gevolgd door bereiken van plateau of abrupte drukdaling (hypothese: toename van druk door ontstaan en groei van gasbellen uit oververzadigd grondwater en microbiologische activiteit).
- Vervolg hypothese: WSM's die type 2-verstoringen waarnemen, werken correct, uitgaande van de hypothese dat deze verstoring veroorzaakt wordt door de aankomst van een gasbel uit een dieper niveau.
- Vervolg hypothese: WSM's die type 1 en type 3 druk registreren, kunnen mogelijk zelf betrokken zijn als oorzaak. Een gasbel ontsnapping vanuit de WSM waterkamer vereist immers het opbouwen van de luchtintredewaarde van het grondfilter en de fijne versmeerde bodemdelen rondom het instrument.

- Gasbeldruk type 3 kan worden weggenomen door een diepe onderdruk aan te brengen op de atmosferische zijde van het gasfilter (vacuümbehandeling).

Sensoren en materiaalgebruik

- Onder de hypothese dat type 2-gasbeldruk niet het gevolg kan zijn van de WSM's zelf, is het geheel ontbreken van type 2 in reeksen van Geopoint-sensoren verdacht. Dezelfde constatering kan worden geïnterpreteerd als een zeer hoge gevoeligheid van Fugro WSM's in vergelijking met ongevoeligere Geopoints.
- Het kan niet worden uitgesloten dat de oorzaak van gasbeldruk deels moet worden gezocht in de materialen of vorm van de Fugro WSM's. Als materialen van de WSM's een rol spelen bij gasbelvorming, is een deel van de gasbeldruk mogelijk te elimineren door voor toepassing in ondiep veen gebruik te maken van PVC of andere inerte kunststoffen.

7.1.2 Antibacteriële gel

- Het blijkt praktisch mogelijk om antibacteriële gel in de vorm van een gelpellet aan te brengen in de WSM-kamer van gangbare WSM's (type Fugro en type Geopoint).
- Onder veldomstandigheden is het aannemelijk dat microbiële activiteiten zorgen voor methaanproductie in de WSM-kamer. Deze activiteiten kunnen tenminste 112 dagen geremd worden door het aanbrengen van een antibacteriële gelpellet in de WSM-kamer. Na 218 dagen was geen remmende werking meer zichtbaar in de laboratoriumtest.

7.2 Aanbevelingen

7.2.1 Gasfilter

De veldtesten hebben de volgende aanbevelingen, leerpunten en onderzoeksvragen opgeleverd:

- Wij bevelen aan om de resultaten van de veldtest te bespreken in een discussie met een aantal zorgvuldig geselecteerde specialisten uit verschillende disciplines.
- De bruikbaarheid van de Fugro WSM met gasfilter kan worden vergroot door een automatische ontgassingsmogelijkheid. Aanbevolen wordt om uit te zoeken of een praktisch haalbaar ontwerp mogelijk is.
- Er lijkt een verband te bestaan tussen de mate waarin gasbeldruk-verstoringen worden geregistreerd door Fugro WSM's en een lage barometrische efficiency (doorwerking van veranderingen in luchtdruk op veranderingen in waterspanning) van diezelfde instrumenten. Dit verband kan weer verdwijnen en dat lijkt samen te vallen met gasbeldruk door verplaatsingen van gasbellen. Deze relatie blijkt niet uit de reeksen van Geopoint WSM's, die een structurele en vrijwel complete barometrische in-efficiency vertonen en tevens geen enkele verstoring door gasbeldruk registreren. De gevormde hypothesen over deze samenhang kunnen in laboratoriumopstellingen en gecontroleerde omgevingen getest worden.

- Wij bevelen aan om laboratoriumtesten te doen naar het drukverloop van verschillende type gasbelverplaatsingen om een aantal hypothesen uit deze rapportage te testen. Deze testen kunnen veel inzicht toevoegen aan de interpretatie van veldwaarnemingen. Waar in dit project sterke aanwijzingen zijn gevonden voor een achterliggend proces (grondwaterontgassing met daarop volgend migratie van gasbellen door een cohesief, inhomogeen, poreus materiaal) kan door een zorgvuldig opgezet laboratoriumexperiment een deel van de hypothesen getoetst worden.
- De veldtesten hebben een aantal onderzoeksvragen opgeleverd, waarvan de belangrijkste zijn:
 - Wat is de samenhangt tussen de ‘schijnbare barometrische inefficiency’ en de gevoeligheid van de instrumenten voor kleine drukveranderingen?
 - Hoe kunnen de verschillen tussen de WSM’s van Fugro en Geopoint verklaard worden?
 - Hoe gaan we in de meetpraktijk het beste om met drukeffecten van gasbellen?
 - Zijn de meetresultaten van de veldtest belangrijk voor de vakgemeenschap of alleen interessant voor de onderzoeksgemeenschap?
 - Wat is de schaal van gasvormende processen en wat is de invloed van gasvorming op geotechnische faalmechanismen van dijken?
 - Wat is een passend meetnetontwerp, rekening houdend met wat we nu weten over de kans van optreden van gasvorming?
- De veldtesten hebben ons een aantal inzichten opgeleverd die helpen bij het interpreteren van toekomstige waterspanningsmetingen.
- leveranciers van meetopstellingen hun energie in moeten steken bij WSM’s in veen;
- De veldtesten hebben inzicht opgeleverd in nut en noodzaak van gasfilters en vacuümbehandelingsopties.

7.2.2 Antibacteriële gel

Praktijktesten met antibacteriële pellets geven inzicht in de mate en duur van de werking van deze oplossing. Om de oplossing met antibacteriële gel verder te kunnen brengen, wordt aanbevolen om een aanpak voor deze praktijktesten te ontwikkelen.

8. Referenties

Deltares. (2020). *POVM Gebruikersplatform - POVM - Global Site*.

<https://publicwiki.deltares.nl/display/POVM/POVM+Gebruikersplatform>

Fugro (2019a). *Plan van Aanpak Ontwikkelingsfase Ontwikkeling grondwatergasbestendige waterspanningsmeter* (Fugro projectnummer 1417-0042-100). Fugro NL Land BV.

Fugro. (2019b). *Resultaten labonderzoek gasfiltermaterialen* (Fugro documentnummer 1417-0042-101.M01). Fugro NL Land BV.

Fugro. (2019c). *Resultaten lijmtest gasfilters* (Fugro documentnummer 1417-0042-101.M02). Fugro NL Land BV.

POV Macro stabiliteit. (2018). *Syntheserapport onderzoeksfase gasbestendige waterspanningsmeter*. Projectoverstijgende Verkenning Macro stabiliteit (POVM).

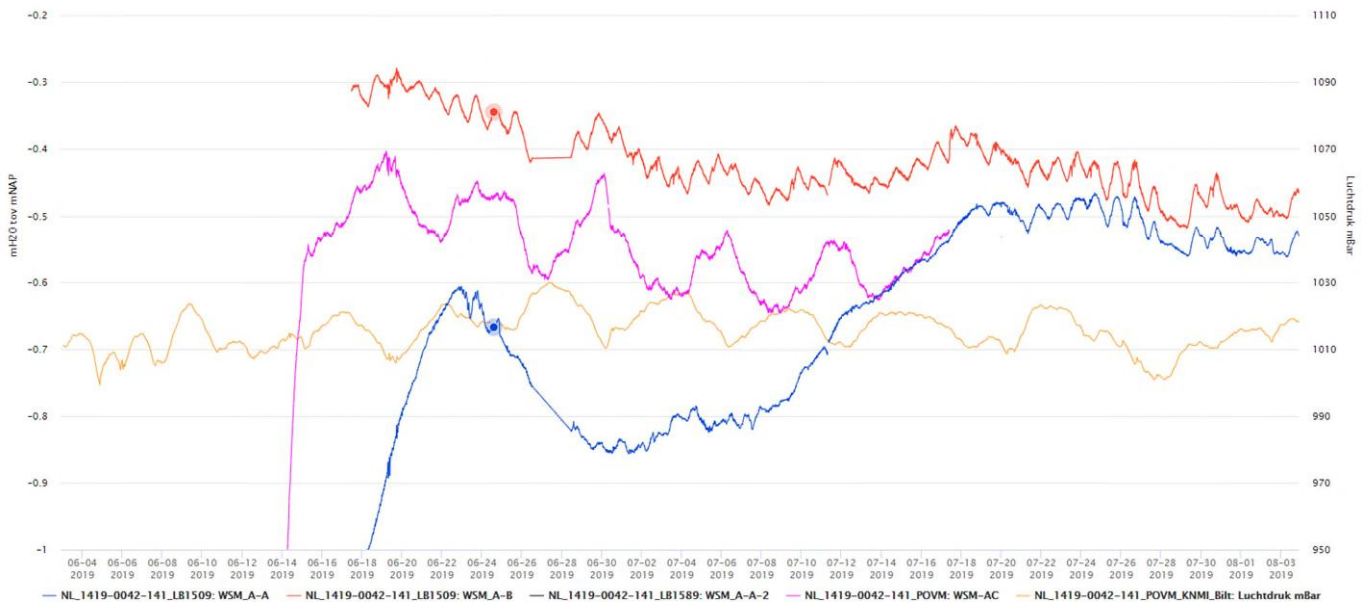


Bijlagen

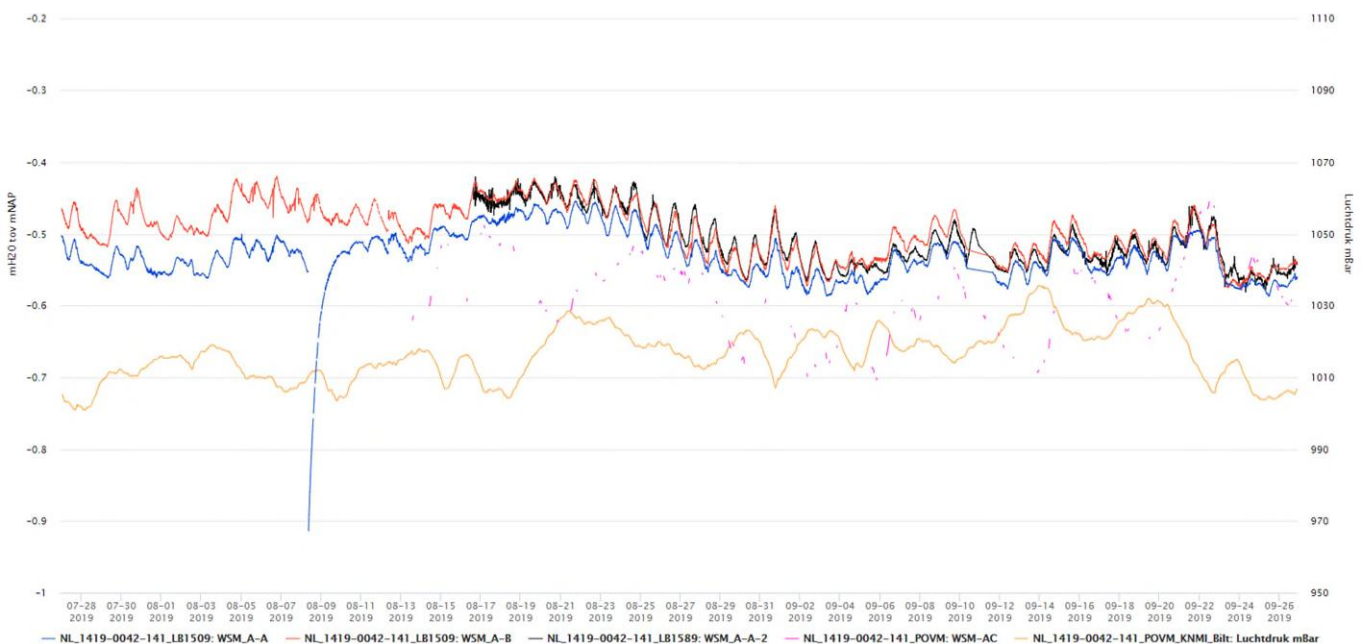
A. Grafieken veldtest Vianen

In deze bijlagen zijn per cluster grafieken opgenomen van de druk in de waterspanningsmeters met de luchtdruk. Elke grafiek bestrijkt een periode van twee maanden.

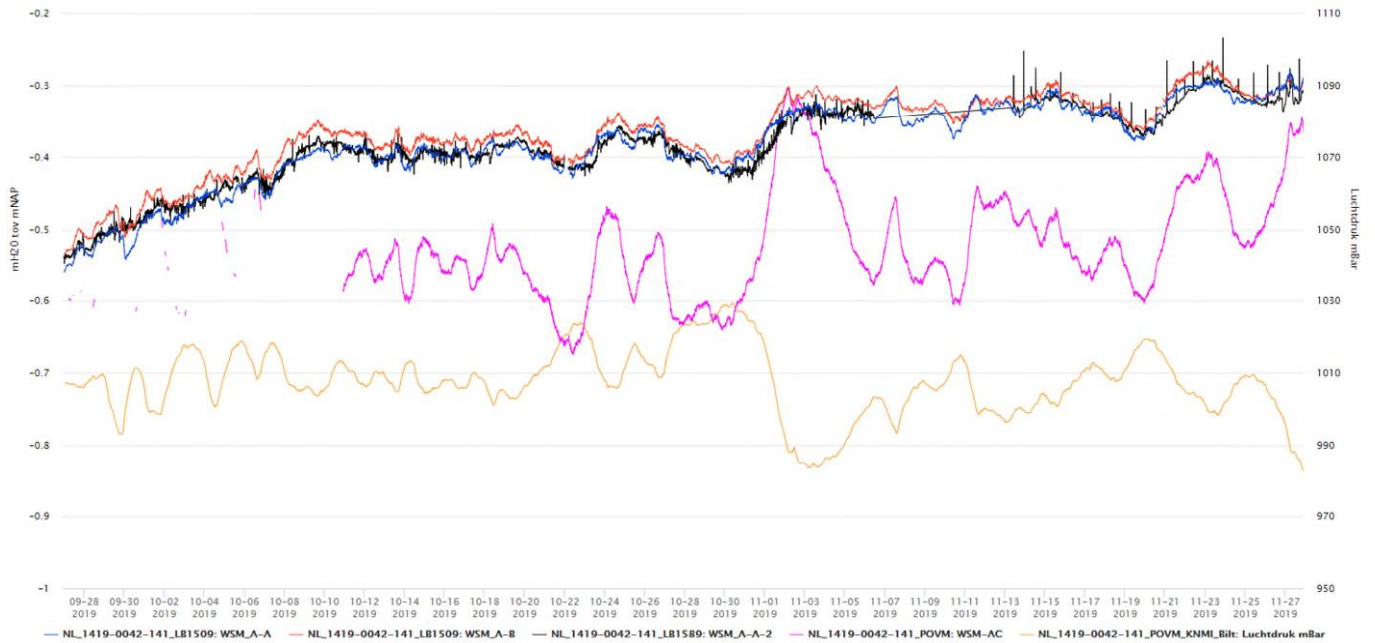
A.1 Cluster A



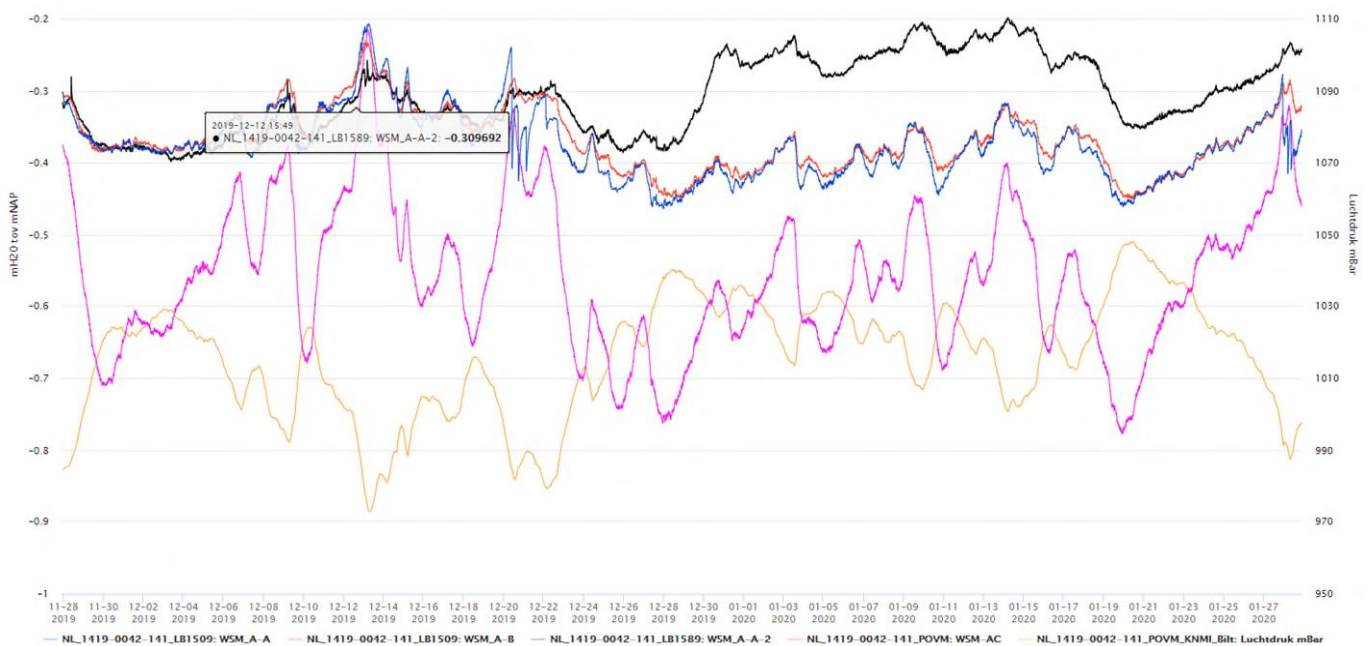
Figuur A.1: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2019



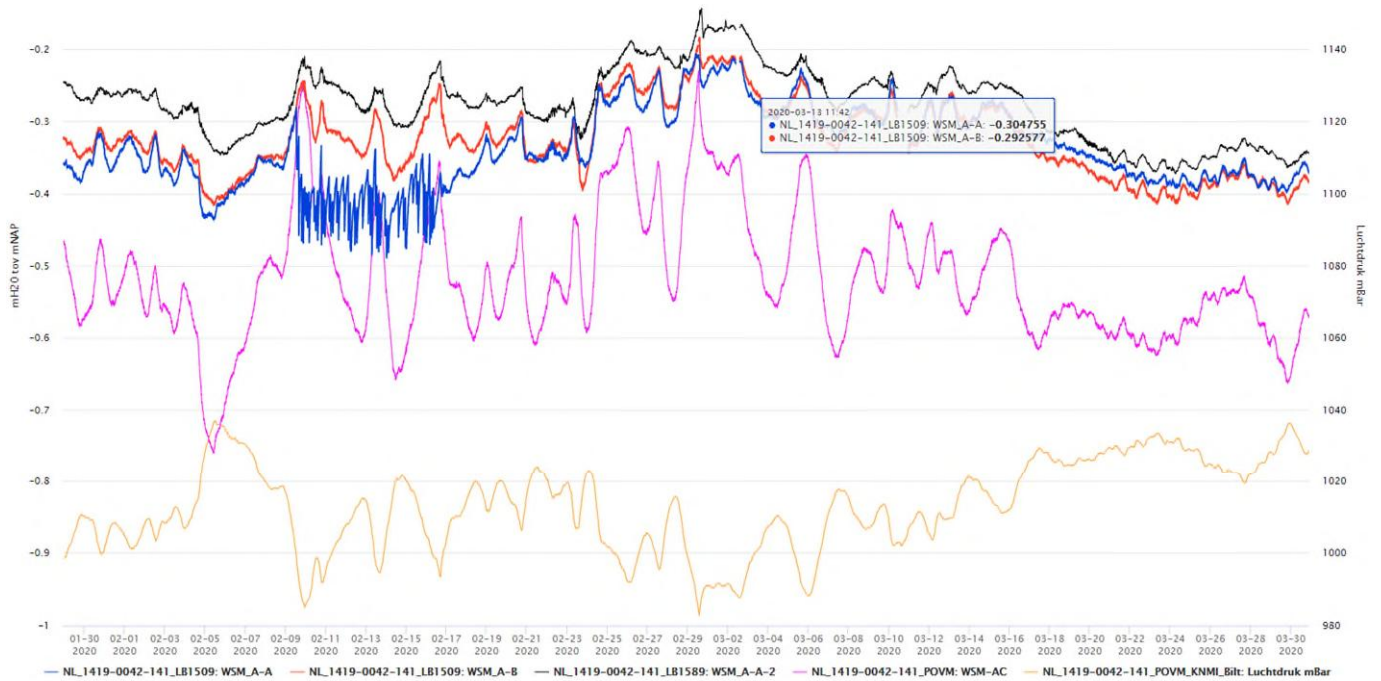
Figuur A.2: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september 2019



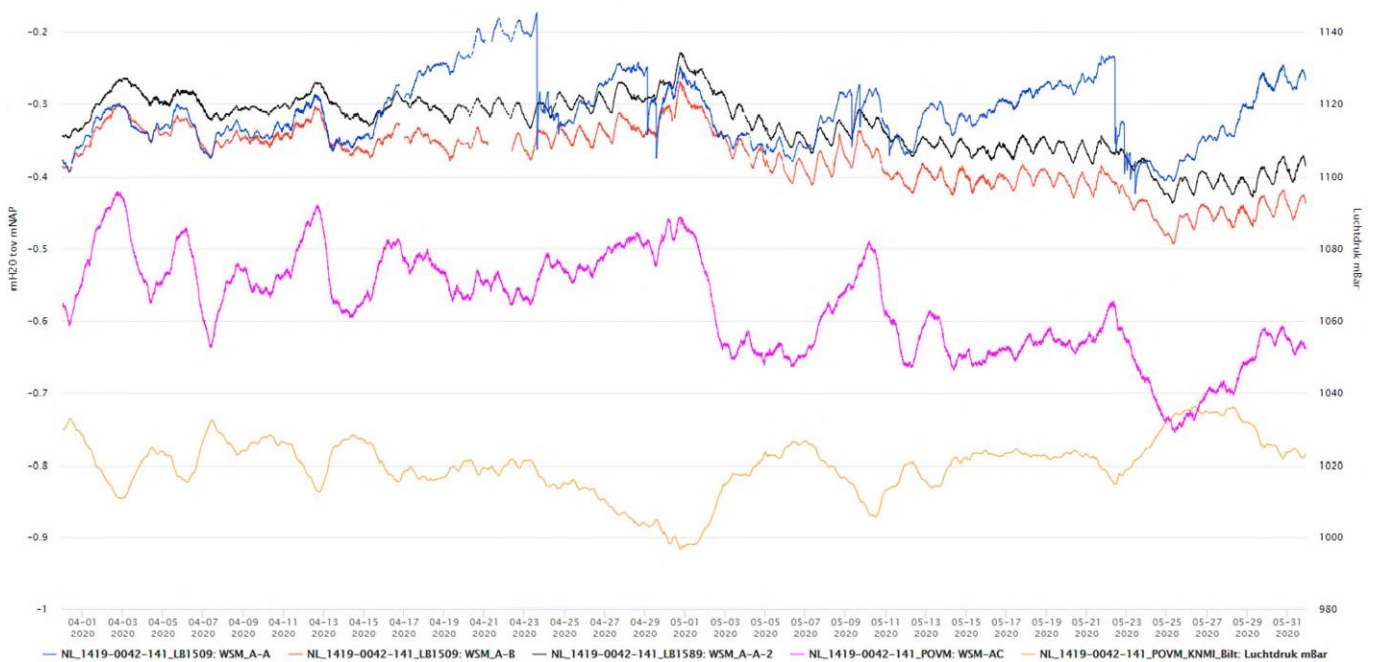
Figuur A.3: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, oktober en november 2019



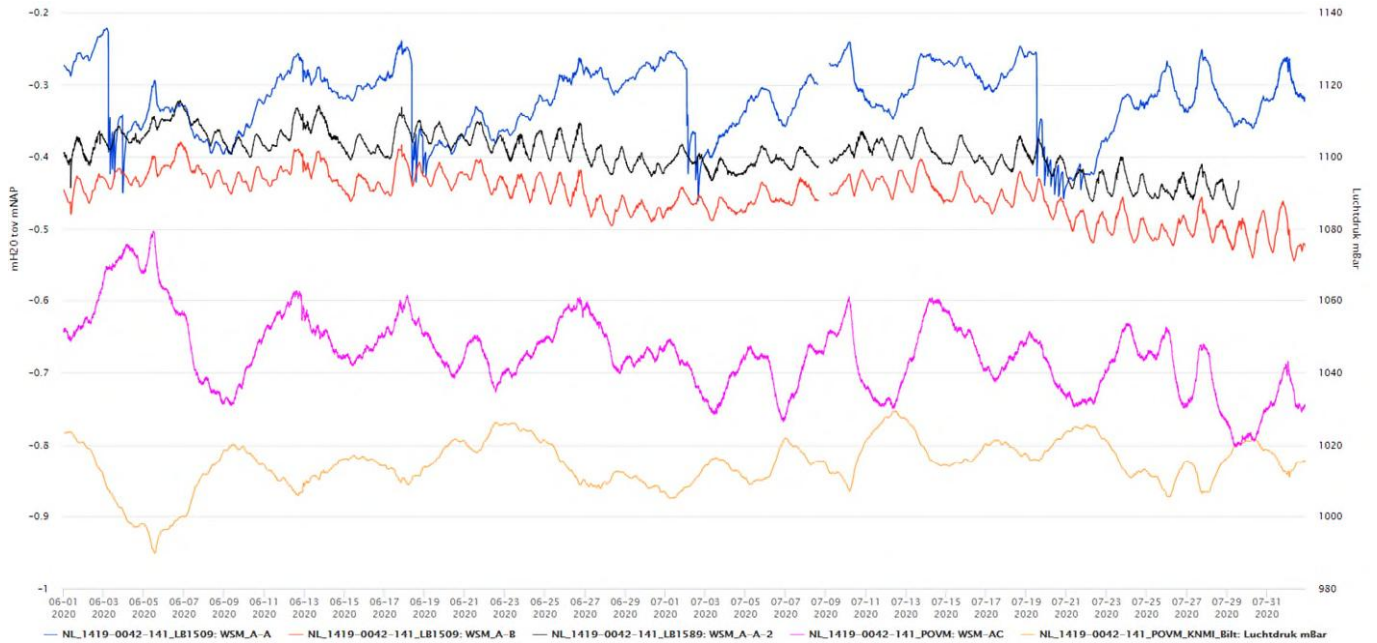
Figuur A.4: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, december en januari 2020



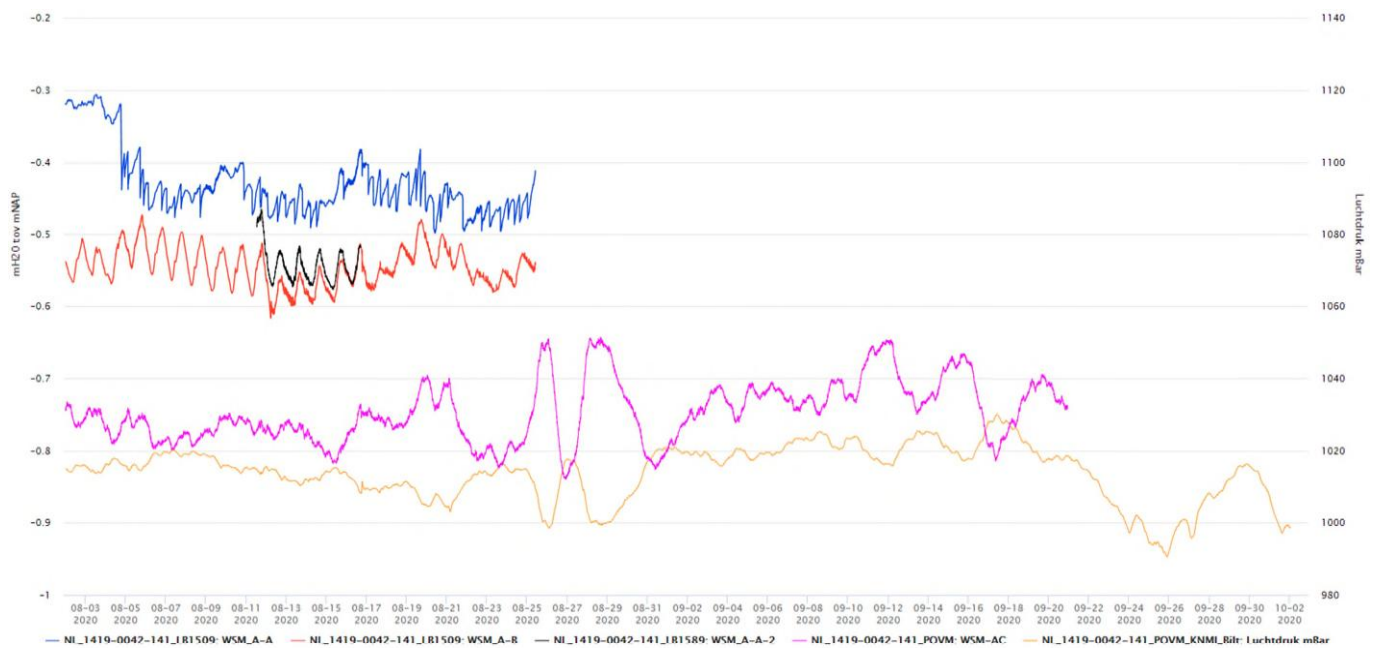
Figuur A.5: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, februari en maart 2020



Figuur A.6: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, april en mei 2020

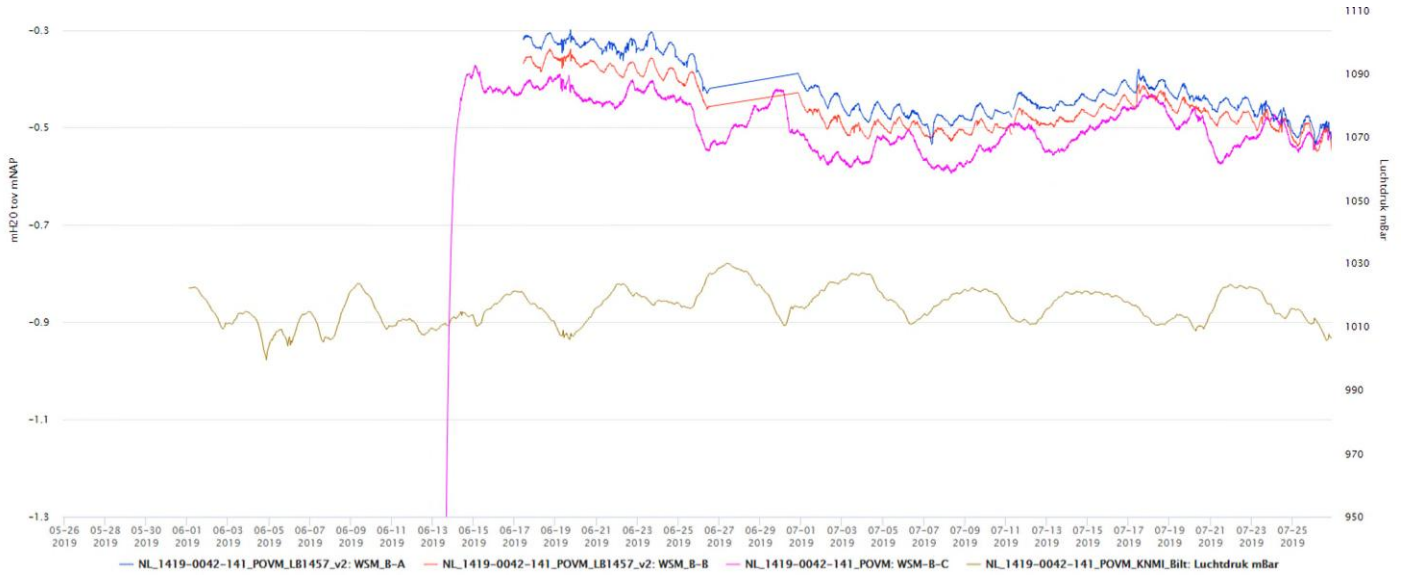


Figuur A.7: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2020

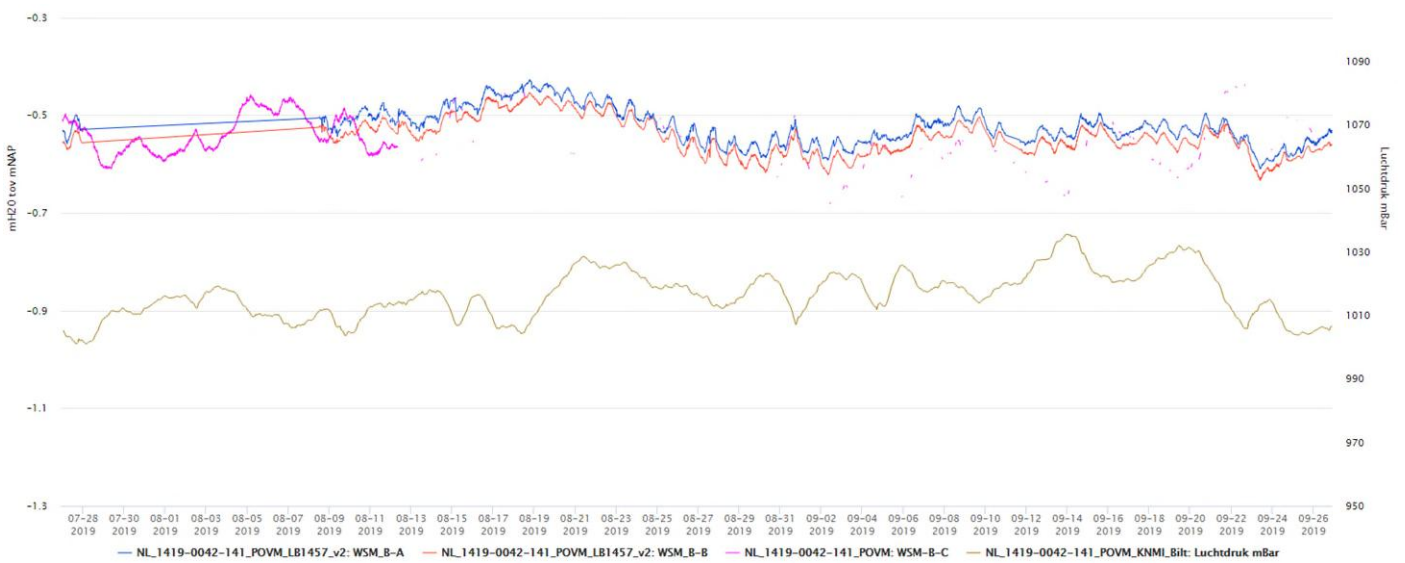


Figuur A.8: Cluster A – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september 2020

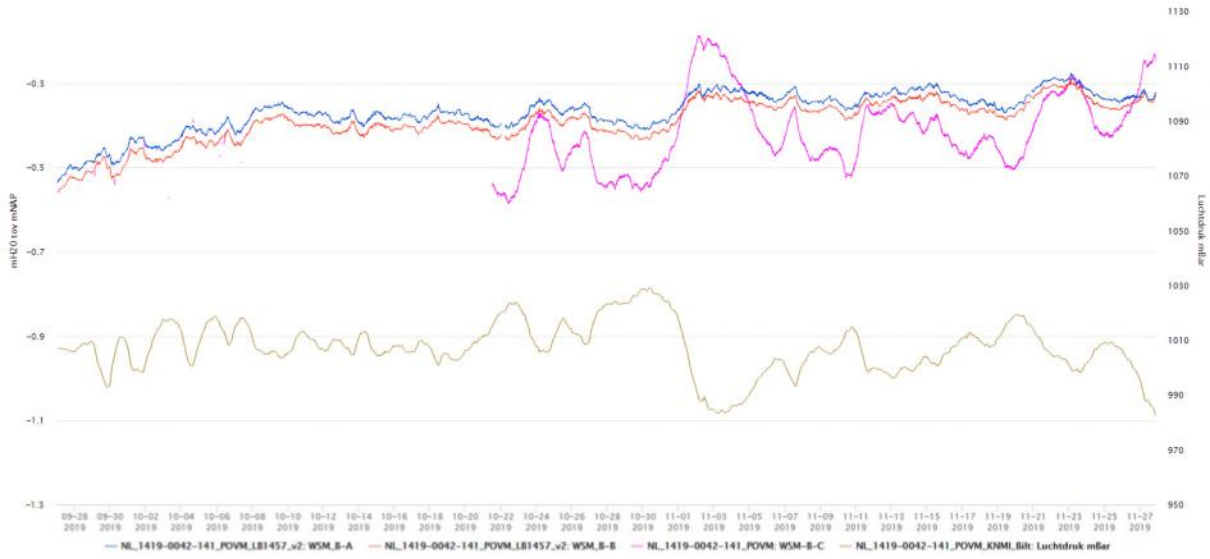
A.2 Cluster B



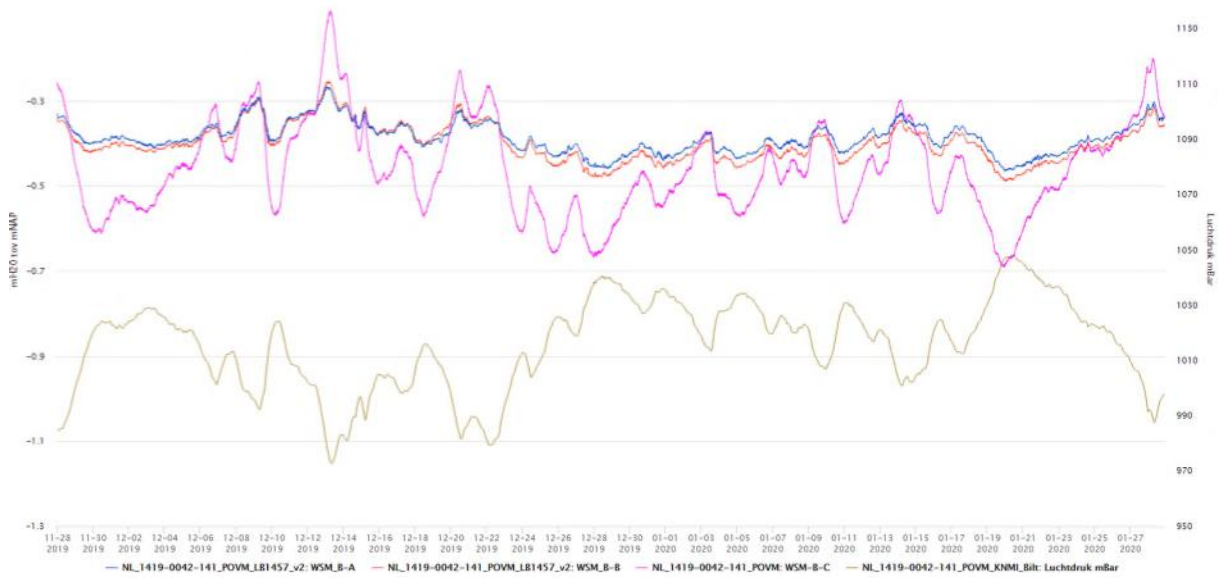
Figuur A.9: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, juni en jul 2019



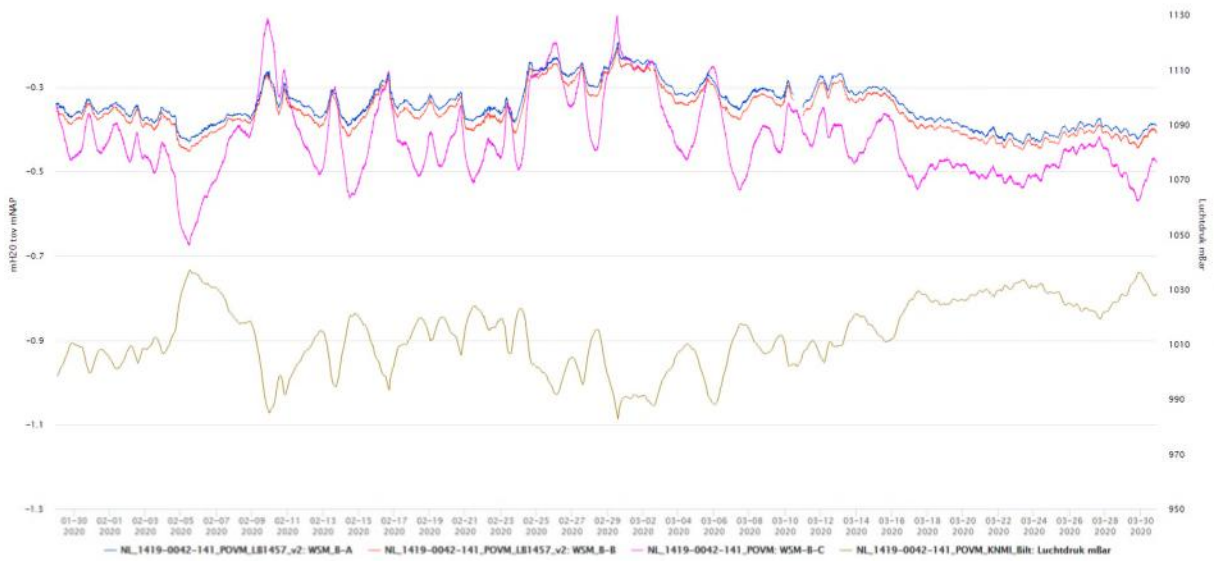
Figuur A.10: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, 2019



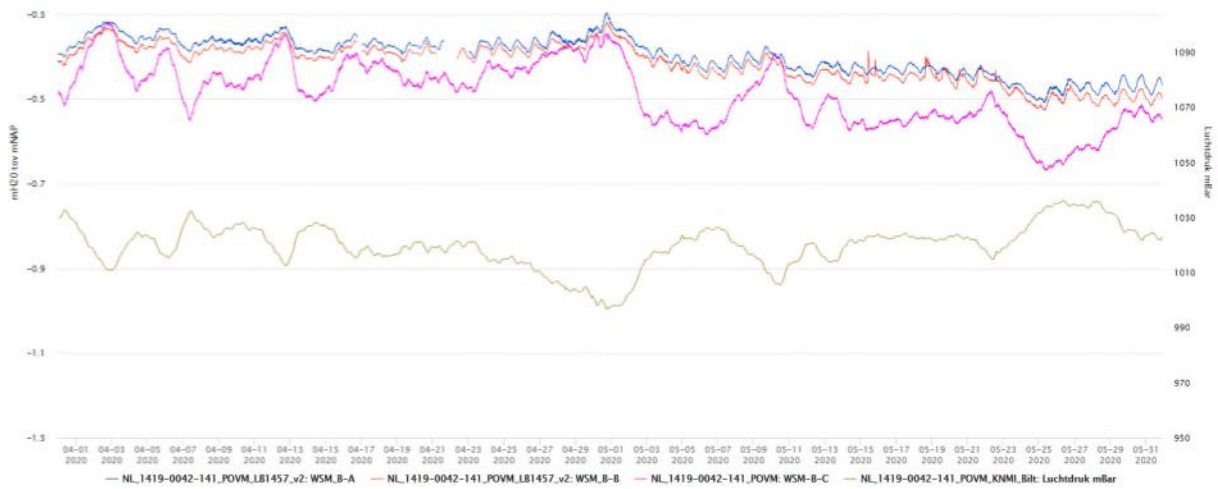
Figuur A.11: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, oktober en november 2019



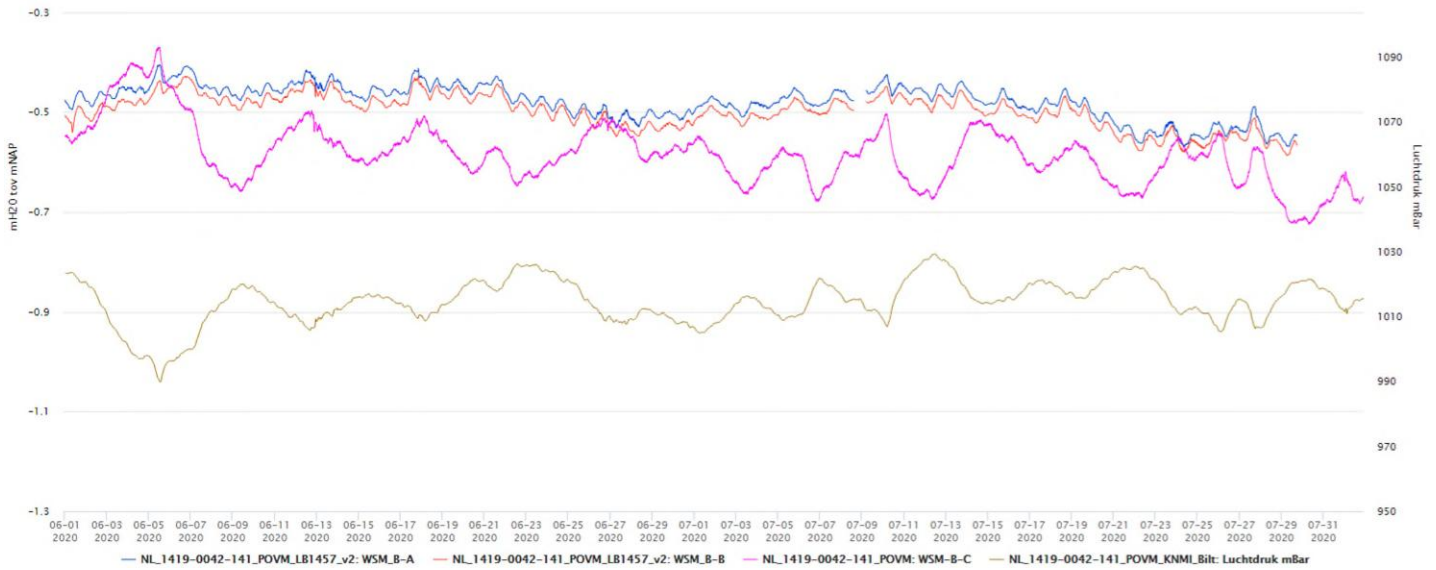
Figuur A.12: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, december 2019 en januari 2020



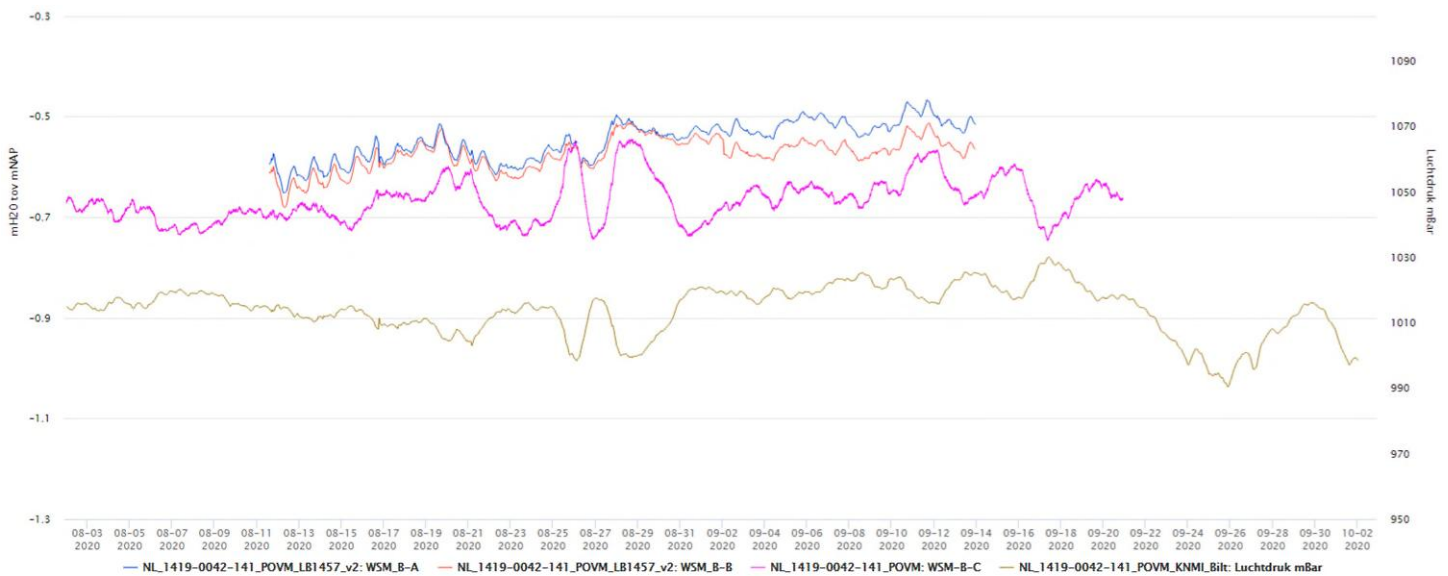
Figuur A.13: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, februari en maart 2020



Figuur A.14: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, april en mei 2020

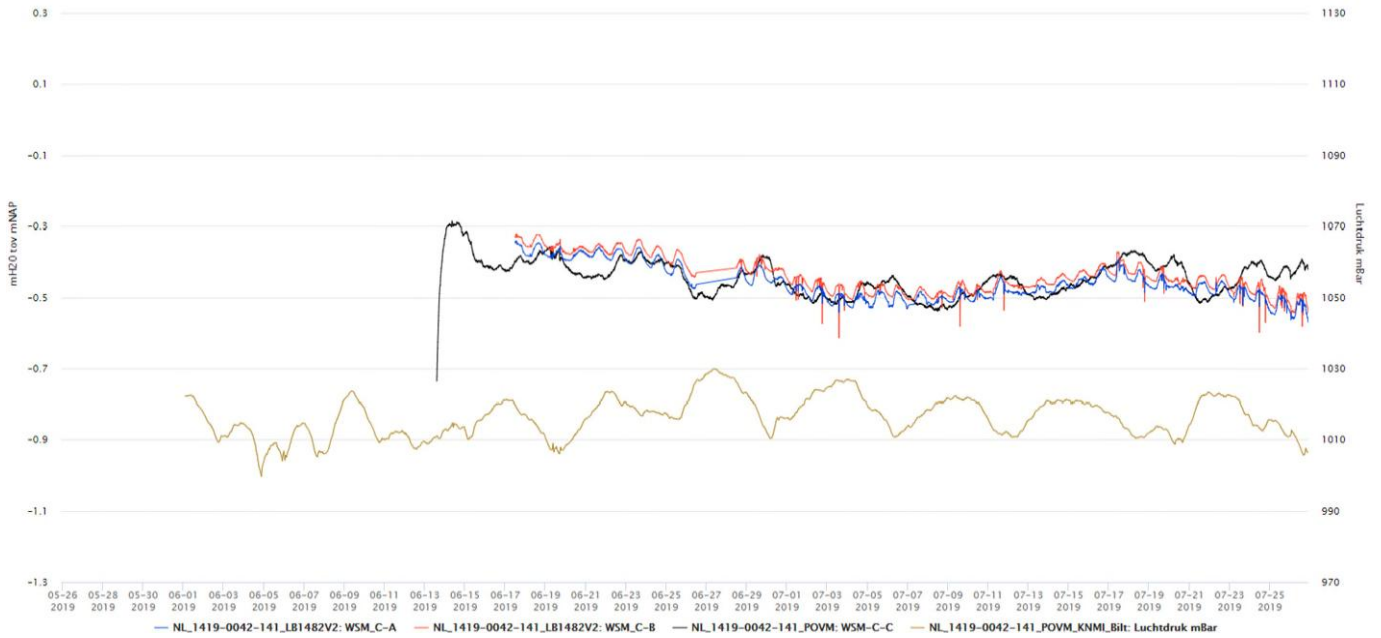


Figuur A.15: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2020

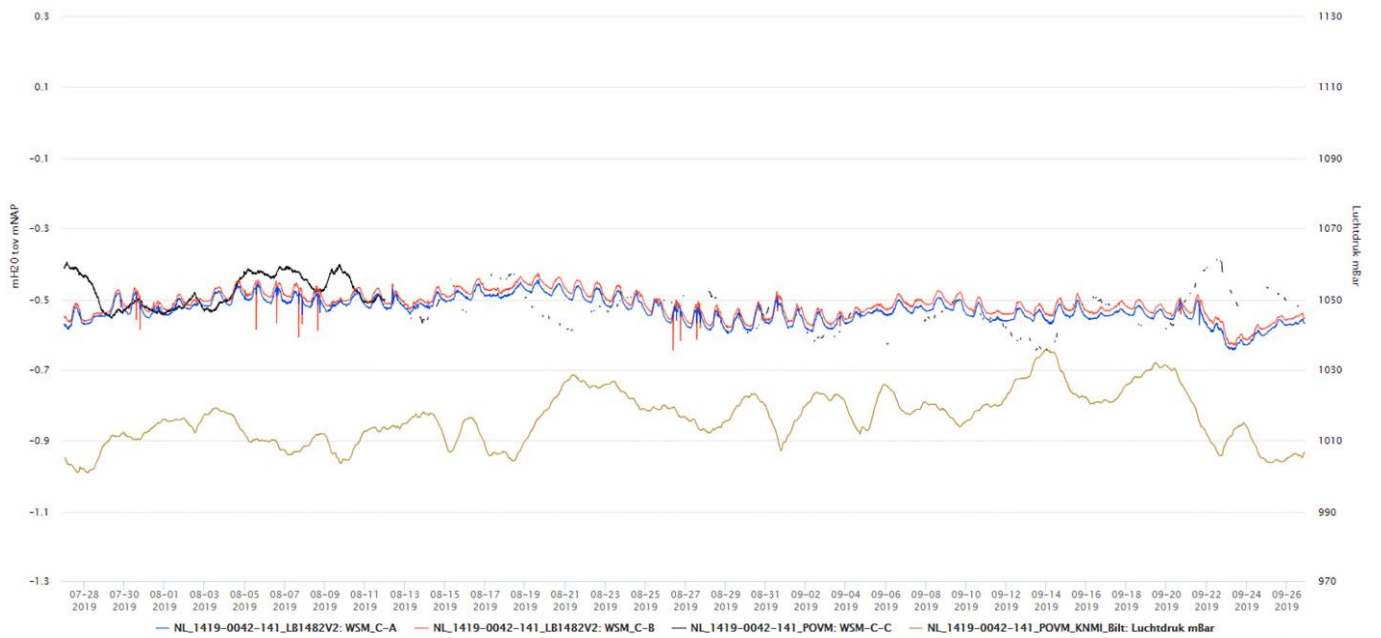


Figuur A.16: Cluster B – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september 2020

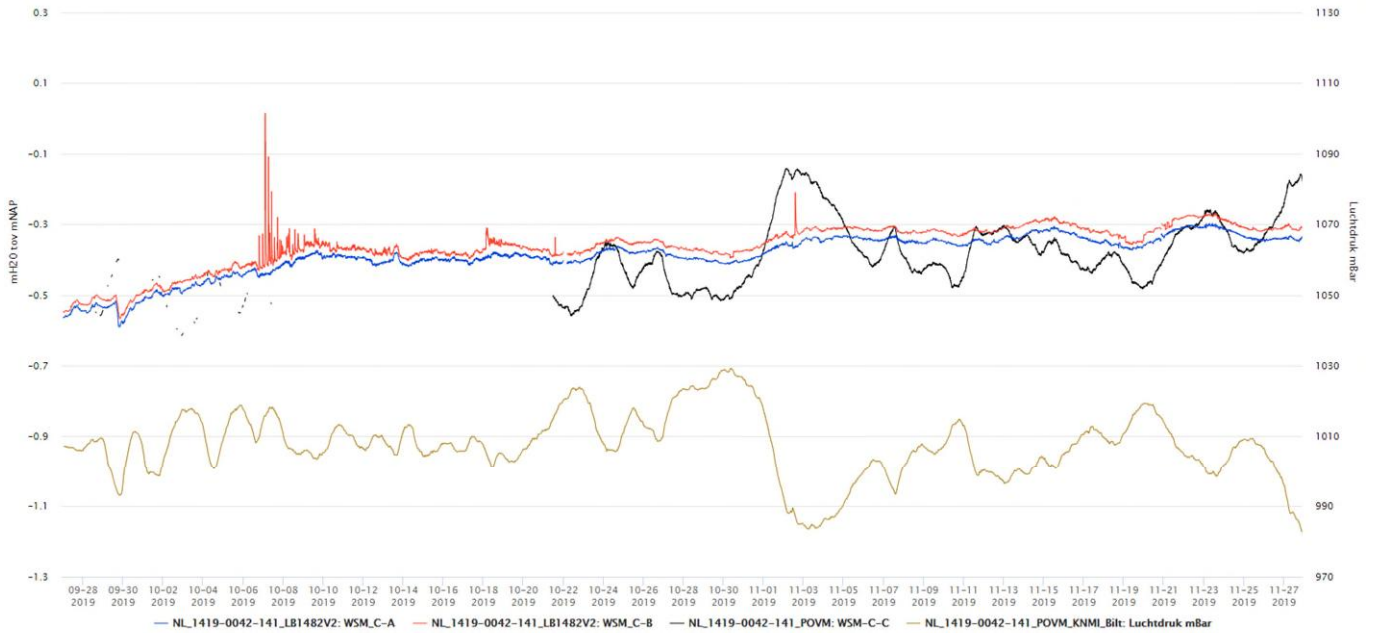
A.3 Cluster C



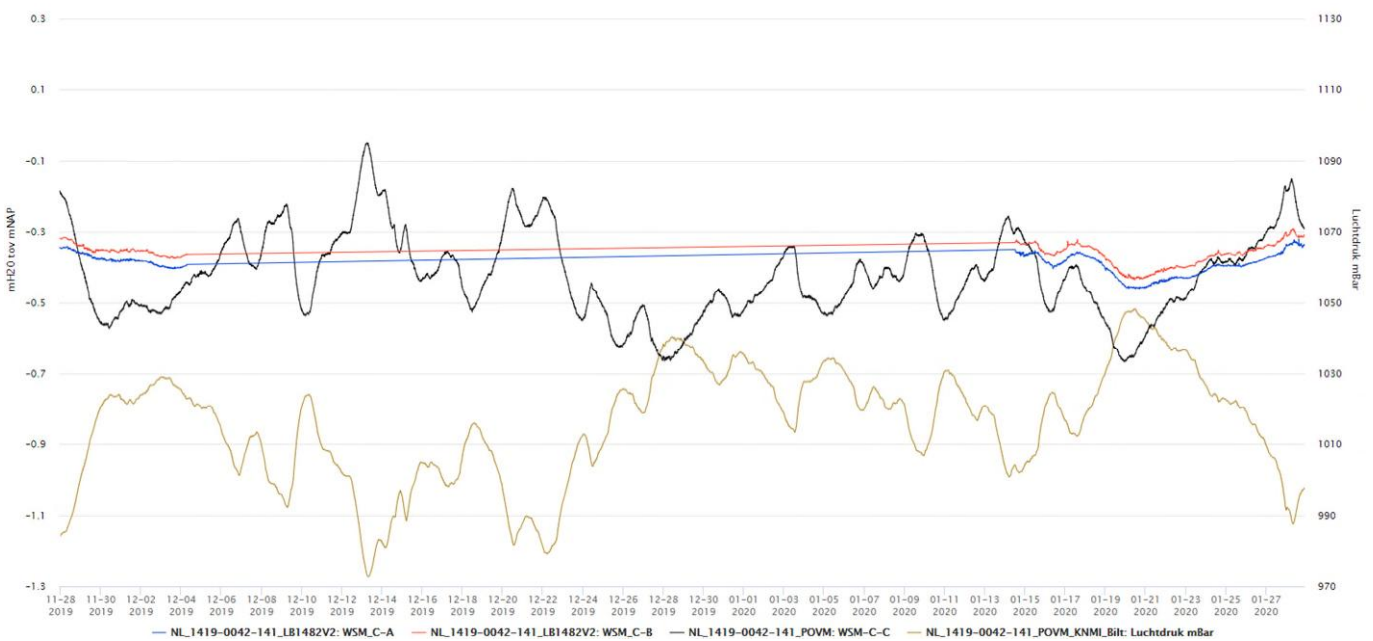
Figuur A.17: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2019



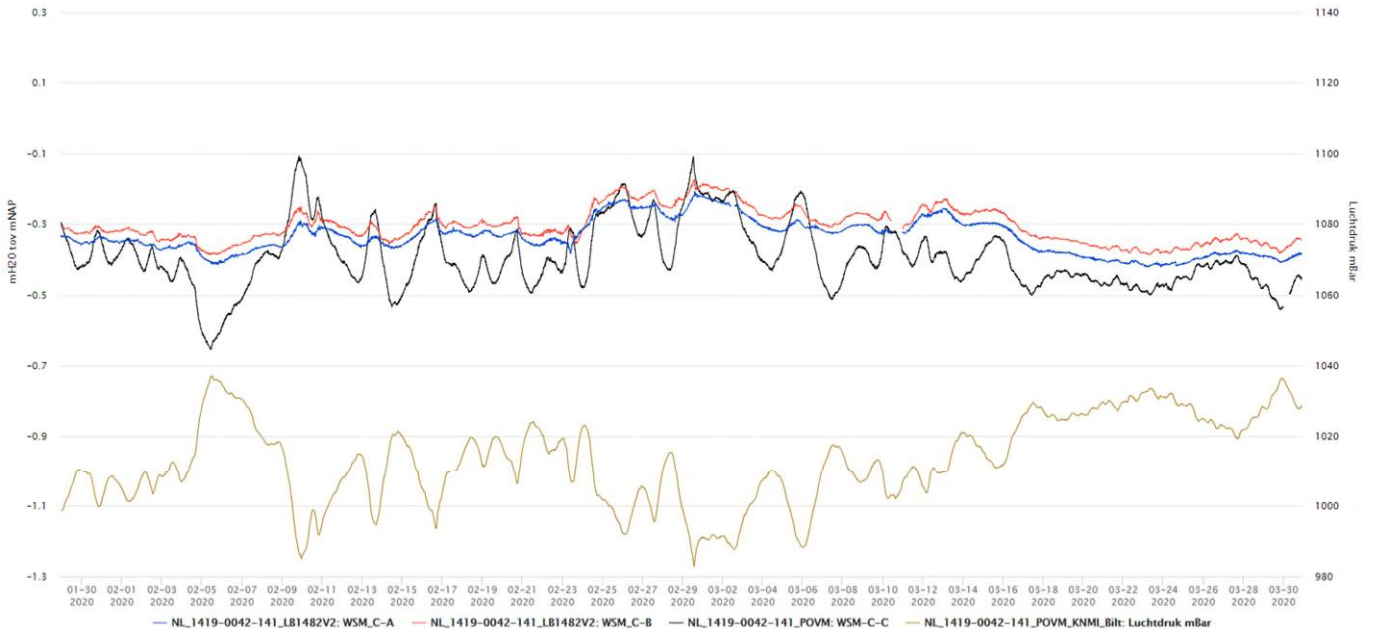
Figuur A.18: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september 2019



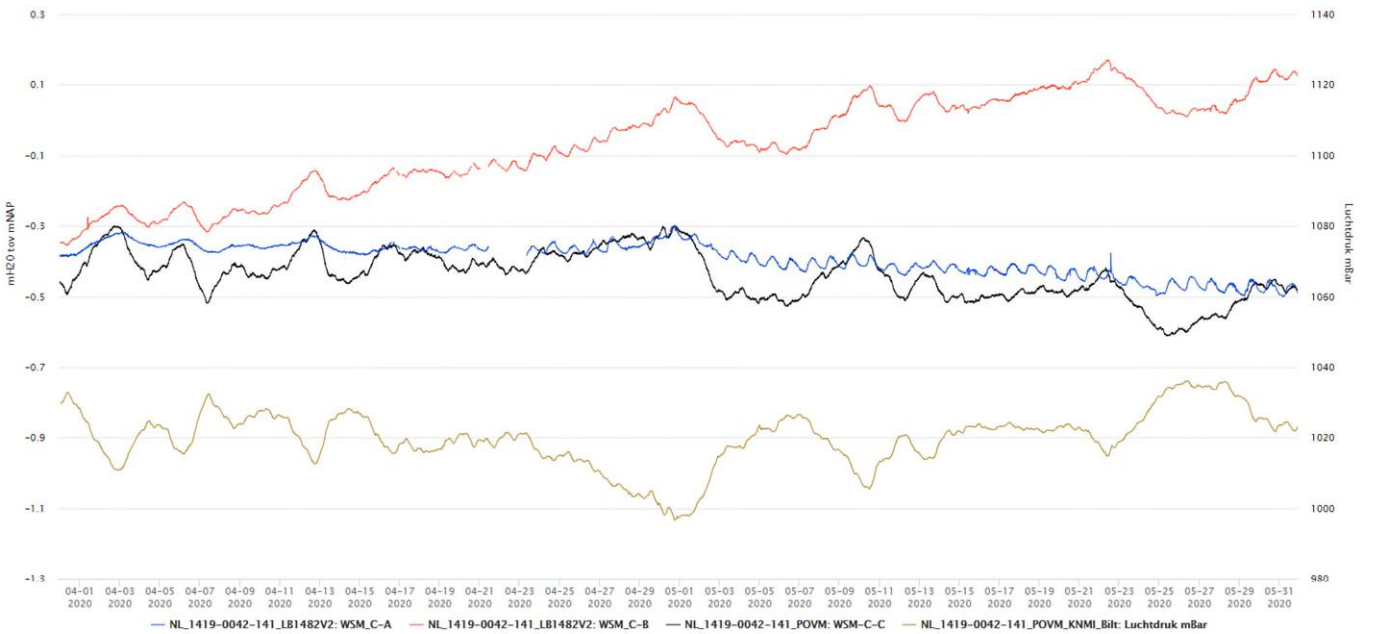
Figuur A.19: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, oktober en november 1019



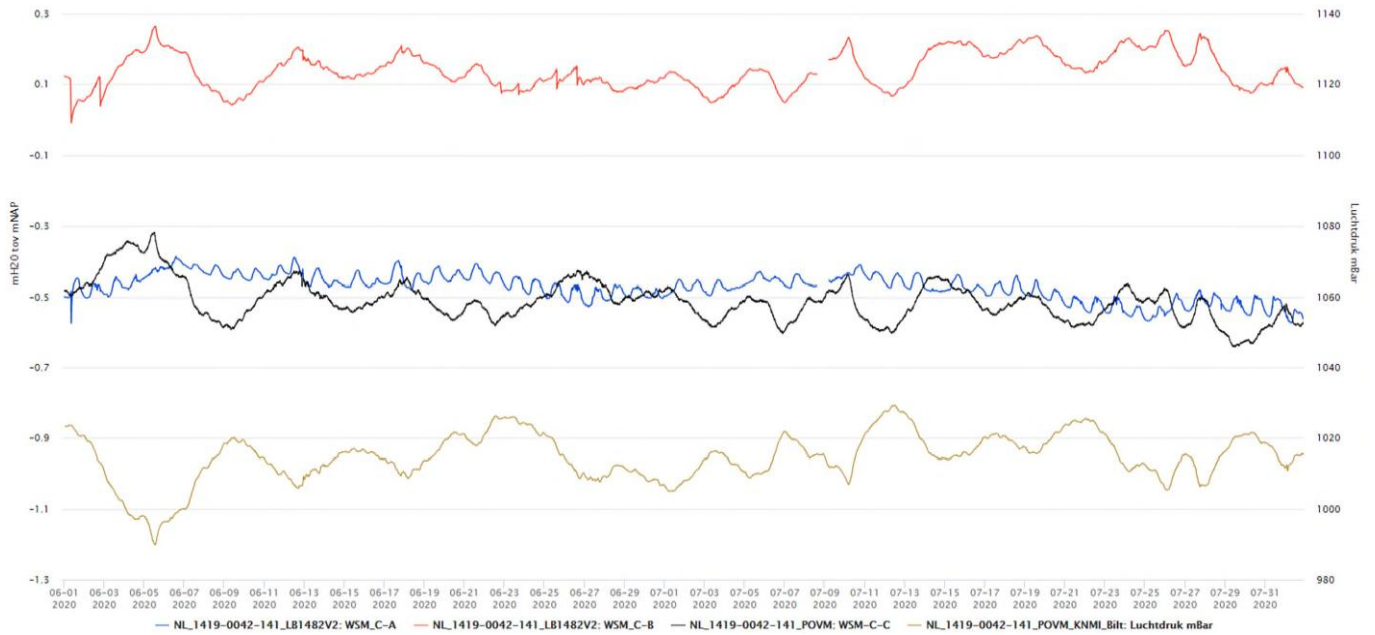
Figuur A.20: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, december 2019 en januari 2020



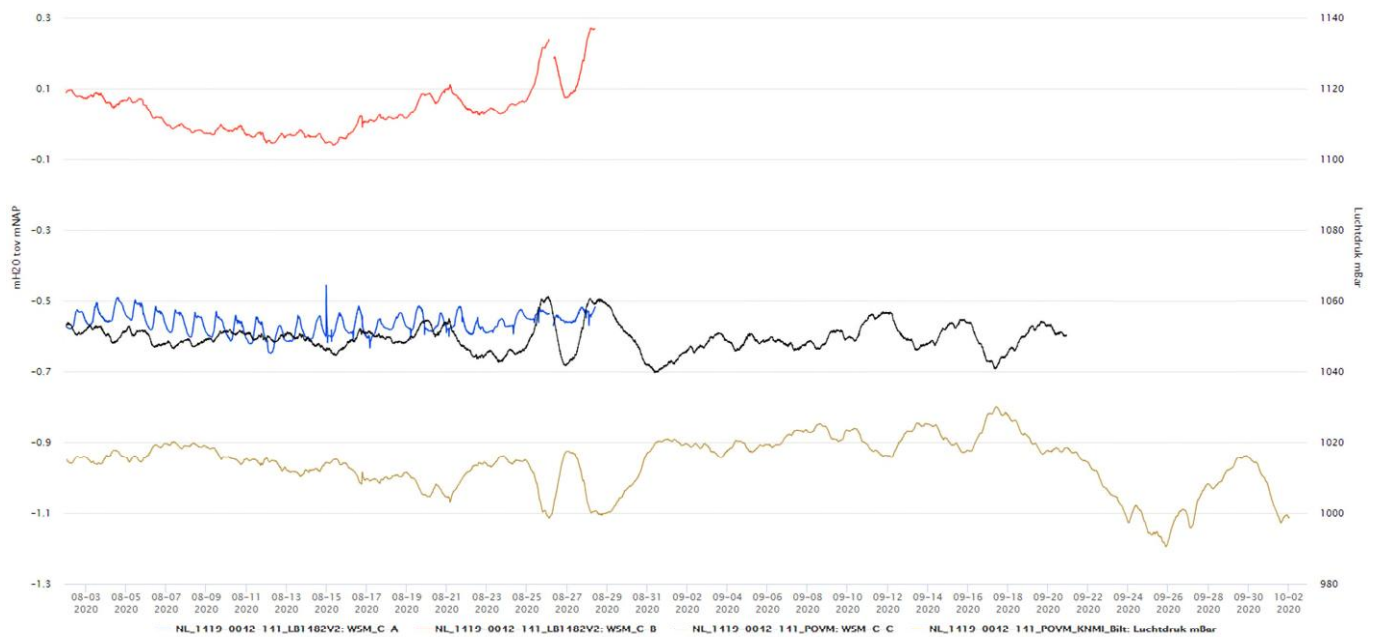
Figuur A.21: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, februari en maart 2020



Figuur A.22: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, april en mei 2020

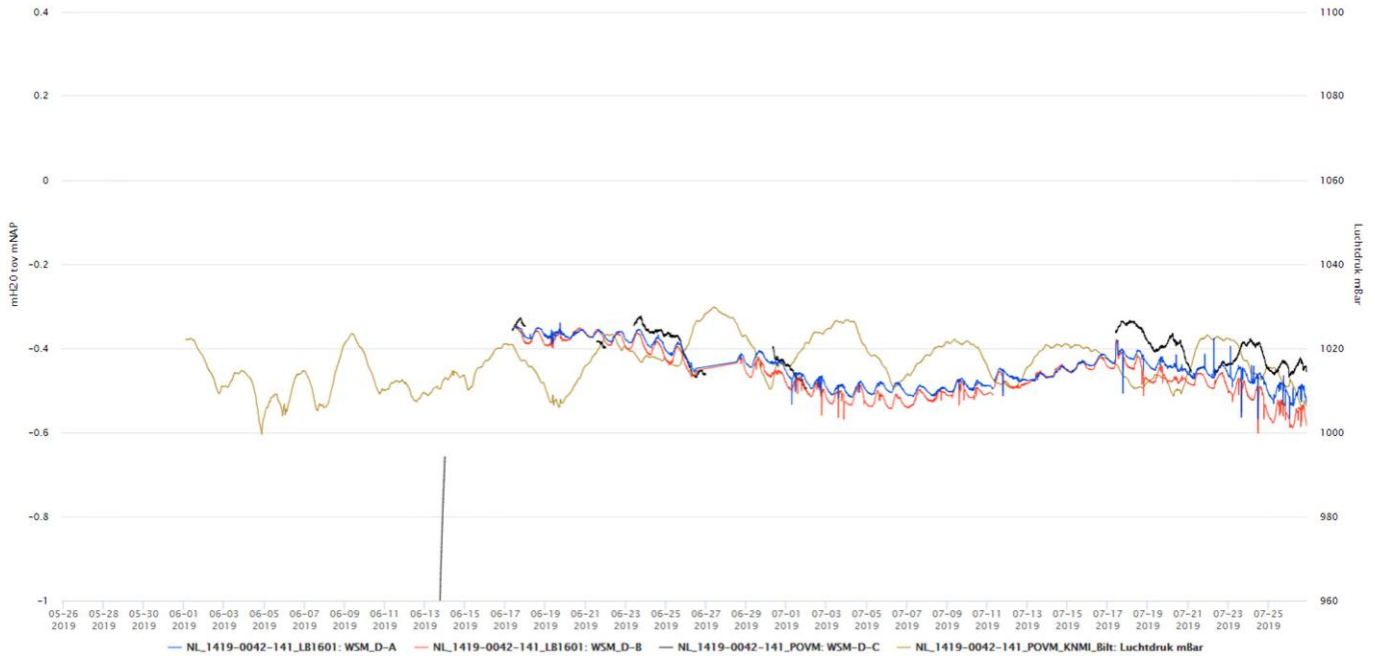


Figuur A.23: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2020

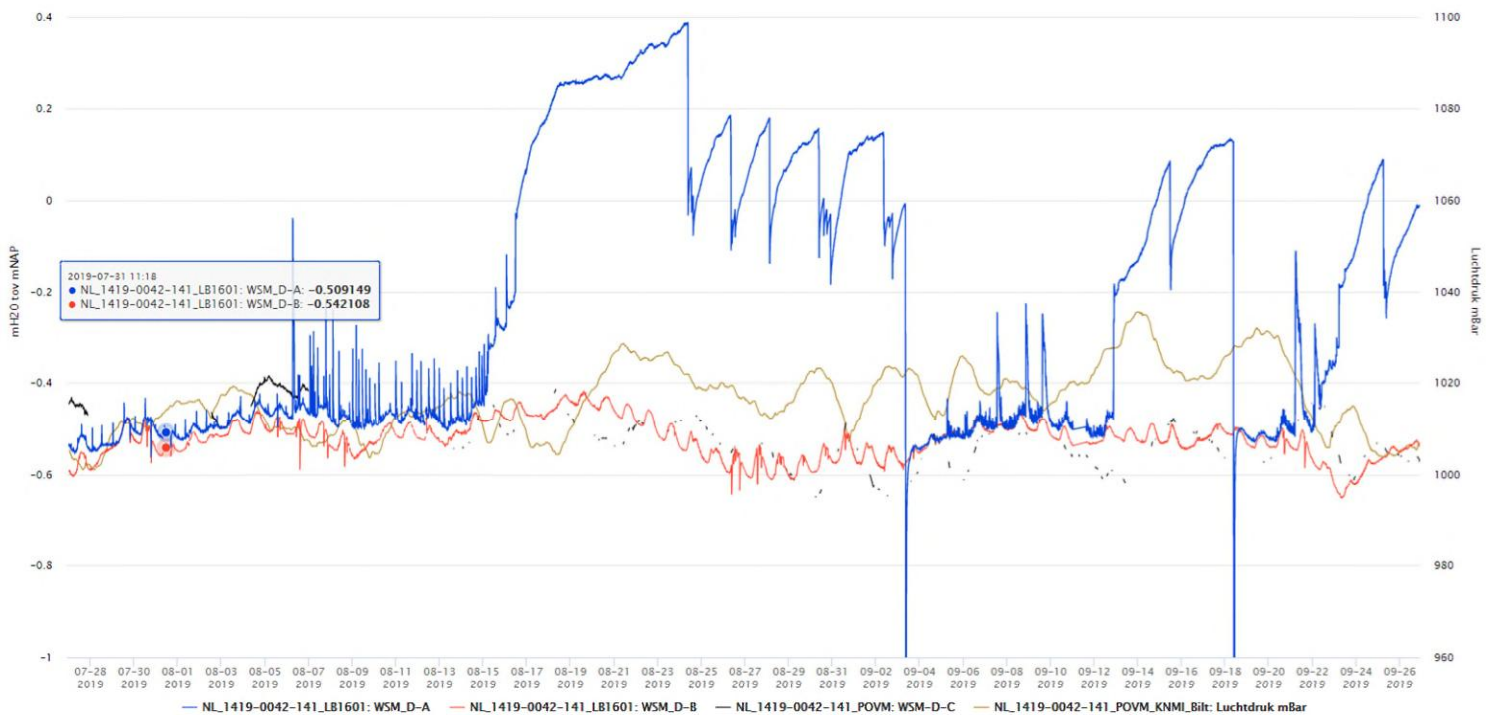


Figuur A.24: Cluster C – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september 2020

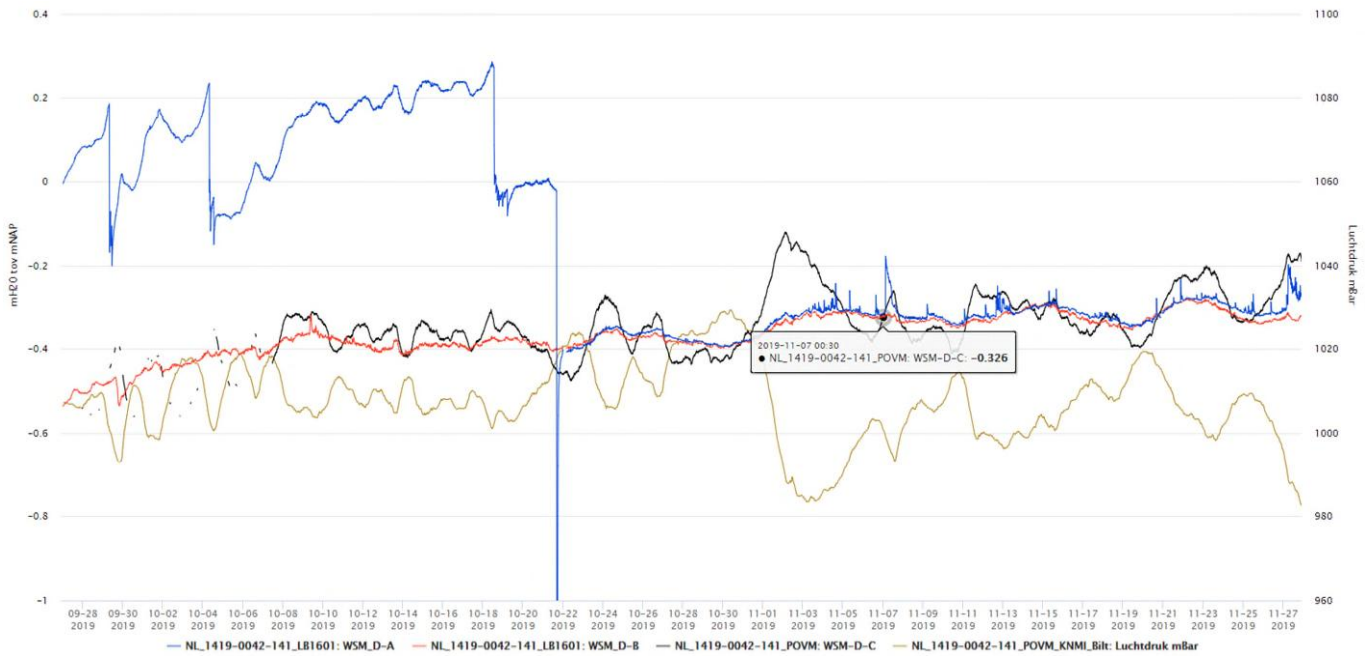
A.4 Cluster D



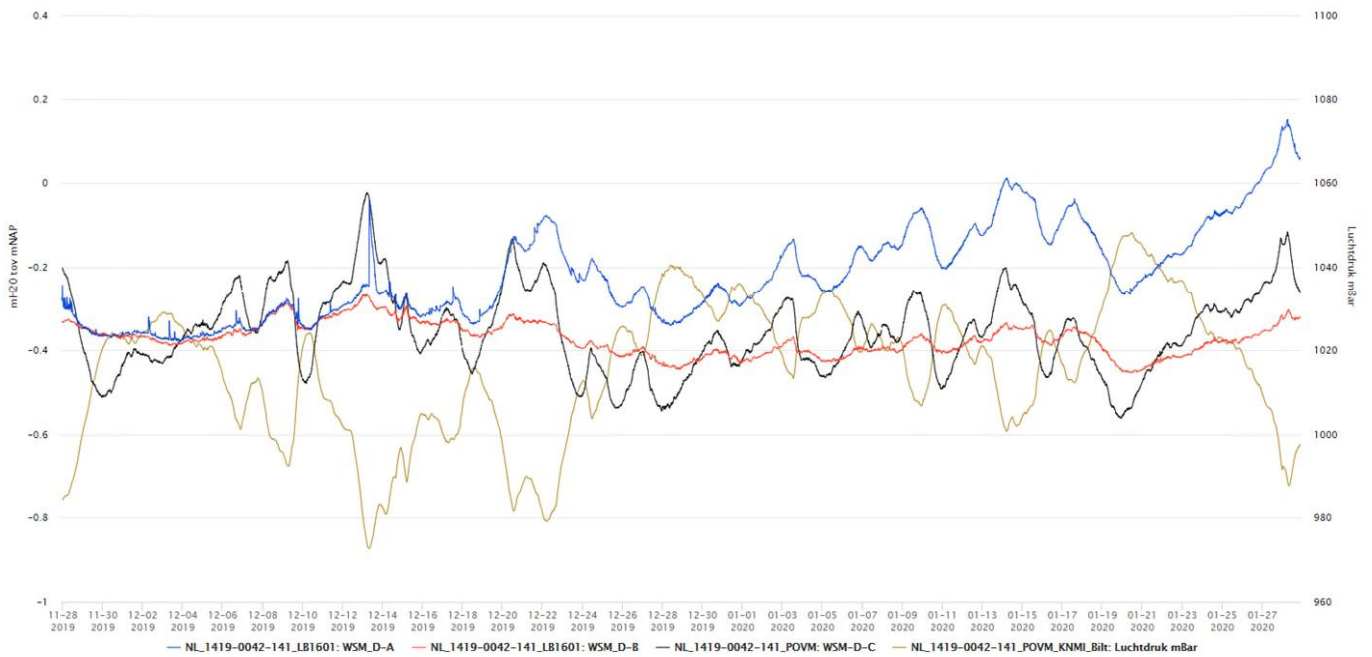
Figuur A.25: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2019



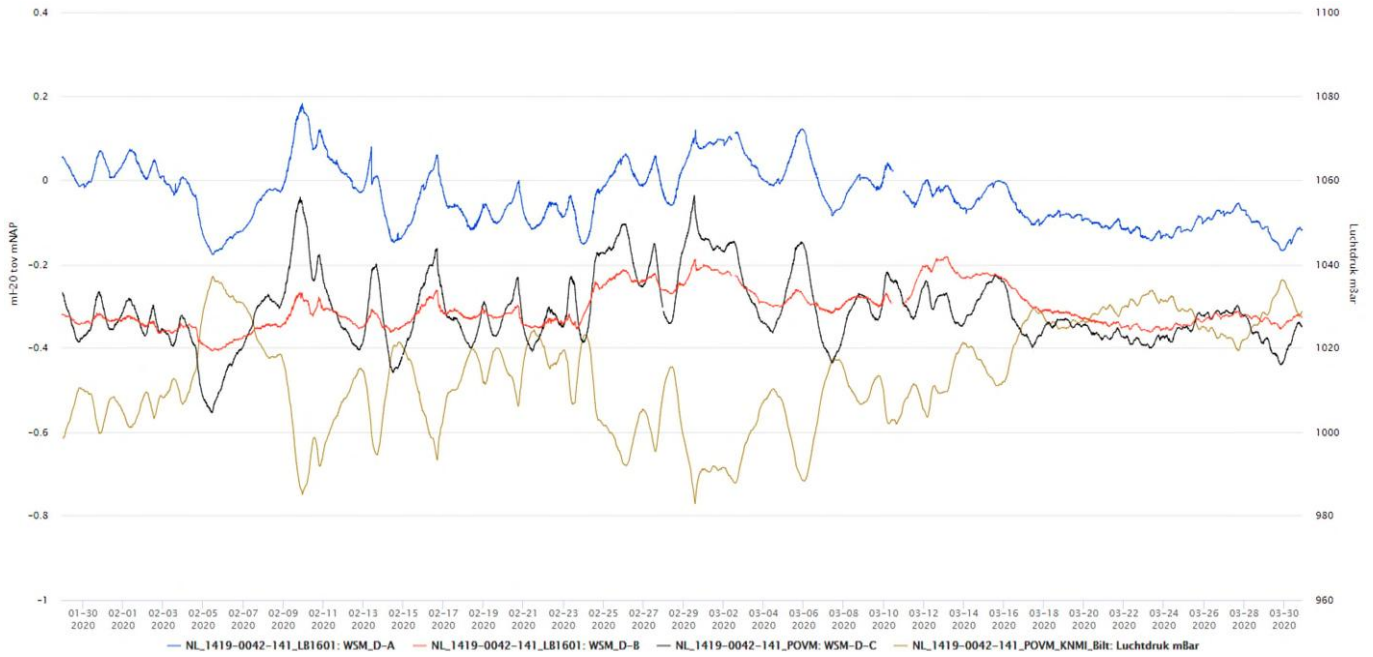
Figuur A.26: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september 2019



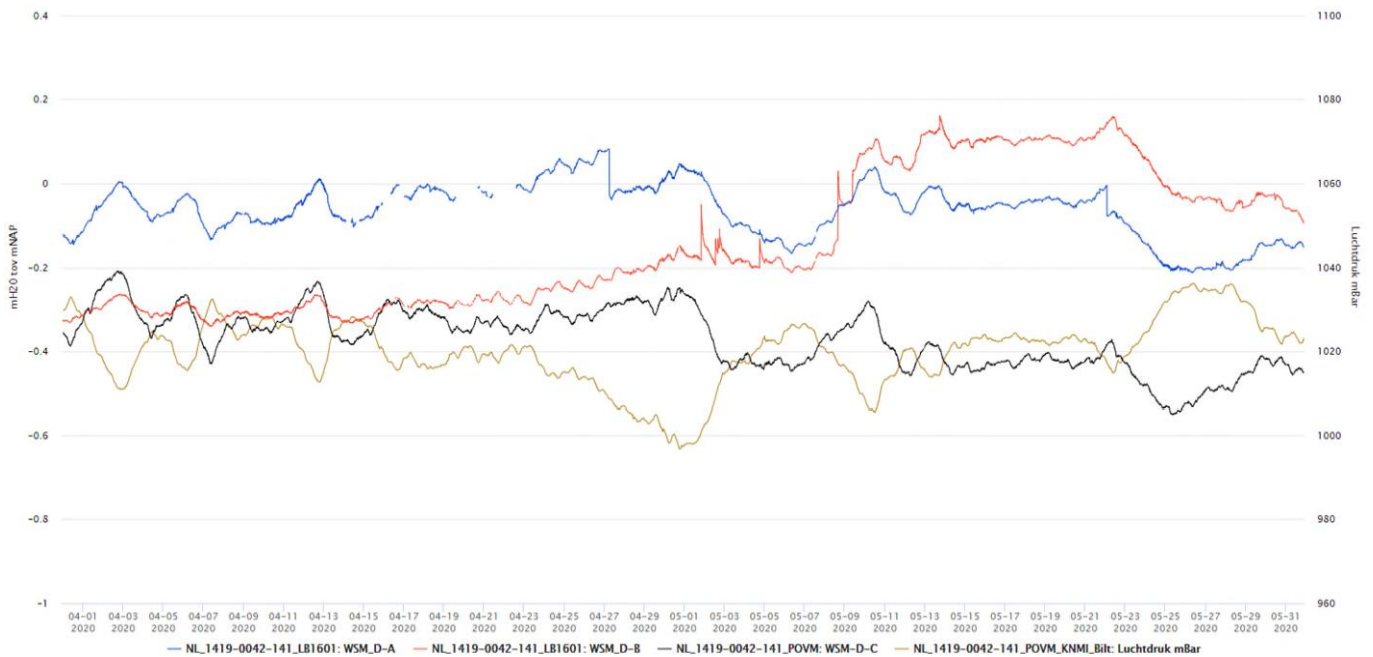
Figuur A.27: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, oktober en november 2019



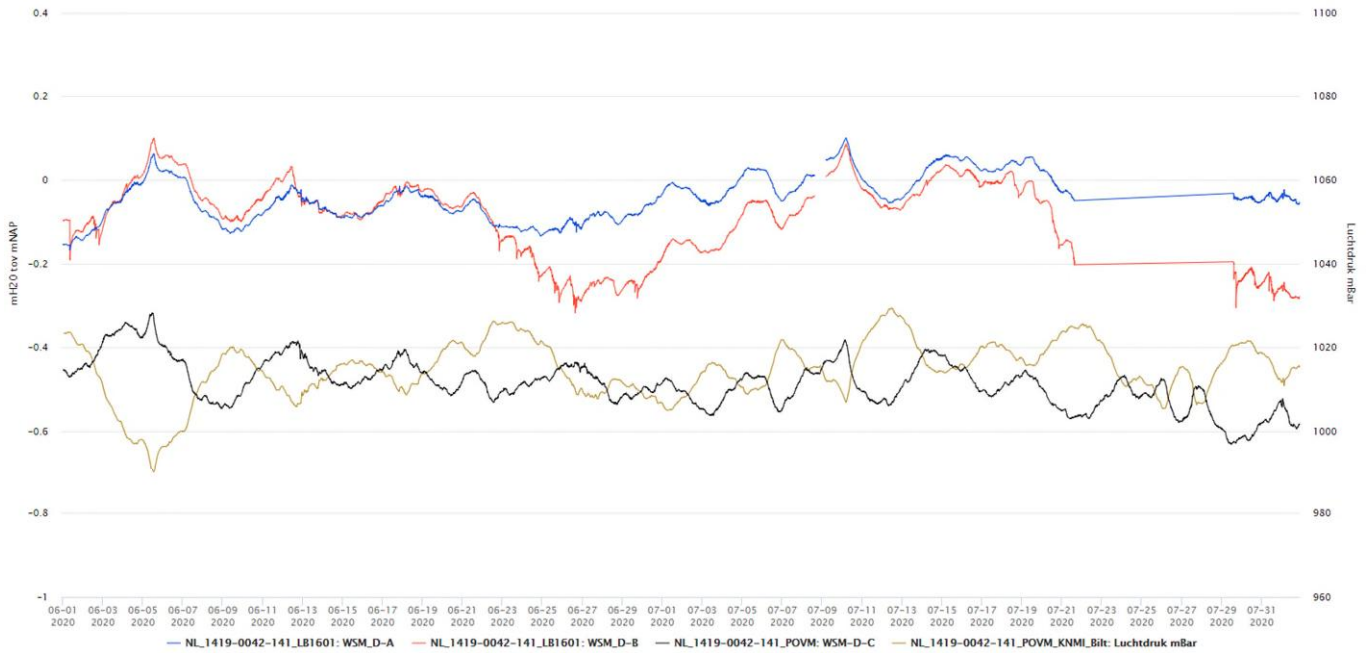
Figuur A.28: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, december 2019 en januari 2020



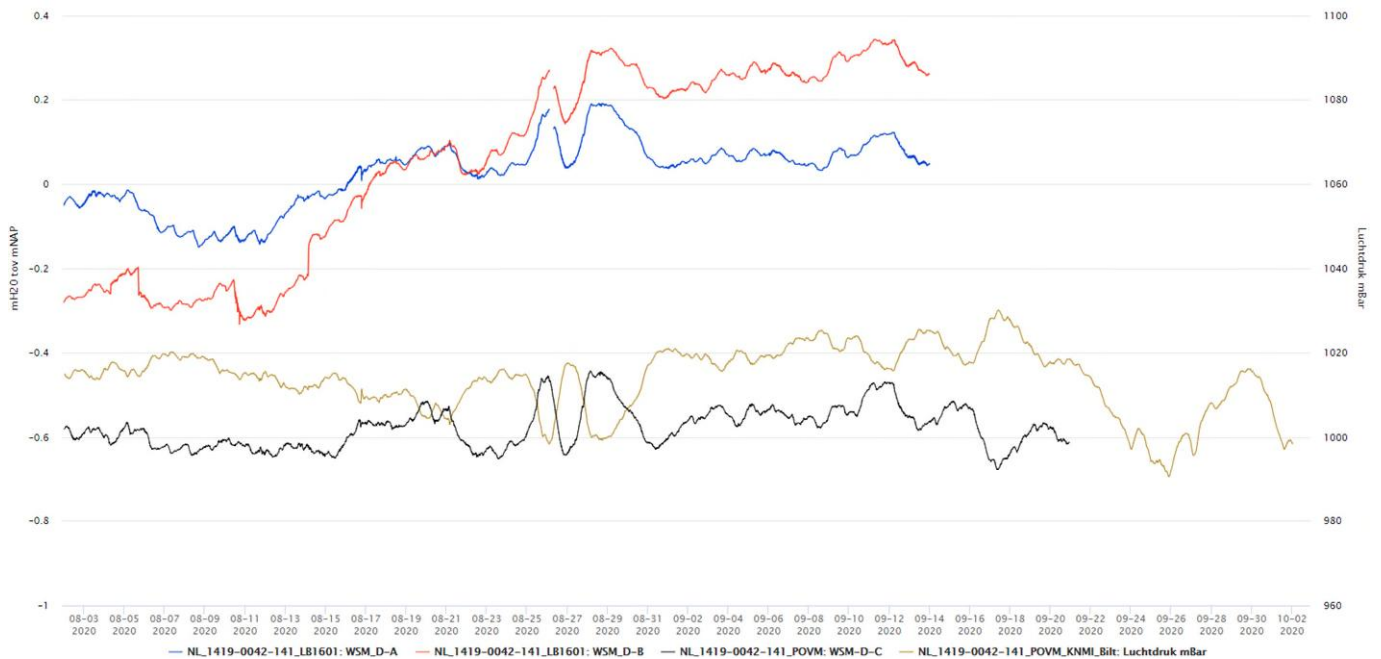
Figuur A.29: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, februari en maart 2020



Figuur A.30: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, april en mei 2020



Figuur A.31: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, juni en juli 2020



Figuur A.32: Cluster D – waterspanningen met luchtdruk, augustus en september

B. Analyserapport veldtesten – Fugro



Analysereport

POVM Ontwikkeling Waterspanningsmeter - Ontwikkelingsfase | Veldtesten

1417-0042-101.R01 1.1 | 11 december 2020

Definitief

Waterschap Rivierenland



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	POVM Ontwikkeling Waterspanningsmeter - Ontwikkelingsfase
Documentnaam	Analyserapport
Fugro-projectnr.	1417-0042-101
Fugro-documentnr.	1417-0042-101.R01
Versienummer	1.1
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Blaeuwaan 60A, Utrecht Postbus 63 2260 AB Leidschendam 030 – 602 8175

Klantgegevens

Klant	Waterschap Rivierenland
Adres klant	Postbus 599, 4000 AN Tiel
Contactpersoon klant	J.B.H.A. Schreurs
Documentnr. klant	-

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	8-11-2020	Definitief	Eerste versie	FNH	MVM	ADP
1.1	11-12-2020	Definitief	Kleine wijziging par. 7.2.3	FHN	MVM	ADP

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
FNH	ir. F. Hogervorst	Senior adviseur monitoring / hydrologie
MVM	ir. M. van der Meer	Principal consultant waterbouw / voorzitter POVM Cluster Monitoring
ADP	ir. A. Pool	Projectleider

Samenvatting

Binnen de ontwikkelingsfase (fase 3) van het project 'ontwikkeling waterspanningsmeter' zijn drie veldtesten uitgevoerd met waterspanningsmeters (hierna WSM's) geproduceerd door Fugro met en zonder gasfilter, en WSM's van Geopoint (beheerd door Wiertsema&Partners). Het oorspronkelijke doel van de veldtesten was het langdurig testen van het verbeterde gasfilterontwerp in het veld (gegeven geschikte testlocaties en gegeven een geschikte meetopstelling). Tijdens de looptijd van de eerste veldtest zijn daar de volgende doelen bijgekomen:

- Het analyseren van mogelijk opgetreden gasbelprocessen in de bodem op basis van de meetresultaten.
- Het analyseren van het effect van vacuümbehandelingen in de WSM's met gasfilter.
- Het analyseren van verschillen tussen de reeksen gemeten met de verschillende instrumenten (Fugro en Geopoint).

De eerste en grootste veldtest vond plaatst in Vianen langs het Merwedekanaal. Op deze locatie zijn in 2017 eerder metingen uitgevoerd die vermoedelijk verstoord zijn door gasbelvorming. Bij de veldtest zijn in totaal 13 WSM's geplaatst op een zo klein mogelijk oppervlak, met de sensor in een ondiepe veenlaag. Naast waterdruk zijn luchtdruk, bodemtemperatuur, loggertemperatuur, neerslag en openwaterpeilen gemeten. Deze veldtest heeft een weelde aan meetgegevens opgeleverd van de zomer in 2019 tot en met de zomer van 2020.

Naast de meetlocatie in Vianen zijn twee aanvullende veldtesten uitgevoerd in de zomerperiode van 2020 op locaties in Spijk (West-Betuwe) en Ouderkerk aan den IJssel. Bij beide veldtesten zijn twee Fugro WSM's met gasfilter geplaatst naast bestaande Fugro WSM's zonder gasfilter.

De conclusies van de veldtesten zijn :

- Op basis van de metingen kan zeker gesteld worden dat op de meetlocatie in Vianen in de meetperiode wel gasvorming is opgetreden. Bij de meetlocatie in Spijk is het aannemelijk dat bij één WSM wel gasvorming is opgetreden; bij de meetlocatie in Ouderkerk aan den IJssel is in de meetperiode naar verwachting geen gasvorming opgetreden.
- De gebruikte meetopstellingen waren geschikt voor het beoogde doel. Dit geldt met name voor de veldtest in Vianen, waarbij zeer intensief is gemeten in 1 m³ Hollandveen en waarbij aanvullende parameters (temperatuur, neerslag en openwaterpeilen) zijn gemeten.
- De werking van een gasfilter is gericht op het voorkomen van gasbeldruk-opbouw in de WSM-waterkamer en zo mogelijk ook het voorkomen van gasbeldruk in de directe nabijheid van de WSM. Op basis van de veldtests kan niet worden geconcludeerd dat de gasfilters er in slagen om dit doel te bereiken, maar het kan ook niet worden uitgesloten dat dat doel wel wordt bereikt.
- De toegepaste gasfilters zijn in dit experiment (nog) niet in staat gebleken om te voorkomen dat gasbeldruk de meting van zuivere waterspanning verstoort.
- De metingen hebben aanleiding gegeven tot de hypothese dat gasbellen bij hun ontstaan en verplaatsing herkend kunnen worden aan 3 typen drukveranderingen:
 - Type 1: abrupte drukdaling gevolgd door gestage toename / herstel (hypothese: ontsnapping van bellen uit omgeving WSM.);

- Type 2: abrupte stijging van druk gevolgd door gestage daling (hypothese: binnendringen van bellen in omgeving van WSM);
- Type 3: gestaag oplopende druk, vaak gevolgd door bereiken van plateau of abrupte drukdaling (hypothese: toename van druk door ontstaan en groei van gasbellen uit oververzadigd grondwater en microbiologische activiteit).
- Vervolghypothese : WSM's die type 2-verstoringen (zie paragraaf 3.4) vertonen, werken correct, uitgaande van de hypothese dat deze verstoring veroorzaakt wordt door de aankomst van een gasbel uit een dieper niveau en dus niet het gevolg kan zijn van gasproductie in, of als gevolg van de WSM zelf.
- Vervolghypothese: WSM's die type 1 en type 3 druk registreren, kunnen mogelijk zelf betrokken zijn als oorzaak. Een gasbel ontsnapping vanuit de WSM waterkamer vereist immers het opbouwen van de luchtintredewaarde van het grondfilter en de fijne versmeerde bodemdelen rondom het instrument.
- Gasbeldruk type 3 kan worden weggenomen door een diepe onderdruk aan te brengen op de atmosferische zijde van het gasfilter (vacuümbehandeling).
- Onder de hypothese dat type 2-gasbeldruk niet het gevolg kan zijn van de WSM's zelf, is het geheel ontbreken van type 2 in reeksen van Geopoint-sensoren verdacht. Dezelfde constatering kan worden geïnterpreteerd als een zeer hoge gevoeligheid van Fugro WSM's in vergelijking met ongevoeligere Geopoints.
- Gezien de opvallende verschillen in drukmetingen tussen Geopoints en Fugro WSM's kan niet worden uitgesloten dat de oorzaak van het ontstaan van gasbellen (als gevolg van gasproductie of versterken van grondwater-ontgassing) deels moet worden gezocht in de materialen of vorm van de Fugro WSMs. Als materialen van de WSM's een rol spelen bij gasbelvorming, is een deel van type 1 en/of 3 gasbeldruk mogelijk te elimineren door voor toepassing in ondiep veen gebruik te maken van PVC of andere inerte kunststoffen.

De veldtesten hebben de volgende aanbevelingen, leerpunten en onderzoeksvragen opgeleverd:

- Wij bevelen aan om de resultaten van de veldtest te bespreken in een discussie met een aantal met zorg geselecteerde specialisten, bij voorkeur uit verschillende disciplines en/of toepassingsgebieden.
- De bruikbaarheid van de Fugro WSM met gasfilter kan worden vergroot door een automatische ontgassingsmogelijkheid. Aanbevolen wordt om uit te zoeken of een praktisch haalbaar ontwerp mogelijk is.
- Wij bevelen aan om laboratoriumtesten te doen naar het drukverloop van verschillende type gasbelverplaatsingen om een aantal hypothesen uit deze rapportage te testen.
- Een nog te beantwoorden onderzoeksvraag is: wat is de schaal van gasvormende processen en wat is de invloed van gasvorming op geotechnische faalmechanismen van dijken?
- De veldtesten hebben ons een aantal inzichten opgeleverd die helpen bij het interpreteren van toekomstige waterspanningsmetingen.
- De veldtesten hebben geholpen om te bepalen waar we onze energie in moeten steken in de toekomst
- De veldtesten hebben inzicht opgeleverd in nut en noodzaak van gasfilters en vacuümbehandelingsopties.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstelling	2
1.3 Scope	2
1.4 Leeswijzer	3
2. Achtergrond keuze locatie Vianen	4
2.1 Locatiekeuze	4
2.1.1 Alblasserwaard: wat is daar normaal?	4
2.1.2 Zijn de verwachtingen uitgekomen?	5
3. Beschrijving veldtestlocatie Vianen	6
3.1 Sensoren en locatie	6
3.2 Achtergrond locatie Merwedekanaal	9
3.2.1 Waarom Merwedekanaal?	9
3.2.2 Bodemopbouw locatie Merwedekanaal	9
3.2.3 Meetopstelling	10
3.2.4 Grondwaterbewegingen	11
3.3 Fugro WSM met gasfilter	12
3.3.1 Waarom een membraan?	12
3.3.2 Voortgang veldexperiment	14
3.4 Drie typen gasdrukgerelateerde verstoringen	15
3.5 Vacuümbehandeling	16
3.5.1 Historie vacuümbehandeling	17
3.5.2 Effect vacuümbehandeling op gemeten druk	18
4. Instrumentprestaties en onderhoud veldtest Vianen	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Kwartaal 1	19
4.2.1 WMS_A-A-2	19
4.2.2 WSMs Geopoint / Wiertsema	19
4.2.3 Temperatuursensor	19
4.2.4 Sensor openwatermeetpunt kanaal	19
4.3 Kwartaal 2	19
4.3.1 Neerslag	19
4.4 Kwartaal 3	20
4.4.1 Neerslag	20
4.4.2 Kanaalpeil	20
4.5 Kwartaal 4	21
4.5.1 WSM's	21
4.5.2 Neerslag	21

4.6	Kwartaal 5	21
4.6.1	WSM's	21
4.6.2	Neerslag	22
5.	Meetresultaten veldtest Vianen	23
5.1	Resultaten kwartalen 1 t/m 4	23
5.2	Oorzaak en timing ontgassing van grondwater	23
5.3	Meetresultaten kwartaal 5	23
5.3.1	Alle sensoren algemeen	24
5.3.2	Cluster A	26
5.3.3	Barometrische inefficiency	31
5.3.4	Cluster B	33
5.3.5	Cluster D	38
5.4	Drie typen gasbeldrukverstoring achtereen in een reeks	40
5.4.1	Karakteristiek gedrag	41
5.5	Snelheid gasbelverplaatsingen	42
5.6	Vacuümbehandeling Fugro WSM met gasfilter (actieve ontgassing)	44
5.7	Onverstoorbare metingen Geopoint- en Fugro-WSM's	45
6.	Extra veldtesten	49
6.1	Algemene toelichting extra veldtesten	49
6.2	Locatie 1: Spijk	49
6.2.1	Achtergrond locatie Spijk	49
6.2.2	Sensoren locatie Spijk	50
6.2.3	Meetresultaten locatie Spijk	51
6.3	Locatie 2: Ouderkerk	52
6.3.1	Achtergrond locatie Ouderkerk	52
6.3.2	Sensoren locatie Ouderkerk	53
6.3.3	Meetresultaten locatie Ouderkerk	53
7.	Conclusies, aanbevelingen en leerpunten	55
7.1	Conclusies	55
7.1.1	Geschiktheid meetlocatie en meetopstelling	55
7.1.2	Prestaties gasfilter	56
7.1.3	Geopoint- versus Fugro-sensoren	58
7.1.4	Materiaalgebruik	58
7.2	Aanbevelingen	58
7.2.1	Gasfilter	58
7.2.2	Verband barometrische efficiency en gasbeldrukgevoeligheid	59
7.2.3	Gasbelvormende processen en waterspanningsmetingen	60
7.2.4	Geotechnische relevantie gasbelvorming	60
7.3	Leerpunten	61
8.	Referenties	62

Figuren

Figuur 2.1: Voorbeeld meetreeks Fugro-project (2017) in de Alblasserwaard	4
Figuur 2.2: Tweede voorbeeld verstoring meetreeks; Fugro-project Alblasserwaard	5
Figuur 3.1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo)	6
Figuur 3.2: Overzicht meetopstelling met beschermkokers en afrastering	8
Figuur 3.3: Testveld waterspanningsmeters incl. aanduiding sensoren.	8
Figuur 3.4: Open-watermeetpunt kanaal en regenmeter	9
Figuur 3.5: Geotechnisch dwarsprofiel meetlocatie Vianen (Fugro, 2017)	10
Figuur 3.6: Meetlocatie (schematisch) met belangrijkste parameters water- & energiebalans	11
Figuur 3.7: Prototype Fugro-waterspanningsmeter met gasfilter (2014)	13
Figuur 3.8: Schematische weergave van een waterspanningsmeter, waarbij de sensorkamer als dwarsdoorsnede is weergegeven (bron figuur: POV Macrostabieliteit, 2018).	14
Figuur 3.9: Vacuümbehandeling van een Fugro WSM met gasfilter m.b.v. een injectiespuit.	17
Figuur 4.1: Etmaalneerslag lokale regenmeter vergeleken met drie nabijgelegen KNMI-stations	20
Figuur 4.2: Kanaalpeil 2020; de reeks vertoont vanaf eind juni 2020 correcte waarden	21
Figuur 5.1: Overzicht meetreeksen zoals gepresenteerd in Gaia.Monitoring (boven) en Gaia.Insight (onder); grafieken zijn uitgelijnd op tijd	25
Figuur 5.2: Cluster A – druk en neerslag april – september 2020. Meetperiode 5 is gemarkeerd met kader in tijdas	26
Figuur 5.3: Gebeurtenis reeks A-A op 19 juli 2020, met in detail de 10-minutendata van A-A, A-A2 en A-B.	27
Figuur 5.4: Cluster A, periode 21-23 augustus 2020 – verandering reeks A-B	28
Figuur 5.5: WSM_A-B, detail abrupte drukdaling tussen stijgingen op 22 augustus 2020	29
Figuur 5.6: Cluster A met luchtdruk op tweede verticale as	30
Figuur 5.7: Schematische weergave relatie tussen luchtdruk en WSM-druk	31
Figuur 5.8: Hypothesen verklaring barometrische inefficiency	32
Figuur 5.9: WSM-data cluster B met bodem- en maaiveldtemperatuur, periode 5 t/m demobilisatie	33
Figuur 5.10: Cluster C gedurende het gehele project.	34
Figuur 5.11: Data cluster C, de laatste 6 maanden. Het kader markeert een gebeurtenis op 2 juli 2020	34
Figuur 5.12: Detailreeksen cluster C op 2 juni 2020	35
Figuur 5.13: Cluster C halverwege augustus 2020.	36
Figuur 5.14: Cluster C, juli – augustus 2019, temperatuur op 2 ^e verticale as	37
Figuur 5.15: Detail uit figuur 5.14 met alleen data van sensor C-B.	37
Figuur 5.16: Cluster C, oktober – november 2019	38
Figuur 5.17: Data cluster C, 6 maanden tot demobilisatie	38
Figuur 5.18: Data cluster D, 21-27 juni 2020; neerslag op de tweede verticale as	39
Figuur 5.19: Cluster D met neerslag, gehele meetperiode juli 2019 – september 2020	40
Figuur 5.20: Reeks D-A in augustus 2019, waarin achtereenvolgens 3 typen gasbeldrukvestoring zichtbaar zijn	41
Figuur 5.21: Reeks WSM_D-A (lichtblauwe lijn) en neerslag in de periode augustus 2019	41
Figuur 5.22: Reeks D-A bij een drukdaling door gasbelontsnapping, 3 oktober 2020	43
Figuur 5.23: Detail gasbelontsnapping reeks D-A, 3 oktober 2020, 2:00 – 4:20	43
Figuur 5.24: Ondanks de hogere meetfrequentie is in deze gebeurtenis in reeks D-B geen tussenstap in de drukval geregistreerd. Deze daling heeft daardoor maximaal 2 minuten geduurd	44

Figuur 5.25: Druk in WSM_D-A, 6 en 7 oktober 2020	45
Figuur 5.26: Detail WSM_D-A, 7 oktober 18:00 – 21:00	45
Figuur 5.27: Cluster A, april – mei 2020; type 3 en type 1-gasbeldruk bij WSM_A-A	47
Figuur 5.28: Cluster A, juni – juli 2020; A-A (blauw) vertoont regelmatig een gestaag stijgende trend onderbroken met type 1-gasbeldruk	47
Figuur 5.29: Cluster A, augustus – september 2020; A-A (blauw) registreert lage druk door reeks type 1-drukdalingen	48
Figuur 6.1: Luchtfoto locatie Spijk, Spijksteeg 1	50
Figuur 6.2: POVM2 naast WSM_2	51
Figuur 6.3: POVM6 naast WSM_6	51
Figuur 6.4: Meetreeksen Spijk.	51
Figuur 6.5: Luchtfoto locatie Ouderkerk aan den IJssel, IJsseldijk-Noord	52
Figuur 6.6: Foto met locatie waterspanningsmeters veldtest Ouderkerk	53
Figuur 6.7: Meetreeksen Ouderkerk aan den IJssel	54

Tabellen

Tabel 3.1: Overzicht sensoren veldtest Vianen	7
Tabel 3.2: Drie hoofdtypen van druksignalen die aan gasbeldruk zijn toegeschreven	15
Tabel 6.1: Gegevens WSM's extra veldtest Spijk	50
Tabel 6.2: Gegevens WSM's extra veldtest Ouderkerk	53
Tabel 7.1: Waterspanningsmeters Vianen/Merwedekanaal met gasbeldrukmetingen	56

Afkortingen

KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
OWP	Open waterpeil
NAP	Normaal Amsterdams Peil
POVM	ProjectOverstijgende Verkenning Macrostabieleit
RD	Rijksdriehoek (-stelsel, -coördinaten)
WSM	Waterspanningsmeter

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Waterspanningsmeters (hierna WSM's) worden toegepast om waterdrukken in de waterverzadigde bodem te meten. Waterspanningsmeters kunnen dat veel nauwkeuriger en vooral veel sneller dan peilbuizen, en al helemaal in slecht doorlatend cohesief en plastisch materiaal zoals klei en veen. In de risicobeheersing van grondwerk is waterspanning de enige indicator die het mogelijk maakt om in te grijpen voordat grondvervormingen en schade optreden. Ze zijn ook niet veel kostbaarder dan peilbuizen (los van de telemetrie) en ze worden daarom op grote schaal toegepast in dijkenbouw en grondophogingen. Een nadeel van WSM's is dat het interpreteren van waterspanningsmeterdata niet altijd zo eenvoudig is als peilbuisdata. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd tot soms wel een kwart van de geïnstalleerde instrumenten niet alleen de waterspanning meet maar ook allerlei andere fenomenen. Deze fenomenen zijn door de vereiste diagnostiek en ad-hoc werk sterk kostenverhogend. Omdat het bij veel leveranciers en gebruikers van waterspanningsmeters bekend is heeft dat negatieve gevolgen voor het enthousiasme voor het gebruik van waterspanningsmeters. Daarmee wordt echter een aantal kansen gemist. In de praktijk en bij nader onderzoek is gebleken dat grondwater-ontgassing een belangrijke oorzaak is van verstoringen van waterspanningsmeetdata, vooral in ondiepe meetpunten in veen. Bronnen hiervoor zijn onder andere Fugro-projecten (nabij Zwolle, Alblasserwaard, Abcoude en voorgaande fasen in dit POVM project). In veen is de vorming van methaan en andere gassen door bacteriële afbraak normaal en bekend als veengas en oorzaak van veenbonken (Van Diest & Hogervorst, 2015).

Om antwoord te geven op de belangrijkste vragen en het bieden van oplossingen is vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit onderzoek is gegund aan het consortium tussen Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **WSM+NL**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het beoogde resultaat van de ontwikkelingsfase is een bruikbaar prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters. Daarbij is de veldtest het sluitstuk waarmee de effectiviteit en praktische bruikbaarheid van de gasfilters kunnen worden beoordeeld.

In de voorafgaande onderzoeksfase zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht:

- a. Laboratoriumonderzoek door Deltares waarbij het inzicht in de drijvende processen achter de gasvorming is verbeterd;
- b. Onderzoek door Fugro naar de werking van een gasfilter om gas uit een waterspanningsmeter te kunnen afvoeren door middel van een laboratoriumtest.

Het onderzoek van Fugro heeft in de voorgaande projectfase geleid tot een aangepast gasfiltermateriaal dat een veel grotere doorlatendheid voor methaan kent en veel minder kwetsbaar is dan het eerder gebruikte materiaal. De rapportage (POV Macrostabiliiteit, 2018) over deze eerdere projectfasen bevat de nodige aanvullende informatie over de instrumenten en materialen die in de Fugro WSM's en gasfilterproductie zijn toegepast.

1.2 Doelstelling

Conform het Plan van Aanpak (Fugro, 2019) is het kerndoel van de Ontwikkelingsfase – voor het onderdeel gasfilter – antwoord geven op de volgende vraag:

- Werkt het verbeterde gasfilterontwerp uit de Onderzoeksfase langdurig in het veld?

Daarnaast zijn er vier nevendoelen / wensen genoemd, waarvan de relevante voor deze veldtest de volgende is:

- Het leggen van een relatie tussen bodemtemperatuur en gasbelvorming door het vastleggen van het verloop van de bodemtemperatuur gedurende de meetperiode.

Dit leidt tot de volgende, oorspronkelijke doelstelling van het project en deze rapportage:

1. **Het langdurig testen van het verbeterde gasfilterontwerp in het veld, gegeven geschikte testlocaties en gegeven een geschikte meetopstelling.**

Tijdens de looptijd van de langdurige, eerste veldtest is gebleken dat deze veldtest veel interessante metingen oplevert die gerelateerd kunnen lijken te worden aan gasvorming in de bodem. Dit heeft geleid tot bijkomende doelstellingen van deze rapportage:

2. **Het analyseren van mogelijk opgetreden gasbelprocessen in de bodem op basis van de meetresultaten.**
3. **Het analyseren van het effect van vacuümbehandelingen in de WSM's met gasfilter.**
4. **Het analyseren van verschillen tussen de reeksen gemeten met de verschillende instrumenten van Fugro en Geopoint.**

1.3 Scope

Dit document betreft eindrapportage van de veldtestlocatie Vianen (langs het Merwedekanaal), en een beknopte analyse van de aanvullende veldtesten op de locaties Spijk en Ouderkerk aan de IJssel. De eerder verschenen kwartaalrapportages van de veldtest in Vianen (afzonderlijk opgeleverd) omvatten de volgende perioden:

- | | | |
|----|--|--------------------------------|
| 1. | 17 juni 2019 tot 16 september 2019 | documentnr.: 1417-0042-141.R02 |
| 2. | 17 september 2019 tot 16 december 2019 | documentnr.: 1417-0042-141.R03 |
| 3. | 17 december 2019 tot 16 maart 2020 | documentnr.: 1417-0042-141.R04 |
| 4. | 17 maart 2020 tot 16 juni 2020 | documentnr.: 1417-0042-141.R05 |

Deze kwartaalrapportages zijn als bijlagen aan het eindrapport van de Ontwikkelingsfase (POV Macrostabiliteit, 2020) toegevoegd.

In dit analyserapport worden de belangrijkste meetresultaten van de voorgaande perioden en alle meetresultaten van de laatste meetperiode – van 17 juni 2020 tot 16 september 2020 – beschreven en wordt in de conclusies en aanbevelingen ingegaan op de doelstellingen uit paragraaf 1.2.

1.4 Leeswijzer

Dit analyserapport is de laatste rapportage van een uitgebreide veldtest langs het Merwedekanaal in Vianen. Aansluitend worden ook meetresultaten besproken van vier gasfilter-WSM's die op twee aanvullende meetlocaties (Spijk en Ouderkerk aan den IJssel) zijn bijgeplaatst in de zomer van 2020. De figuren in dit rapport zijn allemaal gebaseerd op de complete dataset die grafisch is weergegeven in de eindrapportage (POV Macrostabiliteit, 2020).

In de rapportage die u nu voor zich heeft, vindt u interpretaties van de belangrijkste gebeurtenissen. De gebeurtenissen zijn onderzocht op samenhang met omgevingsfactoren en locatiekenmerken.

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 beschreven hoe de testlocatie Vianen/Merwedekanaal is geselecteerd. Daarna wordt in hoofdstuk 3 de inrichting van meetlocatie Vianen/Merwedekanaal beschreven. De resultaten die daar zijn bereikt zijn zo sterk beïnvloed door gasbeldruk dat in paragraaf 3.3 wordt beschreven hoe WSM's eruit zien en hoe ze werken. Aansluitend wordt in paragraaf 3.4 een beschrijving gegeven van de type gasbeldruk-verstoringen die onderscheiden kunnen worden in de WSM-drukmetingen. Daarmee kunnen alle resultaten in de complete eindrapportage worden geïnterpreteerd.

Hoofdstuk 4 beschrijft het verloop van de meetperioden zonder in te gaan op de meetresultaten. Hoofdstuk 5 behandelt de opvallende meetresultaten in het licht van het doel om de gasfilters in vier WSM's op hun waarde te beoordelen. Daarnaast wordt een poging gewaagd om de informatie die in de meetreeksen besloten is over de achterliggende processen uit te prepareren en deze te interpreteren. Hoofdstuk 6 bevat de resultaten van de aanvullende veldtesten in Spijk en Ouderkerk aan den IJssel. Tenslotte kunnen de conclusies, aanbevelingen en leerpunten gevonden worden in hoofdstuk 7.

De dataset is digitaal beschikbaar voor iedereen die iets wil doen met de gegevens van de meest uitgebreid bemeten vierkante meter hollandveen ter wereld.

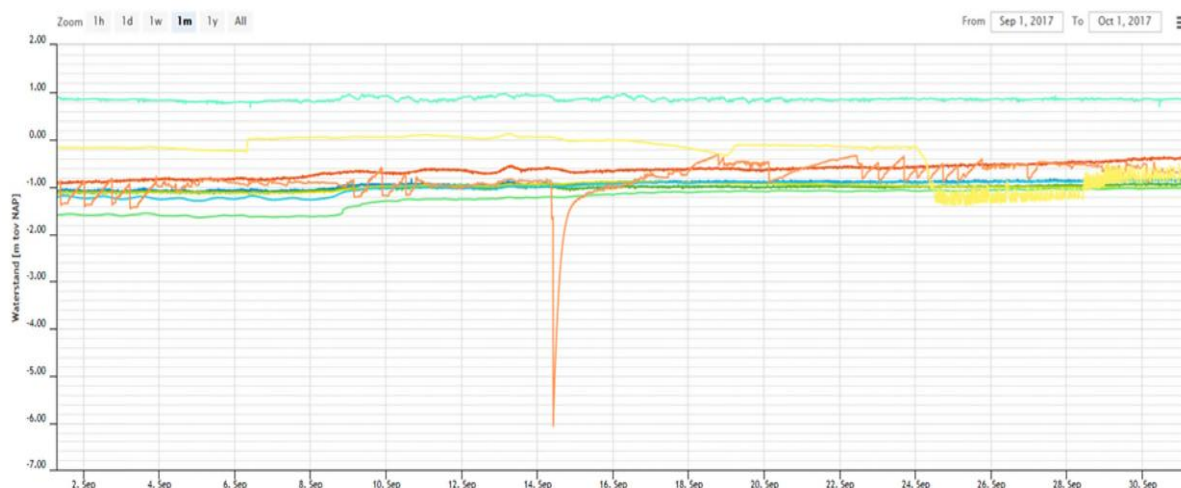
2. Achtergrond keuze locatie Vianen

2.1 Locatiekeuze

De meetlocatie langs het Merwedekanaal in Vianen is gekozen omdat vrijwel zeker is dat er zich op die locatie verstoringen van meetreeksen door gasbelvorming/verplaatsingen zullen voordoen. Om een idee te krijgen van de veel voorkomende varianten daarvan hieronder een paar voorbeelden.

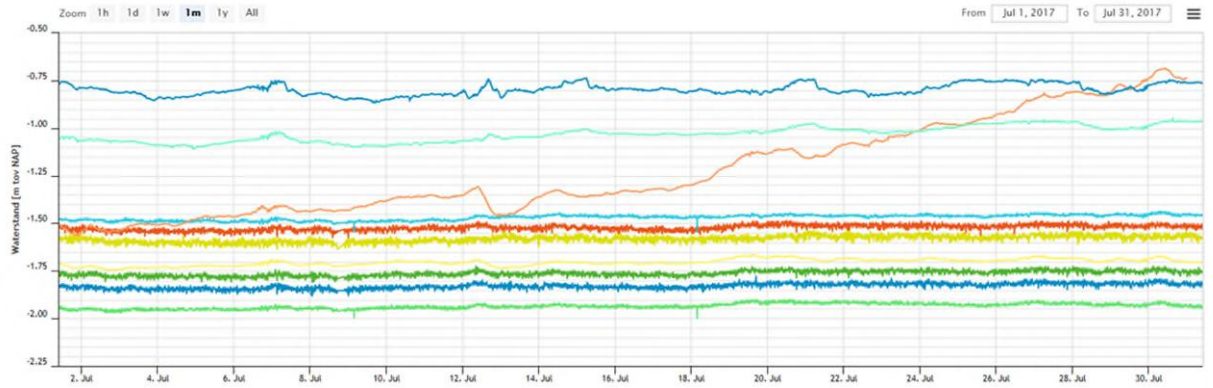
2.1.1 Alblasserwaard: wat is daar normaal?

Waterspanningsmeters in ondiep veen leveren soms spectaculaire resultaten. Hieronder (figuur 2.1) is een set meetresultaten uit een nabijgelegen locatie in de Alblasserwaard gedurende 2017 weergegeven. In deze set staat de oranje waterspanningsmeter (BAT-filter sterk onder invloed van gasbeldruk (zaagtandvormige druk met de abrupte daling steeds volgend op een gestage toename.



Figuur 2.1: Voorbeeld meetreeks Fugro-project (2017) in de Alblasserwaard

De scherpe daling op 14 september is het gevolg van een vacuümbehandeling met BAT-filter-monsternamegereedschap) waarna de drukreeks zich herstelt tot een redelijk acceptabel niveau. De reeks vertoont echter na vier dagen al weer grote verstoringen.



Figuur 2.2: Tweede voorbeeld verstoring meetreeks; Fugro-project Alblasserwaard

De reeks in figuur 2.2 hierboven, eveneens afkomstig uit de Alblasserwaard, toont een wegvloeden van de druk in één sensor, met een drukverschil dat oploopt tot 10 kPa van de normale druk op die diepte. Deze afwijkingen zijn al snel een veelvoud van de bandbreedte van 'ruis' in stabiele WSM-reeksen van normaal gesproken 0,1 tot 0,5 kPa.

2.1.2 Zijn de verwachtingen uitgekomen?

De proeflocatie Merwedekanaal heeft een grote hoeveelheid drukmetingen opgeleverd. Met een blik op de onrustige data (overzichtsfiguren in deze rapportage en eindrapportage) is het duidelijk dat de reeksen onderling sterk van elkaar verschillen en dat er ook veel abrupte afwijkingen voorkomen. In detail bezien gaat het om een ware kakafonie van verschillen. Het overgrote deel van deze verstoringen betreft de gezochte gasbeldruk-verstoringen.

De meetlocatie Vianen / Merwedekanaal is een zeer gunstige gebleken vanuit het oogpunt van alle onderzoeksvragen.

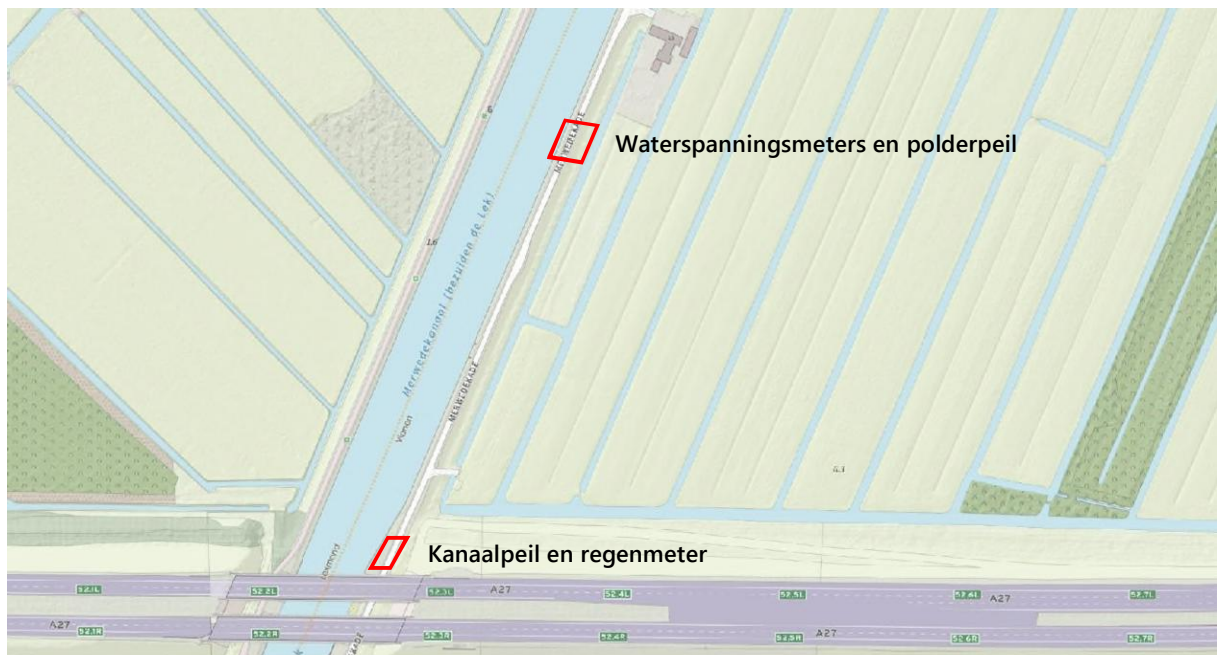
Hierna wordt in het rapport niet meer gesproken over meetfouten, maar over gasbeldruk-gerelateerde fenomenen, ondanks dat er geen direct bewijs is voor gasbellen tijdens deze projectfase. Voor een goed begrip van grondwaterontgassing is het aan te raden om het syntheserapport van fase 2 van dit project (POV Macrostabieliteit, 2018) te lezen. Daarnaast is er zoveel data geproduceerd, dat het weinig zinvol is alle gebeurtenissen apart te bespreken.

Voor een snel overzicht zijn in het eindrapport (POV Macrostabieliteit, 2020) grafieken opgenomen met de complete meetreeksen met de zomers van 2019 en 2020, en in de bijlagen daarvan dezelfde reeksen weergegeven per 2 maanden. Met die grafieken in de hand kan gericht in detail worden gezocht in de digitale databestanden.

3. Beschrijving veldtestlocatie Vianen

3.1 Sensoren en locatie

De uitgebreide, eerste veldtest heeft plaatsgevonden in de nabije omgeving van Merwedekade 18 te Vianen. De meetopstelling bevatte in totaal 12 waterspanningsmeters, twee meetpunten voor het (open) waterpeil, een regenmeter en een sensor die de maaiveldtemperatuur registreerde (zie tabel 3.1). In figuur 3.1 is de locatie van de meetopstelling weergegeven.



Figuur 3.1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo)

Bij het inrichten van de veldtest is gebruik gemaakt van het Protocol voor de selectie en installatie van waterspanningsmeters (POV Macrostabiliteit, 2019). Specifiek zijn de volgende kwaliteits rapportages geleverd: Factory Acceptance Test (FAT), Site Acceptance Test (SAT) en het protocol voor plaatsing van de instrumenten. De resultaten van de FAT en SAT zijn beschreven in Fugro (2019). Voorafgaand aan de veldtest zijn de sensorunits van de standaard Fugro WSM's ingedeeld in klasse 3 volgens het Protocol en de sensorunits van de Fugro WSM met gasfilter in klasse 4.

De Fugro sensoren zijn individueel gekalibreerd na productie en leveren door afstemming van meetbereik en systeemresolutie, na correctie met luchtdruk, een effectieve nauwkeurigheid die het mogelijk maakt om drukveranderingen van 0,1 kPa te registreren. De Geopoint sensoren in combinatie met het meetsysteem van Wiertsema vertonen een vergelijkbaar laag ruisniveau, wat een indicatie kan zijn van gelijke prestaties, maar daarvan is geen FAT-rapportage incl. kalibratiegrafieken beschikbaar.

Tabel 3.1: Overzicht sensoren veldtest Vianen

Locatie	Sensornaam	Sensortype	Klasse*	RD-coördinaten		maaiveld [m NAP]	Sensor [m NAP]	Start meting [dd-mm-jjjj]
				X [m]	Y [m]			
Cluster-A	WSM_A-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	4	132295.79	441071.04	1.01	-1.87	17-06-2019
	WSM_A-B	Fugro WSM standaard	3	132295.81	441071.34	1.09	-1.84	17-06-2019
Cluster-B	WSM_A-A-2	Fugro WSM gasfilter+thermistor	4	132295.67	441070.97	1.02	-2.00	17-08-2019
	WSM_B-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	4	132296.14	441071.89	1.02	-1.76	17-06-2019
Cluster-C	WSM_B-B	Fugro WSM standaard	3	132296.18	441072.13	1.10	-1.69	17-06-2019
	WSM_C-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	4	132294.96	441071.34	1.38	-1.63	17-06-2019
Cluster-D	WSM_C-B	Fugro WSM standaard	3	132294.98	441071.67	1.40	-1.62	17-06-2019
	WSM_D-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	4	132295.25	441072.14	1.42	-1.64	17-06-2019
Cluster-A	WSM_D-B	Fugro WSM standaard	3	132295.33	441072.50	1.42	-1.58	17-06-2019
	WSM_A-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	3†	132295.967	441071.113	0.85	-1.95	17-06-2019
Cluster-B	WSM_B-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	3†	132296.349	441071.881	0.86	-1.74	17-06-2019
Cluster-C	WSM_C-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	3†	132295.184	441071.445	1.25	-1.65	17-06-2019
Cluster-D	WSM_D-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	3†	132295.444	441072.163	1.35	-1.45	17-06-2019
Sloot nabij WSM's	PB_Slootpeil	Open Water Peil	n.v.t.	132303.52	441067.35	-0.25 - 0.75	-0.18	17-06-2019
Nabij viaduct	PB_Kanaal	Open Water Peil	n.v.t.	132209.55	440896.31	0.60-1.60	-1.22	17-06-2019
Nabij viaduct	LK070 MWDK	Regenmeter	n.v.t.	132213	440896	n.v.t.	2.24	17-06-2019
Cluster B	Temperatuursensor maaiveld	Temperatuursensor	n.v.t.	132296.38	441072.33	1.10	1.10	12-09-2019
Opmerkingen								
* = Klasse van de sensorunit conform het Protocol voor de selectie en plaatsing van waterspanningsmeters (POV Macrostabiliiteit; 2019), Daarbij wordt uitgegaan van de resultaten van de FAT.								
† = Dit betreft een inschatting. Sensornauwkeurigheid is niet direct te herleiden uit de resultaten van de FAT van deze sensoren.								



Figuur 3.2: Overzicht meetopstelling met beschermkokers en afrastering



Figuur 3.3: Testveld waterspanningsmeters incl. aanduiding sensoren.

Let op: de coderingen met stift op de kokers zijn niet altijd correct. De toegevoegde labels verwijzen wel correct naar de sensor-benamingen zoals gehanteerd in de (digitale) meetreeksen.



Figuur 3.4: Open-watermeetpunt kanaal en regenmeter

3.2 Achtergrond locatie Merwedekanaal

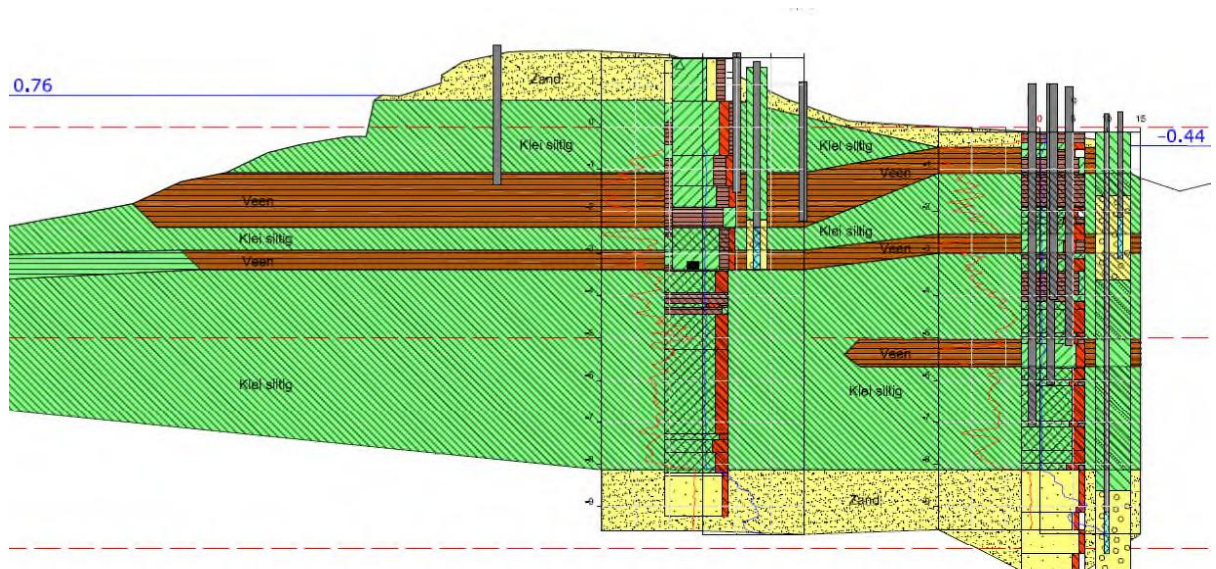
3.2.1 Waarom Merwedekanaal?

De meetlocatie langs het Merwedekanaal is in een eerder project (Fugro-projectnummer 1316-0294-141) onderzocht en voorzien van waterspanningsmeters ten behoeve van toetsing van regionale waterkeringen in de Ablasserwaard. Op vijf van de meetlocaties zijn zeer sterke verstoringen (drukvariaties) waargenomen die dankzij de min of meer toevallige toepassing van BAT-filter-samplers in dit project konden worden toegeschreven aan methaan-ontgassing (Fugro, 2017). BATfilters zijn na het op diepte brengen blijvend toegankelijk vanaf maaiveld via een buis. Het filter is aan de bovenzijde voorzien van een rubber septum waarmee (afwisselend) zowel drukmetingen mogelijk zijn als monsternamen uit de waterkamer. In fase 2 van het POVM project zijn deze instrumenten nader onderzocht in het bodemchemisch lab van Deltares. De resultaten daarvan zijn beschreven in POV Macrostabieliteit (2018). Daarvoor is de filter-inhoud met de daarvoor bestemde vacuüm-monsternamenbuis afgenomen en ter analyse aangeboden aan het lab. Om pragmatische redenen is de locatie vlakbij dijkpaal MW057 gekozen voor de veldtest in de ontwikkelingsfase. De oude instrumenten zijn bij beëindiging van het vorige project zorgvuldig verwijderd en de gaten zijn afgedicht.

3.2.2 Bodemopbouw locatie Merwedekanaal

Het dwarsprofiel in figuur 3.5 wijst op een onregelmatig gelaagd veen-/kleipakket. Het profiel betreft een schematische weergave waarin vooral de boringen zijn uitgewerkt. Bij meetlocatie

MW057 is alleen sensorlocatie BIT (filterdiepte NAP -2.23 m) sterk verstoord geweest door gasbeldruk. Bij de andere verstoorde meetlocaties is de belangrijkste gemene deler de filterdiepte die varieerde tussen NAP -1.55 m en NAP -3.79 m. Dit geeft een aanwijzing dat met name ondiepe (veen)lagen verstoord raken door gasbelvorming. Deze diepte is daarom gekozen voor afstelling van de WSM's in deze projectfase.

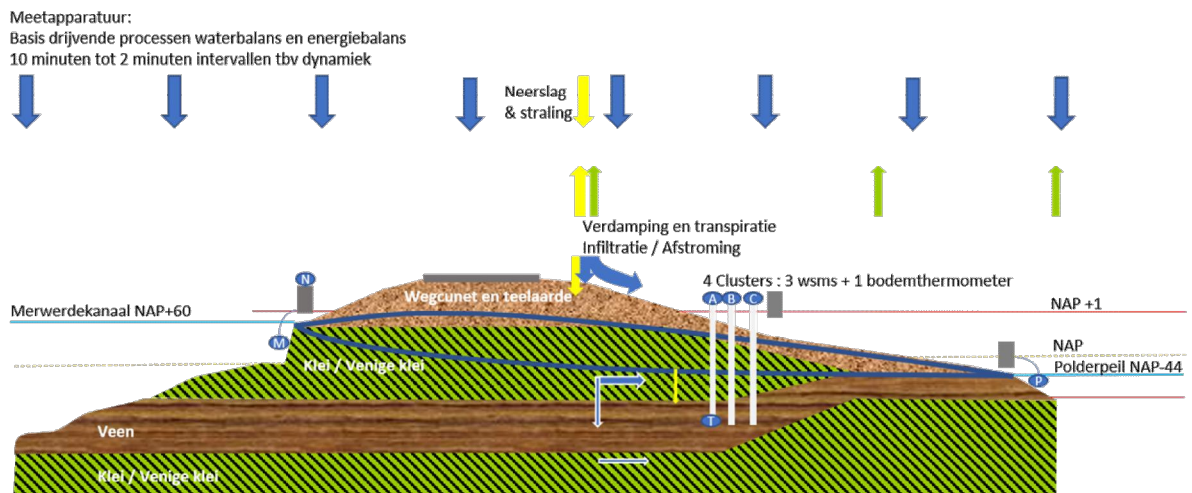


Figuur 3.5: Geotechnisch dwarsprofiel meetlocatie Vianen (Fugro, 2017)

Merk op dat er bij het intekenen van de bodemlagen enige artistieke vrijheid is gebruikt, immers er zijn onvoldoende boringen beschikbaar om de laterale uitgestrekte veenlaag te kunnen aantonen.

3.2.3 Meetopstelling

De meetinstrumenten voor het POVM-project zijn met het oog op succeskans voor het waarnemen van gasbeldruk op een korte afstand van de eerdere meetlocatie geplaatst, een kleine tien meter verschoven langs de waterkering. Binnen de gekozen locatie zijn de beschikbare instrumenten in clusters zo dicht als mogelijk bij elkaar geplaatst, dit met het oog op onderlinge vergelijkbaarheid van de reeksen. De 4 clusters bevatten elk een Fugro WSM met en een zonder gasfilter, en een Geopoint sensor. Clusters A en B liggen iets verder van de weg af dan C en D, met een lager maaiveld. De instrumenten zijn op vergelijkbare diepte onder maaiveld geplaatst, tussen mv-2,7 en -3,0 m.



Figuur 3.6: Meetlocatie (schematisch) met belangrijkste parameters water- & energiebalans

Merk op dat ook voor deze figuur geldt dat de bodemlaagopbouw alleen op de meetlocatie zelf is vastgesteld.

Toelichting bij symbolen in figuur:

A = Fugro-WSM met gasfilter

B = Fugro-WSM zonder gasfilter

C = Geopoint-WSM

M = Merwedekanaalpeil

N = Neerslag, luchtdruk en maaiveldtemperatuur

P = polderpeil

T = temperatuur in WSM

Het doel van de meetopstelling is het in praktijk aantonen van het effect van het gasfilter op basis van in totaal 12 waterspanningsmeters. 4 en later 5 van 13 zijn uitgerust met gasfilter. De meeste aandacht gaat daarom uit naar de verschillen tussen de drie groepen instrumenten en eventueel ook de ruimtelijke samenhang tussen gebeurtenissen. Om die reden zijn alle WSM's iedere 10 minuten uitgelezen. Om de gasbeldruk-gerelateerde verstoringen te kunnen onderscheiden van andere factoren worden ook de belangrijkste omgevingsvariabelen met dezelfde meetfrequentie in kaart gebracht. De waterbalans, maar vooral ook luchtdruk, zijn de meest dynamische daarvan. Echter, voor de productie en oplosbaarheid van methaan in grondwater is ook de bodemtemperatuur van belang. Er zijn geen instrumenten toegepast om veranderingen in bovenbelasting te registreren omdat er geen belastingsveranderingen worden toegepast, op een enkele mogelijke gelijktijdige passage van een zware vrachtwagen na.

3.2.4 Grondwaterbewegingen

De meetlocatie kan worden gekenmerkt als een hydrologisch weinig actieve locatie. Er is wel sprake van een duidelijk verhang tussen het kanaalpeil (hoog) en oppervlaktewater aan polderzijde (laag) maar er is ook een oeverconstructie met damwanden en het bodemmateriaal is niet goed waterdoorlatend. Onder invloed van de massa van de dijk/oeverconstructie zijn bodemlagen ook samengedrukt en omlaaggedrukt, waardoor vooral de grote poriën in klei en veen zullen zijn dichtgedrukt.

Door de topografie van de oeverconstructie, (wegcunet met asfalt en de helling van het maaiveld) is de infiltratie van neerslag en verdamping van bodemwater niet gelijk verdeeld over het oppervlak en zal vermoedelijk een groot deel van de jaarlijkse neerslag oppervlakkig afstromen. Afgezien van zomerse buien die doordringen via diepere krimp-scheuren in de kleiige bovengrond dringt de druk van grondwateraanvulling nauwelijks door tot de slecht doorlatende bodemlagen waarin de WSM's zijn afgesteld. Bij de analyse van de meetgegevens is daarom nauwelijks aandacht besteedt aan de relatie tussen neerslag en variaties in waterspanning. In de meetopstelling is met die reden ook geen peilbuis geplaatst.

3.3 Fugro WSM met gasfilter

Een waterspanningsmeter is een zeer eenvoudig instrument. Het is een versterkte holte met een druksensor, waarin water in contact staat met het bodemwater via een poreus grondfilter. De grondfilters zijn altijd fijn genoeg om korrelig materiaal tegen te houden en daardoor is in de waterkamer geen korrelspanning. De holte staat niet in contact met de atmosfeer zodat er geen waterverplaatsingen nodig zijn om drukveranderingen door te geven. Een enkele watergevulde porie van enkele micrometers is in principe al genoeg om de druk in de waterfase over te dragen naar de waterkamer en daardoor leveren waterspanningsmeters vrijwel instantaan een exact beeld van de bodemvloeistofspanning.

De nieuwe Fugro WSM met gasfilter is ontworpen om de vorming van gasbellen in de waterkamer, en daardoor de opbouw van gasdruk te beperken te maken. Met het gasfilter wordt de weerstand voor diffusie naar de atmosfeer zo laag, dat onder de natuurlijke gasdrukgradiënt al voldoende (methaan)gas zou moeten worden afgevoerd. De techniek is eerder toegepast in tensiometers (waterspanningsmeters voor de water-onverzadigde zone), maar daarin moet permanent een zeer lage gasdruk worden aangebracht om de zuigspanning te compenseren. Door het gasfilter van een gas slang te voorzien, kan aan maaiveld alsnog lage druk worden aangebracht in het filter waarmee een WSM in principe tijdelijk als tensiometer kan functioneren, dus boven het grondwaterniveau.

3.3.1 Waarom een membraan?

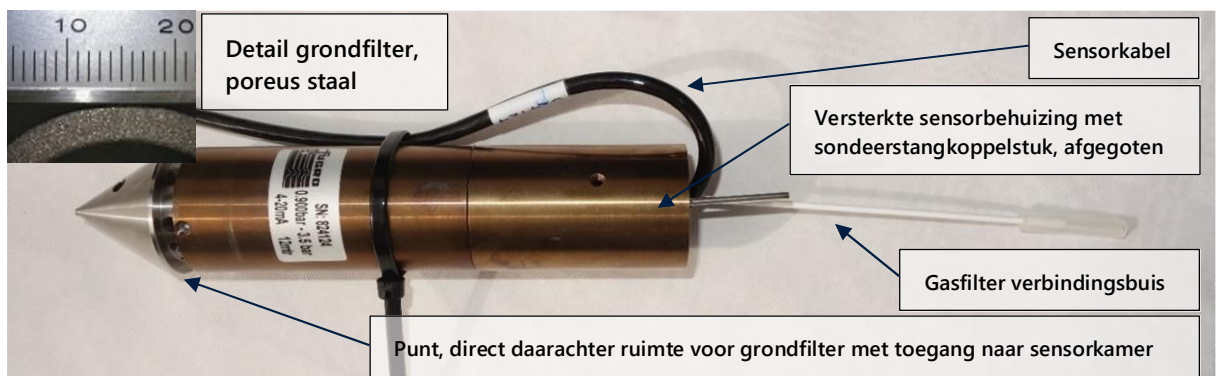
In de stalen behuizing van de Fugro WSM is ruimte gereserveerd voor een uitgang naar de atmosfeer. Mocht gas zich ophopen in de kamer van de WSM, dan kan het gas via de uitgang ontsnappen voordat het de drukmeting in de waterkamer verstoort. Een opening of spleet naar de omgeving aan de bovenzijde van de waterkamer laat geen gasbellen door vanwege de intredeweerstand van die spleet en fijne bodemdelen die het gat afsluiten. Een opening verbonden met een buis of slang naar maaiveld is in feite een peilbuis met een zeer kleine diameter, waarmee grote interpretatieproblemen worden geïntroduceerd als gevolg van capillaire effecten. Daarnaast is het voordeel van WSM's daarmee teniet gedaan omdat water verplaatsing nodig is om evenwicht te bereiken, wat tijd kost en leidt tot verstopping.

Om water tegen te houden is een barrière (gasfilter) aangebracht. Daarvoor is gebruik gemaakt van materiaal dat gangbaar is in de procesindustrie voor het strippen van gas of het filteren van specifieke gassen met afwijkende molecuulafmetingen, zoals zuurstof. Ook

methaan kan zo worden doorgelaten. Een zeer gunstig kenmerk van een veelgebruikt filtermateriaal (membraan) is dat het materiaal extreem hydrofoob is. Daarmee is de kans op lekkage van water beperkt tot lijmfouten.

De Fugro WSM heeft, zoals in figuur 3.7 hieronder weergegeven, een uitgang die via een PVC-slang verbonden is met het maaiveld. De weerstand die methaanmoleculen ondervinden door het gasfilter is bepalend voor de snelheid waarmee methaan kan worden afgevoerd. Dit proces, berekeningen en ontwerpkeuzes zijn nader toegelicht in de eerdere rapportages binnen het project (POV Macrostablieit, 2018). De werking van het systeem is volledig gebaseerd op vertrouwen dat als de gasconcentratie in de WSM-kamer toeneemt, dat de afvoercapaciteit van het gasfilter en de weerstanden die worden ondervonden altijd zorgen voor een onverzadigde oplossing. De berekeningen die daaraan ten grondslag liggen (POV Macrostablieit, 2018) wijzen erop dat het gebruikte filter volstaat voor afvoer van gasproductie met een volume van één volledige WSM drukcel/waterkamer per etmaal (2ml). Gasbelvorming in de WSM drukcel/waterkamer – als gevolg van lokale gasproductie in de waterkamer – is daardoor praktisch nagenoeg uitgesloten. In de eerdere projectfase is wel gasproductie in wsms gemeten maar lang niet de ordegrrootte van 2ml per etmaal.

Als er zich ondanks afvoer van gas door het gasfilter toch een gasbel vormt, door bijvoorbeeld een tijdelijke extreem lage luchtdruk, lost die daarna weer snel op en verdwijnt als gevolg van de hoge gasdruk in kleine bellen, en als gevolg van toename van de oplosbaarheid van gassen in water bij hogere luchtdruk.



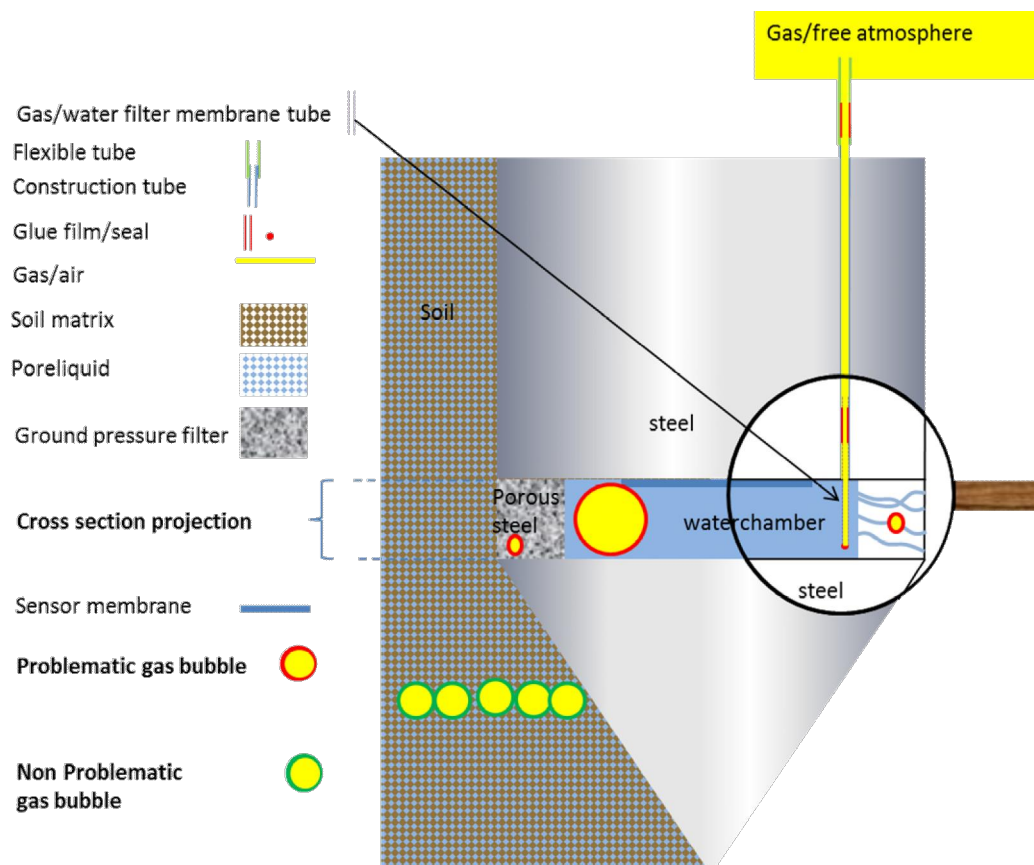
Figuur 3.7: Prototype Fugro-waterspanningsmeter met gasfilter (2014)

NB Het gasfilter is hier onzichtbaar. Aan de achterzijde is de uitgang met buisverbinding naar de atmosfeer wel zichtbaar. De sensorkamer zit direct achter de kegel waarin de uitsparing voor grondfilter (zie detail van ring in poreus staal in het kader linksboven) zichtbaar is.

Het gasfilter is extreem hydrofoob en laat geen vloeibaar water door, maar wel gassen zoals methaan. Deze voorziening maakt het mogelijk om gas af te zuigen zonder dat water wordt afgezogen. Ook gas dat nog in oplossing is, wordt afgevoerd naar maaiveld onder de gasconcentratiegradiënt.

Gasbellen kunnen voorkomen in of rondom het instrument, zie figuur 3.8. Het eerste (in het instrument) is een probleem, het tweede (rondom het instrument) is doorgaans een natuurlijk

fenomeen. Een bel groeit door ontgassing van grondwater totdat de poriewand in de vaste matrix weerstand biedt, waardoor de beldruk oploopt. Tot op dit moment is er in de waterfase geen drukverandering. Pas als de druk hoog genoeg is om door de grootste poriehals te ontsnappen (luchtintredewaarde) kan de bel ontsnappen. De bel baant zich dan een weg naar een ondiepere porie. Op dat moment van volumeverplaatsing daalt de druk op de oorsprongslocatie en neemt die tijdelijk toe op de aankomstlocatie. Er is verder weinig te zien aan de druk in een waterspanningsmeter totdat die direct in contact staat met een gasbel.



Figuur 3.8: Schematische weergave van een waterspanningsmeter, waarbij de sensorkamer als dwarsdoorsnede is weergegeven (bron figuur: POV Macrostabieliteit, 2018).

De sterkte-eisen die gesteld worden voor toepassing in ondiepe veenlagen zijn niet hoog en de door Fugro gekozen vorm en materiaal zijn daarvoor ruim overbemeten. Voor toepassing in ondiep veen is een harde kunststof zoals door Geopoint (PVC) en BAT (PP) worden toegepast vaak ruimschoots voldoende.

3.3.2 Voortgang veldexperiment

De resultaten van het veldexperiment te Vianen/Merwerdekanaal en één meetlocatie in Spijk lieten spectaculaire gasbeldrukken zien. De keuze van de locaties voor deze veldexperimenten is beter dan waar iedereen op had durven hopen.

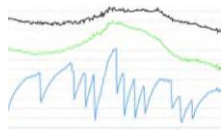
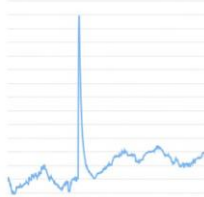
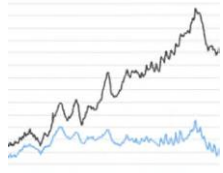
Beide typen Fugro waterspanningsmeters, dus ook die met gasfilter, vertonen een grote diversiteit aan drukvariaties die allemaal aan gasbeldruk kunnen worden toegeschreven. Dat is direct vanaf de eerste kwartaalrapportage (Fugro, 2020a) uitgebreid beschreven en daarna in iedere daaropvolgende rapportage uitgebreid met meer voorbeelden van gasbeldruk-gerelateerde drukmetingen.

Dat de Fugro WSM met gasfilter nog altijd gasbeldruk-gerelateerde drukvariaties laat zien, wil niet zeggen dat die zich voordoen *als gevolg van de aanwezigheid* of van *vorm of materialen* in het instrument. Om de resultaten vanaf de volgende hoofdstukken sneller te kunnen interpreteren en waarderen, is het van belang om drie hoofdtypen van gasbeldruk te kennen (§3.4) en te begrijpen hoe een vacuümbehandeling werkt (§3.5).

3.4 Drie typen gasdrukgerelateerde verstoringen

Gasbeldruk kan worden herkend als gas zich verplaatst of ophoopt. Daarbij is het beeld ontstaan dat er, ondanks de schijnbaar grote verschillen tussen de reeksen, drie hoofdvormen van afwijkingen optreden, zoals in tabel 3.2 hieronder beschreven.

Tabel 3.2: Drie hoofdtypen van druksignalen die aan gasbeldruk zijn toegeschreven

Type	Herkenning		Periode / amplitude	Visueel	Hypothese proces
1	Abrupte drukafname, zaagtand	Na asymptotische toename	Periodiek, divers / enkele kPa		Ontgassing van water tot bereiken van ontsnappingsdruk (ventiel), doorlopende gasproductie in directe omgeving.
2	Abrupte stijging, zaagtand	Gevolgd door asymptotische daling	Periodiek, divers / enkele kPa		Toetreding door dieper ventiel, gevolgd door relatief snelle uitdrijving van water en/of oplossen in water.
3	Geleidelijke druktoename	Valt pas op in vergelijking met andere reeksen	Weken tot maanden / tot 10 kPa		Ontgassing van water in omgeving waar geen ventiel beschikbaar is binnen fysiek bereik van de bel.

De drie typen zijn opgesomd in volgorde van bekendheid en herkenbaarheid.

Type 1 is vaak een eerste indicator dat er sprake is van grondwaterontgassing, herkenbaar door de abrupte daling gevolgd door gestage stijging. Amplitudes kunnen oplopen tot 5 kPa, soms 7 kPa.

Type 2 is de omgekeerde vorm die veel minder vaak wordt waargenomen, omdat de amplitude daarvan vaak veel kleiner is. Soms worden er vele tientallen per etmaal geregistreerd. Dat de drukpieken lager lijken te zijn dan de drukdalen van type 1 wil niet

zeggen dat dat de werkelijke amplitude is. Immers er wordt maar 1 keer per 10 minuten gemeten. Dan weet je zeker dat drukpieken die mogelijk maar enkele seconden aanhouden (een bel die van diepere bodemlagen omhooggeperst is) vrijwel nooit worden waargenomen. Ook door het meten met 2 minuten intervallen neemt alleen de kans toe dat een hoge druk wordt gemeten maar is niet zeker dat maxima worden geregistreerd.

Type 3 is lang niet altijd spectaculair en dus niet altijd te herkennen aan de individuele reeksen maar alleen in vergelijking met andere nabij geplaatste reeksen.

In het eerder genoemde Fugro-project in Zwolle is preventief een groot aantal BAT-filter WSM's aan een vacuümbehandeling blootgesteld. Daarbij is gebleken dat ook reeksen die eerder niet verdacht werden van gasbeldruk, toch na behandeling een lagere druk registreerden. Dit afwijkende gedrag valt eerder op bij toepassing in clusters. De vacuümbehandeling is daarmee eerder ingezet als een manier om de 'zuivere' waterspanning vast te stellen. Recent onderzoek (Murano, 2019) wijst op de geotechnische relevantie van gasbeldruk, waardoor het gebruik van vacuümbehandeling in sommige toepassingen misschien juist niet moet worden ingezet. De uitvoering van de vacuüm-methode en de uitwerking daarvan wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

3.5 Vacuümbehandeling

Een vacuümbehandeling is mogelijk bij BAT-filters en Fugro WSM's met gasfilter. Het aanbrengen van een vacuüm aan de atmosferzijde van het filter is een extreme methode die de gastransportsnelheid sterk verhoogt als gevolg van een veel grotere gasdrukgradiënt. Dit is eenvoudig te realiseren door de slang op maaiveld te verbinden met een injectiespuit, uittrekken, afknippen, spuit legen, verbinden en nogmaals uittrekken, fixeren van de uitgetrokken stand; zie figuur 3.9 voor een voorbeeld. Hoewel dit niet het oorspronkelijke doel van de gasfilters in Fugro WSM's is geweest, is dit nu wel eenvoudiger uit te voeren dan bij BAT-filters en kan het in principe permanent worden gedaan.



Figuur 3.9: Vacuümbehandeling van een Fugro WSM met gasfilter m.b.v. een injectiespuit.

3.5.1 Historie vacuümbehandeling

De vacuümbehandelingen werden in eerdere projecten van Fugro toegepast omdat de monstername-optie van het BAT-filtersysteem dat toevallig mogelijk maakte. De behandeling is tijdrovend en zuigt ook water af waardoor het filter snel verstopt. Omdat het veel tijd kost en maar één of twee keer effect leek te hebben, werd deze methode aanvankelijk alleen toegepast op duidelijk verstoorde reeksen. De duidelijke aanwezigheid van gas in de vacuüm flessen leidde tot zorgen over de reeksen die nog niet verstoord leken en een grootschaliger inzet van de vacuüm behandeling.

Een deel van de reeksen bleek na behandeling lagere drukken te registreren waardoor de algemene conclusie getrokken kan worden dat bij waterspanningsmetingen altijd rekening gehouden moet worden met gasbeldruk, ook als er zich geen duidelijke herkenbare drukvariaties voordoen.

De verhoogde druk die voorafgaat aan een abrupte daling wijst erop dat type 3 gasbeldruk altijd voorafgaat aan type 1, maar dat blijkt pas als type 1 optreedt, of als de druk zo hoog oploopt dat die niet meer op een andere manier verklaard kan worden.

Gasbeldruk is pas een probleem voor het meetinstrument als de druk niet in de bodem voorkomt, maar wel in het instrument of als gevolg van het instrument..

3.5.2 Effect vacuümbehandeling op gemeten druk

Een vacuümbehandeling op de Fugro WSM met gasfilter en een 100% gevulde waterkamer, zelfs als die waterkamer hermetisch is afgesloten, kan de druk niet verlagen tot een lagere druk dan de heersende waterspanning, omdat geen water wordt afgezogen. Als de druk *wel* verder daalt, is ofwel sprake van een zeer snelle afvoer van gas, ofwel een lekkage in het gasfilter waardoor water omhoog wordt gezogen.

Uitgaande van de eerste situatie (toch een gasbel) wordt het gasbelvolume snel kleiner en moet water toestromen om de ruimte in te nemen, of de druk daalt heel diep. Hoe meer weerstand water ondervindt bij het toestromen naar deze ruimte, hoe dieper de druk daalt als gevolg van de voortgang van het wegzuigen van de gasbel.

In het tweede geval, waarin het gasfilter of de lijmverbinding lek is, wordt daadwerkelijk water aangetrokken in de buis die normaal gesproken in contact staat met de atmosfeer. Voorafgaand aan een vacuümbehandeling is een gasfilterlekkage vaak al te herkennen aan de drukmetingen die dan hysteretisch gedrag en traagheid vertonen. Binnen dit POVM veldexperiment hebben zich geen lekkages voorgedaan, maar voor het interpreteren van meetreeksen is het van belang om oog te hebben voor wat zich in een dergelijk geval te zien zou zijn. In het geval van een lekkage in het gasfilter kan dat worden herkend aan de meetreeksen en de na enkele uren opgezogen hoeveelheid water.

De druk in de waterkamer staat in het geval van een lek gasfilter niet meer alleen onder invloed van de bodemwaterspanning, maar ook met de atmosfeer en de waterkolom in de slang. Tijdens de vacuümbehandeling is dat bij een lek filter direct een diepe onderdruk. Als dit onopgemerkt blijft, neemt de kans toe op vals positieve en vals negatieve alarmmeldingen of het uitblijven daarvan. Er kan dan in andere woorden eenvoudig een situatie ontstaan dat er niks aan de hand lijkt, terwijl er wel grondvervormingen of instabiliteit dreigen. Risicobeheersing van waterspanning-gerelateerde geotechnische processen lukt in dat geval niet meer. Als er traagheid ontstaat in een reeks of hysteresis is het dus nodig om een vacuümbehandeling uit te voeren om hier zekerheid over te verkrijgen. Het vraagt dus niet alleen een oplettende gebruiker maar ook behoefte aan meerdere instrumenten om verschillen in drukontwikkeling te kunnen opmerken.

4. Instrumentprestaties en onderhoud veldtest Vianen

4.1 Inleiding

De veldtest in Vianen is een langdurige veldtest geweest met een totale meetperiode van vijf kwartalen (15 maanden). Het is niet te voorkomen (en gebruikelijk) dat er in deze periode onderhoud aan de instrumenten uitgevoerd moet worden, zoals het vervangen van batterijen. Daarnaast betreft het deels een experimentele opzet, met prototype waterspanningsmeters met gasfilter en temperatuurmetingen die niet standaard uitgevoerd worden.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de wijzigingen die tijdens de veldtest hebben plaatsgevonden, bijvoorbeeld het vervangen van slecht-functionerende sensoren. Dit overzicht is opgenomen, zodat hier rekening mee gehouden kan worden bij de interpretatie van de meetresultaten. Voorgaande laat onverlet dat de meeste instrumenten het grootste deel van de tijd goed (normaal) hebben gefunctioneerd. Na analyse van de meetgegevens (hoofdstuk 5) zijn hier leerpunten uit gehaald. Deze zijn opgenomen in paragraaf 0.

4.2 Kwartaal 1

4.2.1 WMS_A-A-2

Zoals in de kwartaalrapportage van Q1 (Fugro, 2020) in paragraaf 5.2 wordt vermeld, is er op 8 augustus bij WSM_A-A een zelfontgassende waterspanningsmeter bijgeplaatst, WSM_A-A-2. De oorspronkelijke WSM A-A heeft na een vacuümbehandeling normaal gefunctioneerd.

4.2.2 WSMs Geopoint / Wiertsema

De loggers van Wiertsema hebben na een goede start in augustus 2019 te maken gekregen met uitval. Alleen WSM D-C heeft vanaf het begin tot eind oktober 2019 veel metingen gemist. Na eind oktober zijn wel vrijwel alle metingen uitgevoerd met 10 minuten interval.

4.2.3 Temperatuursensor

Op 12 september 2019 is een temperatuursensor met modemlogger geplaatst.

4.2.4 Sensor openwatermeetpunt kanaal

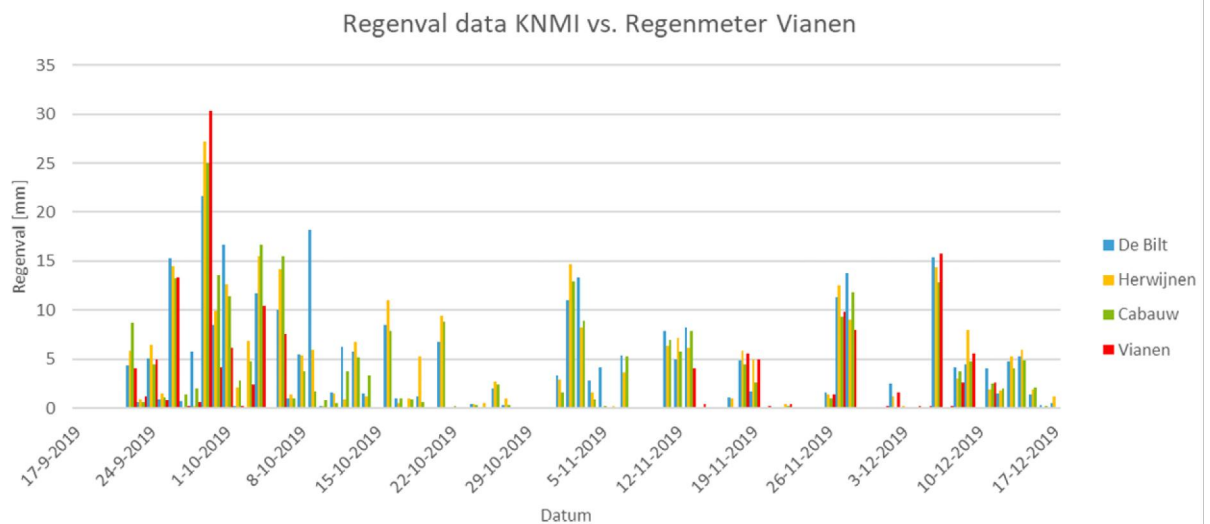
Op 12 september 2019 is de stand-alone drukopnemer in het kanaal vervangen door een drukopnemer die tevens een verzendmogelijkheid heeft.

4.3 Kwartaal 2

4.3.1 Neerslag

De neerslag wordt met de lokale regenmeter geregistreerd met intervallen van 10 minuten. In de periode van 7 oktober t/m 13 november 2019 en 12 t/m 17 december 2019 is de regenmeter buiten werking geweest. Op 13 november 2019 is de regenmeter hersteld, en op

7 januari 2020 is de regenmeter opnieuw hersteld. Deze heeft sindsdien zonder problemen gefunctioneerd. Om de neerslag te kunnen meenemen in de analyse is ervoor gekozen om etmaalneerslagdata te gebruiken van drie nabij gelegen KNMI-stations: De Bilt, Herwijnen en Cabauw (Figuur 4.1) voor de periodes dat de regenmeter niet heeft gefunctioneerd. De testlocatie in Vianen ligt midden tussen bovengenoemde KNMI-stations. Derhalve is ervoor gekozen om de missende regenvaldata te compenseren met een gemiddelde waarde van de drie nabijgelegen KNMI-stations.



Figuur 4.1: Etmaalneerslag lokale regenmeter vergeleken met drie nabijgelegen KNMI-stations

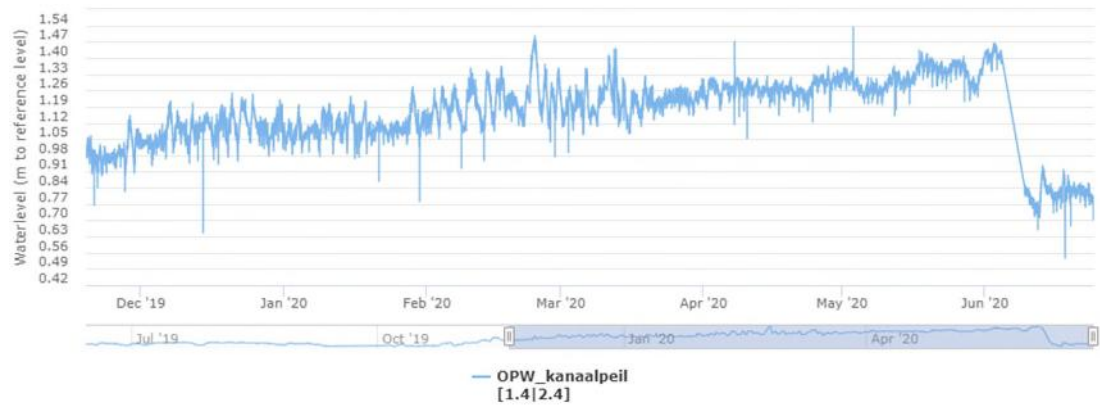
4.4 Kwartaal 3

4.4.1 Neerslag

De neerslagmeter op de meetlocatie heeft tot 14 januari geen regen geregistreerd. Op 14 januari is de regenmeter hersteld. De neerslag die in de periode voor 14 januari gevallen is, is geschat door gebruik te maken van KNMI data; zie ook paragraaf 4.3.1.

4.4.2 Kanaalpeil

Het kanaalpeil loopt gedurende het derde kwartaal gestaag op tot boven NAP +1 m (Figuur 4.2). Het geregistreeerde kanaalpeil vertoont gedurende de winter een trend naar NAP +1,30 m, wat hoger is dan de instellingen van het beheerste peil in het Merwedekanaal. Om die reden is op 9 juni een extra sensor opgehangen. De waarden in de hieronder weergegeven reeks is vanaf die datum afkomstig van deze nieuwe sensor. De eerste sensor is na ontmanteling van de meetlocatie onderzocht op afwijkingen. Daarbij is zichtbare vervuiling van het gehele instrument opgevallen en enige tekenen van corrosie. Dat is ongebruikelijk gezien de materialen waaruit het instrument bestaat. De gestage stijging in de gemeten waterstanden is naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door een gestage verandering van de karakteristiek van de sensor.



Figuur 4.2: Kanaalpeil 2020; de reeks vertoont vanaf eind juni 2020 correcte waarden

4.5 Kwartaal 4

4.5.1 WSM's

Alle WSM's hebben gedurende geheel kwartaal 4 meetgegevens geleverd.

4.5.2 Neerslag

De neerslagmeter op de meetlocatie heeft gedurende geheel kwartaal 4 regen geregistreerd.

4.6 Kwartaal 5

4.6.1 WSM's

De datareeks van de vier Geopoint WSM's in beheer van Wiertsema (..-C-reeksen) zijn in het 5e kwartaal compleet. De datalevering van de Fugro WSM's (reeksen ..-A en ..-B) is bij bijna alle sensoren enkele weken uitgevallen. Datalevering is stilgevallen in de volgende reeksen:

1. **Cluster A:** data tot 25 augustus; sensor A-A2 uitval tussen 29 juli en 11 augustus en vanaf 16 augustus;
2. **Cluster B:** data tot 29 juli en tussen 11 augustus en 13 september;
3. **Cluster C:** data tot 28 augustus;
4. **Cluster D:** data tot 21 juli en tussen 29 juli en 13 september;

Een belangrijke verandering van het meetwerk in de tweede zomer van de metingen is dat vanaf 27 juli 2020 de meetfrequentie van de Fugro WSM's verhoogd van 1x per 10 minuten naar 1x per 2 minuten. Om de interne opslagcapaciteit van de loggers niet te overschrijden en de overdracht van data niet teveel tijd te laten kosten is tevens besloten om de loggers 3x per dag te laten verzenden in plaats van 1x per dag. Het energieverbruik is daardoor aanzienlijk verhoogd en de loggers zijn daardoor na verloop van tijd uitgevallen. Een extra ingelaste batterijvervanging op 11 augustus bleek een aantal weken tot een ruime maand extra data-inwinning mogelijk te maken. De loggers van clusters B en D leverden nog data tot moment van verwijdering.

4.6.2 Neerslag

De neerslagmeter op de meetlocatie heeft gedurende de gehele meetperiode in het vijfde kwartaal regen geregistreerd.

5. Meetresultaten veldtest Vianen

5.1 Resultaten kwartalen 1 t/m 4

Detailbeschrijvingen en voorlopige interpretaties van de meetresultaten in de eerste vier kwartalen is te vinden in de kwartaalrapportages :

- | | | |
|----|--|--------------------------------|
| 5. | 17 juni 2019 tot 16 september 2019 | documentnr.: 1417-0042-141.R02 |
| 6. | 17 september 2019 tot 16 december 2019 | documentnr.: 1417-0042-141.R03 |
| 7. | 17 december 2019 tot 16 maart 2020 | documentnr.: 1417-0042-141.R04 |
| 8. | 17 maart 2020 tot 16 juni 2020 | documentnr.: 1417-0042-141.R05 |

5.2 Oorzaak en timing ontgassing van grondwater

Ontgassing van grondwater is een bekend fenomeen en de belangrijkste mechanismen daarachter zijn bekend. De productiesnelheid van grondwatergassen (CH_4 , CO_2 , NO , N_2 en in mindere mate H_2S) in veen is het gevolg van anaerobe microbiële afbraak en daardoor sterk bepaald door temperatuur. De bodemtemperatuur bereikt haar maximum in de herfst waardoor normaal gesproken de gasbeldruk-gerelateerde fenomenen vooral in de late zomer tot de late herfst worden waargenomen.

In de eerdere kwartaalrapportages is gewezen op een sterke samenhang tussen zeer lage luchtdruk (passage van depressies) en versterkingen in 'drukvariaties gerelateerd aan gasbeldruk'. Dat is perfect in overeenstemming met de gaswetten en bekend gedrag van veenbonken (Van Diest & Hogervorst, 2015).

In de eerste kwartaalrapportages is duidelijk zichtbaar dat bij zeer lage luchtdruk abrupte versterkingen ontstaan van amplitude en kortere intervallen type 1, 2 en 3 en dat ze op die momenten ook in elkaar overgaan.

In de winter van 2019 - 2020 bleek vooral type 3-gasdruk maandenlang te blijven bestaan. De meest extreme type 1 en 2 druk bleven wel beperkt tot de zomerse bodemtemperatuurpiek in augustus en september.

5.3 Meetresultaten kwartaal 5

Het vijfde deel van de meetperiode omvatte de tweede zomer waardoor het eventuele effect van de fysieke verstoring van de bodem door plaatsing van de instrumenten minder groot is. In de praktijk worden waterspanningsmeters lang niet altijd zo lang gebruikt dus de meerwaarde van de tweede zomer is mogelijk vooral van belang voor de latere bestudering van onderliggende processen.

In periode 5 is de meetfrequentie verhoogd van 6 per uur naar 30 per uur. Om het drukverloop van een proces dat misschien enkele tientallen seconden duurt volledig te kunnen volgen is een meetinterval van enkele seconden tot enkele tientallen seconden

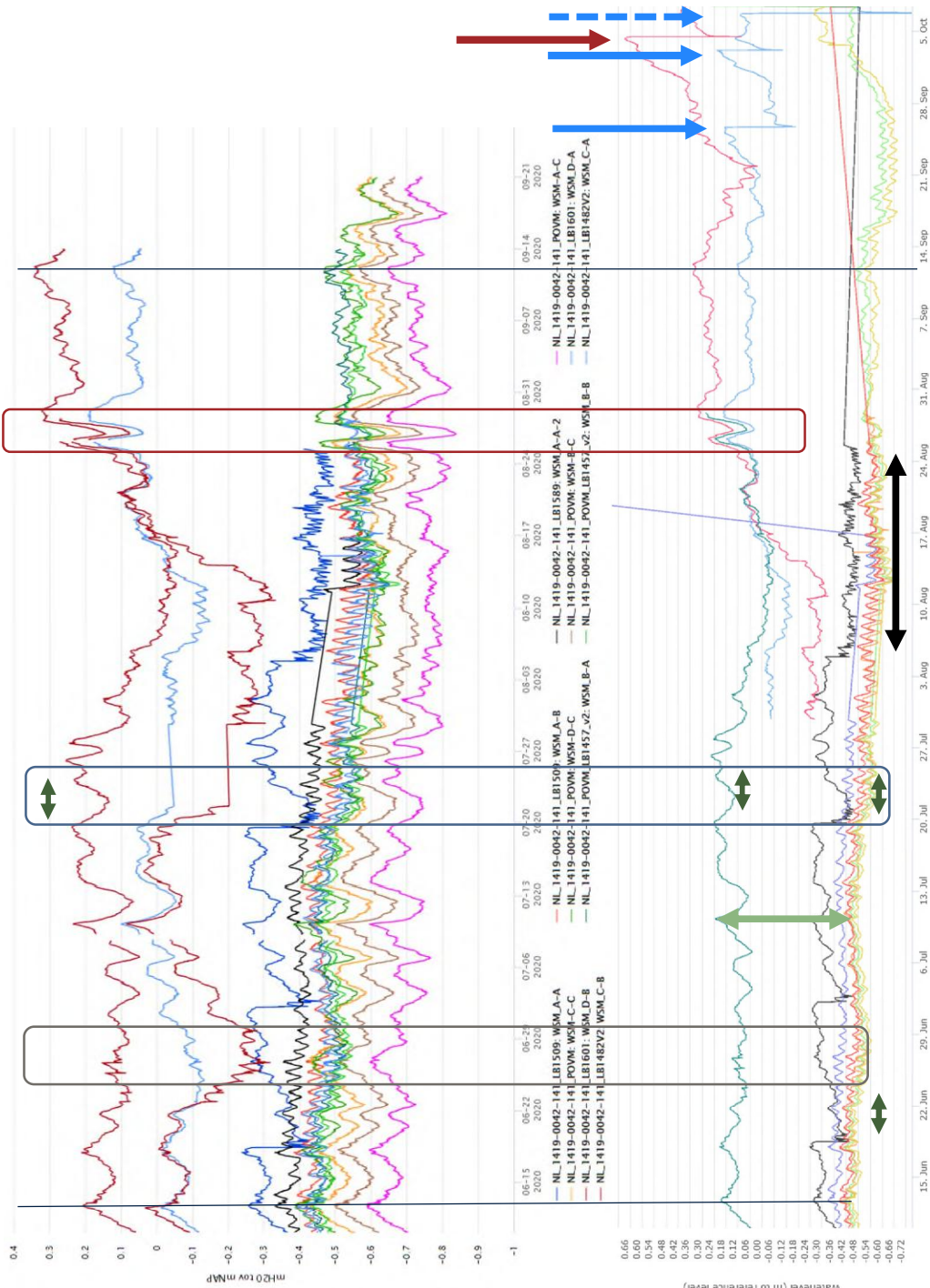
nodig. Door gebruik te maken van intervallen van 10 minuten of 2 minuten is sprake van een aardige indicatie van de drukontwikkeling, maar geen compleet beeld.

5.3.1 Alle sensoren algemeen

In deze periode stijgt de bodemtemperatuur en bereikt uiteindelijk eind september de maximale waarde voor 2020. In Figuur 5.1 zijn de waterspanningen van alle waterspanningsmeters samen weergegeven. De figuur bestaat uit twee weergaven die zijn uitgelijnd op de tijd-as. Het grootste deel van de data is beschikbaar in een nieuwe online omgeving (bovenste deel van de figuur) die goed overweg kan met de grote hoeveelheid data, maar een deel van de data – van september 2020 – is alleen beschikbaar in de oude online omgeving (onderste deel van de figuur). De grafieken zijn gezamenlijk gepresenteerd, omdat de gebeurtenissen in september zodanig opvallen dat ze van belang zijn voor de analyse. In de volgende paragrafen worden de reeksen per cluster gepresenteerd.

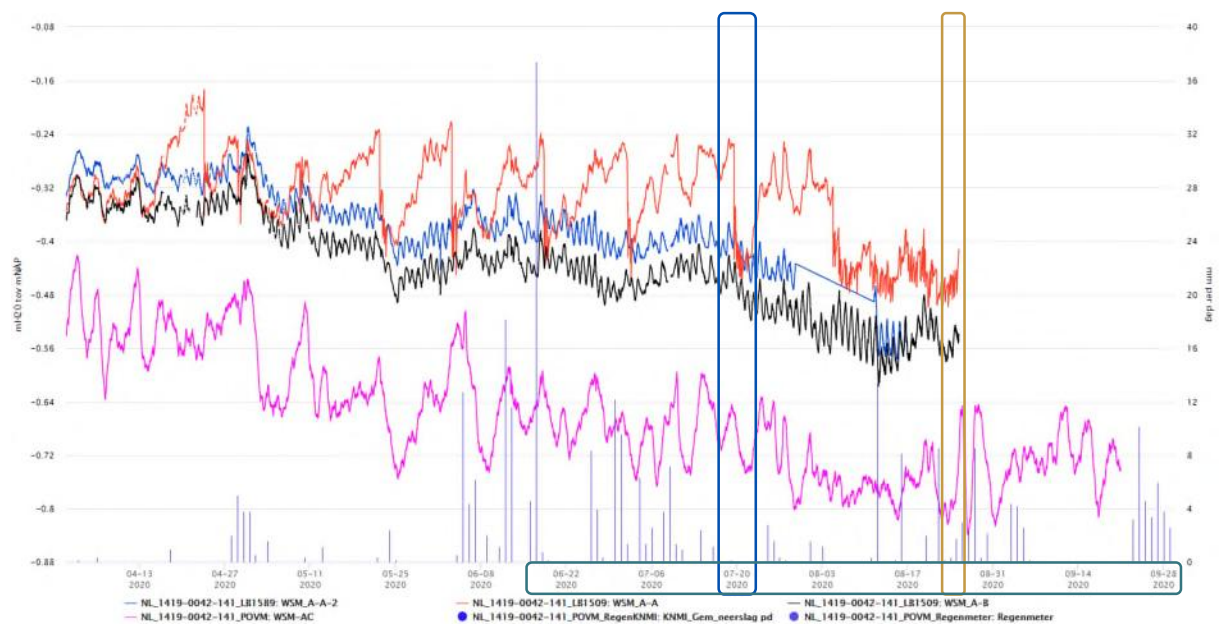
Op het eerste gezicht is -net zoals in eerdere kwartalen- duidelijk sprake van een tweedeling in de reeksen. De vier vrijwel parallel lopende reeksen aan de onderzijde van de bovenste grafiek zijn reeksen afkomstig van Geopoints. Daarboven (hogere druk) vallen de Fugro reeksen op vanwege het veel grilliger verloop. In september zijn de gasbeldrukken in reeksen D-A en vooral D-B tamelijk spectaculair (zie de markeringen met dikke pijlen). Daags voor ontmanteling is een laatste vacuüm behandeling uitgevoerd op D-A, wat kan worden herkend aan de diepe daling van de gemeten druk.

De opvallende gebeurtenissen worden in volgende paragrafen per cluster beschreven, waarbij de waterspanning uitgezet is tegen de neerslag, temperatuur en het kanaal- en slootpeil. Cluster A in combinatie met neerslag, Clusters B tot en met D met luchtdruk op de tweede verticale as.



Figuur 5.1: Overzicht meetreeksen zoals gepresenteerd in Gaia.Monitoring (boven) en Gaia.Insight (onder); grafieken zijn uitgelijnd op tijd

5.3.2 Cluster A



Figuur 5.2: Cluster A – druk en neerslag april – september 2020. Meetperiode 5 is gemarkeerd met kader in tijdas

De druk in alle reeksen is gestaag gedaald gedurende de 4^e en 5^e meetperiode, en de neerslag is niet voldoende geweest om deze trend te beïnvloeden. Opvallend zijn :

1. de relatief hoge druk in Fugro WSM's (A-A, A-A-2 en A-B) vergeleken met WSM-AC;
2. de herhalingen van het patroon "wekenlang oplopende druk en abrupte daling" in A-A;
3. etmaalvariatie in reeksen A-A2 en A-B;
4. de relatief sterke samenhang tussen de reeksen A-A en A-C (veel minder sterk tussen de andere Fugro WSMS en A-C).

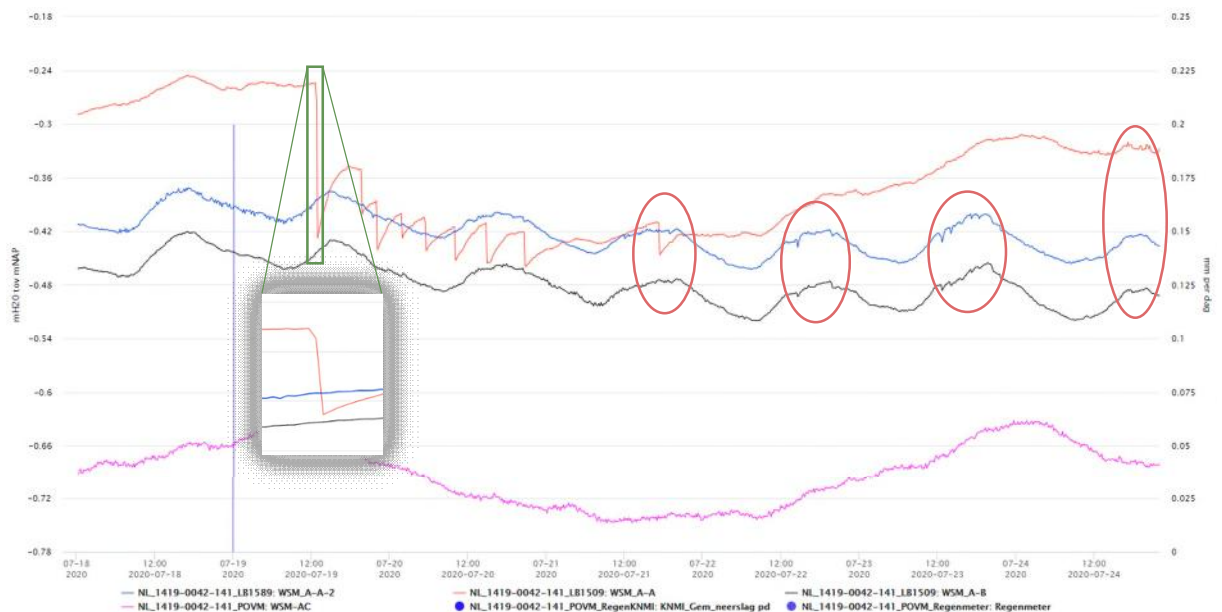
Hieronder worden ze apart besproken in 4 paragrafen.

5.3.2.1 Hoge druk in Fugro WSM's

De hoge druk in Fugro WSM's is geheel in lijn met de resultaten in de eerdere meetperioden. Het verschil tussen de druk gemeten door Fugro WSM's en Geopoints is structureel 2 kPa, en dat loopt bij A-A op tot ruim 3 kPa in de zomer.

5.3.2.2 Patroon gestage druktoename gevolgd door abrupte daling

WSM_A-A toont met dit 2 kPa-patroon het beeld dat schijnbaar normaal is voor deze reeks sinds januari 2020. In de onderstaande figuren wordt in twee stappen ingezoomd op de periode rond 20 juli. Neerslag was er bijna niet in deze periode.



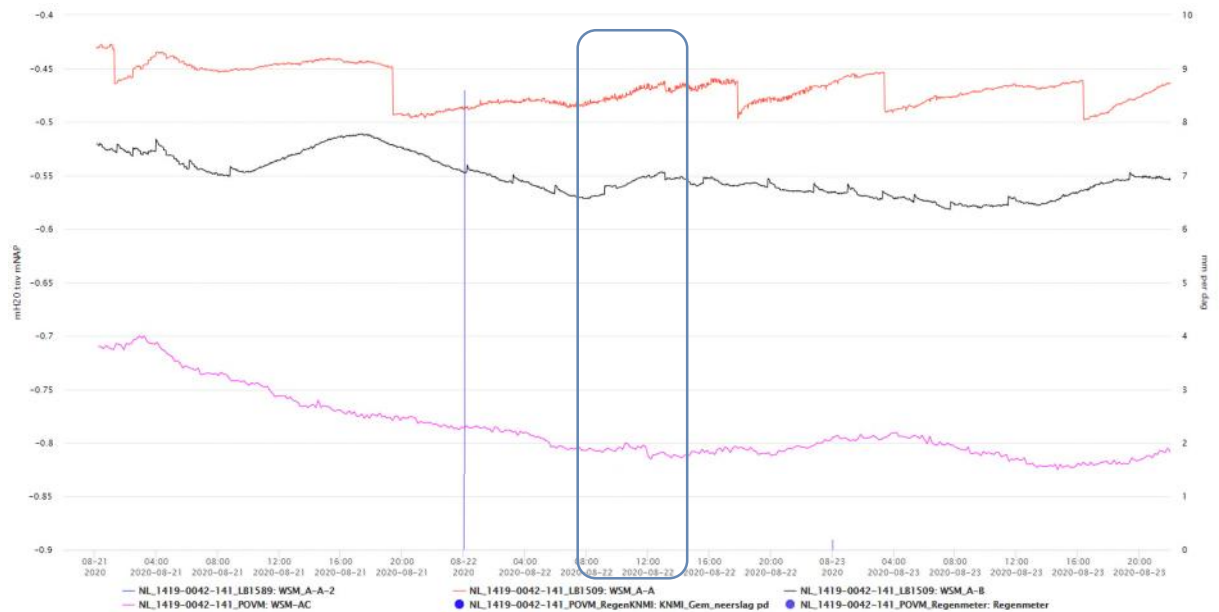
Figuur 5.3: Gebeurtenis reeks A-A op 19 juli 2020, met in detail de 10-minutendata van A-A, A-A2 en A-B.

Na een twee weken lange periode van stijgende druk vertoont A-A een duidelijke abrupte daling van bijna 2 kPa op 19 juli. De daling duurt lang genoeg voor meerdere datapunten bij meetinterval van 2 minuten (zie knik in de detail in figuur 5.3). De 2 kPa drukdaling heeft minimaal 2 tot maximaal 6 minuten nodig gehad. Dit duidt op een relatief trage gebeurtenis (langer dan enkele seconden).

De neerslag van 0,2 mm die voorafging aan de gebeurtenis heeft geen invloed gehad; zie de langere meetreeksen.

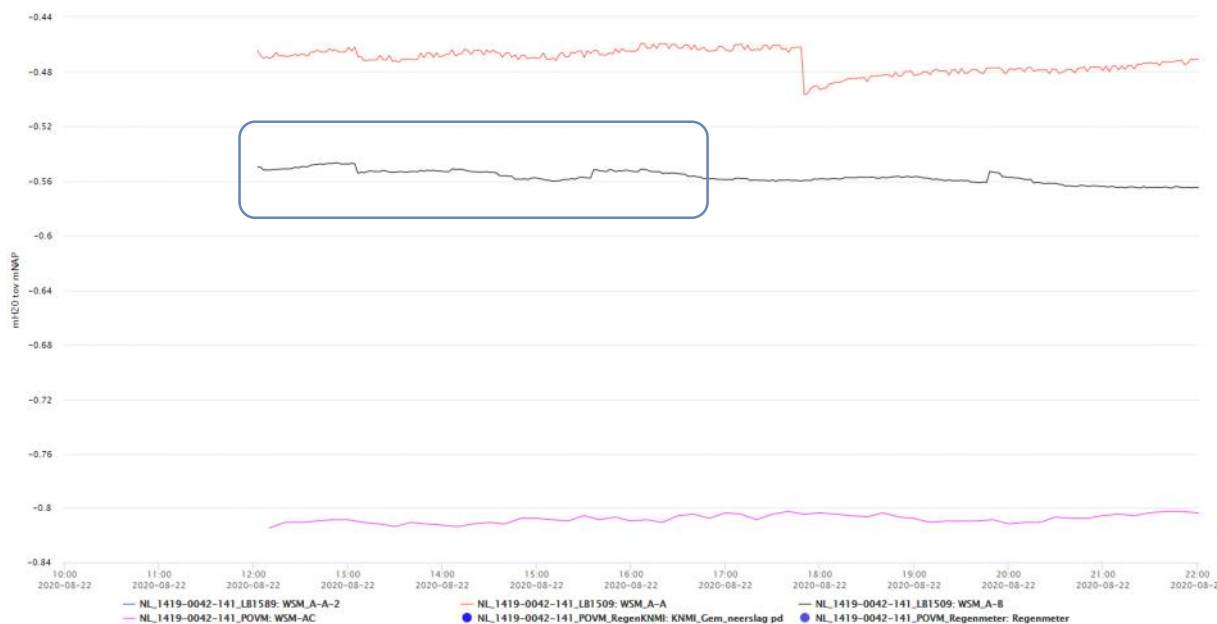
5.3.2.3 Drukvariabiliteit in de namiddag

De nervositeit in reeks A-A2 die voorafging aan de daling van A-A valt op. Reeks A-A2 is in meerdere opzichten interessant in deze week in de middaguren omdat hierin duidelijk kleine, abrupte drukdalingen (zie markering door ellipsen) zijn vastgelegd die in mindere mate ook in A-B zitten maar niet in A-C. Vooral in de middagen van 22 en 23 juli doet zich dat voor. Deze specifiek voor de middaguren vastgestelde situatie deed zich ook voor in reeks C-B in de zomer van 2019. Zie hiervoor in meer detail de figuren van C-B in §5.3.5.



Figuur 5.4: Cluster A, periode 21-23 augustus 2020 – verandering reeks A-B

In de reeks van A-B gebeurt normaal gesproken niet veel bijzonders, maar in deze periode is sprake van een opvallende reeks abrupte stijgingen van ongeveer 0,1 kPa. Figuur 5.5 is hiervan een detailweergave. Dat is in normale reeksen een acceptabele ruis, maar op 22 augustus volgt ineens één drukdaling om vervolgens weer door te gaan met gebruikelijk periodieke stijgingen. Vooral nog lijkt het erop alsof hier in de buurt periodiek gas omhoog borrelt, maar er is vlak daarvoor ook een 'ontsnapping' gedetecteerd, te zien aan de drukdaling in de zwarte reeks. Hier moet misschien niet teveel achter gezocht worden want een gestage reeks 'bel-aankomsten' kan natuurlijk een keer worden afgewisseld door een bel-afvoer. Dat hoeft niet langs hetzelfde bellenpad te zijn gebeurd. Met een enkele WSM kan door toevallige positie in zijn omgeving signalen uit verschillende richtingen niet onderscheiden. Dat is voor herkenning van het proces ook niet nodig. Mogelijk is het toevallig ook gerelateerd aan de nervositeit van 0,1 kPa die in reeks A-A zichtbaar is op deze dagen.



Figuur 5.5: WSM_A-B, detail abrupte drukdaling tussen stijgingen op 22 augustus 2020

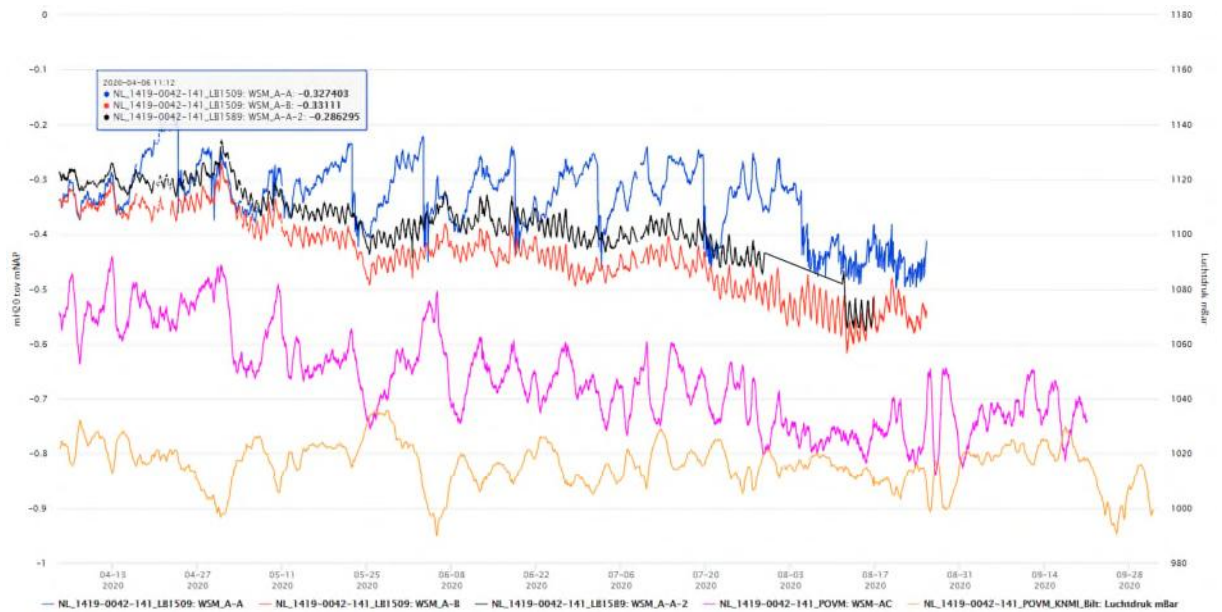
5.3.2.4 Etmaalvariatie in reeksen A-A2 en A-B

De reeksen vertonen etmaalvariatie van ongeveer 0,2 kPa, met het maximum stelselmatig tussen 12 en 18 uur 's middags. Dit is in figuur 5.1 duidelijk zichtbaar. Het is in 1^e kwartaalrapportage (Fugro, 2020a) eerder beschreven. De oorzaak hiervan kan heel goed liggen in temperatuurgevoeligheid van meetapparatuur/batterijspanning, maar dit is niet verder getest. De overzichten van alle data per cluster in het eindrapport (POV Macrostabieleit, 2020) laten duidelijk zien dat de etmaalvariatie in de Fugro reeksen in de zomer groter is dan in de wintermanden. Normaal gesproken is deze variatie niet problematisch, al valt het nu wel erg op.

Reeksen A-A2 en B lijken verder onverstoord door de luchtdruk en volgen een gestaag dalende trend.

5.3.2.5 Samenhang A-A en A-C

De samenhang tussen de sterk variabele reeks A-A (Fugro WSM met gasfilter) en de niet door gasdruk verstoorde reeks A-C (Geopoint) is opmerkelijk. Beide instrumenten lijken in de eerste weken van augustus na maanden ineens minder onder dezelfde invloed te staan. Het gaat hier – zoals in eerdere kwartaalrapportages al beschreven is – om de invloed van luchtdruk. De druk in sensor A-A neemt niet meer zo sterk toe en blijft dichterbij de druk die geregistreerd wordt in A-A2 en A-B, al is de etmaalvariatie minder helder aanwezig.



Figuur 5.6: Cluster A met luchtdruk op tweede verticale as

5.3.2.6 Negatieve correlatie luchtdruk en WSM_A-C

In figuur 5.6 is de tweede verticale as zo aangepast dat de luchtdrukreeks dicht onder reeks A-C ligt. Hieruit blijkt een negatief verband tussen luchtdruk en WSM druk. Het streven van meetbedrijven is om vloeistofdruk volledig te ontdoen van luchtdruk, en dat is over het algemeen 1 op 1 verrekenbaar. Nu er duidelijk sprake is van negatieve correlatie tussen luchtdruk en met luchtdruk gecompenseerde WSM-druk, is er sprake van barometrische inefficiency. De meting van druk in WSM's – zoals de gepresenteerde meetreeks van WSM_A-C in figuur 5.6 – komt tot stand door de absolute druk in de WSM (de sensor meet de absolute druk) te verminderen met de absolute luchtdruk op dat tijdstip. De normale luchtdruk 1013 hPa komt overeen met ongeveer 10 meter waterkolom.. Een voor de hand liggende fout is 'het dubbel aftrekken van de luchtdruk van bruto druk'. In dat geval zou het meetresultaat van reeks A-C structureel op NAP -10,5 m liggen en dat is niet het geval. Door het meerdere keren zorgvuldig nalopen van de hele meetketen is nu uitgesloten dat het negatieve verband is veroorzaakt door meet- of verrekenfouten in de dataverwerking.

Daarmee is nog niet verklaard waarom reeks A-C een zeer sterk negatief verband vertoont met de fluctuaties van luchtdruk rondom de normaaldruk. Als de luchtdruk met 20 mbar toeneemt, daalt de druk in A-C met bijna hetzelfde niveau. Dat betekent dat de veranderingen in reeks A-C voor bijna 100% worden verklaard door luchtdruk. Opvallend is verder dat deze en ook de andere GeopointWSM's verder nauwelijks drukveranderingen registreren.

Ook reeksen A-A, en in mindere mate A-A2 en A-B laten iets zien van het negatieve verband met luchtdruk; zij het lang niet zo sterk als A-C. Dat geldt ook voor de C-sensoren (Geopoints) in de andere clusters (zie latere hoofdstukken voor de figuren). Hier is sprake van een 'instrument-specifiek-effect'. **Alle Geopoint WSM's vertonen in dit project een bijna**

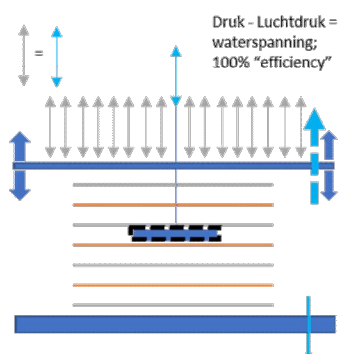
100% barometrische in-efficiency. Dit betreft een slecht omschreven hydrologisch fenomeen.

5.3.3 Barometrische inefficiency

Barometrische efficiency is relevant voor deze studie, omdat er een relatie lijkt te bestaan met het optreden van gasbeldruk gerelateerde expressie van druk, en de instrumenten die voor deze metingen gebruikt worden.

In onderstaande figuur is de relatie tussen WSM-druk en luchtdruk schematisch weergegeven voor een situatie waarin een slecht waterdoorlatende laag door een bovenbelasting onder druk wordt gezet.

Waterspanningsmeter met **stijf open grondfilter**.
Uitdrijving van grondwater en consolidatie van slappe lagen.



Barometrische efficiency is 100% als de luchtdruk instantaan en voor 100% wordt waargenomen in de waterspanningsmeter. Deze registreert druk in een watervolume dat is afgeschermd van de vaste stof matrix door een poreus stijf grondfilter.

Luchtdruk, met alle variatie, leidt tot toename van de druk op de bovengrond. Die druk doet zich **in principe alzijdig** over de gehele grondkolom voor, en dus ook op het ondiepe grondwater waardoor **geen grondwaterstroming of consolidatie** optreedt.

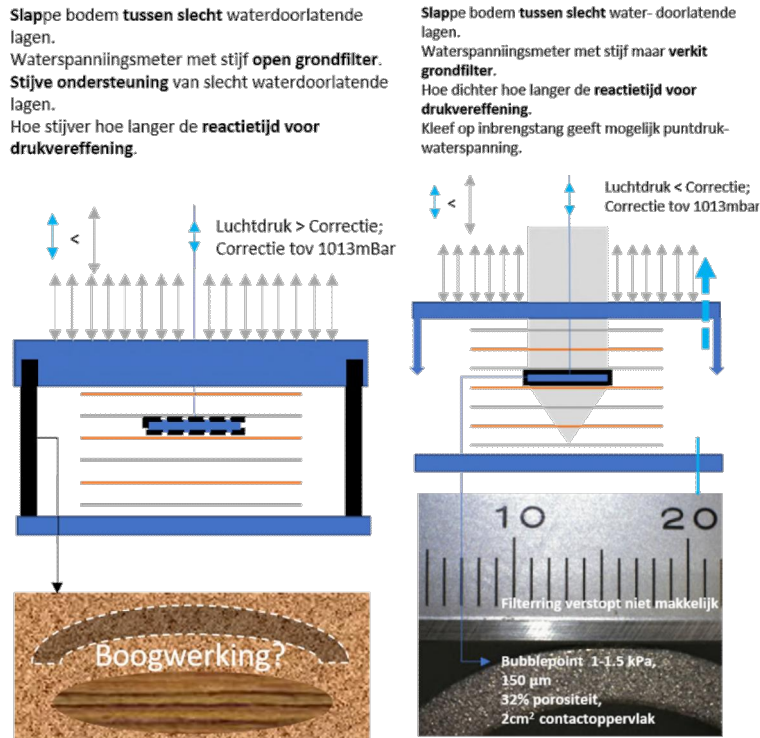
Een **massatoename** leidt tot drukverhoging in de waterfase als de korrelspanning de last niet kan dragen. Daarbij wordt **water uitgeperst** naar domeinen waar de potentiaal in de waterfase lager is, en dat gaat het snelst in de richting waar de weerstand het laagst is, in ondiepe bodems vaak omhoog. Dat stopt pas als de matrix zover is samengedrukt dat de korrelspanning de last wel kan dragen.

Dit kost tijd, veel tijd als het potentiaalverschil beperkt en de weerstand hoog zijn.

Figuur 5.7: Schematische weergave relatie tussen luchtdruk en WSM-druk

Gezien bovenstaande lijkt er in de reeks A-C (en in mindere mate ook in de Fugro WSMs) sprake te zijn van een uitzondering op de regel dat de luchtdruk instantaan alzijdig over de gehele grondkolom optreedt. Het lijkt erop alsof 'een andere kracht de luchtdruk opneemt'. Niet alle luchtdruk, maar wel de variaties die samenhangen met het weer. Wekenlange perioden die samenhangen met passeren van hoge en lage luchtdruk lijken niet te verdwijnen, maar hoe kan de langdurig gemiddelde luchtdruk van 1013 mbar dan te zijn vereffend?

De onderstaande figuren beschrijven schematisch en in tekstkader de hypothese dat sprake is van een "voor luchtdruk verminderd toegankelijk en stijf bodemvolume".



De perfecte afsluiting van het meetdomein kan het gevolg zijn van een extreem slecht waterdoorlatende laag, die voldoende stijf is om de daarbinnen/daaronder gelegen ruimte te vrijwaren van samendrukking.. Dat moet zodanig sterk zijn dat vele dagen lang een drukverschil van 2 kPa perfect in stand wordt gehouden.

In de figuren hiernaast staan boogwerking in een extreem slecht doorlatend bodemvolume (links) en een volledig verkit grondfilter (rechts) aangegeven als mechanisme/constructie.

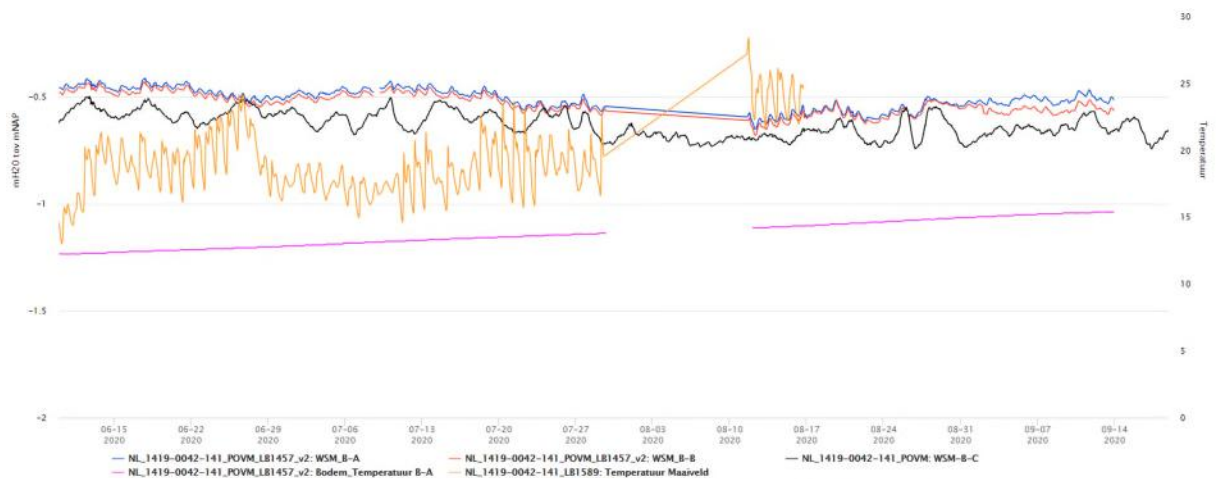
NB1 Het gasfilter in A-A kan makkelijk een dergelijke gasdruk dragen (atmosferische druk dringt niet door tot de sensorkamer).

NB2, Het zou vreemd zijn als het gasfilter (materiaal, vorm, porositeit, positie) geen invloed heeft op de instrument-specifieke meetresultaten. In figuur 5.9 van Cluster B is het verschil tussen Fugro- en Geopoint-instrumenten extra opvallend omdat alle reeksen vrijwel onverstoord lijken te zijn. De hypothese van in meer of mindere mate verstopt filter is sterk omdat alle reeksen in B verder geen noemenswaardige variabiliteit laten zien.

Figuur 5.8: Hypothesen verklaring barometrische inefficiency

Binnen dit project is vanaf het begin tot het eind sprake van dezelfde mate van barometrische inefficiency, de negatieve relatie tussen luchtdrukvariatie rondom 1013 mbar en de C-reeksen is vanaf de eerste kwartaalrapportage herkend als een vast gegeven. De barometrische inefficiency wordt bij de volgende clusters af en toe benadrukt zoals Cluster C in de eerste weken van augustus 2020.

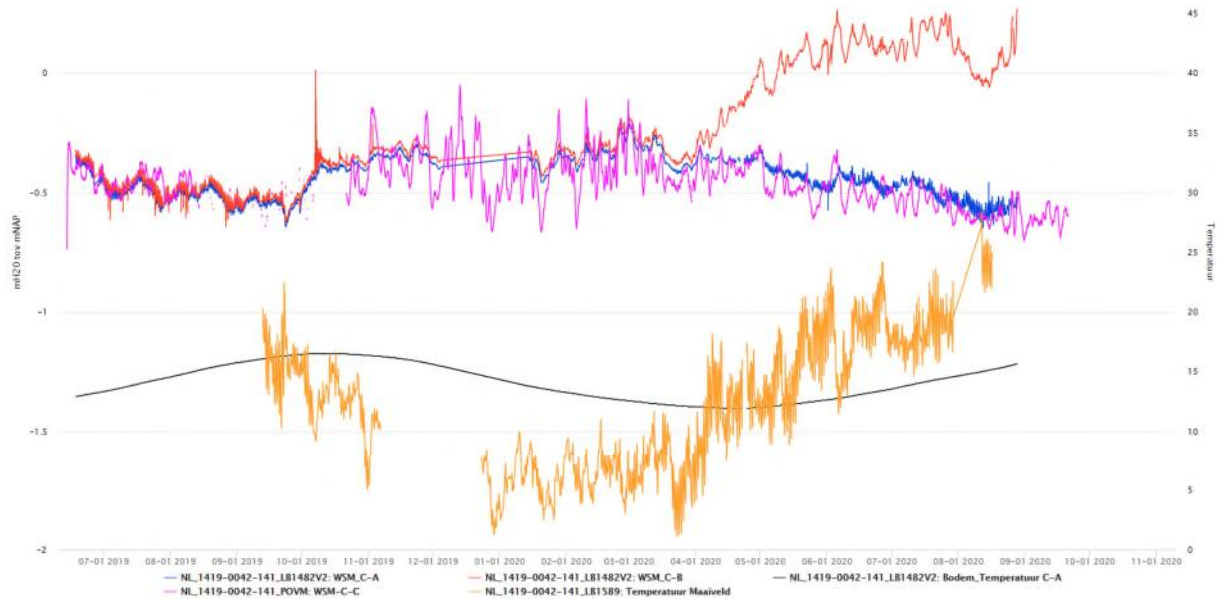
5.3.4 Cluster B



Figuur 5.9: WSM-data cluster B met bodem- en maaiveldtemperatuur, periode 5 t/m demobilisatie

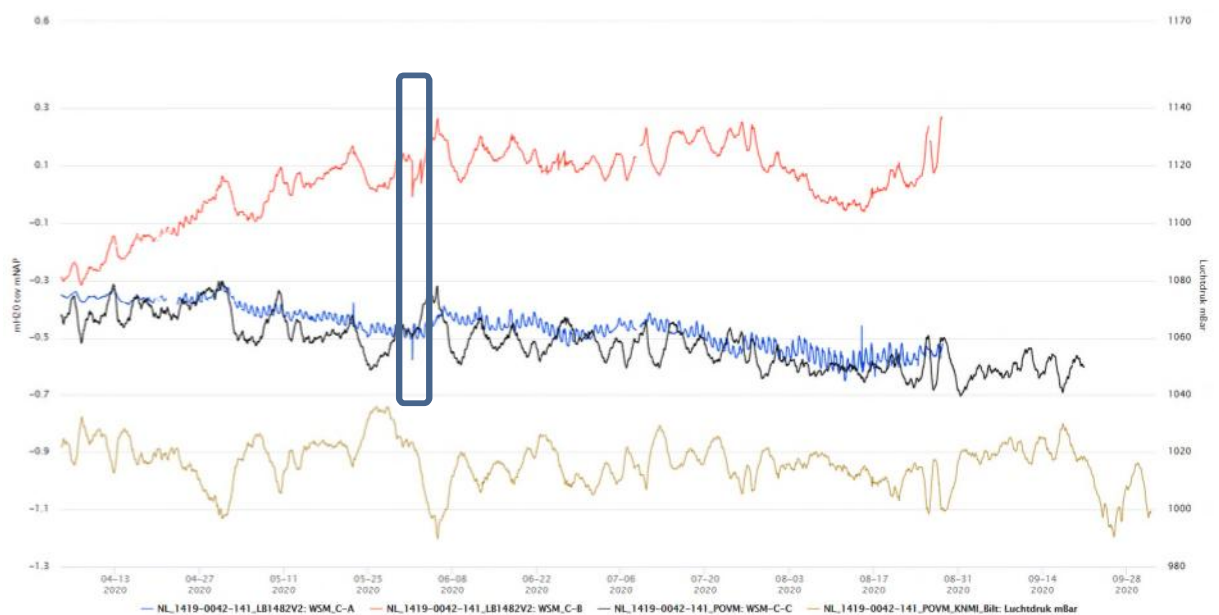
Cluster B valt op door vrijwel gelijkvormige reeksen in de Fugro WSM's en de afwezigheid van gasbeldruk verstoringen die we in andere clusters wel zien. Wel is er sprake van een systematisch verschil in druk tussen Fugro WSM's (hoger) en Geopoint WSM's, en vertonen alle instrumenten hun karakteristieke uitingsvormen van barometrische inefficiëncy.

Het opvallende verschil tussen Geopoint en Fugro sensoren in cluster B zou kunnen liggen aan de de vorm van instrument en/of filterontwerp, materiaalgebruik of plaatsingsmethode. Hoe en welk aspect dat bepaalt en of dat onder alle omstandigheden zichtbaar is kan op dit moment op basis van deze metingen niet worden vastgesteld. De nauwkeurigheid van de instrumenten zelf staat afgezien van de etmaalvariatie van de Fugro sensoren niet ter discussie, omdat alle variaties systematisch lijken en onder invloed lijken te staan van bekende krachten, in dit geval luchtdruk. Cluster C



Figuur 5.10: Cluster C gedurende het gehele project.

Binnen cluster C valt vooral sensor C-B op.



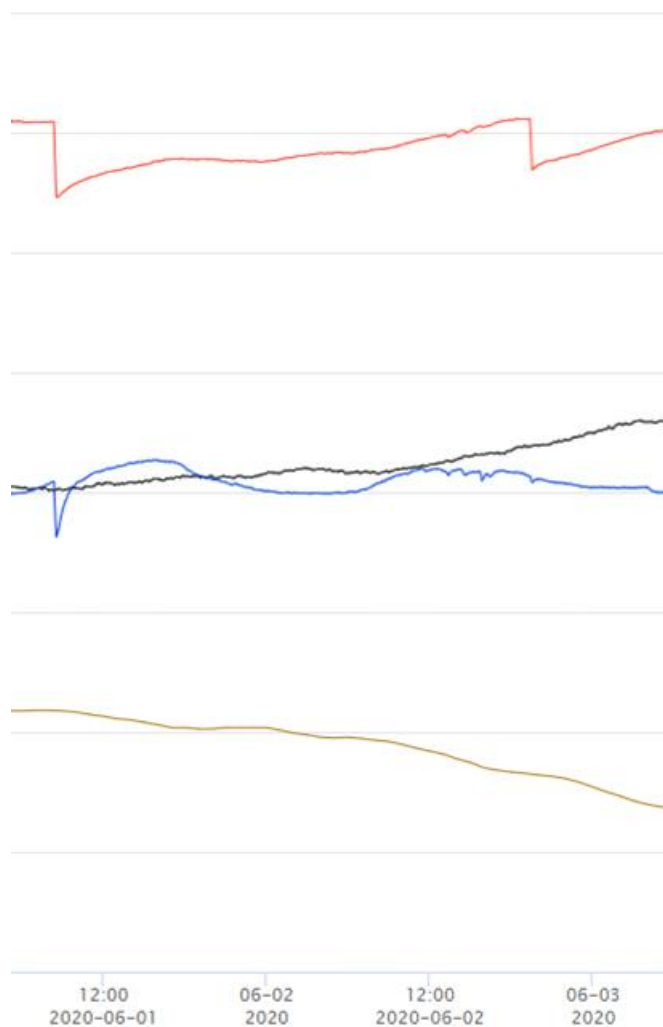
Figuur 5.11: Data cluster C, de laatste 6 maanden. Het kader markeert een gebeurtenis op 2 juli 2020

In deze reeks is duidelijk zichtbaar dat de B-reeks (Fugro zonder gasfilter) een druktoename laat zien die oploopt tot een ordegrrootte van ruim 7 kPa.

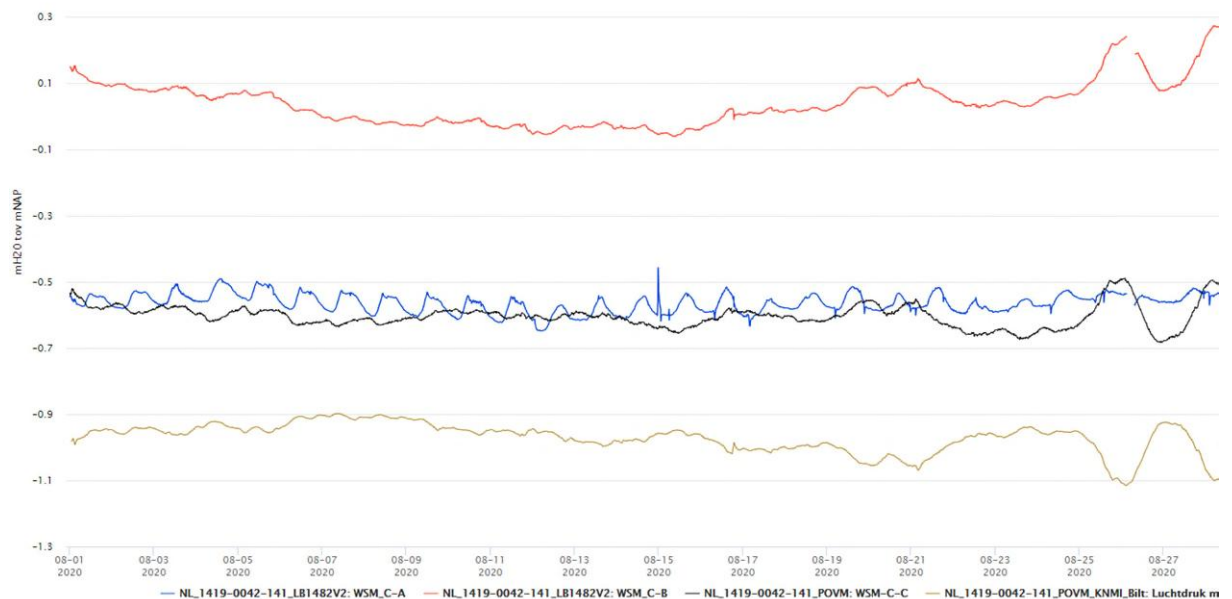
De samenhang tussen deze door gasdruk verhoogde reeks B en de schijnbaar niet door gasdruk verhoogde reeks C is opvallend. Waarom hebben beide een vrijwel gelijke barometrische inefficiëncy?

De reeksen vertonen op 2 juni een interessante gelijktijdige registratie van druk (Figuur 5.12), waarna beide schijnbaar onverstoord hun eigen karakteristiek weer vervolgen, reeks B een

type 1 gasdruk opbouw met ene periode van ongeveer 30 uur, reeks A de voor die reeks normale etmaalvariatie. Deze etmaalvariatie neemt gestaag toe in amplitude van nihil tot bijna 1 kPa, tussen april en september 2020.



Figuur 5.12: Detailreeksen cluster C op 2 juni 2020

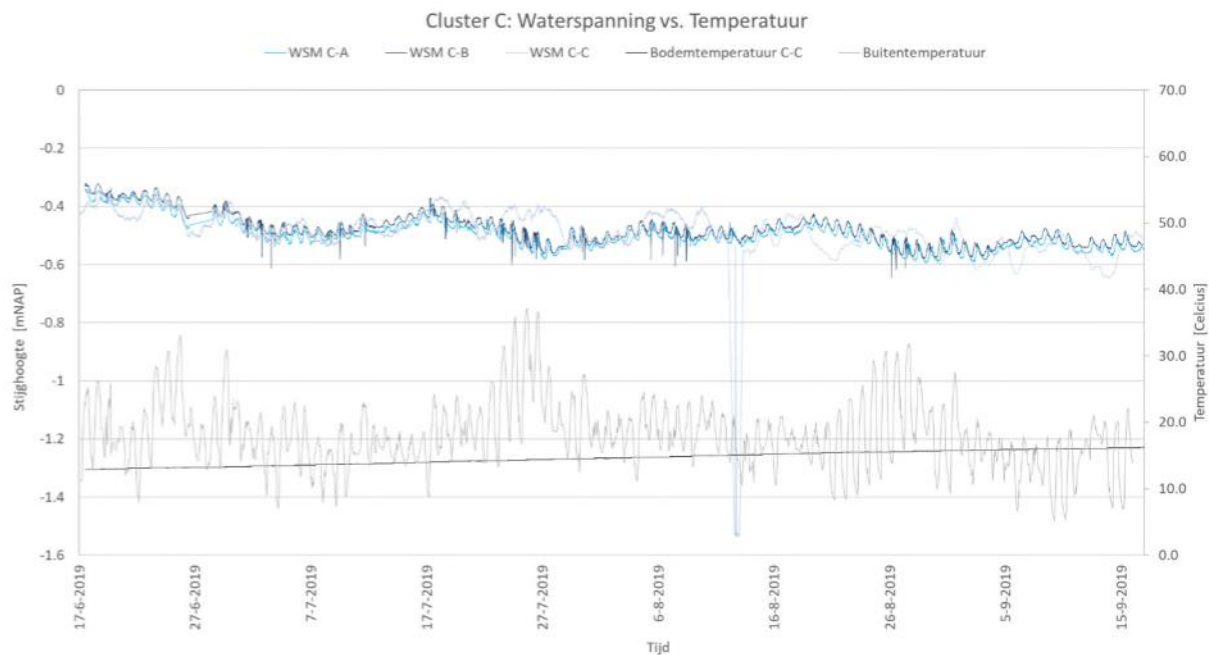


Figuur 5.13: Cluster C halverwege augustus 2020.

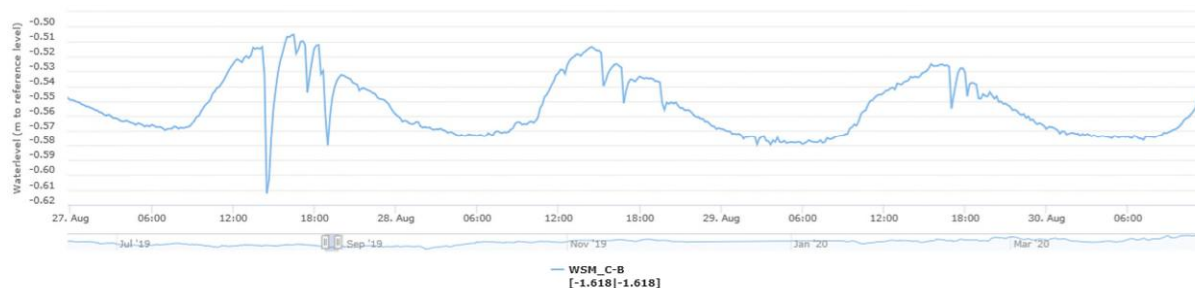
De simultane gebeurtenis was eenmalig, gezien de tweede periode waarin verstoringen voorkwamen in reeks C-A. De reeksen in figuur 5.13 wijzen erop dat het proces van gasbeltransport zo lokaal is dat verstoringen onafhankelijk van elkaar kunnen voorkomen.

De samenhang tussen druk in reeksen B en C, beide negatief gecorreleerd met luchtdruk is zeer opvallend. De wat hogere luchtdruk periode van begin augustus zie je negatief terug in WSM C maar vooral C-B. dat wijst erop dat de barometrische in-efficiency vereffeningstijd vele weken bedraagt.

Reeks C-A vertoont een opvallende etmaalvariatie en daarbij in de eerste weken van augustus iedere middag wat nervositeit. In de twee laatste weken (15 augustus, figuur 5.13) ontstaat er een type 1- en daarna wat discrete type 2-gasbeldrukfenomenen, maar nauwelijks meer 'nervositeit in de middag'. Deze 'nervositeit in de middag' is in de zomer van 2019 nog veel duidelijker geweest zoals weergegeven in de figuur hieronder (figuur overgenomen uit 1^e kwartaalrapportage (Fugro, 2020a)). Onduidelijk, maar toch het noemen waard, is in figuur 5.13 ook zichtbaar dat type 2-pieken samenvallen met de relatief sterke luchtdrukdalingen op 25 en 26 augustus 2019.



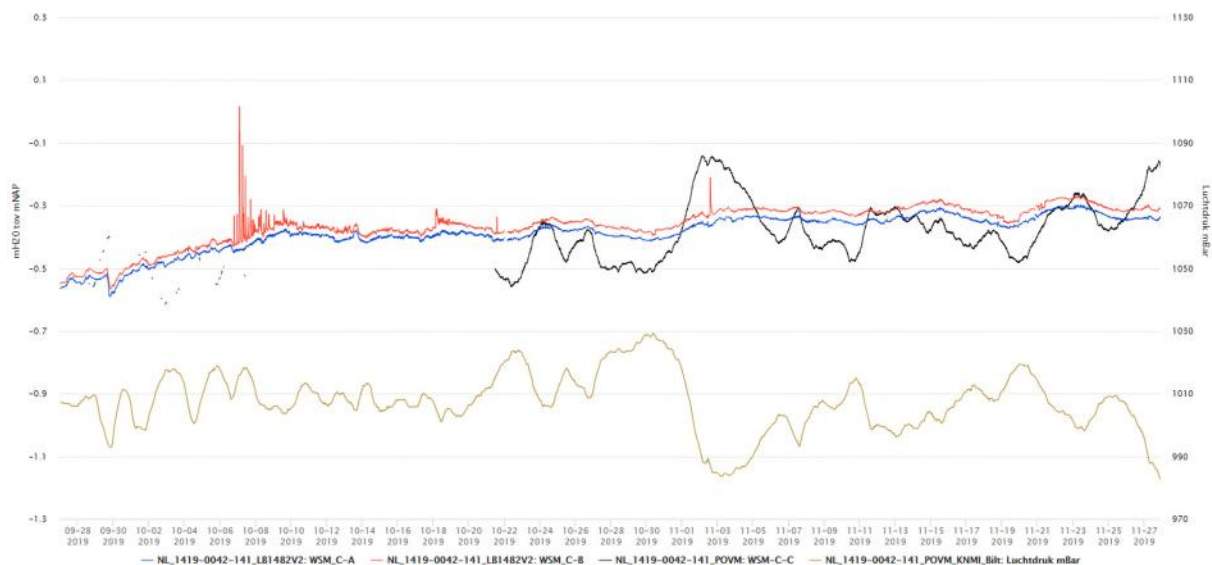
Figuur 5.14: Cluster C, juli – augustus 2019, temperatuur op 2^e verticale as



Figuur 5.15: Detail uit figuur 5.14 met alleen data van sensor C-B.

De reeks van sensor C-B (donkerblauw in overzichtsfiguur) vertoont in deze periode een aantal belangrijke kenmerken:

- Type 1-gasbeldruk, maar dan een variant die alleen optreedt in het middaguur, zonder dat er een type 3-drukstijging aan voorafgaat;
- De daling volgt niet op een gestage langdurige druktoename, maar bereikt toch een waarde van 1 kPa. Let op, in dit geval is de maximaal bereikte diepte van de pieken niet vastgelegd (doordat de meetfrequentie daarvoor te laag is geweest).



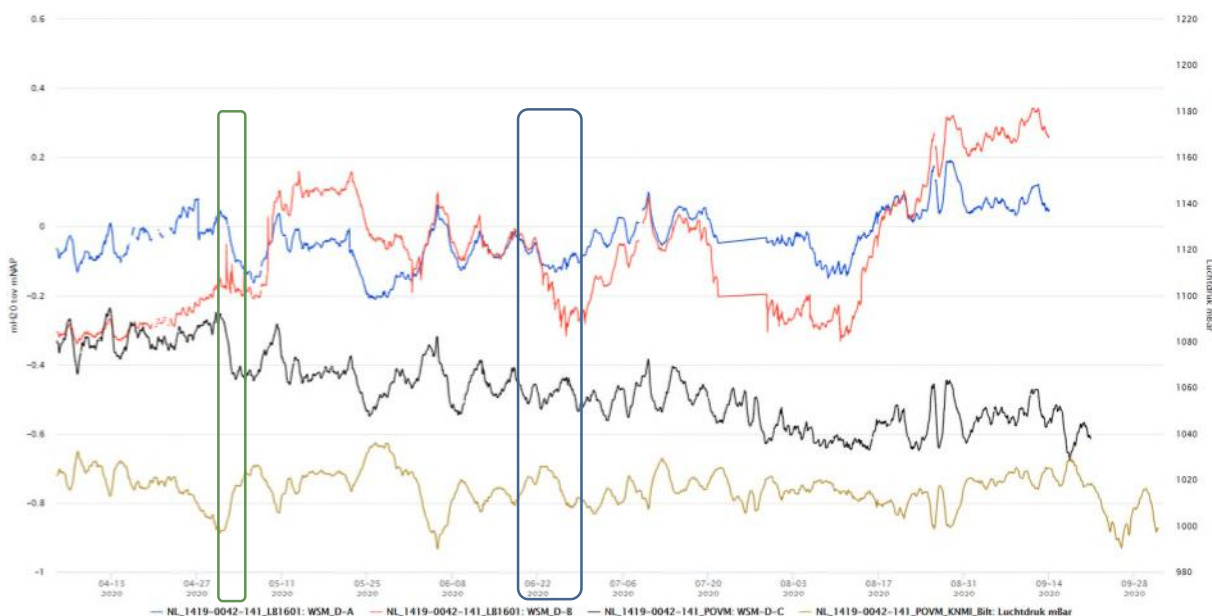
Figuur 5.16: Cluster C, oktober – november 2019

Merk op dat de opvallende reeks type 2 gasbeldruk niet lijkt samen te hangen met luchtdruk. Dat geldt wel voor de eenmalige piek op 9 november 2019.

De type 2-gasbeldruk in oktober vallen samen met de week met de hoogste bodemtemperatuur (zie overzichtsfiguur cluster C). De enkele piek type 2 valt samen met de diepste luchtdruk in die periode.

5.3.5 Cluster D

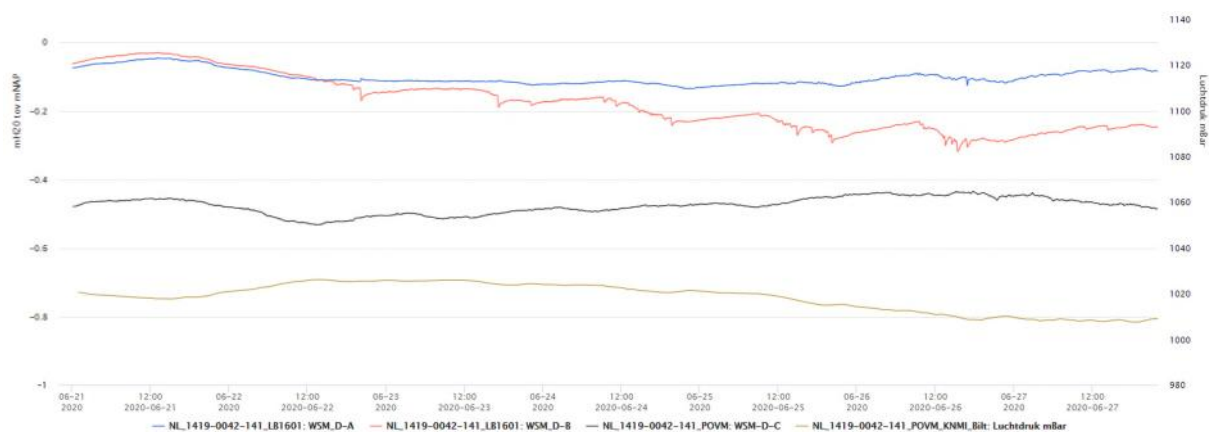
5.3.5.1 Type 3-druktoename in Fugro WSM zonder gasfilter



Figuur 5.17: Data cluster C, 6 maanden tot demobilisatie

Cluster D toont een voortzetting van afwijkend gedrag dat reeds in het vierde kwartaalrapport (Fugro, 2020b) beschreven is. Reeks D-B begon toe te nemen in april bij een

periode waarin een 1000 mbar lagedrukgebied passeerde en een klein beetje neerslag viel (groene kader in figuur 5.17). Daarna is in de hoge-luchtdrukperiode van eind april een reeks drukstijgingen geregistreerd, waarna de hoge druk in reeks D-A wordt geëvenaard. De reeksen A en B vertonen een opmerkelijk gelijke samenloop van druk in de eerste weken van juni. Dat suggereert dat hier geen sprake is van toeval maar dat de druk die wordt gemeten daadwerkelijk in dat bodemvolume heerst. De wandeling van druk die gedurende de zomer door D-B rondom D-A wordt doorlopen omvat een drukbereik van 7 kPa. Die 7 kPa wordt geheel opgebouwd in een periode van enkele weken in augustus. In figuur 5.18 is ingezoomd op de periode die met een blauw kader is gemarkeerd in figuur 5.17. De dalende periode volgt op de opvallend gelijke druk gemeten begin juni. De reeks van D-B vertoont een golvend dalend patroon dat het gevolg lijkt te zijn van ontsnappende gasbellen te zien aan de kleine abrupte dalingen. De eerste daling is identiek aan een minimale stijging in de reeks van D-A.



Figuur 5.18: Data cluster D, 21-27 juni 2020; neerslag op de tweede verticale as

Ook hier lijkt verder niks mis met de instrumenten, anders dan de grote afwijking van de druk die geregistreerd wordt door de Fugro sensoren in vergelijking met die van Geopoint-sensor D-C. Een zeer kleine piek in reeks D-A op 22 juni, en een dal op 26 juni vallen samen met type 2 gasbeldruk in reeks D-B. De hele reeks van cluster D met neerslag biedt een mooi overzicht.



Figuur 5.19: Cluster D met neerslag, gehele meetperiode juli 2019 – september 2020

Sensor D-A heeft drie vacuümbehandelingen gehad in 2019. Na de derde is de reeks maandenlang vrijwel in lijn gebleven met reeks D-B. De neerslagperiode rond de jaarwisseling, waarin enkele tamelijk grote buien vielen, is de aanzet geweest van een nieuwe excursie van de druk. De reeks is veel minder nerveus dan in de zomer van 2019, dus is geen vierde vacuümbehandeling uitgevoerd (tot de laatste dag beschreven in paragraaf 5.6).

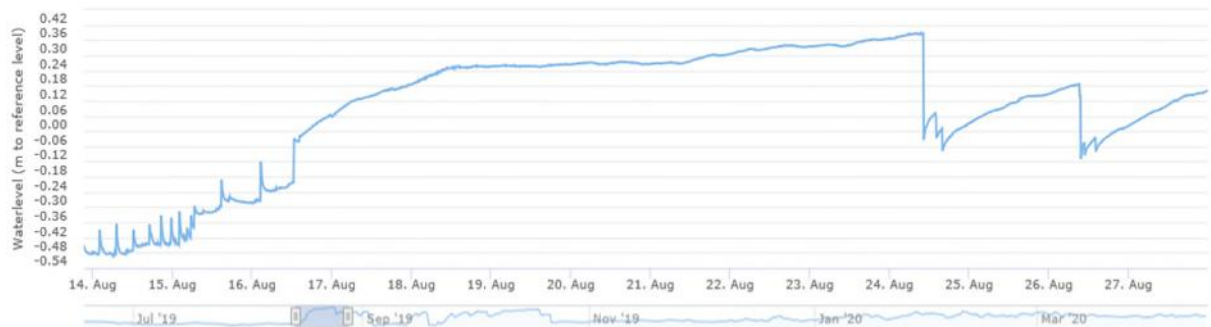
Reeks D-A vertoont net als A-A en C-B een sterke samenhang met luchtdruk zodra de druk oploopt. Dat is in figuur 5.19 te zien na december 2019, waarin de relatie met reeks C ineens opvalt.

Als er geen andere sensoren naast zouden hebben gestaan, zouden de reeksen van Fugro-sensoren van cluster D zonder meer als 'betrouwbaar' zijn aangemerkt.

Reeks D-B heeft tot de 1000 mbar-luchtdrukgebeurtenis van april juist altijd een zeer rustig beeld vertoond, veel rustiger dan alle andere sensoren waaronder ook de Geopoint.

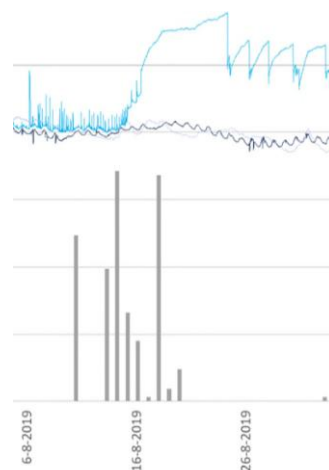
5.4 Drie typen gasbeldrukverstoring achtereen in een reeks

De drie typen gasbeldrukverstoring komen soms achtereenvolgend, maar soms ook tegelijkertijd in dezelfde reeks voor. In de zomer van 2019 is in reeks D-A het duidelijkste voorbeeld daarvan te zien, zie figuur 5.20. Aanvankelijk wordt type 2-gasbeldruk gemeten, waarna de reeks overgaat in type 3. Bij een overdruk van ongeveer 8 kPa, de drempel voor het ontsnappen van gas, is een overgang naar type 1 te zien.



Figuur 5.20: Reeks D-A in augustus 2019, waarin achtereenvolgens 3 typen gasbeldrukvestoring zichtbaar zijn

De reeks D-A (Fugro WSM met gasfilter) vertoont al enkele maanden na plaatsing de eerste type 2-verstoringen. De 1^e kwartaalrapportage (Fugro, 2020a) meldde nog de neerslag die voorafging aan de sterke toename van type 2-gasbeldruk (zie figuur 5.21). De buien gaan vooraf aan de overgang naar type 3, waarna vervolgens op 25 augustus de eerste abrupte dalingen worden gezien, type 1.



Figuur 5.21: Reeks WSM_D-A (lichtblauwe lijn) en neerslag in de periode augustus 2019

Het verband met neerslag blijkt niet meer zo duidelijk als de hele reeks van cluster D wordt bekeken. De luchtdruk is eerder duidelijk gekoppeld aan het optreden van drukveranderingen. Een sterke daling van de luchtdruk leidt in veel gevallen tot een ontgassingsdruk. Mede daarom zijn in de eindrapportage, waarin alle data geplot is in perioden van 2 maanden, de WSM-drukken gepresenteerd met luchtdruk op de tweede verticale as.

5.4.1 Karakteristiek gedrag

Naast de drie typen gasdrukvariaties lijkt er ook sprake te zijn van sensorspecifieke vormen van de variaties. Reeksen lijken daarmee een eigen karakter/vingerafdruk te hebben in hun verstoringen, nervositeit/regelmaat, gelijke asymptotische boven- of onderwaarde. Dit past bij een hypothese dat de drie typen variatie zich voordoen rondom vorming, verplaatsing en verdwijnen van gasbellen. Omdat de productie van methaan* doorgaat (onafhankelijk van de

druk) neemt de concentratie in grondwater toe totdat het verzadigd is. De ontgassing van water na initiatie[†] gaat versneld[‡] door waardoor de druk lokaal toeneemt, (zoals in bubbelwater).

* = anaerobe microbiële omzettingen van organische stof.

† = initiatie van ontgassing is over het algemeen te herleiden tot tijdelijke lage druk zoals passage van een depressie of een zware vrachtwagen, of graafwerkzaamheden.

‡ = gasbellen groeien sneller naarmate ze groter worden omdat het uitwisseloppervlak tussen vloeibaar en gas groeit. De druk in de bel groeit met de tweede macht terwijl het volume groeit met de derde macht; die wint het dus zoals een ballon steeds makkelijker opgeblazen kan worden. Ieder nieuw toegevoegd gas kan daardoor steeds meer volume claimen, totdat er geen water meer kan worden weggedrukt, of totdat de matrix teveel weerstand begint te bieden.

De weerstand die de bodem kan bieden tegen expansie hangt af van de bovenliggende massa en toevallige vorm en sterkte van bodemmaterialen waarin de bel wordt gevormd. Omdat gasbellen kunnen uitbreken, ontstaat een abrupte drukdaling in het reservoir, en een stijging op de ontvangstlocatie. Deze druk is het gevolg van gas + de krachten die de bel uitoefent op bodemmateriaal door oppervlaktespanning. De druk waarbij het begint en eindigt, en hoeveel gas er verplaatst kan worden is afhankelijk van:

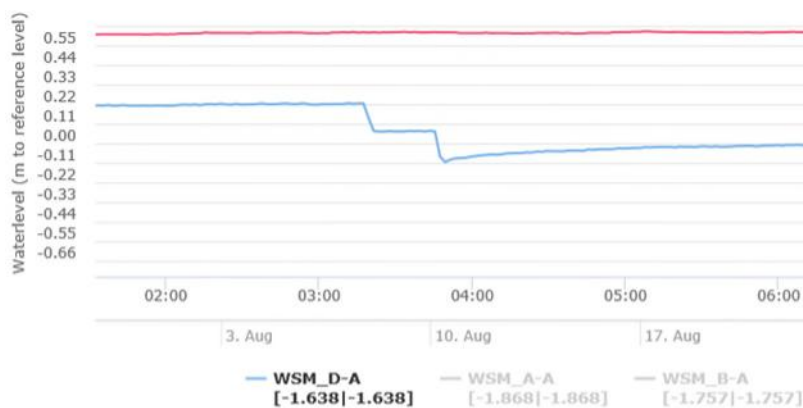
- luchtintredewaarde van de grootste porie rondom de bel;
- volume en vorm van (tijdelijk openstaande) macroporiën;
- volume van de ruimte achter de flessenhalsporie.

De druk die zich langs de route ontwikkelt (gasbel migratie door porie-flessehalsen, churnflow, bubble flow) zal zich bij iedere volgende gebeurtenis ongeveer op dezelfde manier voordoen. Omdat de WSM toevallig op een tamelijk willekeurige positie in het veen zit, kan daarmee het sensorspecifieke gedrag van de drukveranderingen mogelijk worden verklaard.

Opvallend was dat de eerste reeks met verstoringen een Fugro WSM betrof met gasfilter (reeks A-A). De reeks viel na plaatsing direct op vanwege diens zeer trage herstel na plaatsing. Het geschatte volume dat nodig was voor het waargenomen drukverloop was zo groot dat dit niet kon worden toegeschreven aan gas in de WSM zelf. Een nuttige toepassing van het gasfilter bleek door uitvoeren van een vacuümbehandeling, waardoor reeks A-A zich exact zoals alle anderen ging gedragen.

5.5 Snelheid gasbelverplaatsingen

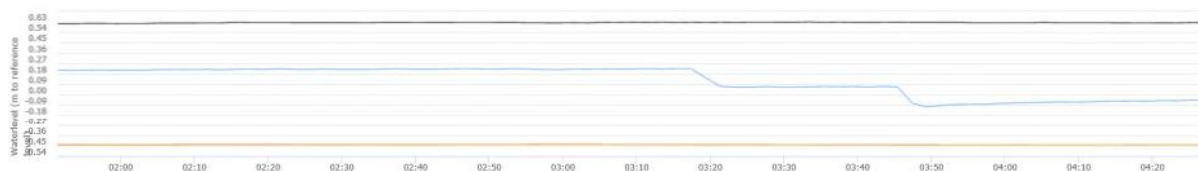
In figuur 5.22 is de daling van druk in reeks D-A te zien op 3 oktober 2020. De reeks heeft een meetinterval van 2 minuten en vertoont duidelijk een knik in de dalende lijn rond 3:50uur.



Figuur 5.22: Reeks D-A bij een drukdaling door gasbelontsnapping, 3 oktober 2020

NB. Let op: de datum op de horizontale as is bij deze resolutie niet correct, de tijd wel.

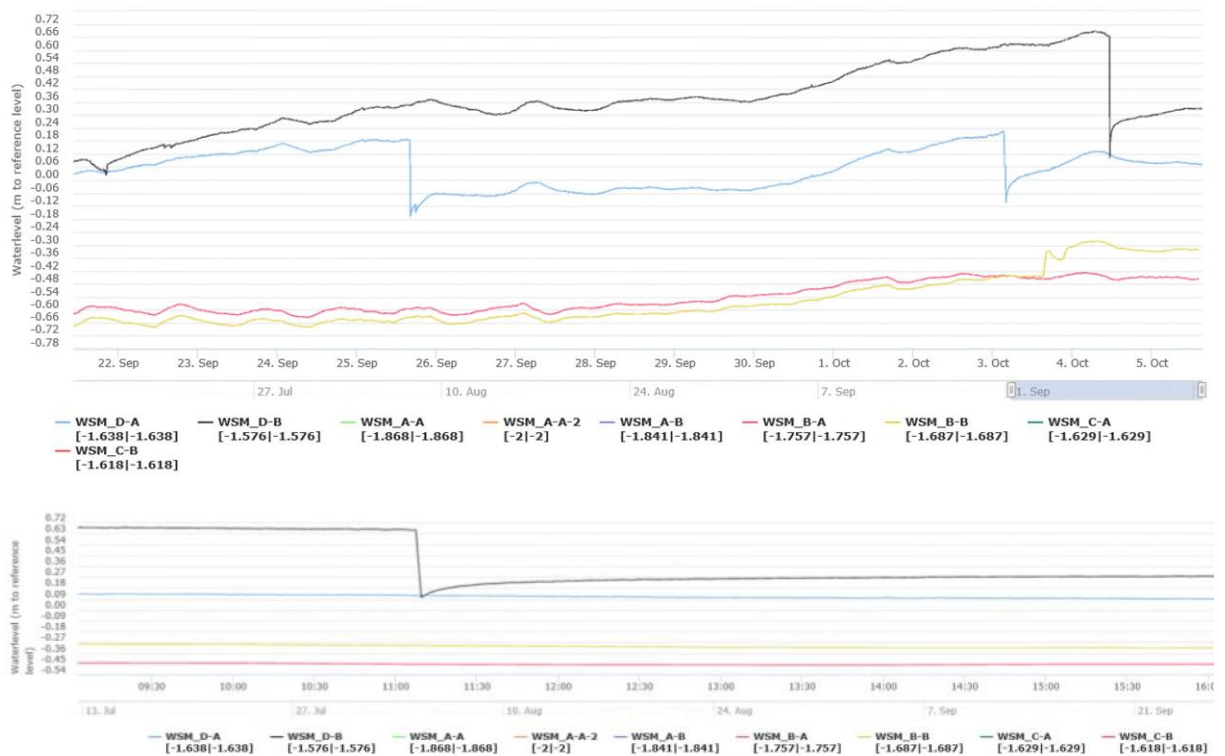
Onderstaande figuur 5.23 geeft in nog iets meer detail weer wat zich afspeelt bij deze gebeurtenis.



Figuur 5.23: Detail gasbelontsnapping reeks D-A, 3 oktober 2020, 2:00 – 4:20

In de zomer van 2020 is een periode gemeten met een interval van 2 minuten (i.p.v. 10 minuten). Immers de tijd die nodig is om bellen te laten ontsnappen kan beperkt zijn tot enkele minuten of korter. Hoe vaker tussenstappen geregistreerd worden, hoe beter de duur van de episode wordt benaderd door de lengte van het meetinterval.

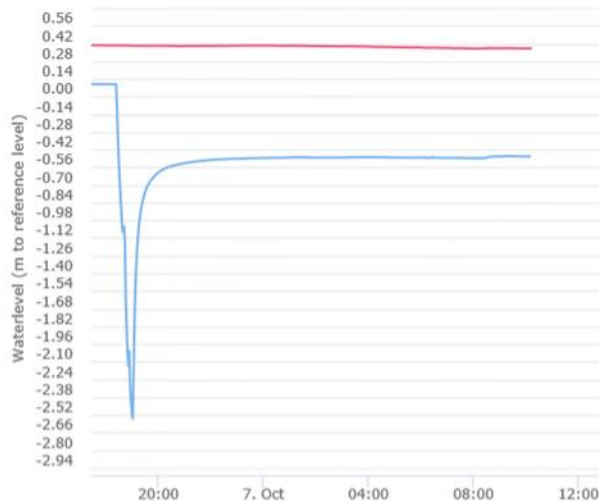
De reeks van cluster B laat in dezelfde periode ook enkele type 1-gasbeldruk fenomenen zien waarbij opvalt dat zelfs bij sterk inzoomen op de metingen maar zelden laat zien dat een tussenstap is geregistreerd (figuur 5.24).



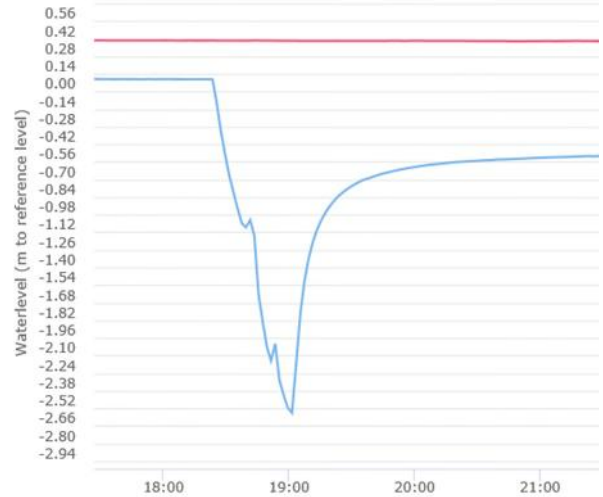
Figuur 5.24: Ondanks de hogere meetfrequentie is in deze gebeurtenis in reeks D-B geen tussenstap in de drukval geregistreerd. Deze daling heeft daardoor maximaal 2 minuten geduurd

5.6 Vacuümbehandeling Fugro WSM met gasfilter (actieve ontgassing)

In de figuren hieronder (figuur 5.25 en figuur 5.26) staan de laatste metingen van reeks D-A van 6 en 7 oktober 2020. Daarin is duidelijk te zien dat de druk in de sensorkamer in drie stappen tijdelijk daalt met enkele meters waterspanning. De drie dalingen zijn veroorzaakt door de gebruikte methode waarin handmatig met een medische injectiespuit een diep vacuüm wordt opgewekt in de afvoerslang van de WSM. Deze methode voorziet in een daling van de absolute druk tot ongeveer 50-100 mbar. Er is bij alle uitgevoerde behandelingen alleen gas aangezogen uit de WSM's.



Figuur 5.25: Druk in WSM_D-A, 6 en 7 oktober 2020



Figuur 5.26: Detail WSM_D-A, 7 oktober 18:00 – 21:00

Na de vacuümbehandeling duurt het één tot enkele uren voordat een nieuwe stabiele druk wordt bereikt. De ont koppeling van de vacuümspuit is in figuur 5.26 te herkennen als een klein drempeltje om een uur of half negen s' ochtends.

Het feit dat tijdens de behandeling de druk in de WSM daalt tot ver onder de normale druk, terwijl er geen water is aangezogen (wat het geval zou zijn als het filter lek zou zijn), wijst erop dat bij het afvoeren van de gasbel veel water moet worden aangezogen, en dat dat weerstand oproept. De bel wordt sneller kleiner dan de wateraanvoer kan plaatsvinden. Door diffusie is dat moeilijk voor te stellen aangezien de weerstand voor diffusie van gassen door water vele ordegrottes groter is dan de weerstand tegen radiale stroming van water richting een bel-verdwijnpunt. Omdat de gasbel in deze situatie van 6 oktober zo snel kon worden aangetrokken staat vast dat deze in contact stond met het gasfilter.

Dit snel reageren van de druk op een vacuüm behandeling is in alle eerdere behandelingen ook het geval geweest.

Dit in samenhang met het feit dat meer dan de helft van de Fugro WSM's en geen enkele van vier Geopoints gasdruk laten zien, is de vraag weer op tafel of specifieke vormkenmerken of gebruikte materialen van invloed zijn op het ontstaan van gas. De vrijwel oxidatiebestendige metalen en de lage redoxpotentiaal van de 3 meter diepe veenlagen sluiten dat laatste vrijwel uit.

5.7 Onverstoorbare metingen Geopoint- en Fugro-WSM's

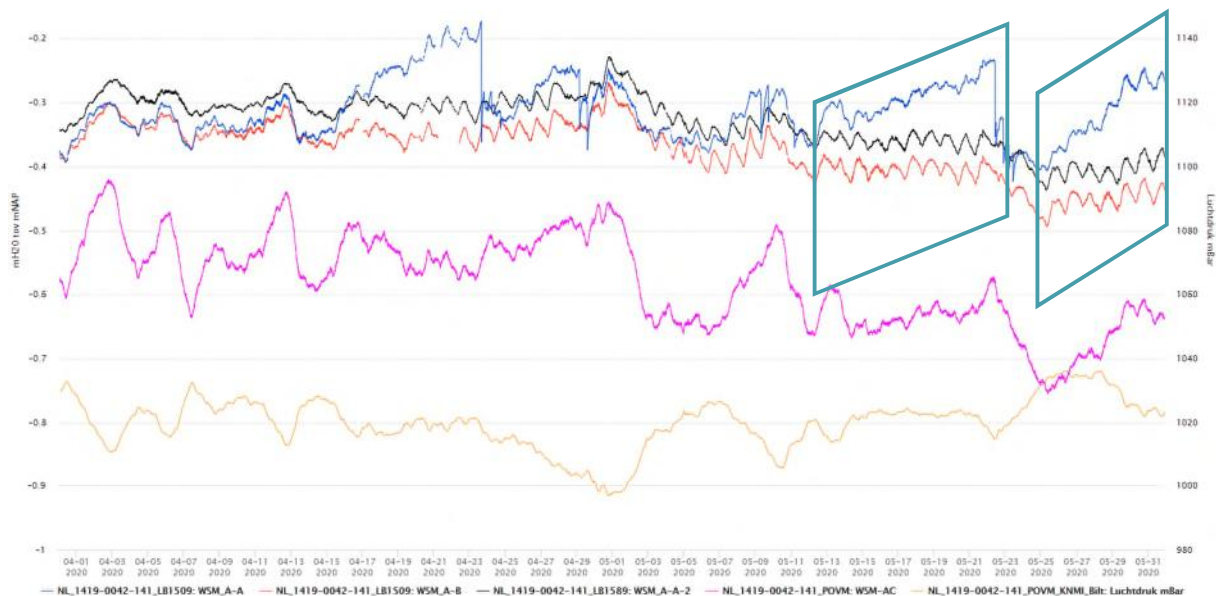
Een groot deel van de meetreeksen vertonen een onverklaarde barometrische inefficiency, zoals in paragraaf 0 besproken. Dit betreft niet alleen Geopoints, maar ook in veel mindere mate Fugro WSM's. In figuur 5.1 is een glooiend dal zichtbaar in alle waterspanningsreeksen rond 27 augustus. Alleen de output van C-A reageert bijna niet op de piek in luchtdruk, wat dus in feite betekent dat dat de enige is waarin luchtdruk wel correct wordt gecorrigeerd (door aftrekken van luchtdruk van bruto druk).

De meest interessante Geopoint sensor is B-C want die vertoont gedurende de eerste weken (juni 2019) en de laatste week van juli dezelfde variatie als de Fugro WSM's van B, maar verliest die samenhang daarna. Deze en de andere Geopoint WSM's vertonen in de zomer van 2019 een beperkte variatie waardoor ze min of meer in lijn blijven met de drukken gemeten in Fugro WSM's. Na de zomer neemt de variatie in luchtdruk toe en daarmee ook die in de Geopoint WSM's, waardoor ook de verschillen met de meetresultaten van Fugro toenemen.

De variatie van luchtdruk rondom het gemiddelde van 1013 mbar op zeeniveau is omgekeerd vrijwel één-op-één terug te vinden in de reeksen van alle vier Geopoint-sensoren. Luchtdruk wordt correct verrekend met de totaal druk en daarmee is aangetoond dat vooral de Geopoint WSM's nauwelijks in contact staan met de luchtdruk. Vanwege de elasticiteit van het veenpakket is ondenkbaar dat luchtdrukveranderingen niet doordringen. De duidelijke signalen van type 2 gasbeldruk (van dieper/elders aankomende bellen) wijzen erop dat de Fugro WSMS waarin dit wordt herkend, zeker wel in contact staan met het water in de omgeving.

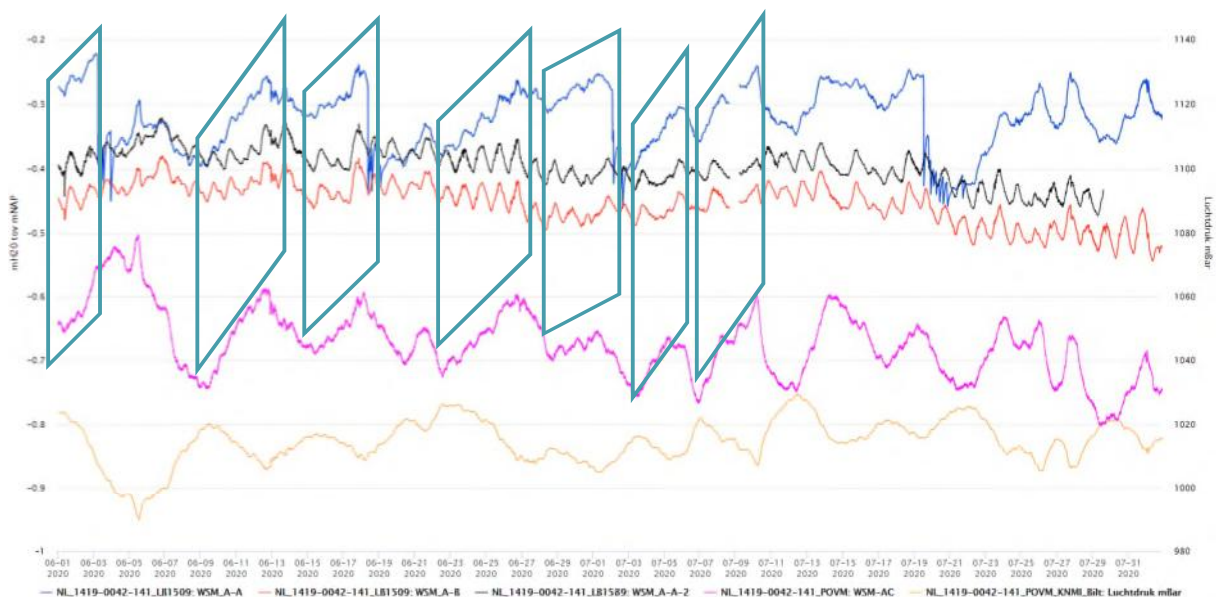
Het kan daarom niet worden uitgesloten dat de Geopoint WSM's vrijwel volledig zijn afgesloten van het omliggende bodemwater. Het is bijna uitgesloten dat plaatsing in natuurlijk bodemmateriaal kan leiden tot volledig hermetische afsluiting van poreus materiaal. Een condoom om de WSM (gebruikelijk bij plaatsing) kan een 'dove' WSM veroorzaken, maar gezien de vier Geopoints identiek reageren, zouden ze alle vier een condoom om het grondfilter gedurende de hele meetperiode moeten hebben gehad.

Ingewikkelder te verklaren is de samenhang tussen A-A en A-C zoals eerder besproken onder figuur 5.6. De reeks A-A vertoont vanaf ongeveer 15 april 2020 tegelijkertijd een sterke toename van de druk (type 3-gasbeldruk) ten opzichte van A-A2 en A-B, én een tamelijk sterke gelijkensis met A-C. Er ontstaan geregeld type 1 drukdalingen (1.5 kPa) en die niet elke keer samenvallen met sterke luchtdrukdalingen. In figuren hieronder staan in totaal 6 lente-zomermaanden cluster A achter elkaar.

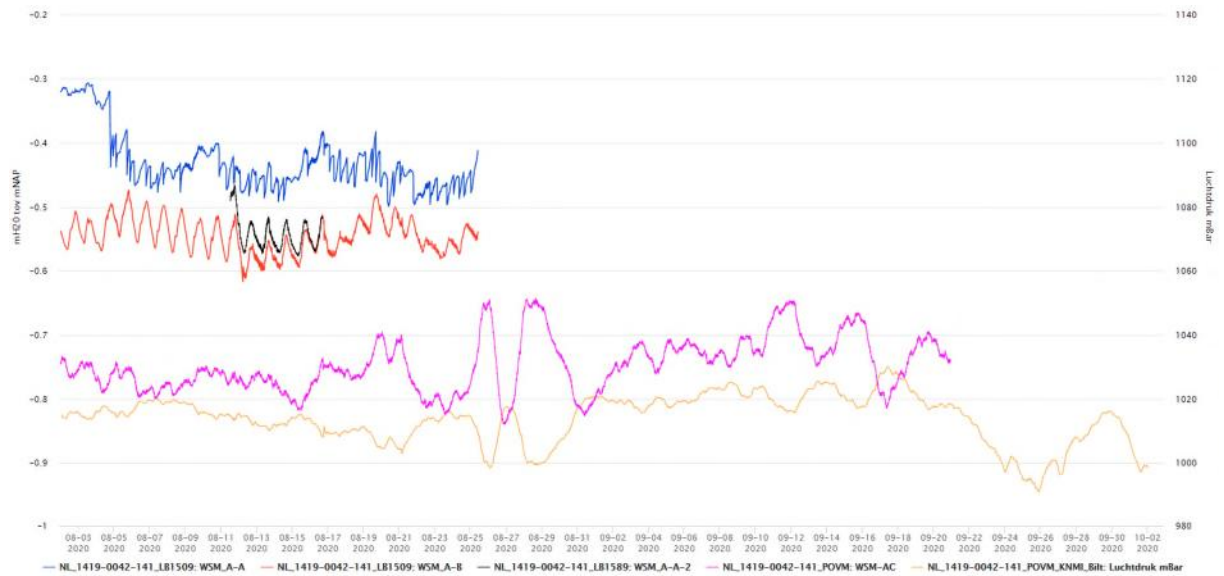


Figuur 5.27: Cluster A, april – mei 2020; type 3 en type 1-gasbeldruk bij WSM_A-A

Merk op dat tegelijk met de gasbeldruk A-A een sterker negatief verband met luchtdruk vertoont en dat A-C zoals gebruikelijk sterk negatief gecorreleerd is met de luchtdruk (tweede verticale as).



Figuur 5.28: Cluster A, juni – juli 2020; A-A (blauw) vertoont regelmatig een gestaag stijgende trend onderbroken met type 1-gasbeldruk



Figuur 5.29: Cluster A, augustus – september 2020; A-A (blauw) registreert lage druk door reeks type 1-drukdalingen

Los van de type 1 gasbedrukdalingen is A-A ineens bijna net zo sterk als A-C negatief gecorreleerd met luchtdrukvariatie. Deze samenhang verdwijnt ook weer ineens begin augustus, en reeks A-A ligt afgezien van regelmatig een kleine type 1 gasbedrukdaling weer ongeveer in de buurt van reeksen A-A2 en A-B.

Het is dus nu de vraag :

“Hoe kan een sensor tegelijkertijd ongevoelig zijn voor luchtdrukvariatie én spectaculaire gasbedrukvariaties laten zien?”. Is daaruit iets te concluderen over waar de bellen zich bevinden? Deze samenhang is ook zichtbaar in figuur 5.11, reeks C-B en C-C.

Een deel van het antwoord is mogelijk te zien in de tijdelijkheid van die samenhang, maar dat levert weer een nieuwe vraag:

“Hoe kan samenhang ontstaan en ineens weer veranderen zoals vanaf begin augustus het verband tussen A-A en A-C gedeeltelijk verloren lijkt te gaan?”

Er is iets veranderd, namelijk een gasbelontsnapping. Hierna lijkt het alsof een verstopping gedeeltelijk is opgeheven, maar hoe kan dat samenhangen met die ontsnapping? Het verondersteld dat het grondfilter tijdelijk verstopt is, door de bel.

De veldstudie heeft hiermee veel interessante drukvariaties en vragen opgeleverd, die niet binnen de scope van dit veldexperiment kunnen worden verklaard en beantwoord.

6. Extra veldtesten

6.1 Algemene toelichting extra veldtesten

Bij het inrichten van een veldtest zoals de locatie Vianen is bewust een groot risico genomen, omdat omgevingsfactoren niet altijd kunnen worden beheerst. De kans op onbruikbare resultaten door het toevallig ontbreken van gasbellen was groot en daarom is in dit project gebruik gemaakt van een meetlocatie waar dit eerder overduidelijk is vastgesteld. Een groot deel van de beschikbare instrumenten zijn op een zeer klein meetoppervlak geplaatst, en daarmee is een alles of niets keuze gemaakt.

De resterende vier instrumenten, die als onderdeel van de Ontwikkelingsfase zijn geproduceerd, zijn in de lente van 2020 ingezet op twee projectlocaties waar door Fugro waterspanning gemeten wordt of in het verleden is en waar ondiepe veenlagen aanwezig zijn: langs de Hollandse IJssel en in Spijk. Dit is conform het plan van aanpak voor het onderdeel 'Veldtesten lopende projecten'. Bij het project Spijk zijn de instrumenten afgesteld direct naast bestaande sensoren en konden aan de reeds aanwezige loggers worden gekoppeld. Bij het project Hollandse IJssel is een meetopstelling ingericht op een locatie waar Fugro in het verleden reeds waterspanningsmetingen heeft uitgevoerd die – waarschijnlijk – zijn verstoord door gasbelvorming.

De extra veldtests zijn niet gericht op een complete vergelijking van beschikbare WSM's in de markt, maar op vergelijking tussen sensoren met en zonder gasfilter.

De kans op het meten van gasbeldruk is normaal gesproken klein (beperkt aantal sensoren, geen actuele verstoringsgeschiedenis). Toch is op één van deze vier meetpunten (Spijk) een duidelijke reeks type 2-gasbeldruk pieken waargenomen.

6.2 Locatie 1: Spijk

6.2.1 Achtergrond locatie Spijk

Op een project in Spijk (West-Betuwe) in de Tielerwaard voert Fugro langjarige waterspanningsmetingen uit voor de stabiliteit van een gronddepot. Omdat het een gebied betreft met ondiepe veenlagen in de ondergrond én het langjarige metingen betreft, is dit project geschikt bevonden voor een van de extra veldtesten op lopende projecten. De bestaande waterspanningsmeters (zonder gasfilter) zijn in de kleilaag vlak onder de veenlaag geplaatst, op een diepte van circa 3 m onder maaiveld. In figuur 6.1 is een overzichtsfoto van de projectlocatie langs de A15 met daarin de locaties van de twee waterspanningsmeters waar een WSM met gasfilter is bijgeplaatst.



Figuur 6.1: Luchtfoto locatie Spijk, Spijksteeg 1

6.2.2 Sensoren locatie Spijk

Bij de veldtest in Spijk zijn twee Fugro WSM's met gasfilter geplaatst naast twee reeds functionerende standaard Fugro WSM's. De sensordieptes zijn weergegeven in tabel 6.1; in figuur 6.2 en figuur 6.3 staan foto's van de meetopstellingen. Opgemerkt wordt dat de nieuwe sensoren (met gasfilter) ondieper zijn geplaatst dan de oude sensoren (zonder gasfilter). De oude sensoren staan net onder de veenlaag geïnstalleerd; de POVM-sensoren zijn in de veenlaag geplaatst.

Tabel 6.1: Gegevens WSM's extra veldtest Spijk

Sensornaam	Diepte t.o.v. maaiveld [m]	Sensorniveau [m NAP]
WSM_2	3.39	-3.37
POVM2	2.07	-1.99
WSM_6	2.67	-2.92
POVM6	0.89	-1.18

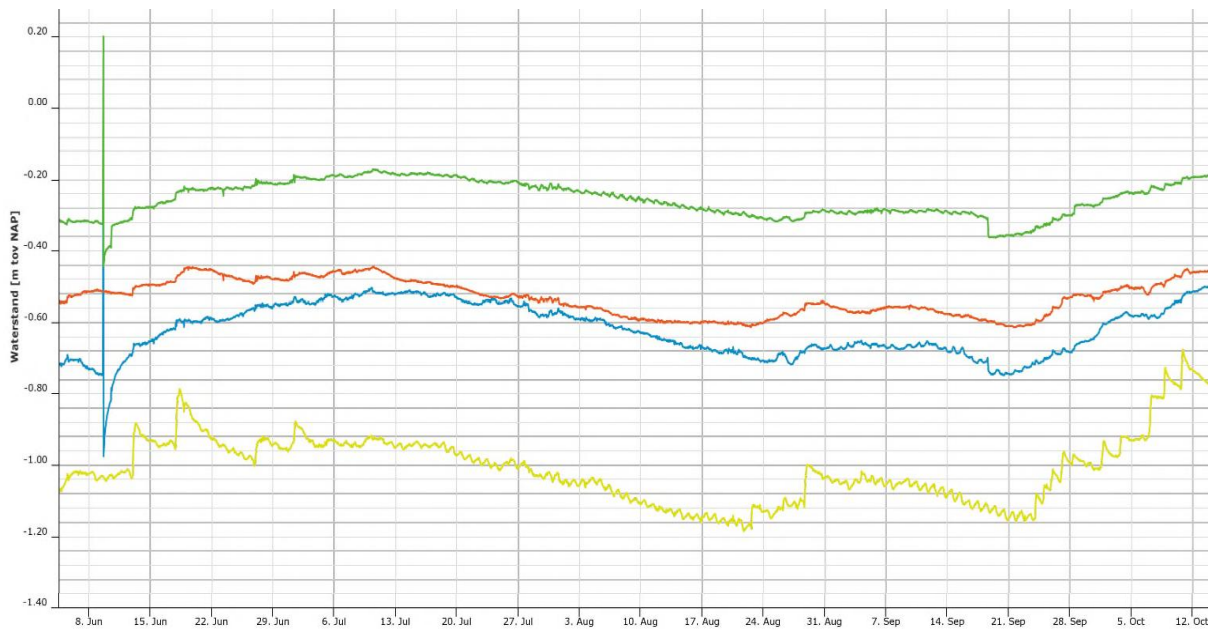


Figuur 6.2: POVM2 naast WSM_2



Figuur 6.3: POVM6 naast WSM_6

6.2.3 Meetresultaten locatie Spijk



Figuur 6.4: Meetreeksen Spijk.

Legenda: WSM_2: groen, POVM2: blauw, WSM_6: rood en POVM6: geel.

De groene en blauwe reeks (locatie 2 in figuur 6.4) laten een abrupte piek en dal zien die mogelijk het gevolg is van 'dieper drukken'. De druk loopt na 8 juni gestaag op naar een hoger niveau. Dit gelijktijdig optreden van druktoename in twee sensoren lijkt op het eerste gezicht niet te passen bij gasbelddruk-verplaatsingen.

Duidelijk zichtbaar zijn de type 2-drukstijgingen in POVM 6 met daaropvolgende gestage dalingen. Opvallend is ook dat de etmaalvariatie in die sensor de grootste amplitude heeft. De sensor is in juni geplaatst en vrijwel direct worden de drukstijgingen waargenomen. Deze drukstijgingen kunnen eigenlijk niet anders dan het gevolg zijn van een gasbel die zich een weg naar boven werkt.

Op locatie 2 zijn ook wat bewegingen te zien waarvan die op 19 december in beide sensoren wijzen op een ontsnappende gasbel. Ook kan het zijn dat op dat moment iets veranderd aan de massa van de omgeving.

6.3 Locatie 2: Ouderkerk

6.3.1 Achtergrond locatie Ouderkerk

Voor de tweede aanvullende veldtest is een locatie aan de IJsseldijk-Noord in Ouderkerk aan den IJssel gekozen. In het verleden (2016 en 2017) zijn hier ook waterspanningsmetingen uitgevoerd voor het dijkversterkingsproject KIJK. Op meerdere locaties in dit project zijn de metingen van BAT-filter WSM's verstoord geraakt door vermoedelijk gasbelvorming, gezien het verloop van de gemeten waterspanningen. Er is gekozen om de waterspanningsmeters op dezelfde locatie en op dezelfde diepte te plaatsen als een van de metingen uit 2016 en 2017. De locatie is weergegeven in figuur 6.5.



Figuur 6.5: Luchtfoto locatie Ouderkerk aan den IJssel, IJsseldijk-Noord

6.3.2 Sensoren locatie Ouderkerk

Bij de veldtest in Ouderkerk zijn vier waterspanningsmeters geplaatst: twee standaard Fugro WSM's en twee Fugro WSM's met gasfilter. De plaatsingsdiepte van de filters is ongeveer 3,5 m onder maaiveld. Een en ander is weergegeven in Tabel 6.2. In figuur 6.6 is een foto van de meetlocatie opgenomen.

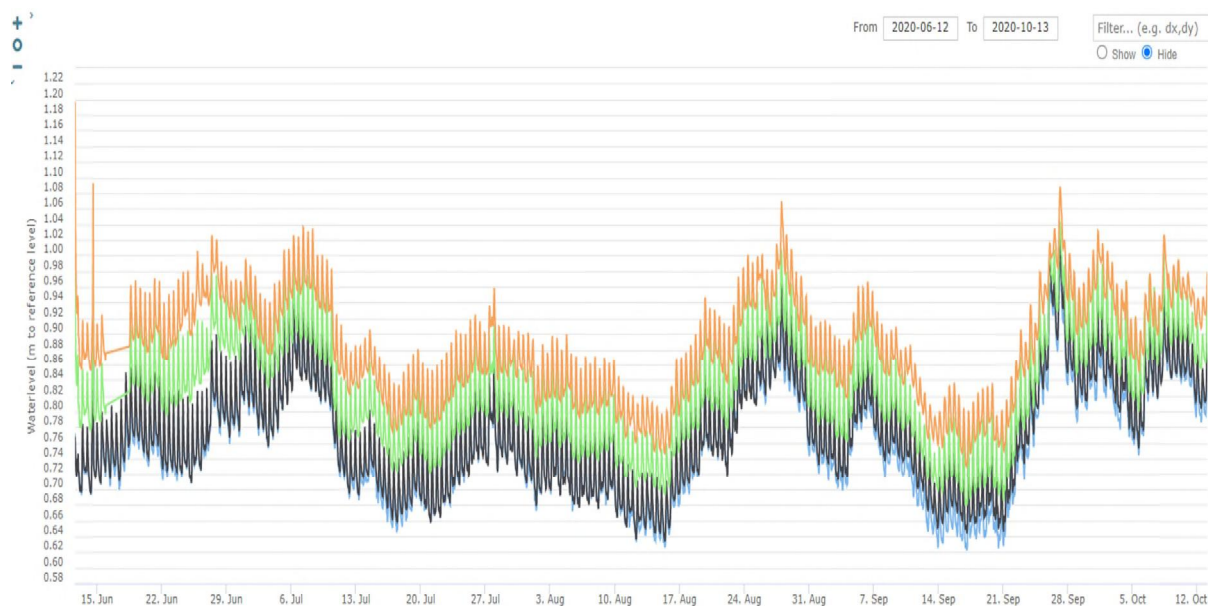
Tabel 6.2: Gegevens WSM's extra veldtest Ouderkerk

Sensornaam	Diepte t.o.v. maaiveld [m]	Sensorniveau [m NAP]
WSM_1	3.47	-0.68
POVM_1	3.51	-0.72
WSM_2	3.53	-0.74
POVM_2	3.46	-0.67



Figuur 6.6: Foto met locatie waterspanningsmeters veldtest Ouderkerk

6.3.3 Meetresultaten locatie Ouderkerk



Figuur 6.7: Meetreeksen Ouderkerk aan den IJssel

Legenda:

Blauw = WSM_1

Donkerblauw = POVM_1

Groen = WSM_2

Oranje = POVM_2

De reeksen langs de Hollandse IJssel zijn gedurende de zomer van 2020 niet verstoord geraakt door bewegingen van bodemgas. De kans dat er ongemerkt gasbeldruk heeft opgebouwd is niet groot omdat vier sensoren een vrijwel gelijkopgaand verloop laten zien. De gelegenheid voor grondwater ontgassing zijn er wel degelijk op deze locatie. Door de sterk variërende druk zou een eventueel oplopende gasconcentratie al snel bij laagwater kunnen leiden tot overschrijden van de oplosbaarheid en daardoor tot gasbelvorming. Desondanks is dat niet gebleken.

7. Conclusies, aanbevelingen en leerpunten

Dit hoofdstuk bevat de conclusies, aanbevelingen en leerpunten zoals die volgen uit de analyses van de meetresultaten van de veldtesten in Vianen, Spijk en Ouderkerk aan den IJssel.

7.1 Conclusies

7.1.1 Geschiktheid meetlocatie en meetopstelling

Voordat we uitspraken kunnen doen over de werking van het verbeterde gasfilterontwerp, dienen we eerst twee vragen te beantwoorden;

1. Waren de meetlocaties van de veldtesten geschikt?
2. Waren de meetopstellingen geschikt?

De locatie van de veldtest in Vianen lijkt achteraf gezien erg geschikt gebleken: de meetperiode van 15 maanden (incl. twee zomers) heeft waardevolle metingen opgeleverd die zeker samen hangen met gasbeldruk-gerelateerde verstoringen. De aanvullende testlocaties (Spijk en Ouderkerk) hebben achteraf gezien niet veel aanvullende informatie opgeleverd. Bij de test in Spijk zijn bij één WSM verstoringen gemeten; bij de test in Ouderkerk aan den IJssel zijn geen verstoringen waargenomen.

Conclusie: Op basis van de metingen kan zeker gesteld worden dat op de meetlocatie in Vianen in de meetperiode wel gasvorming is opgetreden. Bij de meetlocatie in Spijk is het aannemelijk dat bij één WSM wel gasvorming is opgetreden; bij de meetlocatie in Ouderkerk aan den IJssel is in de meetperiode naar verwachting geen gasvorming opgetreden.

De meetopstelling in Vianen (met vier clusters van elk drie typen WSM's) is achteraf gezien heel waardevol gebleken. Voor zover bekend is nog niet eerder één kubieke meter Hollandveen zo intensief in-situ bemeten, met 13 WSM's. Doordat de sensoren binnen één cluster binnen een afstand van 10 cm van elkaar hebben gemeten, is het mogelijk om metingen onderling te vergelijken. Dat geldt in iets mindere mate ook voor de metingen tussen de clusters onderling. De instrumenten hebben immers veel dichter op elkaar gemeten dan in de standaard project-praktijk gebruikelijk is

De veldtest in Spijk is vergelijkbaar met een 'regulier' project, waar op twee locaties binnen het project is gemeten en de WSM's met gasfilter in de veenlaag zijn geplaatst terwijl de WSM's zonder gasfilter net onder de laag hebben gemeten. De opzet van de test in Ouderkerk aan den IJssel is vergelijkbaar met Vianen (alle sensoren op dezelfde diepte en binnen een afstand van 1 m), alleen met minder instrumenten.

Conclusie: De gebruikte meetopstellingen waren geschikt voor het beoogde doel. Dit geldt met name voor de veldtest in Vianen, waarbij zeer intensief is gemeten in 1 m³

Hollandveen en waarbij aanvullende parameters (bodem- en maaiveldtemperatuur, neerslag en openwaterpeilen) zijn gemeten.

7.1.2 Prestaties gasfilter

In de veldtest in Vianen hebben drie van vijf WSM's met gasfilter zeer duidelijke gasbeldrukfenomenen vertoond. Van de vier WSM's zonder gasfilter waren dat er twee. De vier Geopoints vertoonden geen van allen duidelijke gasbeldruk-verstoringen.

Tabel 7.1: Waterspanningsmeters Vianen/Merwedekanaal met gasbeldrukmetingen

ID	Type	Gasbeldrukmetingen
A-A	Fugro met gasfilter	type 1 en 3
A-A2	Fugro met gasfilter	Type 1, 2 en 3
A-B	Fugro zonder gasfilter	Enkele keer type 1
A-C	Geopoint	Geen
B-A	Fugro met gasfilter	Enkele keren type 1 en type 2
B-B	Fugro zonder gasfilter	Enkele keren type 1 en type 2
B-C	Geopoint	Enkele keer type 1
C-A	Fugro met gasfilter	Enkele keren type 1 en 2
C-B	Fugro zonder gasfilter	Type 1, 2 en 3
C-C	Geopoint	Geen
D-A	Fugro met gasfilter	Type 1, 2 en 3
D-B	Fugro zonder gasfilter	Type 1, 2 en 3
D-C	Geopoint	Geen

Bij Spijk is één van twee WSM's met gasfilter duidelijk beïnvloed, tegen nul van twee zonder gasfilter. Bij Ouderkerk aan den IJssel is geen van vier WSM's beïnvloed door gasbeldruk; dus geen verschil tussen de twee met en twee zonder gasfilter.

Dit leidt tot de eerste conclusie: **De toegepaste gasfilters zijn in dit experiment (nog) niet in staat gebleken om te voorkomen dat gasbeldruk de meting van zuivere waterspanning verstoort.**

Wat betekent dat voor de werking van het gasfilter? Daarvoor maakt het veel uit welk type gasbeldruk wordt gemeten.

Gedurende dit onderzoek is dankzij de weelde van drukvariaties ook gezocht naar verklaringen voor de verschillen daartussen. Op dit moment houden wij de hypothese aan dat de drukvariaties veroorzaakt worden door een achterliggend proces: het ontgassen van grondwater. Als gevolg van de volumetoename die eigen is aan gasbellen en de beperkte mogelijkheden om te ontsnappen aan de cohesieve materialen zoals klei en veen, oefent de gasbel druk uit op het vaste bodemmateriaal, en als het bodemwater niet kan ontsnappen ook op de waterfase. Na drukopbouw kan een gasbel ontsnappen door de grootste porie die

in contact staat met de bel. Die porie kan na voldoende druk op te bouwen door de gasbeldruk wordt opengedrukt, waarna de porie weer sluit als een ventiel.

De verplaatsingen van gasbellen veroorzaken drukvariaties die meetbaar zijn, en daarbij maakt het veel uit hoe dichtbij de WSM's zich bevinden. Zolang de ontgassing van grondwater en/of de vorming van gassen die daaraan ten grondslag ligt niet door en/of in de instrumenten zelf wordt veroorzaakt, is geen sprake van foute metingen of onbruikbare resultaten. Gas maakt immers deel uit van de bodem.

Bij de verstoringen moet onderscheid gemaakt worden tussen drie varianten:

- Type 1 vindt plaats als een gasbel ontsnapt uit de omgeving van een WSM.
- Type 3 vindt plaats als gasbellen gestaag meer ruimte innemen in een afgesloten bodemvolume. Die kan worden geregistreerd als de WSM zich in dat volume bevindt. Als een WSM zelf (mede) oorzaak is van grondwaterontgassing of gasproductie (oxidatie of bijvoorbeeld als katalysator van anaerobe microbiologische activiteit) kan dat leiden tot type 3 en daaropvolgende type 1 gasbeldruk fenomenen.
- Type 2 gasbeldruk wordt op dit moment gezien als een signaal van aankomst van een gasbel uit de omgeving, vermoedelijk vanuit de diepere bodem. Het optreden van type 2 gasbeldruk kan hierdoor worden gezien als een bewijs van correcte registratie van natuurlijke processen van gasvorming en gasbelverplaatsingen. Type 2 kan oorzaak zijn van type 3-gasbeldrukopbouw, en daarna type 1-gasbeldrukontsnappingsen, ook als WSM's geen rol spelen als oorzaak.

WSM's die type 2 registreren, werken correct, uitgaande van bovenstaande hypothese.

Omdat we de gasvormende processen nog niet goed snappen is het de vraag of het wenselijk is om gasbeldruk wel of niet te meten en dus wel of niet weg te nemen met een gasfilter. Het is momenteel te vroeg om het gasfilter als standaardproduct grootschalig in de markt te zetten.

WSM's die type 1 en 3 registreren, kunnen mogelijk alsnog zelf deel zijn van de oorzaak van grondwaterontgassing.

Als een vacuümtest wordt uitgevoerd en de betreffende WSM reageert direct, is dat een indicator dat een gasbel in direct contact stond met het gasfilter, en dat kan bij het gebruikte ontwerp alleen als die bel zich in de waterkamer bevindt.

De werking van een gasfilter is gericht op het voorkomen van gasbeldruk-opbouw in de waterkamer zelf, en zo mogelijk ook het voorkomen van gasbeldruk in de directe nabijheid van de WSM. **Op basis van de veldtests kan niet worden geconcludeerd dat de gasfilters er in slagen om dit doel te bereiken, maar het kan ook niet worden uitgesloten dat dat doel wel wordt bereikt.**

Gasbeldruk kan worden weggenomen door een diepe onderdruk aan te brengen op de atmosferische zijde van het gasfilter. Deze voorziening is in dit project handmatig

toegepast, maar kan worden geautomatiseerd zoals dat ook gebruikelijk is in tensiometeropstellingen.

7.1.3 Geopoint- versus Fugro-sensoren

De veldtest heeft aangetoond dat Geopoint-sensoren geen gasbelldruk detecteren, terwijl naastgelegen Fugro-sensoren wel degelijk type 2-gasbelldruk registreren. Onder de hypothese dat type 2-gasbelldruk niet het gevolg kan zijn van de WSM's zelf, is het ontbreken van type 2 in reeksen van Geopoint verdacht. Op basis van dezelfde data kan ook worden geïnterpreteerd dat er sprake is van een hoge gevoeligheid van Fugro WSM's in vergelijking met ongevoeligere Geopoints. De oorzaak daarvan zou kunnen worden gezocht in grondfilter-eigenschappen (porositeit, poriënafmetingen, effectief oppervlak) en/of waterkamer vorm.

Een tweede verschil tussen Fugro WSM's en Geopoints blijkt in deze data uit de barometrische in-efficiency die in de Geopoints bijna compleet lijkt te zijn. De oorzaak hiervan is niet vastgesteld, maar ook hier liggen de grondfilter-kenmerken als belangrijke verschillen tussen Geopoint en Fugro WSM's voor de hand.

7.1.4 Materiaalgebruik

Het kan niet worden uitgesloten dat de oorzaak van gasbelldruk of een gedeelte daarvan moet worden gezocht in de materialen of vorm van de Fugro WSM's. Dit sluit aan bij eerdere vermoedens dat ook kunststof BAT-systeem filters gevoeliger zijn dan WSM's van andere leveranciers. Als materialen van de WSM's een rol spelen bij gasbelvorming, is een deel van de gasbelldruk mogelijk te elimineren door voor toepassing in ondiep veen gebruik te maken van PVC of andere inerte kunststoffen.

De metingen verricht met Geopoint WSMs vertonen geen enkele verstoring van meetreeksen door gasbelldruk. Een deel van de verklaring kan liggen in het gebruik van PVC voor de behuizing en PP voor het gronddrukfilter.

7.2 Aanbevelingen

7.2.1 Gasfilter

Het gasfilter is in laboratoria, en nu in het veld beoordeeld en bruikbaar bevonden voor het gestelde doel, al is niet zeker dat het dampdrukverschil tussen bodem en atmosfeer voldoende is voor permanent voldoende lage concentraties in de WSM-waterkamers. De lengte van het gasfilter kan nog worden vergroot, maar het is niet op voorhand zeker dat de maximale praktische lengte van het gasfilter voldoende is.

De gasbelldruk-herstelbehandelingen (vacuüm) hebben in alle gevallen in deze testperiode een drukverlaging tot gevolg gehad die de WSM reeksen gedurende enkele uren tot een etmaal ongevoelig hebben gemaakt voor andere oorzaken van waterspanningsverandering.

Door geautomatiseerd te ontgassen kan dit worden teruggebracht tot perioden die korter zijn dan de gangbare meetintervallen van WSM-meetsystemen. Aansluiting van alle gasslangen op een vacuümpomp kan effectief zorg dragen voor een controleerbaar herstel, zoals dat ook voor tensiometers wordt toegepast. Daarbij is naar verwachting voldoende als ieder etmaal om 00:00 uur 5 minuten wordt gepompt. Deze aanpak voegt echter extra complexiteit en materiaal toe aan de meetopstelling.

Aanbeveling: De bruikbaarheid van de Fugro WSM met gasfilter kan worden vergroot door een automatische ontgassingsmogelijkheid. Aanbevolen wordt om uit te zoeken of een praktisch haalbaar ontwerp mogelijk is.

7.2.2 Verband barometrische efficiency en gasbeldrukgevoeligheid

Er lijkt een verband te bestaan tussen de mate waarin gasbeldruk-verstoringen worden geregistreerd door Fugro WSMs en een lage barometrische efficiency (afwezig zijn van luchtdruk) van diezelfde instrumenten (0% barometrische efficiency betekent dat luchtdrukveranderingen niet teruggevonden worden in waterspanning meetreeksen, en omdat WSM-reeksen worden gecorrigeerd met luchtdrukmetingen is in-efficiency zichtbaar als een negatief verband tussen luchtdruk en WSM druk). In andere woorden: de Fugro WSM's die sterke type 3-signalen laten zien kennen *in die perioden* ook een sterkere barometrische in-efficiency. Dit verband kan weer verdwijnen en dat lijkt samen te vallen met gasbeldruk door verplaatsingen van gasbellen. Deze relatie blijkt niet uit de reeksen van Geopoint WSMs, die een structurele en vrijwel complete barometrische in-efficiency vertonen en tevens geen enkele verstoring door gasbeldruk registreren. De gevormde hypothesen over deze samenhang kan niet in een veldopstelling worden getest of nader onderzocht. Laboratoriumopstellingen en gecontroleerde omgevingen kunnen dat wel.

Een laboratoriumtest voor het verkennen van drukverloop bij verschillende typen gasbelverplaatsingen kan veel inzicht toevoegen aan de interpretatie van veldwaarnemingen. Waar in dit project sterke aanwijzingen zijn gevonden voor een achterliggend proces (grondwaterontgassing met daarop volgend migratie van gasbellen door een cohesief, inhomogeen, poreus materiaal) kan door een zorgvuldig opgezet laboratoriumexperiment een deel van de hypothesen getoetst worden. Dit zijn:

- gasbelafvoer bij het gasfilter;
- drukverlaging bij vacuümbehandeling;
- condoomtest met vacuümbehandeling en luchtdrukvariatie;
- drukkaling bij afvoer van bel uit waterkamer tijdens vacuümbehandeling;
- drukopbouw in waterkameer bij geforceerde gasbelinjectie.

Aanbeveling: Wij bevelen aan om laboratoriumtesten te doen naar het drukverloop van verschillende type gasbelverplaatsingen om een aantal hypothesen uit deze rapportage te testen.

7.2.3 Gasbelvormende processen en waterspanningsmetingen

Gasbelvorming in de bodem, de invloed daarvan op waterspanningsmetingen en de processen die daarmee samenhangen is complexe materie die nog niet goed begrepen wordt. De veldtest in Vianen, waar een kubieke meter veen uitgebreid in-situ getest is, heeft een hoogwaardige dataset opgeleverd. Het is de moeite waard om deze test en de resultaten in een discussie met specialisten uit verschillende disciplines te bespreken :

- meerfasen poreuze media stroming,
- bodemfysische meetsystemen,
- bio-geochemie,
- geotechniek en
- metrologie.

Aanbeveling: Wij bevelen aan om de resultaten van de veldtest te bespreken in een discussie een aantal met zorg geselecteerde specialisten, bij voorkeur uit verschillende disciplines en/of toepassingsgebieden.

7.2.4 Geotechnische relevantie gasbelvorming

In de veldtesten, met name de langdurige veldtest in Vianen, zijn gebeurtenissen gemeten die we toeschrijven aan gasbeldruk-gerelateerde fenomenen. Het feit dat de meeste gebeurtenissen door slechts één WSM in een cluster gemeten worden, suggereert dat het zeer lokale fenomenen betreft. We weten dit echter niet zeker. We weten ook niet hoe groot de invloed van gasvorming is op het falen van dijken en kades, bijvoorbeeld op het faalmechanisme macro-instabiliteit. Het is momenteel nog niet bekend wat de omvang van het fenomeen is: bij welke grondsoorten kan gasbeldruk optreden en welke niet? Op welke diepten is het relevant en welke niet? Deze vragen kunnen pas beantwoord worden als er (meer) inzicht is.

Aanbeveling: We bevelen aan om verder (fundamenteel) onderzoek te doen naar de schaal van gasvormende processen en de invloed daarvan op geotechnische faalmechanismen van dijken.

7.3 Leerpunten

De veldtesten hebben een aantal leerpunten opgeleverd. Hieronder zijn de belangrijkste genoemd.

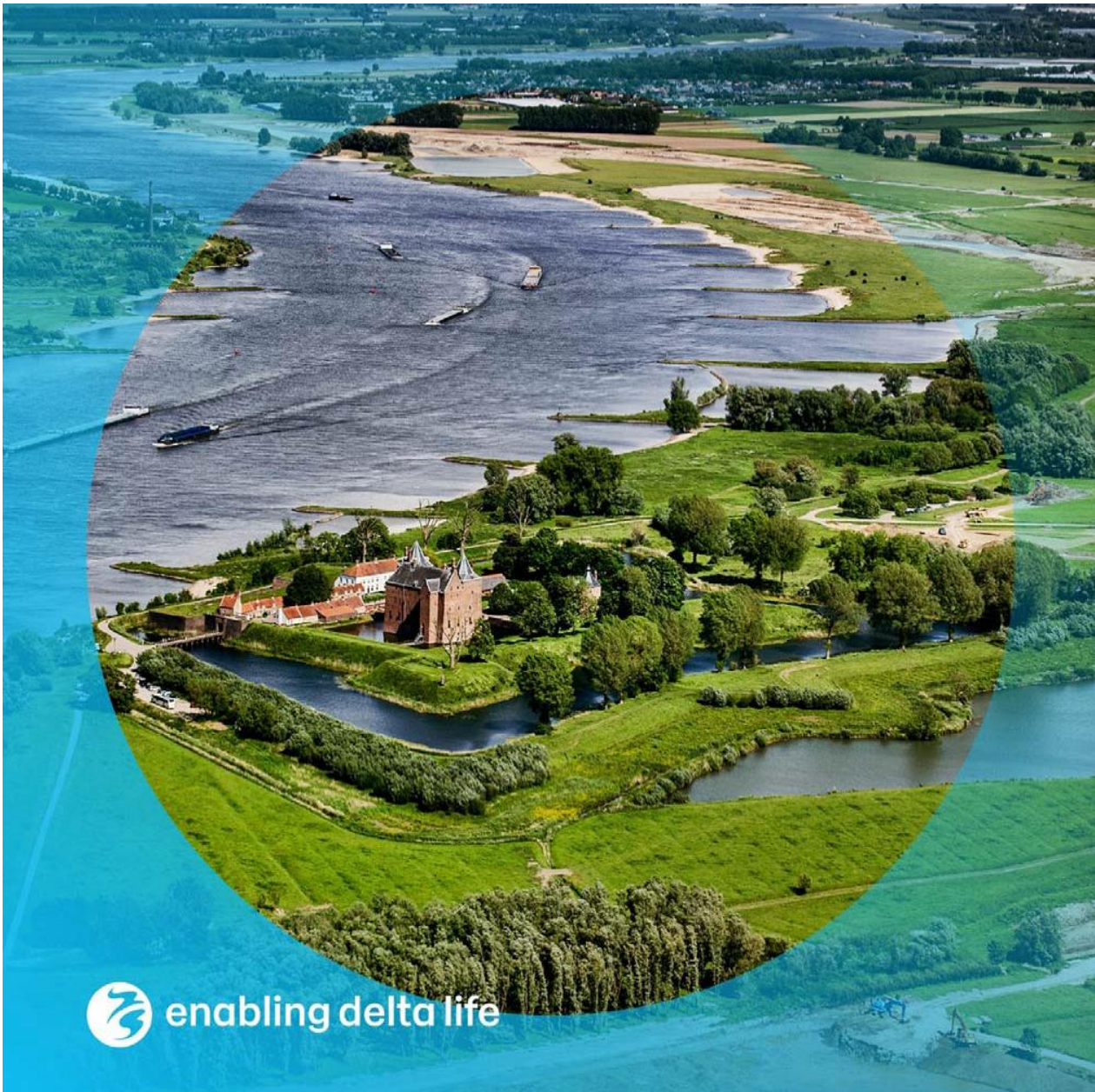
- De veldtesten hebben belangrijke onderzoeksvragen opgeleverd:
 - Hoe hangt de in dit project waargenomen 'schijnbare barometrische inefficiency' samen met de gevoeligheid van de instrumenten voor kleine drukveranderingen?
 - Hoe kunnen we de grote verschillen tussen de Fugro- en Geopoint-WSM's verklaren? En waar moeten we rekening mee houden zolang dit onverklaard is?
 - Hoe kun je in de meetpraktijk het beste omgaan met druk-effecten gasbelvorming en verplaatsingen?
 - Nu wetende dat de verschillen in ruimte en tijd zo groot zijn, weten we ook dat we pas een eerste indicatie hebben van het spectrum van amplitudes, frequenties en volumes van deze processen. Is dit aanleiding voor bredere kennisgeving van de vakgemeenschap of is dit hooguit interessant voor de onderzoeksgemeenschap?
 - Wat is de invloed van gasbelvorming op geotechnische faalmechanismen van dijken nu we weten op welke ruimtelijke en temporele schaal deze zich kennelijk voordoen?
 - Wat zou in de toekomst een passend meetnetontwerp kunnen zijn, rekening houdend met wat we nu weten over de kans van optreden van gasvorming?
- De veldtesten hebben een aantal inzichten opgeleverd die gaan helpen bij het interpreteren van toekomstige waterspanningsmetingen:
 - Meetfrequentie,
 - Typen van gasbeldrukopbouw,
 - Onvoorspelbaarheid van optreden:
 - Diepte,
 - Temperatuurverloop,
 - Luchtdruk.
- De veldtesten hebben ons geholpen om te bepalen waar leveranciers van meetopstellingen hun energie in moeten steken bij WSM's in veen:
 - Lusten en lasten van diverse instrumenten en telemetrische apparatuur;
 - Eerste- en tweedelijns interpretatie van meetdata;
 - Reservering tijd voor preventief onderhoud en planning,
 - Meetnetontwerp (aantallen per cluster, raai, diepte).
- De veldtesten hebben inzicht opgeleverd in nut en noodzaak van gasfilters en vacuümbehandelingsopties.

8. Referenties

- Fugro. (2017). *Eindrapportage Monitoring, grondonderzoek pre-verkenning 2016 regionale keringen* (Fugro documentnummer 1316-0294-141.R04). Fugro NL Land BV.
- Fugro (2019). *Plan van Aanpak Ontwikkelingsfase Ontwikkeling grondwatergasbestendige waterspanningsmeter* (Fugro projectnummer 1417-0042-100). Fugro NL Land BV
- Fugro. (2020a). *1^e kwartaalrapportage, POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – eerste veldtest* (Fugro documentnummer 1417-0042-141.R02). Fugro NL Land BV.
- Fugro. (2020b). *4^e kwartaalrapportage, POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – eerste veldtest* (Fugro documentnummer 1417-0042-141.R05). Fugro NL Land BV.
- Muraro, S. (2019). *The deviatoric behaviour of peat: a route between past empiricism and future perspectives*. <https://doi.org/10.4233/uuid:ffbea4e0-2e97-4d41-819d-beec42120b29>
- POV Macrostablieit. (2018). *Syntheserapport onderzoeksfase gasbestendige waterspanningsmeter*. Projectoverstijgende Verkenning Macrostablieit (POVM).
- POV Macrostablieit. (2019). *Protocol voor de selectie en installatie van waterspanningsmeters: Protocol voor het selecteren, plaatsen, toepassen en behouden van instrumenten voor het monitoren van waterspanningen in de ondergrond voor gebruik tijdens toetsingen, het ontwerp en de realisatie van dijkverbeteringen en gedurende de beheerfase van dijken*. Projectoverstijgende Verkenning Macrostablieit (POVM).
- POV Macrostablieit. (2020). *Eindrapport ontwikkelingsfase gasbestendige waterspanningsmeter*. Projectoverstijgende Verkenning Macrostablieit (POVM).
- Van Diest, P.H., & Hogervorst, F.A.N. (2015). *Veenbonken gehoorzamen de gaswetten. H2O-Online*. <https://www.h2owaternetwerk.nl/index.php/vakartikelen/veenbonken-gehoorzamen-de-gaswetten>

C. Eindrapport onderzoek steriele gel – Deltares

Ontwikkeling grondwatergasbestendige waterspanningsmeter- Onderzoek naar toepassing steriele gel tegen microbiële gasvorming



Ontwikkeling grondwatergasbestendige waterspanningsmeter- Onderzoek naar toepassing steriele gel tegen microbiële gasvorming

Auteur(s)

Fredericke Hannes
Jasperien de Weert

Ontwikkeling grondwatergasbestendige waterspanningsmeter- Onderzoek naar toepassing steriele gel tegen microbiële gasvorming

Opdrachtgever	Fugro NL Land B.V.
Contactpersoon	Arend Pool
Trefwoorden	Waterspanningsmeter, methaanvorming, verstoring druk waterspanningskamer, natriumazide, zilver sulfaat

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	07-07-2020
Projectnummer	11204292-002
Document ID	11204292-002-BGS-0002
Pagina's	25
Status	definitief

Auteur(s)

	Fredericke Hannes	
	Jasperien de Weert	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	 Fredericke Hannes	 Bas van der Zaan	 Rob Nieuwenhuis	
	Jasperien de Weert			

Samenvatting

Waterspanningmeters (WSMs) kunnen onder bepaalde omstandigheden verstoringen laten zien, welke veroorzaakt worden door microbiële productie van methaangas. Hierdoor kan de stabiliteit van de ondergrond niet meer op een betrouwbare manier worden gemeten, en behoeft de WSM te worden vervangen. In het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven zijn maatregelen voor het tegengaan van microbiële gasvorming in de kamer van de WSM met behulp van steriele gels experimenteel onderzocht. Daarnaast is grondwater bemonsterd op een locatie waar een veldproef met WSMs werd uitgevoerd om inzicht te krijgen in de geochemische samenstelling van het grondwater.

In het laboratorium van Deltares zijn antibacteriële gels met silversulfaat en natriumazide ontwikkeld. De maximale toepasbare concentratie van deze twee antibacteriële componenten is vastgesteld en op basis daarvan is met een diffusiemodel de theoretisch maximale levensduur van de pellets vastgesteld. Laboratoriumtesten met de pellets die zijn aangebracht in de kamers van een WSM zijn onder verschillende condities (zonder roeren, en/of aanwezigheid van water en bodemmateriaal) uitgevoerd. Daarbij is de levensduur van de antibacteriële werking van de gel vastgesteld met bacteriële kweektesten. Bij het geochemisch onderzoek van de grondwatermonsters is met name gekeken naar de aanwezige anionen en kationen, totaal organisch materiaal en methaan.

De uitgevoerde experimenten laten zien dat de microbiële activiteit inderdaad geremd kan worden door de toegepaste gelmatrix en dat de diffusie van de werkzame stoffen minder snel verloopt dan theoretisch mogelijk, wat gunstig is voor de levensduur van de antibacteriële gel. Het aanbrengen van de gelpellets in de WSM-kamer lijkt praktisch het meest goed werkbaar. Testen laten zien dat de remming van activiteit ten minste 112 dagen na incubatie in aanwezigheid van water en bodemmateriaal nog meetbaar is. De mate waarin de verstoring van WSMs door microbiële gasvorming in de praktijk kan worden voorkomen met deze pellets kan in een veldtest nader worden onderzocht.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel en onderzoeksopzet	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Uitgevoerde werkzaamheden	8
2.1	Antibacteriële gels	8
2.1.1	Concentratie natriumazide en zilversulfaat in gel	8
2.1.2	Diffusieberekeningen	8
2.1.3	Gel als laagje	10
2.1.3.1	Samenstelling gel	10
2.1.3.2	Test werkingsduur in water met intensief roeren	10
2.1.4	Gel als pellet	11
2.1.4.1	Test werkingsduur in water zonder roeren	12
2.1.4.2	Werkingsduur in kolommen met grond en grondwater	12
2.2	Veld	13
3	Resultaten	14
3.1	Steriele gels	14
3.1.1	Gel als laagje	14
3.1.1.1	Samenstelling gel	14
3.1.1.2	Werkingsduur gellaagje met intensief roeren	14
3.1.2	Gel als pellet	16
3.1.2.1	Werkingsduur gelpellet in water zonder roeren	16
3.1.2.2	Werkingsduur in kolommen met grond en grondwater	18
3.2	Veld	20
4	Conclusie	21
4.1	Antibacteriële gel	21
4.2	Veldonderzoek	21
4.3	Algemene conclusie en aanbevelingen	21
5	Referenties	22
A	Protocol gellaagje in een WSM-kamer	23
B	Protocol pellets maken	24

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om inzicht in de stabiliteit van de ondergrond te verkrijgen, bijvoorbeeld bij aanleg en onderhoud van dijken, wordt de druk van het poriewater (waterspanning in de ondergrond) gemeten met waterspanningsmeters (WSMs). Deze WSMs kunnen echter onder bepaalde omstandigheden verstoringen laten zien, zonder dat dit toe te schrijven is aan bijvoorbeeld neerslag of verandering in rivierwaterstand.

Uit eerdere onderzoeken blijkt dat verstoring van het meetsignaal van WSMs optreedt in gronden bestaande uit klei, klei / veen, of klei met silt en dat de verstoring wordt veroorzaakt door methaangas. Uit laboratoriumonderzoek, uitgevoerd in 2017-2018 bij Deltares, is gebleken dat dit methaangas microbiologisch geproduceerd lijkt te kunnen worden en vervolgens mogelijk ophoopt in de kamer van de WSM, om daar vervolgens de verstoring van de drukmetingen te veroorzaken (Van der Waals et al., 2018). In de drukkamers van de WSMs waar verstoring optrad, werden grote aantallen methaanproducerende (methanogene) bacteriën gevonden. In de drukkamers van de WSMs waar geen verstoring plaats vond, waren de aantallen van deze micro-organismen veel lager.

Het steriel houden van de WSM-kamer kan er dus voor zorgen dat er geen microbiële gasvorming optreedt. In het onderzoek uit 2017-2018 zijn enkele eerste testen gedaan met antibacteriële stoffen als maatregel om de WSM kamer steriel te houden. De resultaten van deze eerste testen waren positief, en op basis hiervan is vervolgonderzoek uitgevoerd. Ook is aanbevolen om uitgebreider onderzoek te doen naar de geochemische omstandigheden van de bodem waar verstoring van WSMs wordt waargenomen. Deze informatie kan namelijk gebruikt worden om vooraf beter te kunnen inschatten of WSM-verstoring door gasvorming op zal treden. De uitgevoerde werkzaamheden en de tussentijdse resultaten van het vervolgonderzoek staan beschreven in het onderhavige rapport. Het project loopt tot eind juli en zal dan afgerond worden met een eindrapportage waarin alle resultaten staan.

1.2 Doel en onderzoekopzet

Het doel van dit project is het verder uittesten van de maatregelen voor het tegengaan van microbiële gasvorming in de kamer van de waterspanningsmeter (WSM) met behulp van steriele gels.

Het onderzoek focust zich op aanvullend labonderzoek voor het aanbrengen en de werkingsduur van de antibacteriële gel. Hierbij is onder andere gekeken wat een praktische manier is om de gels aan te brengen in de WSM-kamer. Daarbij staat voorop dat aannemers die WSMs gebruiken, dit ook zelf zouden kunnen toepassen.

Daarnaast heeft Deltares nog enkele grondwater bemonsteringen in het veld gedaan op een locatie waar een veldproef met WSMs werd uitgevoerd. Op deze grondwatermonsters zijn analyses uitgevoerd naar diverse parameters om inzicht te krijgen in de geochemische samenstelling van het grondwater.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de laboratoriumwerkzaamheden die zijn uitgevoerd met de steriele gels. Tevens staan de werkzaamheden beschreven die zijn uitgevoerd met betrekking tot de geochemische grondwatersamenstelling op de locatie waar de veldpilot wordt uitgevoerd. In Hoofdstuk 3 staan de resultaten van het laboratorium en het veldonderzoek, gevolgd door de conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 4.

De veldwerkzaamheden maken deel uit van een grotere veldpilot. Deze zullen worden beschreven en gerapporteerd in een rapportage opgesteld door Fugro NL Land BV

2 Uitgevoerde werkzaamheden

2.1 Antibacteriële gels

In eerdere testen met antibacteriële gels, beschreven in Van der Waals et al. (2018) is uitgegaan van natriumazide en zilversulfaat als antibacteriële component. Als hulpstof werden vaseline en agarose getest voor opvulling van de gel. Uit de testen is gebleken dat agarose het meest geschikt was en daar is het onderzoek verder mee uitgevoerd.

Om de werking van antibacteriële gels in WSM te onderzoeken, wordt uitgegaan van een zo hoog mogelijke concentratie van natriumazide en zilversulfaat in de WSM. Daarvoor is het enerzijds van belang om een geschikte concentratie van deze biociden in de gel aan te brengen. Er zijn testen uitgevoerd om te bepalen wat de maximale hoeveelheid is die in de gel kan worden aangebracht. Anderzijds is het belangrijk om de diffusie vanuit de gel naar het water in de WSM-kamer vast te stellen. Diffusieberekeningen zijn uitgevoerd om in te schatten wat de potentiële werkingsduur van de gel in de WSM is. Vervolgens zijn testen uitgevoerd om te verifiëren hoe de diffusie in praktijk uitwerkt. In deze testen zijn gels als een laagje of in de vorm van een pellet in verschillende WSMs toegevoegd, om de werkingsduur van de antibacteriële werking vervolgens onder verschillende omstandigheden te testen.

De tweede manier waarop de concentratie/beschikbaarheid van antibacteriële componenten kan afnemen is door :

- microbiële of chemische omzetting;
- complexvorming (opgeloste organische moleculen en zuren) of;
- binding aan WSM materialen (metalen en keramische componenten).

NatriumAzide kan op zichzelf niet eenvoudig worden vastgesteld in oplossing dus is in plaats daarvan gekeken naar het verloop van natrium en nitriet in oplossing. Dit gaat uit van de aanname dat de gedissocieerde azide in oplossing geen andere verbindingen aangaat. Omdat deze aanname mogelijk niet volledig de werkelijkheid weergeeft, zijn ook antibacteriële testen uitgevoerd om de effectiviteit te verifiëren. Nitriet kan echter wel snel en relatief goedkoop worden geanalyseerd, waardoor het als indicator voor het proces is toegepast.

2.1.1 Concentratie natriumazide en zilversulfaat in gel

De maximale oplosbaarheid van natriumazide is 400 g/l en van zilversulfaat is 8,3 g/l. Het streven is om een zo'n hoog mogelijke concentratie in de gel te brengen. Voor zilversulfaat bleek het mogelijk om de hoeveelheid tot de maximale oplosbaarheid in de gel te brengen, voor natriumazide bleek dat praktisch niet mogelijk.

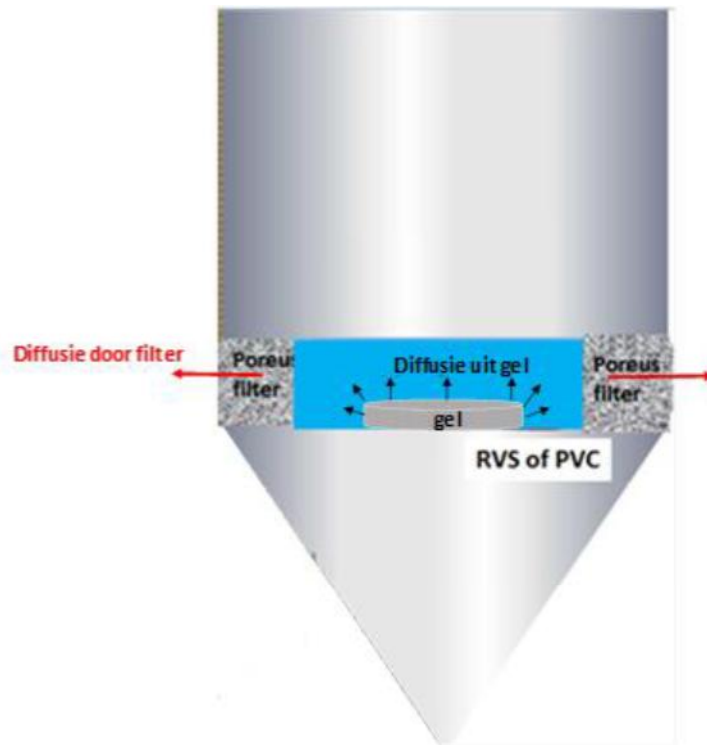
De agarose gel wordt namelijk eerst warm gemaakt waardoor het vloeibaar is en vervolgens wordt natriumazide er als vast stof in aangebracht. Echter een hoeveelheid met equivalent van 400 g/l bleek praktisch te veel om snel genoeg door de gel te roeren waarbij de gel vloeibaar bleef. Het is wel mogelijk om een gel te maken van 300 g/l.

De gels die verder getest zijn bevatten dan ook allemaal 8,3 g/l zilversulfaat en 300 g/l natriumazide bevatten.

2.1.2 Diffusieberekeningen

De antibacteriële werkingsduur van de gel is afhankelijk van hoe snel de natriumazide en zilversulfaat uit de gels diffunderen en vervolgens door de filters van de WSM naar de omringende grond/grondwater diffunderen (Figuur 2.1). De diffusie van de gel naar het water in de WSM-kamer zorgt ervoor dat bacteriën die aan een voldoende hoge concentratie worden blootgesteld het niet overleven. De diffusie vanuit de WSM-kamer naar het omringende grondwater zorgt er juist weer voor dat de concentratie daalt. Voor de werkingsduur is het dus van belang dat de

concentratie in de kamer lang genoeg voldoende hoog blijft om bacteriën te doden en het water in de WSM-kamer steriel te houden.



Figuur 2.1: Schematische weergave van diffusie uit gel en uit de kamer van de waterspanningsmeter via de filters.

Om inzicht te krijgen of de concentratie in de kamer lang genoeg in stand blijft, zijn voorafgaand aan de laboratoriumwerkzaamheden diffusieberekeningen uitgevoerd met behulp van de volgende formule:

$$D_s = (D \cdot A \cdot T \cdot \Delta C) / d$$

D_s = diffusiesnelheid (mol/m³/s)

D = diffusieconstante (m²/s)

A = diffusieoppervlak (m²)

T = temperatuur (K)

ΔC = concentratieverschil (mol/m³)

d = diffusieafstand (m)

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de Geopoints, waarbij voor het diffusieoppervlak (A) het oppervlak van de vier filters zijn genomen.



Figuur 2.2: Geopoint met een van de vier filters (oranje omcirkeld), die gelijkmatig rondom verdeeld zijn (foto Eijkelkamp).

Omdat er geen diffusieconstanten voor natriumazide en zilversulfaat bekend zijn voor diffusie vanuit agarosegel naar water (aanwezig in de WSM-kamer) is de diffusieconstante voor water gebruikt. Dit is echter een overschatte diffusieconstante: de diffusie uit agarose naar water verloopt waarschijnlijk langzamer dan van water naar water. Tevens zit er rondom vastgestelde diffusieconstanten in water ook een zekere mate van spreiding. Gezien deze onzekerheden is er daarom gekozen om een globale “worst-case” berekening te doen, waarbij de hoogste diffusieconstanten worden genomen uit Buffle et al. 2007. De gebruikte diffusieconstante voor het zilverion zijn : $1,6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ voor azide is gebruik gemaakt van $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ (gebaseerd op nitraat uit hetzelfde artikel).

Er wordt ook uitgegaan van een constant maximaal concentratieverschil van 300 g/l ($4600 \text{ mol}/\text{m}^3$) voor natriumazide en 8,3 g/l ($26 \text{ mol}/\text{m}^3$) voor zilversulfaat. In werkelijkheid zal dit langzaam minder worden en zal daardoor de diffusiesnelheid ook afnemen. De temperatuur waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd is 14°C .

Bij toepassing van 0,5 ml gel in deze “worst-case” situatie duurt het voor natriumazide en zilversulfaat circa een dag om volledig uit de kamer te zijn gediffundeerd. Dat zou relatief te kort zijn om de WSM-kamer langdurig steriel te houden. Het is echter zeer aannemelijk dat dit in de praktijk veel langer duurt aangezien we uitgaan van de hoogste diffusieconstanten in water. Met behulp van laboratoriumonderzoek kunnen we dit aantonen.

2.1.3 Gel als laagje

Het is de bedoeling dat de gel op eenvoudige wijze in de WSM-kamer kan worden aangebracht en dat dit bij voorkeur in zo veel mogelijke verschillende typen en configuraties van WSMs kan worden gedaan. De handigste manier om dit te doen is door middel van injectie van een vloeibare gel die vervolgens uithard in de WSM-kamer tot een vaste gel. De eerste testen in het laboratorium hebben zich hierop gericht.

2.1.3.1 Samenstelling gel

Hoe makkelijk de gel te injecteren is en hoe goed een mooie gellaag wordt gevormd is mede afhankelijk van het percentage agarose dat wordt toegepast. Er is getest welk percentage het meest geschikt is voor de toepassing in de WSMs. Hiervoor zijn 1, 2,5, 5 en 10% agarose opgelost in water gebruikt. Dit is uitgevoerd, zowel zonder als met 300 g/l natriumazide en 8,3 g/l zilversulfaat, waarbij voor de testen met de beide chemicaliën alleen 2,5 en 5% agarose is gebruikt. Het protocol voor het maken van het gellaagje in een WSM is opgenomen in Bijlage A.

2.1.3.2 Test werkingsduur in water met intensief roeren

Voor de test van de werkingsduur van een gellaagje is gebruik gemaakt van de 5% agarose gel, omdat die voor het maken van een laagje gel met natriumazide en zilversulfaat het meeste geschikt was. Deze gel was goed aan te brengen met een spuit en vormde een mooie stevige gellaag.

De versnelde diffusie test in water met een laagje gel is uitgevoerd met Geopoint WSMs. De gels zijn aangebracht in de WSM-kamers. Vervolgens zijn de kamers volledig afgevuld met water volgens het protocol van veldmedewerkers van Wiersema&partners (W&P). De gevulde WSMs zijn in maatcilinders met 145ml water geplaatst op magneet-roerders (Figuur 2.3). Het water werd continue dusdanig geroerd zodat er volledige menging van de waterkolom plaatsvond. Na 1, 3, 22, 25 en 96 uur werd een Geopoint uit de maatcilinder genomen en werd het water in de kamer en in de maatcilinder bemonsterd. Elk tijdstip is in duplo uitgevoerd en in totaal zijn dus 10 WSMs ingezet.

De inhoud van de WSM-kamer is geanalyseerd op natrium-, nitriet- en sulfaatconcentraties. Nitriet is naast natrium geanalyseerd als maat voor de natriumazide, omdat het uiteenvalt in nitriet en azide, welke laatste een remmende werking op bacteriën heeft. Daarom is het water uitgeplaat op LB-mediumplaten met levende *E. coli*-bacteriën om de mate van remming van de bacterie groei door het water te bepalen. De platen zijn na toevoeging van het water uit de WSM-kamer overnacht bij 37°C geïncubeerd. Tijdens elke bemonstering is een positieve-controle plaat meegenomen met *E.coli* bacteriën, maar zonder water uit de WSM-kamer.



Figuur 2.3: Opstelling van test werkingduur (laagje) gel aangebracht in Geopoints.

2.1.4 Gel als pellet

Op 11 juni 2019 is er een workshop gehouden in het Geobiotechnologisch Laboratorium van Deltares binnen Utrecht Castel te Utrecht. Het doel van de workshop was om veldmedewerkers van Fugro en Wierstema&partners (W&P) te leren hoe de gel te maken en aan te brengen in de WSM-kamer. Tijdens deze workshop kwam naar voren dat het zelf maken en aanbrengen van de gel voorafgaand aan het installeren van de WSMs, te veel vraagt van de veldmedewerkers en praktische eigenlijk niet uitvoerbaar is. De wens werd uitgesproken om een kant-en-klare gel te hebben die direct aan de WSM-kamer kan worden toegevoegd. Daarbij is gezocht naar een toepasbare oplossing met een zo'n klein mogelijk diffusie oppervlak. De oplossing is gevonden in een gelpellet (Figuur 2.4). De gelpellet kan gemakkelijk van te voren worden gemaakt en bij de veldvoorbereiding van de WSM eenvoudig worden toegevoegd aan de kamer. Voor het maken van een pellet is opnieuw bekeken wat de het beste percentage agarose zou zijn. Het protocol voor het maken van deze agarose pellets met 300 g/l natriumazide en 8,3 g/l zilversulfaat staat beschreven in de Bijlage B. De pellets worden kunnen worden opgeslagen bij 4°C, en behouden hun werking minimaal 1 maand na maken.



Figuur 2.4: Gelpellet van agarose met natriumazide en zilver sulfaat

2.1.4.1 Test werkingsduur in water zonder roeren

Het testen van de werkingsduur van de gelpellet via een diffusietest in water is als volgt uitgevoerd. Bij deze test is het water in de maatcilinder niet geroerd omdat in de bodem dit ook niet gebeurt. Het grondwater staat daar ook nagenoeg stil of beweegt langzaam langs de WSM. Voor deze test zijn zowel Geopoints gebruikt als de RSV-WSMs van Fugro. De gemaakte gelpellets zijn aangebracht in de WSM-kamers en de kamers zijn gevuld met water volgens protocol veldmedewerkers W&P en Fugro (zodat zo min mogelijk gas in de WSM-kamer aanwezig is). Vervolgens werd de WSMs in een maatcilinder met 100ml demiwater geplaatst waarbij na installatie van de WSM is het eindvolume in de maatcilinder tussen de 150-160ml lag. Op opstelling was vergelijkbaar als bij het experiment met het gellaagje (Figuur 2.3). Na 4 uur, 1 dag, 4 dagen, 7 dagen, 18 dagen en 22 dagen is het water uit de WSM Geopoint kamer bemonsterd. Voor de bemonstering na 7 dagen en 22 dagen is dit in duplo gebeurd. Voor de WSM van FUGRO zijn bemonsteringen na 4 uur, 1 dag, 6, 10 en 14 dagen aangehouden, waarbij de WSMs na 1 dag en 6 dagen in duplo zijn bemonsterd. Meer WSM waren niet beschikbaar voor het in duplo uitvoeren van deze testen. Bij de bemonsteringen van 10 en 14 dagen bleek het water uit de kamer van de WSMs te zijn gelopen waardoor er geen monsters meer genomen konden worden. Het water uit de WSM-kamers van de eerste drie bemonsteringsronden zijn geanalyseerd op natrium, nitriet en sulfaat voor het vaststellen van diffusie. Tevens is het water uitgeplaat op een LB-mediumplaat voorzien van levende *E.coli* bacteriën. Dit laatste om inzicht te krijgen op de antibacteriële werking van de pellets.

2.1.4.2 Werkingsduur in kolommen met grond en grondwater

In navolging van de testen in water, is de duur van de antibacteriële werking in het laboratorium onderzocht van de gelpellets in Geopoints met grond en grondwater van de veldpilot die in het kader van dit project wordt uitgevoerd.

De gelpellets zijn in de WSM-kamers van de Geopoint aangebracht en de WSM-kamer zijn volgens protocol gevuld met gasloos water. Daarna zijn de WSMs in kolommen gebracht met grond en grondwater. De kolommen zijn afgedicht met klemdop (Figuur 2.5) en geïncubeerd bij 12°C. De inhoud van de WSM-kamer is bemonsterd en na 21 dagen, 112 dagen (ca. 3 maanden) en 180 dagen (ca. 6 maanden). Voor het eerste tijdstip zijn de kolommen in duplo bemonsterd en voor de overige twee tijdstippen in triplo bemonsterd. In totaal zijn er acht kolommen ingezet. Bij de bemonstering wordt de inhoud van de WSM-kamer gewogen en stopt voor de betreffende kolom het experiment. Na bemonstering is het water in de kamer geanalyseerd op natrium, nitriet en sulfaat en uitgeplaat op een LB-mediumplaat voorzien van levende *E.coli* bacteriën.



Figuur 2.5: Opstelling van kolommen met grond, grondwater en Geopoints om de werkingduur van de gelpellet uit te testen bij 12°C.

2.2 Veld

In juni 2019 zijn door W&P en Fugro voor de veldpilot die uitgevoerd wordt voor dit project verschillende WSMs in het veld geplaatst. Tijdens het plaatsen van de WSM is op 12 juni ook grondwater bemonsterd van een daar aanwezige peilbuis om inzicht te hebben in de geochemische omstandigheden. De bemonstering is uitgevoerd door een medewerker van het Geobiotechnologisch laboratorium van Deltares in Utrecht. Hier zijn ook de monsters geanalyseerd op anionen en kationen met ionchromatografie (ThermoFisher Dionex 3000), Totaal organische koolstof (NPOC) met de TOC analyser (Shimadzu, TOC-L) en methaan met gaschromatografie (Agilent, GC-TCD-methanizer-FID).

3 Resultaten

3.1 Steriele gels

3.1.1 Gel als laagje

3.1.1.1 Samenstelling gel

In Tabel 3.1 staan de resultaten van het bepalen van de meest geschikte dikte van de gel.

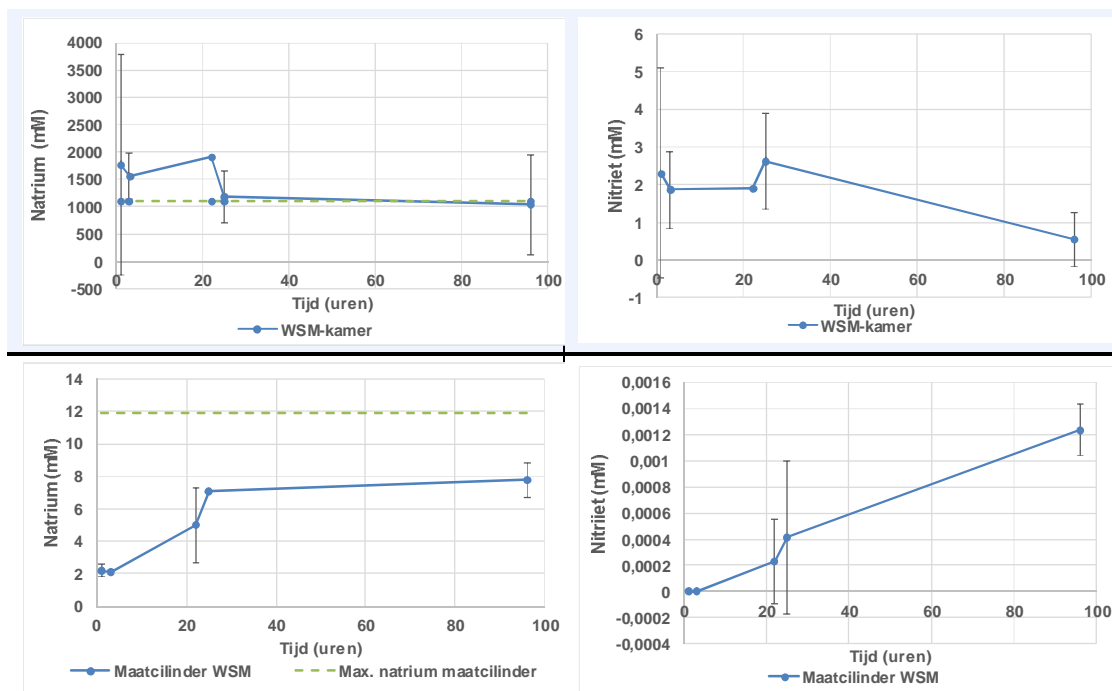
Tabel 3.1: Geschiktheid van de gel voor het aanbrengen inde WSM-kamer zonder en met natriumazide en zilversulfaat

Percentage agarose [%]	Zonder natriumazide en zilversulfaat	Met natriumazide en zilversulfaat
1	De agarose gel vormt een drolletje in de WSM kamer	
2,5	De agarose gel vormt een laagje aan de onderkant van de WSM kamer.	De agarose gel vormt geen mooie laag
5	Erg viskeus. Het was moeilijk de agarose gel uit de spuit te krijgen (voor veldwerkers moeilijk werkbaar). Daarnaast raakten alle filtertjes verstopt	De agarose gel vormt een laagje aan de onderkant van de WSM kamer.
10	Niet meer getest ivm viscositeit	Niet verder uitgetest

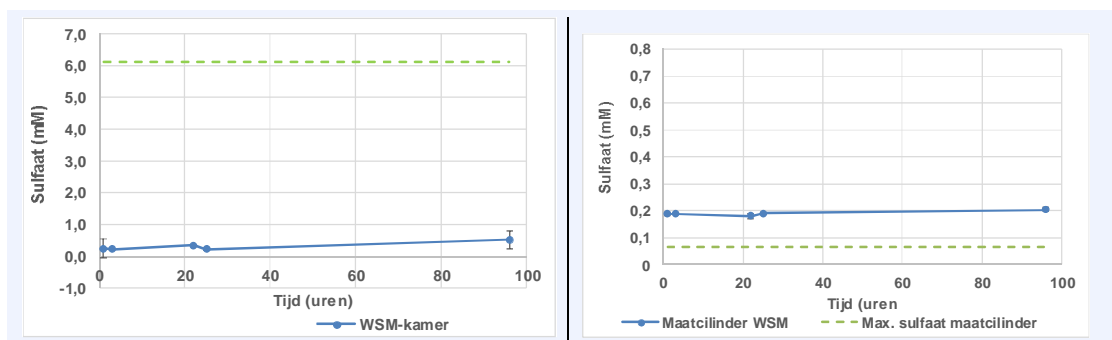
Uit deze testen komt naar voren dat zonder de chemicaliën, een 2,5% agarose gel het meest geschikt is aan te brengen in de WSM kamer. Dit geeft een mooie stevige gellaag aan de onderkant van de WSM kamer bij injectie van 0,5 ml gel en is daarnaast goed te injecteren met een spuit. Echter, wanneer de chemicaliën worden toegevoegd wordt de gel minder viskeus. Met chemicaliën blijkt de 5% agarose de beste gellaag te vormen. Op basis hiervan is de test naar de werkingsduur van de gellaag uitgevoerd met 5% agarose gel. In Bijlage A staat het protocol voor het maken van een gellaag in een WSM-kamer .

3.1.1.2 Werkingsduur gellaagje met intensief roeren

Uit de resultaten van de analyses van natrium en nitriet is te zien dat de concentratie in de kamer van WSM toeneemt in de eerste 22 uur en daarna afneemt (Figuur 3.1). De concentraties zijn uitgedrukt in mM om onderling vergelijking van de concentraties van de verschillende stoffen mogelijk te maken. De gemiddelde concentratie ligt steeds net boven of op de berekende maximale concentratie. Echter de spreiding van de duplo resultaten is erg groot. Dat de concentratie wat hoger is, kan komen doordat er uiteindelijk in de gel net iets meer natriumazide is afgewogen. In de maatcilinders blijft de concentratie natrium in de eerste drie uur nagenoeg gelijk. Tussen 3 uur en 22 uur neemt de concentratie toe. Natrium is dan uit de WSM-kamer gediffundeerd. De concentratie in de WSM-kamer neemt in deze periode ook af. De gemiddelde concentratie in de maatcilinder blijft beneden de maximale concentratie, die op basis van de berekeningen in de maatcilinder kan komen. De gemiddelde nitrietconcentratie loopt vanaf 3 uur na het inzetten van het experiment continue op, al wordt in de maatcilinder van één van de duplo's geen nitriet gevonden boven de rapportagegrens. De concentraties die wel zijn gemeten lagen zeer dicht tegen de rapportagegrens aan.



Figuur 3.1: Gemiddelde concentraties van de duplometingen natrium en nitriet (in mM) in de tijd in de kamers van de WSMs (boven) en in de maatcilinders (onder met de berekende maximale concentratie natrium en sulfaat die in het water kan zitten (groene gestippelde lijn). Error-bars is de standaard deviatie van de duplo meting.

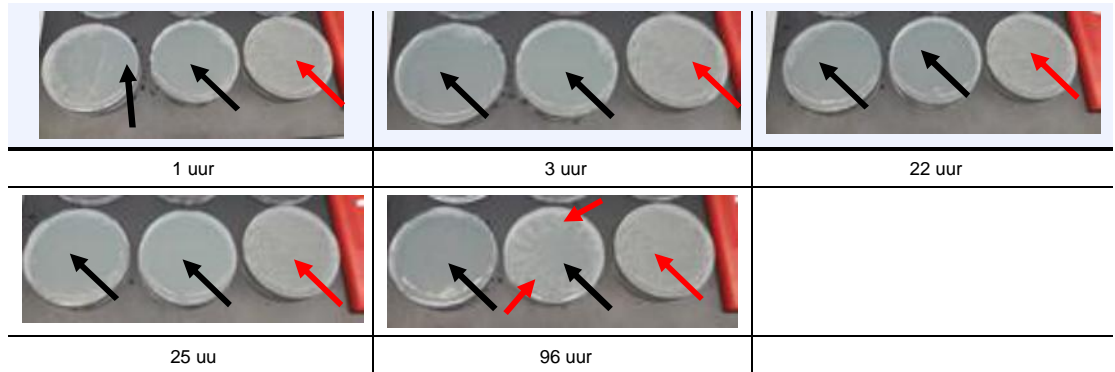


Figuur 3.2: Gemiddelde concentraties van de duplometingen sulfaat (in mM) in de tijd in de kamers van de WSMs (boven) en in de maatcilinders (onder met de berekende maximale concentratie natrium en sulfaat die in het water kan zitten (groene gestippelde lijn). Error-bars is de standaard deviatie van de duplo meting.

De sulfaatconcentratie in de WSM-kamer blijft nagenoeg gelijk tijdens het experiment, en is iets toegenomen na 96 uur. De concentratie is gelegen ruim onder de maximale concentratie van 6 mM die in de WSM-kamer kan ontstaan bij volledige diffusie uit de gel. De concentraties in de maatcilinder zijn ook nagenoeg constant en vergelijkbaar met die in de WSM-kamer, behalve na 96 uur. Dan liggen ze lager. Het lijkt er dus op dat de sulfaat al in het water in de maatcilinder aanwezig was en niet uit de gel is gekomen. Bij een deel van de duplo's is de standaard deviatie zeer klein waardoor deze niet te zien is in de figuur. Zilversulfaat is als vast deeltje toegevoegd, maar moet eerst oplossen. Dit vertraagt de diffusie en kan verklaren waarom er geen toename in sulfaatconcentratie te zien is. .

Uit de resultaten blijkt dat de diffusie langzamer verloopt als op basis van de 'worst-case' berekeningen was gevonden, zelfs bij de omstandigheden waardoor optimale menging van het water in de cilinder een zo hoog mogelijk concentratiegradiënt wordt bereikt.

Het water in de WSM blijkt de bacteriegroei tot en met 96 uur te remmen (Figuur 3.3). Dat er op de duplo plaat na 96 wel wat groei is opgetreden aan de randen kan te maken hebben met de vochtigheid van de platen en de verdunning die daarmee gepaard gaat bij het uitplaten. Na 96 uur is er nog een voldoende hoge concentratie aan natriumazide aanwezig om de bacteriegroei te remmen.



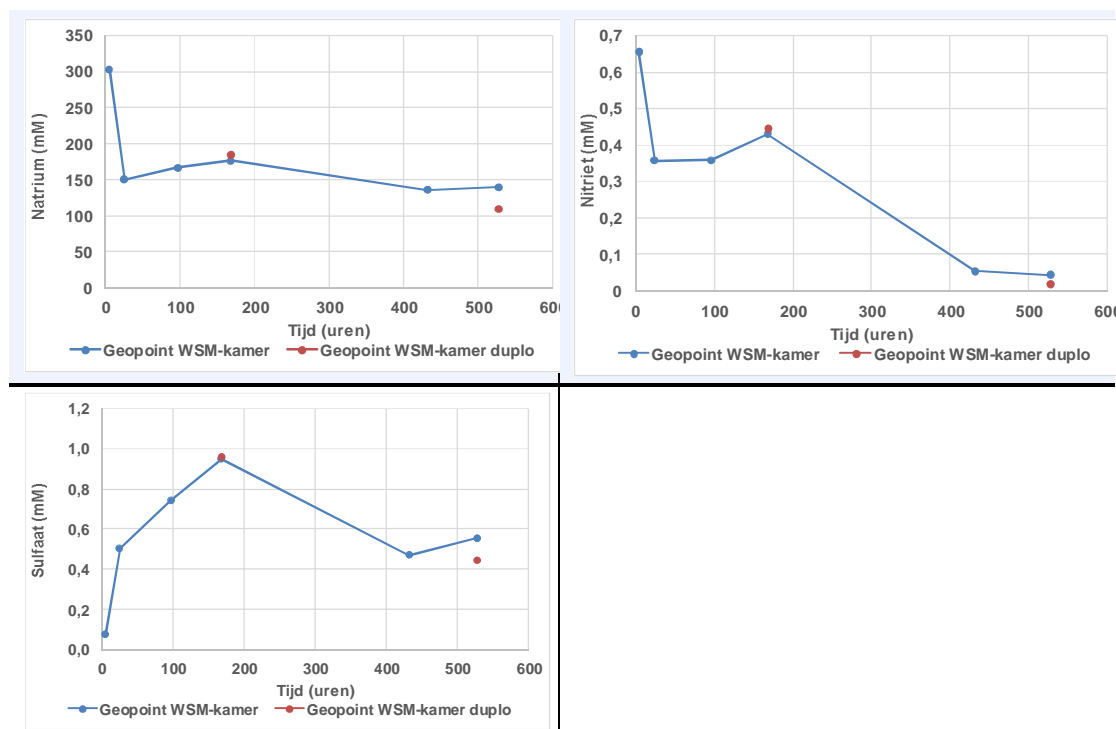
Figuur 3.3: Remming *E.coli*-bacteriën door water uit de WSM-kamer met gellaagje na 1, 3, 22, 25 en 96 uur. De linker en middelste plaat zijn duplo's, de rechter plaat is een positieve controle. Zwarte pijlen geven plekken aan met remming, rode pijlen met bacteriegroei.

3.1.2 Gel als pellet

3.1.2.1 Werkingsduur gelpellet in water zonder roeren

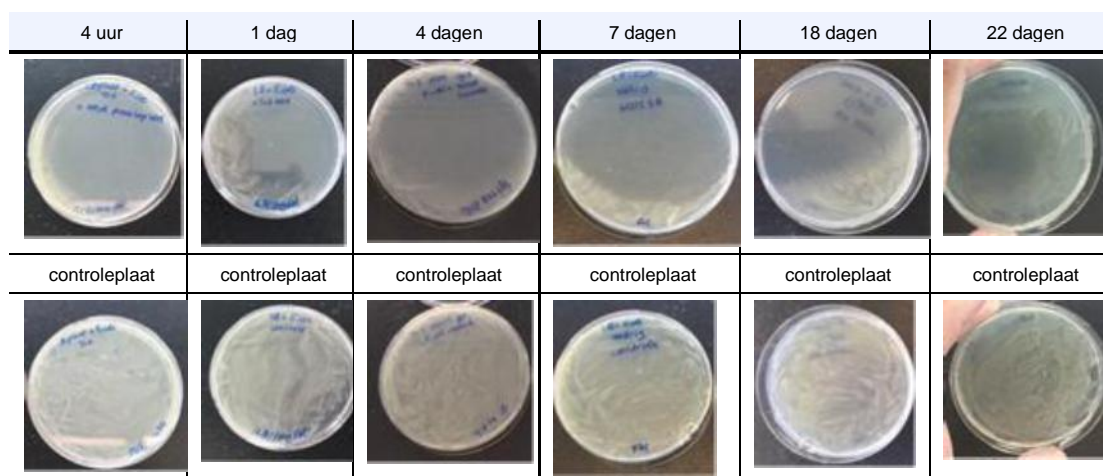
Geopoint-WSM

De natriumconcentratie in het water in de WSM-kamer van de Geopoints is constant in de tijd en de nitrietconcentratie daalt (Figuur 3.4). Door het niet roeren, kan zowel de diffusie uit de kamer langzamer verlopen, als de diffusie uit de pellet trager gaan door een kleiner diffusieoppervlak ten opzichte van een gellaag. Dit heeft tot gevolg dat de natriumconcentratie constant blijft in de WSM-kamer en er minder azide wordt afgebroken naar nitriet. Sulfaat heeft een lichte toename in het begin en blijft dan stabiel.



Figuur 3.4: Concentraties nitriet, nitraat en sulfaat (in mM) in de tijd in de kamers met gelpellet van de Geopoint-WSMs waarvan twee in duplo (rode stippen).

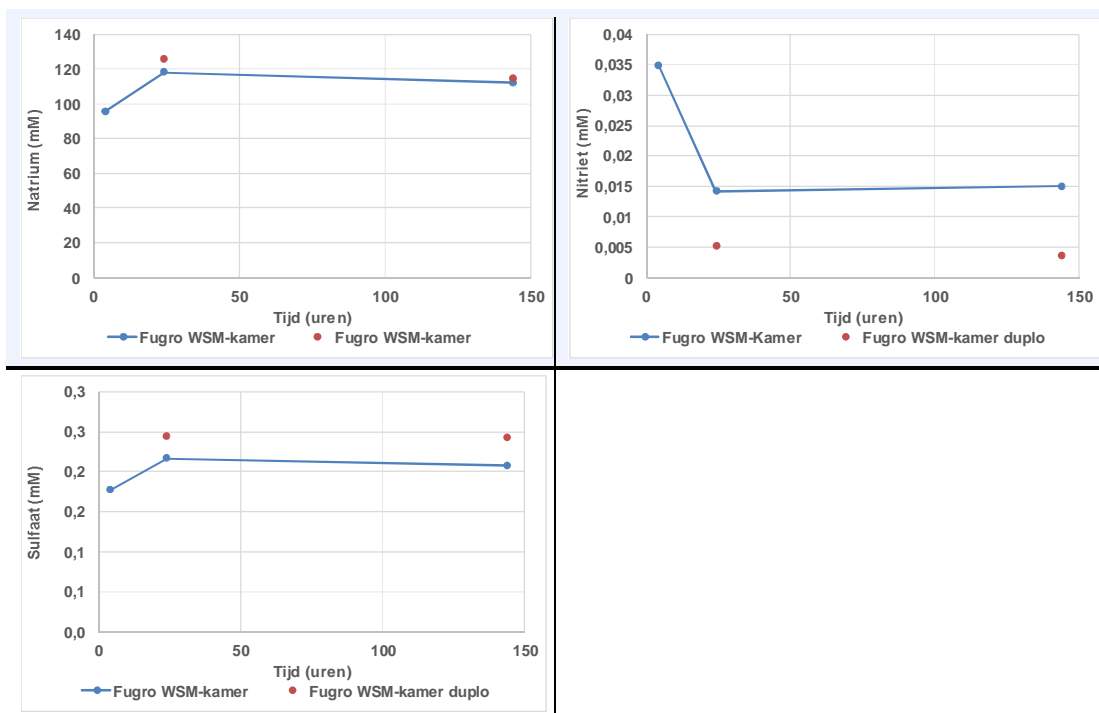
De concentraties natriumazide en zilver sulfaat in de WSM-kamers blijken tot 22 dagen (522 uur) voldoende hoog te zijn om de groei van de *E.coli*-bacteriën te remmen (Figuur 3.5). In de positieve controle was wel groei van de bacteriën te zien.



Figuur 3.5: Remming *E.coli*-bacteriën door water uit de WSM-kamer van de Geopoint-WSMs met gelpellets na 4 uur, 1 dag, 4, 7, 18 en 22 dagen (boven) en de positieve controles (onder).

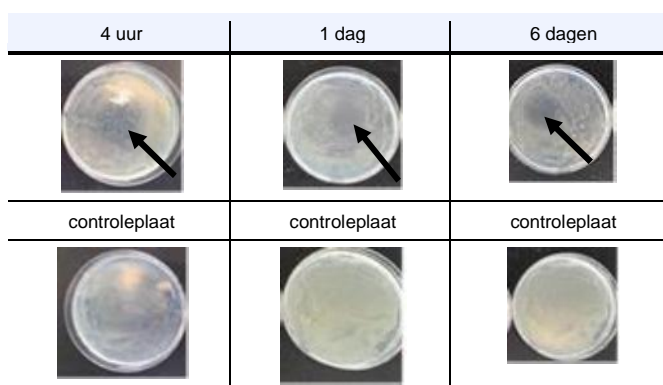
FUGRO-WSM

De concentraties chemicaliën in het water van de Fugro-WSM kamers blijven gedurende 6 dagen (144 uur) ook constant (Figuur 3.6). De resultaten na 10 en 14 dagen zijn niet bekend omdat er geen water meer in de WSM kamer zat.



Figuur 3.6: Concentraties nitriet, nitraat en sulfaat (in mM) in de tijd in de kamers met gelpellet van de Fugro-WSMs waarvan twee in duplo (rode stippen).

Ook het water uit de WSM van FUGRO is uitgeplaat op LB-platen met *E.coli*-bacteriën. Hierbij is ook elke bemonsteringsronde een controle plaat meegenomen (Figuur 3.7). Vanaf de bemonstering na 6 dagen zat er geen voldoende water meer in de kamer om een bemonstering uit te kunnen voeren. Het viel het op, dat gedurende het experiment de kamers langzaam leeg liepen. Sommige bemonsteringspunten waren in duplo ingezet, en ook deze waren leeggelopen. Bij de bemonstering die wel konden worden uitgevoerd, is duidelijk een remmende zone zichtbaar op het midden van de plaat. Wel in mindere mate dan bij de WSM van Geopoint.

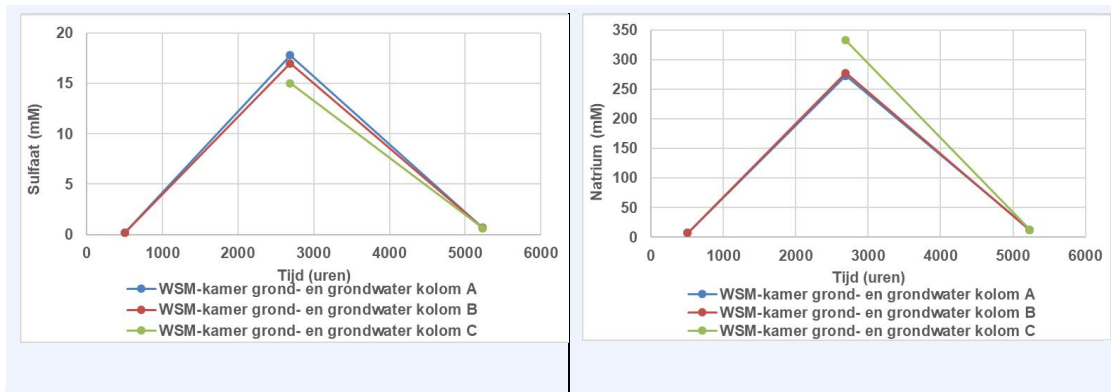


Figuur 3.7: Remming *E.coli*-bacteriën door water uit de WSM-kamer van de Fugro WSMs met gelpellets na 4 uur, 1 dag 6 dagen (boven) en de positieve controles (onder). Zwarte pijlen geven plekken aan met remming.

3.1.2.2 Werkingsduur in kolommen met grond en grondwater

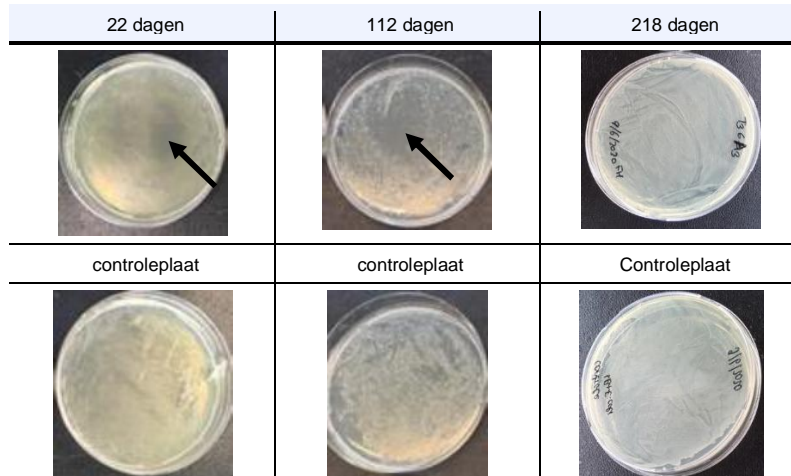
In het water van de WSM-kolommen werd geen nitriet gemeten boven de detectielimiet (0,2 μ M). De concentraties natrium en sulfaat stijgen tussen 22 en 112 dagen en dalen na 218 dagen weer tot tot 1,5x (sulfaat) en 4x (natrium) de concentratie na 22 dagen (Figuur 3.8). De concentraties in de duplo-meting na 22 dagen en de triplo-metingen na 112 en 218 dagen zijn voor beide parameters nagenoeg gelijk. De nitraat concentratie is na 22 dagen in de WSM-kamers van dit experiment

circa 20 maal lager dan in het experiment met de gelpellet in de maatcilinder zonder roeren (data niet getoond). Na 112 dagen is dit ongeveer 100 mM hoger (minder dan een factor 2). Sulfaat is na 22 dagen vergelijkbaar en stijgt flink na 112 dagen. Hiermee stijgt het ook uit boven de maximale te verwachten concentratie op basis van de hoeveelheid zilversulfaat in de gelpellet. Mogelijk komt een deel van dit sulfaat uit het materiaal in de kolom zelf. Aan het eind van het experiment, na 218 dagen, zijn deze sterk verhoogde concentraties niet terug te vinden.



Figuur 3.8: Concentraties nitraat (links) en sulfaat (rechts) (in mM) in de tijd in de kamers met gelpellet in de kolommen met grond en grondwater. Kolom A – C zijn triplo's van elkaar.

Ook in de grondkolommen creëren de anti-bacteriële pellets na 112 dagen een remmende zone, op de LB platen met *E.coli* bacteriën (Figuur 3.9). De remming na 112 dagen is wel iets minder dan na 22 dagen. Dit kan ook komen door vocht op de plaat waardoor de concentratie in het water van de WSMs dat op de platen wordt gebracht wordt verdund. Op de plek waar het water als eerste in aangebracht (midden van de plaat, zie pijltje) is wel een duidelijk zone te zien met minder bacteriegroei. Na 218 dagen is er echter geen remmende zone meer zichtbaar op de LB platen met *E.coli* bacteriën. De antibacteriële werking van de pellets is dan niet meer zichtbaar.



Figuur 3.9: Remming *E.coli*-bacteriën door water uit de WSM-kamer van WSMs met gelpellets geplaatst in kolommen met grond en grondwater na 22, 112 en 218 dagen (boven) en de positieve controles (onder). Zwarte pijlen geven plekken aan met remming.

3.2 Veld

Tijdens het plaatsen van de WSMs voor de veldpilot is ook een grondwatermonster genomen uit een peilbuis, die op dezelfde diepte nabij de plaats van de WSMs aanwezig was. In (Tabel 3.2) staan de geochemische parameters die zijn gemeten op het grondwater. Op de locaties zijn methanogene omstandigheden aanwezig. De concentratie methaan is groter dan 3,3 mg/l, wat kan duiden op aanwezigheid van methanogene activiteit (voor biologische afbraak van chloorkoolwaterstoffen wordt 1 mg/l gehanteerd als ondergrens voor inschatting of er methanogene omstandigheden heersen, dus methaan kan worden geproduceerd). Tevens is er weinig nitraat en sulfaat aanwezig, dat duidt ook op methanogene omstandigheden. Het is dus een locatie waar op basis van deze data potentieel verstoring van de WSMs op kan treden. In vergelijking met de geochemische parameters die zijn gemeten in het grondwater onttrokken uit een BAT-filter (Waals, et al 2018), komen de nitraat- en de sulfaat concentraties overeen met de concentraties op deze veldpilotlocatie. De methaanconcentraties van 3305 µg/l bij deze meting en die destijds zijn gemeten in de BAT-filter (120 tot 870 mg/l) zijn niet te vergelijken omdat er toen ophoping van methaangas had plaatsgevonden in de BAT-filters zelf.

Tabel 3.2: Geogemische paramteres gemeten in het grondwater afkomstig van de veldpilotlocatie

NPOC	Methaan	Fluoride	Chloride	Nitriet	Bromide	Nitraat	Sulfaat
g C / kg	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
19,55	3305	<0,014	8,03	15,09	<0,079	<0,47.	2,63
Fosfaat	Lithium	Natrium	Ammonium	Kalium	Magnesium	Calcium	
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
< 0,93	< 0,01	7831	<0,05	0,96	1,06	8,28	

4 Conclusie

4.1 Antibacteriële gel

Voor het toepassen van een antibacteriële gel blijkt het zelf aanbrengen van de gel door veldmedewerkers praktisch niet haalbaar. Daarmee is een gel-pellet die in de kamer van de WSM kan worden gedaan gewenst.

Uit de testen met de antibacteriële gelpellet blijkt dat:

- De diffusie in de praktijk langzamer gaat dan uit de berekeningen naar voren komt.
- De gel in de vorm van een pellet in ieder geval tot 112 dagen een remming geeft van de groei van de *E.coli*-bacterie.
- Na 218 dagen is de remmende werking van de pellet niet meer meetbaar.

4.2 Veldonderzoek

Uit de resultaten komt naar voren dat op de locatie waar de WSMs in de veldpilot zijn geplaatst methanogene condities heersen. Gezien de eerder gevonden relatie tussen verstoring van WSM en microbiële methaanproductie in de WSM-kamer, is dit dus een locatie waar de kans aanwezig is dat er verstoring van WSMs kan optreden.

4.3 Algemene conclusie en aanbevelingen

Onder veldomstandigheden is het aannemelijk dat microbiële activiteiten zorgen voor methaanproductie in de WSM-kamer. Deze activiteiten kunnen tenminste 112 dagen geremd worden door het aanbrengen van een antibacteriële gelpellet in de WSM-kamer. Praktijktesten met antibacteriële pellets worden aanbevolen, aangezien deze inzicht zullen geven in de mate waarin de remming een positief effect heeft op de levensduur van een ongestoorde WSM-meting, door beperking van microbiële gasvorming.

5 Referenties

- Buffle, J., Zhang, Z., and Startchev, K. (2007) Metal flux and dynamic speciation at (bio)interfaces. Part I: Critical evaluation and compilation of physico-chemical parameters for complexes with simple ligands and fulvic/humic substances. Environmental Science & Technology Volume:, 41, pp7609-7620
- Van der Waals, M, Van der Zaan, B en de Weert, J. (2018). Verstoring van waterspanningsmeters; onderzoek naar oorzaken en omstandigheden Deltaresrapport 11201150-002-BGS-0003, 30 oktober 2018.,

A Protocol gellaagje in een WSM-kamer

Let op: het volume demiwater en af te wegen gewicht aan chemicaliën is afhankelijk van hoeveel gel je nodig hebt. Voor het vullen van 1 WSM geldt:

0,5 ml demiwater

0,025 gram agarose (voor een 5% agarose gel)

0,15 gram natriumazide

0,00415 gram zilversulfaat

In verband met de kleine af te wegen hoeveelheden wordt aangeraden om minimaal 10 ml gel aan te maken.

1. Draag tijdens het uitvoeren van het experiment altijd handschoenen, lab-bril en een labjas! Zilversulfaat en met name Natriumazide zijn erg giftig
2. Zet de balans (weegschaal) onder een afzuigkap of in de zuurkast
3. Berekenen hoeveel demiwater, chemicaliën en agarose er nodig is
4. Stop het juiste volume demi water om de gel te maken in een schoon flesje
5. Weeg de juiste hoeveelheid natriumazide (300 g/l), zilversulfaat (8,3 g/l) en agarose (5% van het gel volume) af voor de gel in de afgezogen ruimte of zuurkast
6. Laat de chemicaliën in de afgezogen ruimte of zuurkast staan
7. Open de WSM ('s) (WSM kamer (s) losdraaien)
8. Giet de afgewogen hoeveelheid agarose in het flesje met demiwater
9. Verwarm de agarose gel in een magnetron totdat alle agarose is opgelost (\pm 40 sec 600W voor 1 ml)
10. Giet de natriumazide en zilversulfaat in de agarose gel in de afgezogen ruimte
11. Zorg dat door middel van goed roeren met een klein lepeltje dat de natriumazide en zilversulfaat oplossen. Doe dit zo snel mogelijk om de gel niet te veel af te laten koelen
12. Spuit 0,5 ml agarose gel in de WSM kamer direct nadat de chemicaliën door de gel zijn gemengd maar de gel nog warm is
13. Sluit de WSM
14. Laat de gel afkoelen (\pm 10 min) door de WSM rechtop in een afgezogen ruimte neer te zetten

Het vullen van de WSM kamer kan vervolgens op de manier die gebruikelijk is.

Voor de Geopoint:

15. Stop 3 gesonificeerde filtertjes in de WSM kamer
16. Spuit ontgast water in het overgebleven gat totdat water via de 3 filtertjes naar buiten komt
17. Houd de WSM onder water in een bak met ontgast water en stop het vierde filtertje in de WSM

B Protocol pellets maken

Maken pellets

Tijdens het maken van de pellets is het belangrijk dat men kennis heeft genomen van de MSDSsheets van de chemicaliën Natriumazide en Zilversulfaat, en daarnaar handelt.

Het toevoegen van deze toxische chemicaliën gebeurt nadat de agarose is opgekookt. En ten alle tijden in een zuurkast met daarvoor juiste persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen, eventueel gelaatsmasker)

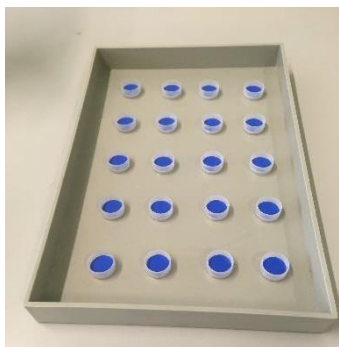
Opkoken Agarosegel:

- 100ml demiwater + 5% agarose in bekeerglas opkoken (in magnetron, 600Watt)
- De oplossing om de 15sec schudden, totdat oplossing helemaal helder is
- 10ml overbrengen in maatbeker, afkoelen tot handwarm

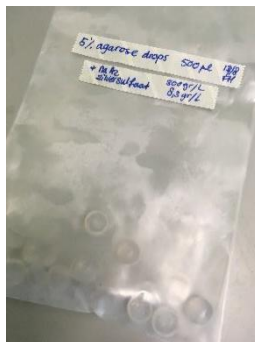
Toevoegen Chemicaliën:

Hierna werkzaamheden uitvoeren in zuurkast met handschoenen aan!

- Toevoegen 300gr/l Natriumazide en 8,3gr/l Zilversulfaat, en oplossing mengen
- Oplossing opnemen in een spuit (3ml) en pellets van 0,5ml in mal spuiten (zie Figuur A)
- De agarose gel pellets laten uitharden bij kamertemperatuur (min. 30min)
- Uitgeharden pellets uit de mal verwijderen
- Opslaan bij 4°C tot gebruik in WSM (houdbaarheid minimaal 1 maand), lucht dicht verpakt (zie Figuur B)



Figuur A: mal voor pellets



Figuur B: pellets voor opslag

Toepassen pellet in WSM Geopoint en WSM Fugro

- Haal de pellets uit de koelkast
- Stop de pellet in de WSM-kamer
- Maak de kamer dicht
- Vul de kamer op de gebruikelijke wijze, zie bijlage A Protocol gellaagje, vullen WSMkamer.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl

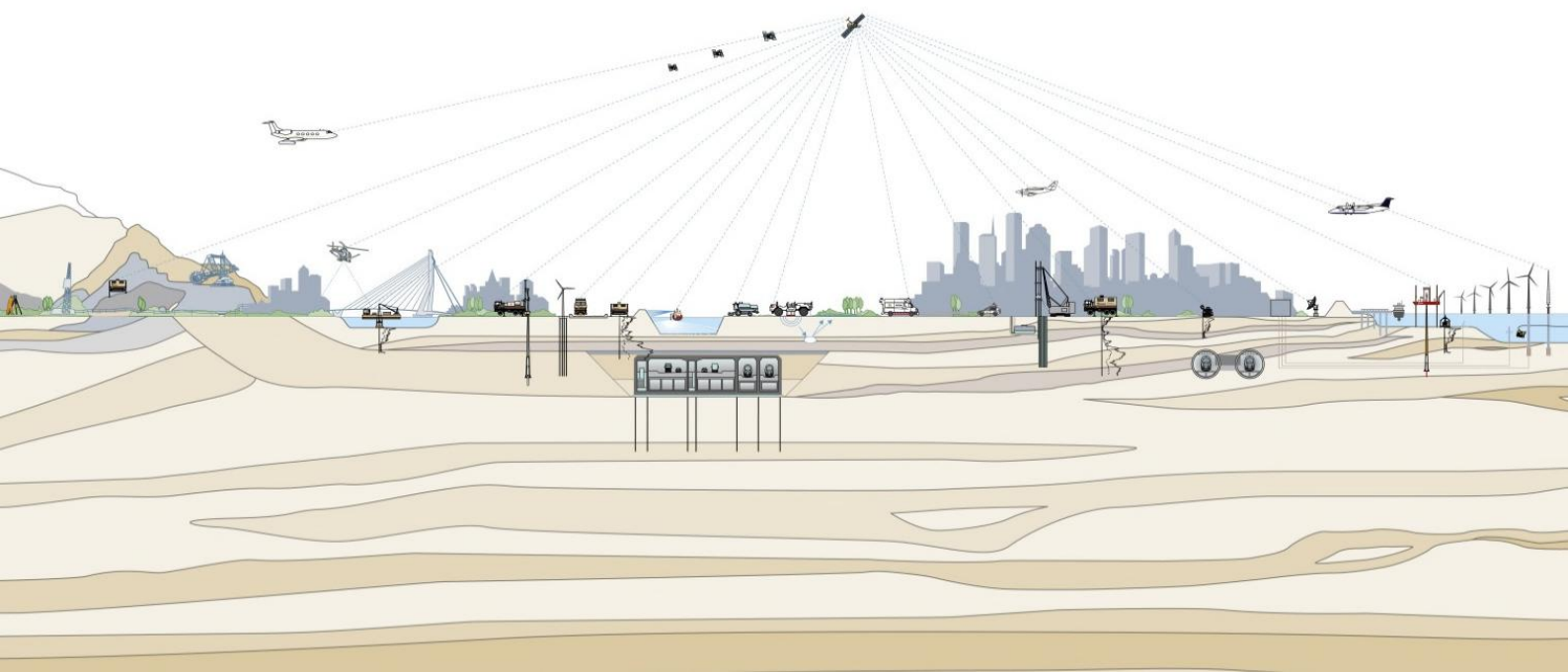
D. Startrapportage eerste veldtest – Fugro

Rapportage start veldtest
POVM - Ontwikkelen waterspanningsmeters - fase 3 - eerste veldtest

Document nr.: 1417-0042-141.R01

Versie: 1.0

Datum: 18 november 2019



Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
Beleidsafdeling Water en Dijken
Postbus 599
4000 AN Tiel

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 - 31 70700

Projectleiders A.D. Pool
Consultant Waterbouw

C. Voorbij-De Groot
Senior Projectleider Geomonitoring

Versiebeheer

Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum
1.0	Initiele versie	RVY/SMP	CVO	CVO	18-11-2019

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	4
1.1	Doelstelling	4
1.2	Scope	4
2.	OPZET EERSTE VELDTEST	5
2.1	Projectbeschrijving	5
2.2	Situatiebeschrijving	5
3.	FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)	7
3.1	Doel	7
3.2	Systeembeschrijving	7
4.	INSTALLATIE TESTVELD	9
4.1	Uitvoeringsmethode	9
4.2	Plaatsen ondersteunende apparatuur	11
4.3	Aansluiten van sensorkabels en opstarten van datalevering	11
5.	SITE ACCEPTANCE TEST (SAT) EN DATAPRESENTATIE	14
5.1	Site acceptance test	14
5.2	Presentatie van de data via monitoringswebsite Gaia Insight	15
5.3	Nauwkeurigheid van de WSM	16

BIJLAGEN

A.	KALIBRATIES WSM'S	
B.	BOORBESCHRIJVING	
C.	GUTSEN	
D.	PLAATSINGSFORMULIEREN	
E.	FAT-VERSLAG DEELNEMERS EN DE LOCATIE VAN DE TEST	
F.	RAPPORTAGE WIERTSEMA	

1. INLEIDING

Waterspanningsmeters worden toegepast om waterdrukken in een grondlaag in een grondlichaam, zoals bijvoorbeeld: een dijk te meten. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd maximaal een kwart van de geïnstalleerde instrumenten foutief meet. Een mogelijke oorzaak van het uitvallen van de instrumenten is gasvorming. Waterspanningsmeters zijn een cruciale informatiebron voor risicobeheersing en projectbeheersing bij dijk gerelateerde werkzaamheden, zoals: dijkversterkingen. Hierdoor is er vanuit de Projectoverstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen.

Het consortium is samengesteld uit de volgende bedrijven: Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V.. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: "**WSM+NL**".

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het beoogde resultaat van de ontwikkelingsfase is het bouwen van een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters.

In de Onderzoeksfase zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht:

- I. Laboratoriumonderzoek door Deltares waarbij het inzicht in de drijvende processen achter de gasvorming is verbeterd;
- II. Onderzoek door Fugro naar de werking van een gasfilter om gas uit een waterspanningsmeter te kunnen afvoeren door middel van een veldtest.

Het onderzoek van Fugro heeft geleid tot een aangepast gasfiltermateriaal dat naar verwachting het maatgevende gasdebiet kan afvoeren.

1.1 Doelstelling

Het doel van de veldtest is het testen of het verbeterde gasfilterontwerp uit de onderzoeksfase langdurig in de test kan werken. Hiervoor worden deze vergeleken met de Fugro FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter van Fugro en waterspanningsmeters van Geopoint die veelal gebruikt worden door Wiertsema & Partners.

1.2 Scope

Dit rapport betreft het plaatsingsrapport van de eerste veldtest. Hierin wordt de locatie, installatie, FAT en SAT en dataoplevering van de sensoren van Fugro beschreven. Bijlage F bevat het plaatsingsrapport van Wiertsema & Partners.

2. OPZET EERSTE VELDTEST

2.1 Projectbeschrijving

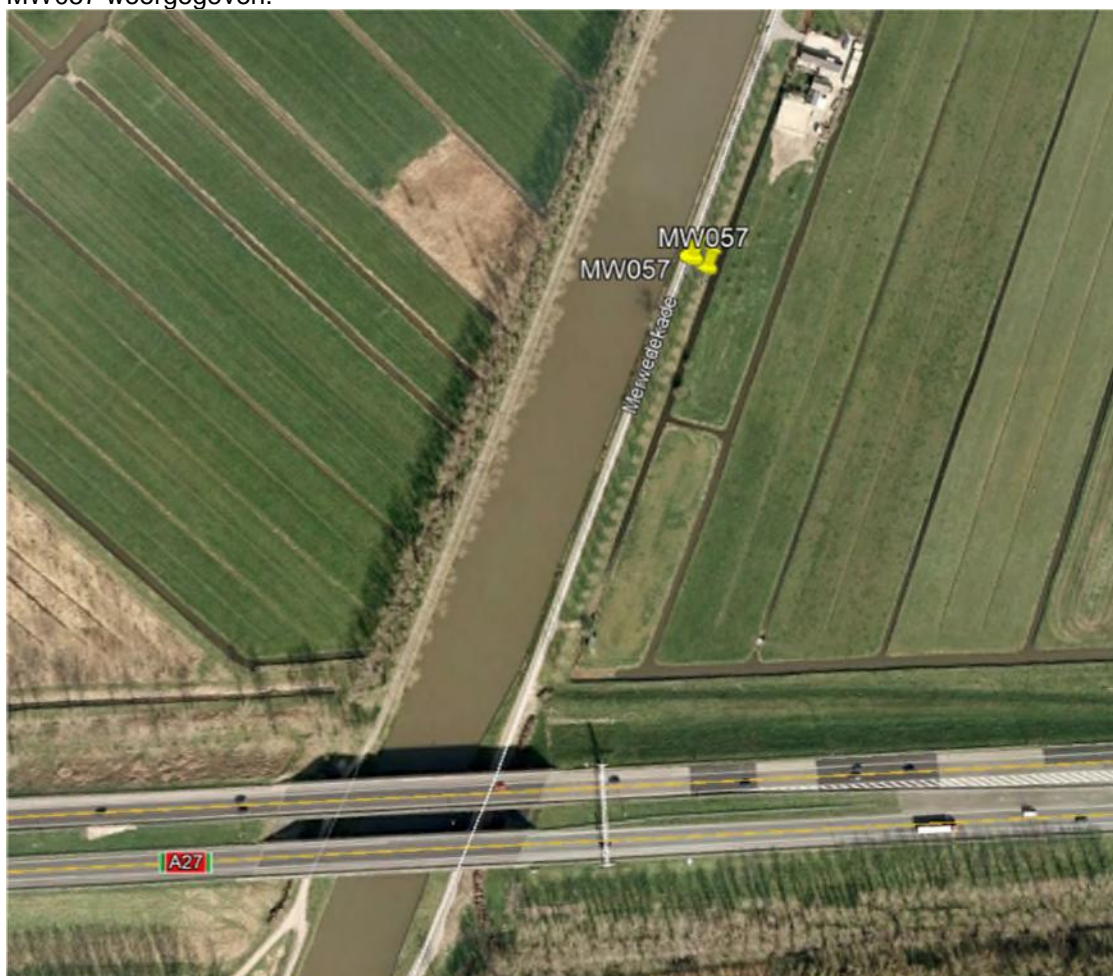
Een groot deel van de Ontwikkelingsfase bestaat uit veldtesten, waarin de waterspanningsmeter met gasfilter vergeleken wordt met waterspanningsmeters zonder gasfilter. Het belangrijkste doel van de test is om de oplossing met de gasfilter in praktijkomstandigheden en voor langere tijd te testen.

Het testveld van circa 2 x 2 m bestaat uit 4 clusters. Een meetcluster bevat 3 waterspanningsmeters, waarvan: een Fugro FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter (daarna standaard Fugro WSM genoemd), een Fugro waterspanningsmeter voorzien van een gasfilter inclusief temperatuursensor (daarna zelfontgassende WSM genoemd) en een Geopoint geleverd door Wiertsema & Partners. Het testveld is schematisch in figuur 3 weergegeven.

Naast waterspanningsmeters is op de locatie ondersteunende meetapparatuur geplaatst om de invloeden op gasvorming in kaart te brengen. Daarom zijn er 2 openwaterpunten en 1 regenmeter geïnstalleerd. Eén openwatermeetpunt is in het kanaal geplaatst en een openwatermeetpunt in de nabijgelegen sloot. Tot slot is er een regenmeter geplaatst nabij de projectlocatie.

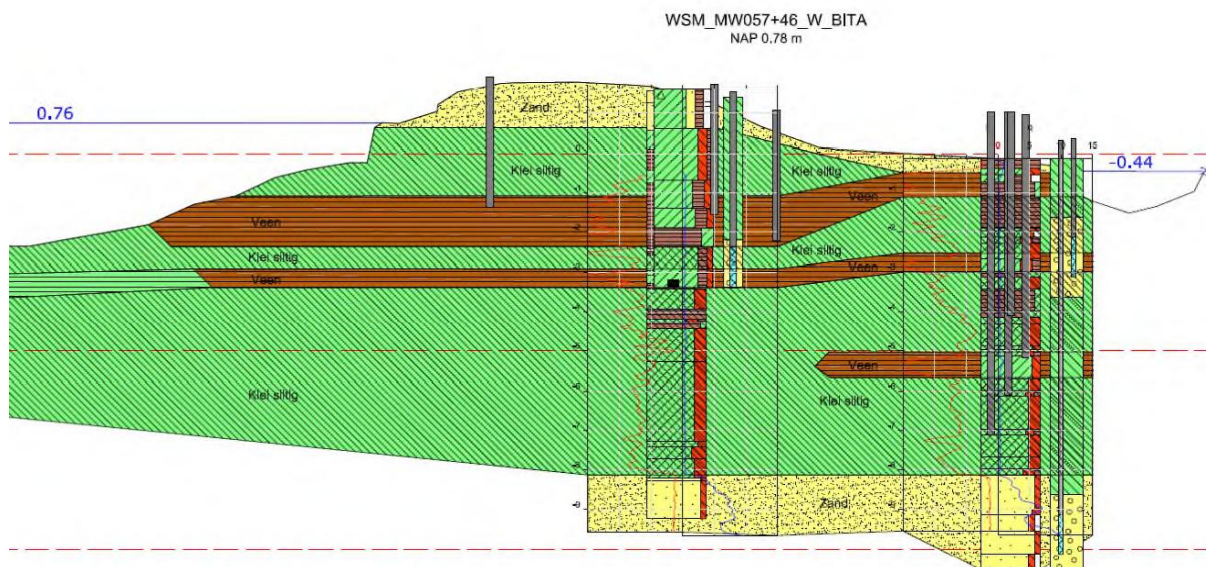
2.2 Situatiebeschrijving

Voor de eerste veldtest is een locatie nabij Merwedekade 18 te Vianen gekozen, waarop in het verleden gasvorming is gemeten. In de onderstaande figuur is een luchtfoto van de in het verleden gemeten locatie MW057 weergegeven.



Figuur 1: Luchtfoto Merwedekade 18

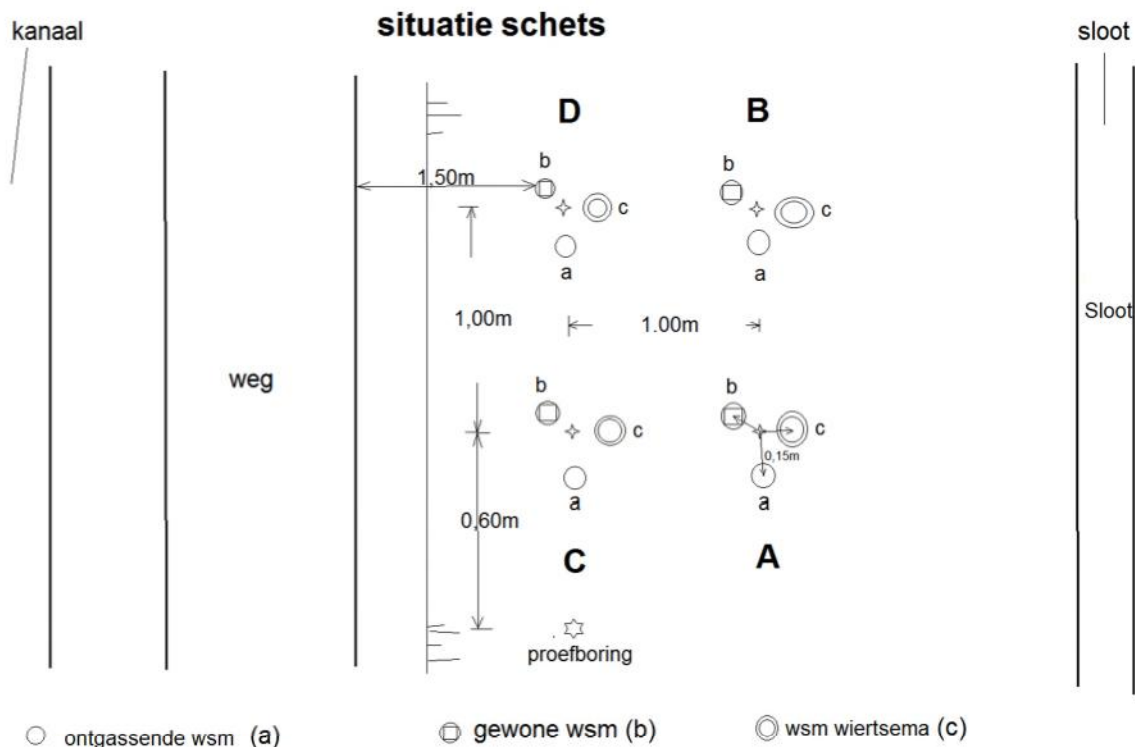
Op locatie MW057 werd in het verleden een waterspanningssensor geïnstalleerd op NAP -2.23m (maaiveld op NAP +0.78 m) in een veenlaag waarbij gasvorming in meetkamer is geconstateerd. In figuur 2 is het Geotechnisch dwarsprofiel MW057 van het testveld weergegeven.



Figuur 2: Geotechnisch dwarsprofiel MW057

De veldmeetperiode omvat een volledig jaar.

Opzet van de veldtest is in onderstaande figuur 3 te zien.



Figuur 3: Schematische weergave ontwerp testveld waterspanningssensors

3. FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)

Een FAT is een formeel test- en inspectieproces dat wordt uitgevoerd door de fabrikant (Fugro) wanneer het systeem of de faciliteit volledig is gefabriceerd en geassembleerd, voorafgaand aan de plaatsing. Een FAT kan uit verschillende inspectiepunten en tests bestaan, op basis van vereisten en unieke apparatuur specificaties. De FAT wordt gebruikt om te verifiëren of conform contract is geproduceerd en of de apparatuur voldoet aan de specificaties. In de context van dit protocol worden hiermee de testen die Fugro uitvoert voor mobilisatie bedoeld.

3.1 Doel

De FAT wordt uitgevoerd in de werkplaats van de afdeling Geomonitoring te Leidschendam om de correcte werking van de sensoren en dataloggers (Loggerkast LK70 en Fugro Logger Boxen) en de bijbehorende componenten te bekijken, inclusief gegevensoverdracht voor verdere berekening en presentatie op monitoringswebsite.

De FAT-procedure is gericht op:

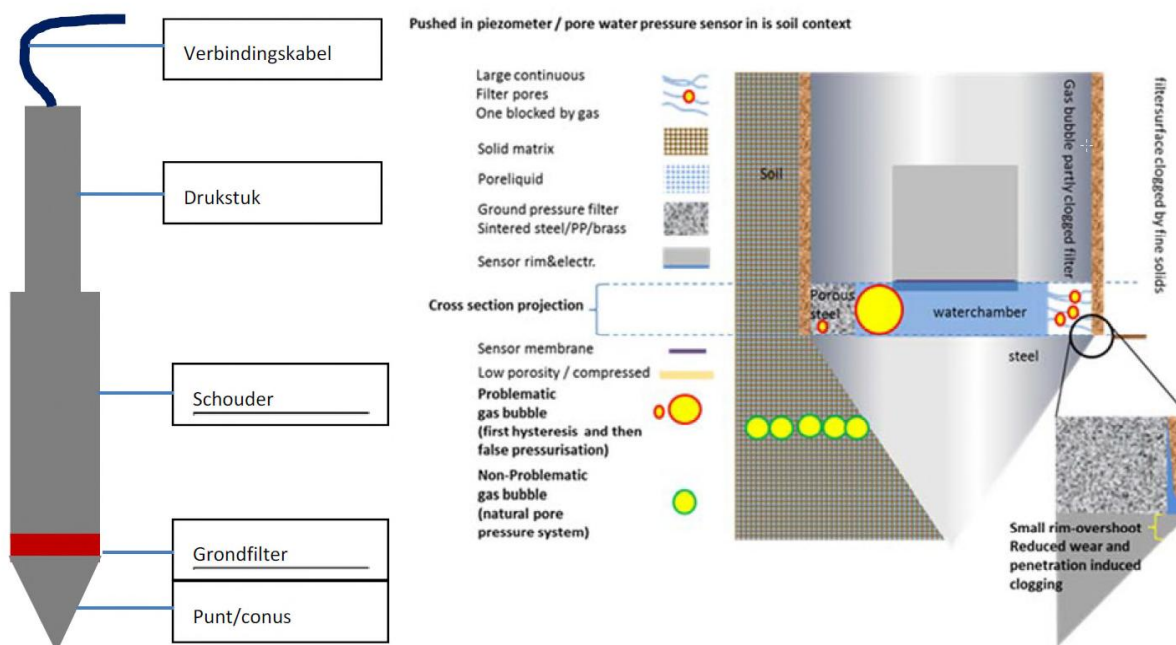
- Controle van de juiste werking van de dataloggers
- Controle van de juiste functie van het meten van de aangesloten sensoren
- Controle van de gegevensoverdracht naar de aangewezen ftp-server

De bovengenoemde aspecten zijn in het FAT-verslag opgenomen. Het verslag is in *Bijlage E* te vinden.

3.2 Systeembeschrijving

Bij de veldtest wordt het volgende equipment ingezet:

Er zijn 4 stuks van grondwatergasbestendige waterspanningsmeters voorzien van temperatuursensoren en in de dijk geïnstalleerd. Verder zijn er 4 stuks conventionele waterspanningsmeters ter vergelijking geplaatst. In figuur 4 is schematisch een standaard waterspanningsmeter weergegeven.



Figuur 4: Schematische weergave onderdelen waterspanningsmeters

Naast bovengenoemde is de volgende ondersteunende apparatuur geplaatst:

- 1 Telemetrisch drukopnemer - peilbuissensor (in de sloot);
- 1 Autonome drukopnemer - diver (in het kanaal);
- 1 Regenmeter;
- 5 Loggerboxen.

Per cluster (totaal 4 clusters) is 1 loggerbox ingezet. Op de eerste poort van de loggerbox zijn de meetwaarden van zelfontgassende WSM gelogd, op de tweede poort de meetwaarden van de standaard waterspanningsmeter en op de derde poort is temperatuur van de zelfontgassende WSM gelogd. Met de vijfde loggerbox is de waterstand in de bijgelegen sloot gemeten.

- 1 loggerkast (met rekenkrachtige datalogger).

Op deze loggerkast is de regenmeter aangesloten.

Aantal	Omschrijving	Type	Serienummer	Check
1	Loggerkast	Geassembleerd door Fugro	LK70	Ja
1	Regenmeter	EML	161407	Ja
4	Fugro FWS2	Geassembleerd door Fugro	1033346 00025 939518 1033331	Ja
4	Waterspanningsmeter voorzien van een gasfilter	Geassembleerd door Fugro	1061911 1061874 1061851 1061927	Ja
5	Loggerbox	Fugro Logger Box	1509 1112 1004 1532 1160	Ja
1	Telemetrische drukopnemer	STS	1115313	Ja
1	Autonome drukopnemer - Diver	vanEssen	102027239	Ja

Tabel 1: Overzicht meetapparatuur

De drukopnemers en de temperatuursensoren zijn voor de start veldtest gekalibreerd.

De kalibratieformulieren zijn in *Bijlage A* te vinden.

4. INSTALLATIE TESTVELD

Hieronder is beknopt de werkwijze van het aanbrengen en aansluiten van de waterspanningsmeters beschreven. Meetinstrumenten dienen altijd zo geplaatst en bevestigd te worden dat derden geen gevaar lopen. Er moeten verder passende maatregelen worden genomen om risico's bijvoorbeeld als gevolg van verontreiniging, overstroming, verkeer of bevrozing te voorkomen. Maatregelen om de installatie tijdens de verwachten meetperiode te beschermen, moeten worden uitgevoerd. De installatie van waterspanningsmeters is volgens *Protocol voor de selectie en installatie van waterspanningsmeters, VN-67440-1 / 1417-0042-000, 16 januari 2019* uitgevoerd.

Voorafgaand aan het installeren is de vloeistofkamer en het grondfilter volledig verzadigd met vacuüm ontlucht water (vacuümstolp). De vloeistofkamer en het grondfilter zijn vooraf in de workshop volledig met ontlucht water verzadigd. Na volledige verzadiging van het grondfilter en de vloeistofkamer is het grondfilter, terwijl het nog ondergedompeld is in de vloeistof, afgesloten met een elastisch membraan (condoom). Dit is om te voorkomen dat lucht in het grondfilter en de vloeistofkamer kan indringen. Op deze manier zijn de geprepareerde sensoren naar de projectlocatie vervoerd.



Figuur 5: Vacuümstolp en vooraf ontluchte waterspanningsmeters

4.1 Uitvoeringsmethode

De waterspanningsmeters zijn op 12 en 13 juni in week 24 van 2019 tot variërende dieptes aangebracht. Allereerst zijn er 4 clusters met de piketpalen uitgezet. Vervolgens is een proefboring tot 5 m onder het maaiveld naast de cluster "WSM_C" op een lijn met de boring MW_057+48_P_KR uitgevoerd om de bodemopbouw te verifiëren. Op 2.7 m onder het maaiveld is de veenlaag naar verwachting aangetroffen. Deze boring is vervolgens volledig afgedicht met zwelklei (Mikolit). De sensoren zijn handmatig geplaatst. Vooraf is tot circa 2.5 m onder het maaiveld geboord (grondboor $\varnothing 100$ mm). De laatste 0.5 m is gegutst (gutsboor $\varnothing 20$ mm) om zeker te zijn dat de sensor in de veenlaag is geïnstalleerd (sensor circa $\varnothing 40$ mm). De boorbeschrijvingen zijn in *Bijlage B* aangegeven en de foto's van de gegutste veenlaag zijn in *Bijlage C* te vinden.

Vlak voor het plaatsen van waterspanningsmeters is op de gasbuis de installatiediepte met een markering aangegeven en het zaadreservoir afgeknipt. Om installatiediepte achteraf te kunnen herleiden zijn kabels van waterspanningsmeters op 5 meter lengte gemarkeerd.



Figuur 6: Boren en gutsen

Vervolgens is de sensor rustig in het nauwe gat grondverdringend in de veenlaag geïnstalleerd. Tijdens de plaatsen van de waterspanningsmeter is de maximaal opgebouwde druk met een uitleesunit gecontroleerd. Tijdens het plaatsen van de waterspanningsmeters is het maximale meetbereik niet overschreden. De plaatsingsformulieren van de geïnstalleerde meetapparatuur zijn in *Bijlage D* te vinden. Om de infiltratie van oppervlaktewater of neerslag en de achterloopsheid van waterspanningsmeter te voorkomen is onderste 0.5 à 0.8 m met de zwelklei afgedicht. De overblijvende lengte is met de mortelspecie (Dämmmer) gevuld. De onderlinge afstand tussen de sensoren binnen een cluster bedraagt circa 0.15 m.



Figuur 7: Plaatsen van waterspanningsmeters en afdichten boorgat

De boorstaten van de boringen en foto's van gutsen zijn in bijlage B weergegeven.

Het direct inmeten van waterspanningsmeters na de plaatsing is met GPS-06 niet mogelijk vanwege de gebrekkige ontvangst van GPS-satellieten. Op 22 juni 2019 zijn de installatiebuizen met een tachymeter nauwkeurig ten opzichte van het referentieniveau m NAP ingemeten.

Sensor type	Locatie	Sensornaam	X-Coördinaat (RD)	Y-Coördinaat (RD)	mv [m NAP]	Sensorniveau [m NAP]
WSM	Cluster-A	WSM_A-A	132295.79	441071.04	1.01	-1.87
		WSM_A-B	132295.81	441071.34	1.09	-1.84
WSM	Cluster-B	WSM_B-A	132296.14	441071.89	1.02	-1.76
		WSM_B-B	132296.18	441072.13	1.10	-1.69
WSM	Cluster-C	WSM_C-A	132294.96	441071.34	1.38	-1.63
		WSM_C-B	132294.98	441071.67	1.40	-1.62
WSM	Cluster-D	WSM_D-A	132295.25	441072.14	1.42	-1.64
		WSM_D-B	132295.33	441072.50	1.42	-1.58

Tabel 2: Coördinaten WSM's

4.2 Plaatsen ondersteunende apparatuur

Naast waterspanningsmeters is op de locatie ondersteunende meetapparatuur geplaatst om de invloeden op gasvorming in kaart te brengen. Daarom zijn er 2 openwatermeetpunten (OWP) en 1 regenmeter geïnstalleerd. Eén openwatermeetpunt in het kanaal geplaatst en een openwatermeetpunt in de nabijgelegen sloot. Tot slot is er een regenmeter geplaatst nabij de projectlocatie.

Sensor type	Sensornaam	X-Coördinaat (RD)	Y-Coördinaat (RD)	Filterdiepte [m NAP]	Sensorniveau [m NAP]
OWP	PB_Slootpeil	132303.52	441067.35	-0.25 tot 0.75	-0.18
OWP	PB_Kanaal	132209.55	440896.31	-0.4 tot 0.6	0.46
Regenmeter	LK070 Merwedekanaal	132213.00	440896.00	n.v.t.	2.24

Tabel 3: Coördinaten ondersteunende meetapparatuur

4.3 Aansluiten van sensorkabels en opstarten van datalevering

Per cluster zijn er op 17 juni 2019 2 waterspanningsmeters aangesloten, 1 zelfontgassende waterspanningsmeter en 1 standaard waterspanningsmeter. De loggers meten met een frequentie van 10 minuten en versturen de data één keer per 2 uur. Doordat het testveld zich onder een rij van populieren bevindt, is de regenmeter circa 100 m zuidelijker in het vrije veld langs Merwedekanaal geplaatst. Dat is om een goede werking van het instrument te garanderen. De logger van LK070 is gemonteerd in een waterdichte kast en de loggerboxen zijn in een waterdichte koker gemonteerd. Nadat de kabels zijn gemonteerd op de betreffende kanalen is er een foto genomen, waarop het nummer van de logger en het nummer van de meetlocatie en het project duidelijk zichtbaar zijn. Tevens zijn alle beschermkokers gemarkeerd en met een hek afgezet.



Figuur 8: Testveld 12 waterspanningsmeters nabij Merwedekade 18 te Vianen



Figuur 9: Geplaatste regenmeter



Figuur 10: Openwaterpunt Merwedekade



Figuur 11: Openwaterpunt sloot

5. SITE ACCEPTANCE TEST (SAT) EN DATAPRESENTATIE

5.1 Site acceptance test

De SAT-test is met name uitgevoerd voor de waterspanningsmeters, aangezien deze gemeten werden in *mA*, en op basis van kalibratiefactoren omgerekend werden naar waterspanning in *kPa*, *mBar* en *m* ten opzichte van NAP.

De SAT-test bestond uit het controleren of de meetwaarden van de handmatige meting overeenkwamen met de meting van de loggers en of de data verstuurd werd. Vanwege het tijdsverschil tussen de waarnemingen, de getijdenwerking en de nauwkeurigheid van het uitleesapparaat werden de waarden kleiner dan 5 mBar als acceptabel gezien.

In *Tabel 4* is een overzicht van de waterspanningsmeterscontrole weergegeven

Meetpunt	WSM_A-A	WSM_A-B	WSM_B-A	WSM_B-B	WSM_C-A	WSM_C-B	WSM_D-A	WSM_D-B
Sensor-nummer	1061911	1033346	1061874	00025	1061851	939518	1061927	1033331
Datalogger	1509		1112		1004		1532	
Poortnr.	A	B	A	B	A	B	A	B
Meting voor plaatsen [mA]	4.67	4.67	4.65	4.67	4.68	4.68	4.67	4.67
Meting na plaatsen [mA]	5.26	5.68	5.64	5.56	5.55	5.55	5.55	5.52
Datum in veld	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019
Tijdstip	12:06	11:57	11:00	11:00	12:43	12:44	13:34	13:35
Waarde monitorings-portal na aansluiten [mA]	5.24	5.67	5.62	5.54	5.54	5.54	5.28	5.51
datum monitorings-portal	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019
Tijdstip Meting monitorings-portal	12:12	12:12	11:19	11:19	12:54	12:54	13:39	13:40
Cal. Offset	246.84569	249.49114	247.56643	249.77888	247.08523	247.92779	248.12312	245.62144
Cal. coef.	162.37164	162.40486	162.14782	162.40586	162.44129	162.37026	162.45487	162.47748
Barometrische druk [mBar]	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
Waterspanning handmeting (na plaatsen) [mBar]	80	153	142	132	129	130	130	123
ENG Meetwaarde monitorings-portal [mBar]	78	150	139	130	126	127	127	121
Verschil handwaarneming t.o.v portal	2	3	3	2	3	3	3	2

Tabel 4: Resultaten SAT-waterspanningsmeters

In *Tabel 5* is een overzicht van de controle eerste waarde temperatuur weergegeven:

Meetpunt	TEMP 1	TEMP 2	TEMP 3	TEMP 4
Sensor-nummer	1061911	1061874	1061851	1061927
Datalogger	1509	1112	1004	1532
Poort nr.	C	C	C	C
Eerste meetwaarde [mA]	10.68	10.60	10.72	10.68
Datum	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019	17/06/2019
Tijdstip Meting	12:19	12:19	12:59	13:39
Cal. offset	-54.2893	-54.0569	-54.105	-54.3158
Cal. coef	6.25	6.25	6.25	6.25
Eerste waarde temperatuur [°C]	12.5	12.2	13.0	12.4

Tabel 5: Resultaten FAT-temperatuurmeters

In *Tabel 6* is de handwaarneming van de grondwaterstand voor de plaatsen van de openwaterpunt gecontroleerd:

Meetpunt	Sensor-nummer	Datalogger	Poortnr.	Kabel-lengte [m]	BK buis [m NAP]	Datum / tijd	GWS t.o.v. BK buis [m]	HWN [m NAP]	GWS monitorings-portal	Vershil HWN [m]
PB_Sloot	1115313	1160	A	0.93	-0.01	13-06-19 11:18	0.39	-0.40	-0.41	0.01

Tabel 6: Resultaten SAT-openwaterpunt sloot

5.2 Presentatie van de data via monitoringswebsite Gaia Insight

De data wordt 1x per 10 minuten gemeten en elke 2x per uur doorgestuurd naar Fugro's Monitoring ftp-server. Hier worden de ruwe waarden van de waterspanningen omgerekend naar engineered values, en gepresenteerd in grafieken. De grafieken kunnen in volgende eenheden geplote worden: WSM in *mBar*, *kPa* en *m ten opzichte van NAP*, temperatuur in *° C*, neerslag in *mm*.

In figuur 12 staat de presentatie van de waterspanningsmetingen in m NAP van 17 juni t/m 29 juli 2019.



Figuur 12: Waterspanningsmetingen in mBar 17 t/m 29 juli 2019

In figuur 12 is te zien dat de zelfontgassende WSM_A-A aan het begin van de meting aanzienlijk afwijkt van de andere waterspanningsmeters. In de loop van de tijd heeft WSM_A-A zich op hetzelfde niveau als WSM_A-B geconsolideerd. Het vermoeden bestaat dat het gasfilter van de waterspanningsmeter niet juist werkt. Bij de onderhoudsronde van 8 augustus 2019 werd de werking van de gasfilter getest. De gasfilter van de zelfontgassende WSM blijkt lek te zijn, waardoor niet de juiste waterspanning wordt gemeten. Daarom is er een nieuwe zelfontgassende WSM_A-A-2 bijgeplaatst. De FAT en- SAT-test van WSM_A-A-2 wordt in de eerstvolgende kwartaalrapportage gepresenteerd.

5.3 Nauwkeurigheid van de WSM

De Nauwkeurigheid van een waterspanningsmeting betreft de bandbreedte van afwijkingen van de meetresultaten in vergelijking met de werkelijkheid, met daarin alle bijdragen van het meetstelsel en de plaatsing van instrumenten. In onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op de onderdelen die van toepassing zijn.

Nauwkeurigheid WSM sensor

Binnen het meetstelsel hebben de sensoren een absolute fabrieksnauwkeurigheid van 0.1% over het gehele meetbereik, wat neer komt op 2.6 cmH₂O. De nauwkeurigheid van elke sensor gebruikt in dit onderzoek is berekend aan de hand van de kalibraties die in het lab zijn gedaan (*Bijlage A*). Uit de kalibraties blijkt dat de sensoren een afwijking hebben van maximaal 1.9 cmH₂O (*Tabel 7*).

Meetpunt	Sensornummer	Max afwijking cmH ₂ O
WSM A-A	1061911	1.4
WSM A-B	1033346	0.4
WSM B-A	1061874	0.5
WSM B-B	000025	1.2
WSM C-A	1061851	0.6
WSM C-B	939518	1.0
WSM D-A	1061927	1.9
WSM D-B	1033331	0.8

Tabel 7: Afwijking waterspanningssensoren gemeten tijdens kalibraties

Nauwkeurigheid geplaatste hoogte van instrumenten

De hoogte van de geplaatste instrumenten wordt gemeten door lengte van de oplengstangen in te meten en de hoogte van de bovenkant van de oplengstangen in te meten ten opzichte van NAP. Het opmeten van de lengte van de oplengstangen wordt uitgevoerd door twee personen met een meetband. De afwijking bij deze wijze van opmeten is circa 1 cm. De bovenkant van de oplengstangen is ingemeten door middel van een doorgaande waterpassing. De nauwkeurigheid hiervan wordt weergegeven door de sluitfout van de waterpassing. Deze bedraagt 0.135 cm.

Luchtdrukcompensatie

Waterspanningsmeters meten de absolute druk, welke bestaat uit waterdruk en luchtdruk. Om de waterdruk te betekenen dient de luchtdruk van de absolute druk gehaald te worden. De luchtdruk wordt doorgaans bepaald middels een lokaal geplaatste barometer of met behulp van de luchtdrukgegevens van een nabijgelegen KNMI-station. In deze meting zijn gegevens van 3 omliggende KNMI stations gebruik, welke zich op een bepaalde afstand van de daadwerkelijke meetlocatie bevinden (De Bilt, 17.96 km; Cabauw, 9.05 km en Herwijnen 14.57 km). Het grootste verschil tussen de gemeten luchtdrukken van alle KNMI stations bedraagt 0.1 kPA, waardoor ervanuit kan worden gegaan dat de uiteindelijke invloed op de waterspanning omgerekend niet meer dan 1 cmH₂O zal zijn (*Tabel 8*).

Samenvatting

Al bovengenoemde factoren bepalen de nauwkeurigheid van een waterspanningsmeting en zijn samen weergegeven in *Tabel 8*. Uit de bandbreedte van afwijkingen die optreden tijdens het meten van de waterspanning is berekend dat de absolute afwijking niet meer dan 4 cm zal bedragen.

	Afwijking
Waterspanningssensor	< 1.9 cmH ₂ O
Luchtdruk	< 1.0 cmH ₂ O
Lengte sondeerstang	± 1 cm
Sluitfout	0.135 cm
Maximale meetafwijking	4.0 cm

Tabel 8: Nauwkeurigheid waterspanningsmeting

BIJLAGEN

**A. KALIBRATIES
WSM'S**

Sensor 000025

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	000025	19/03/2019	13:37	20.4 C	12	0.9999967553621849

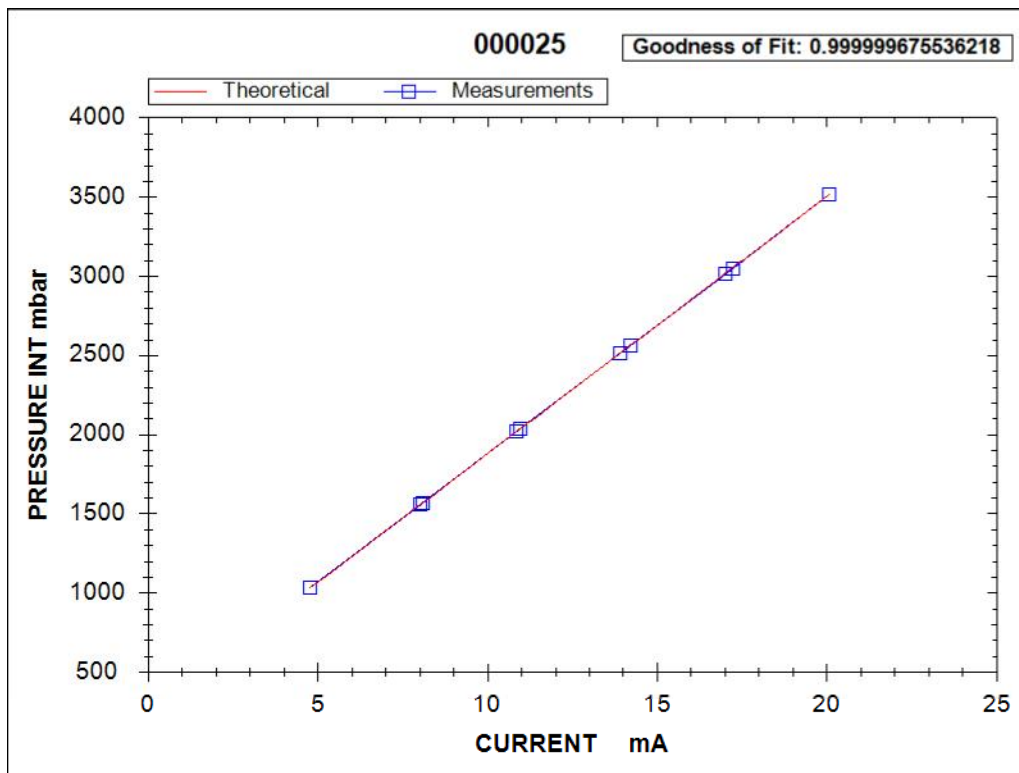
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.405855102976 offset=249.778880627929

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.789	1027.5	19/03/2019	13:40:11	1027.5405207160795	0.0011577347451293464
8.028	1553.7	19/03/2019	13:40:34	1553.5730853946179	0.0036261315823464557
10.975	2032	19/03/2019	13:40:51	2032.1831403830874	0.0052325823739270815
14.225	2558.8	19/03/2019	13:41:12	2560.002169467758	0.034347699078794647
17.015	3012.8	19/03/2019	13:41:35	3013.1145052050606	0.0089858630017261021
20.088	3512.9	19/03/2019	13:41:56	3512.1876979365052	0.020351487528426204
20.086	3512.4	19/03/2019	13:42:00	3511.8628862262985	0.015346107820044251
17.23	3047.6	19/03/2019	13:42:22	3048.0317640522003	0.012336115777153671
13.921	2510.7	19/03/2019	13:42:50	2510.6307895164537	0.0019774423870330795
10.872	2015.6	19/03/2019	13:43:23	2015.4553373074809	0.0041332197862565022
8.115	1567.9	19/03/2019	13:43:47	1567.7023947885768	0.0056458631835214742
4.787	1027.6	19/03/2019	13:43:51	1027.2157090058736	0.010979742689323757

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 939518

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	939518	16/04/2019	10:29	19.0 C	12	0.999999699921248

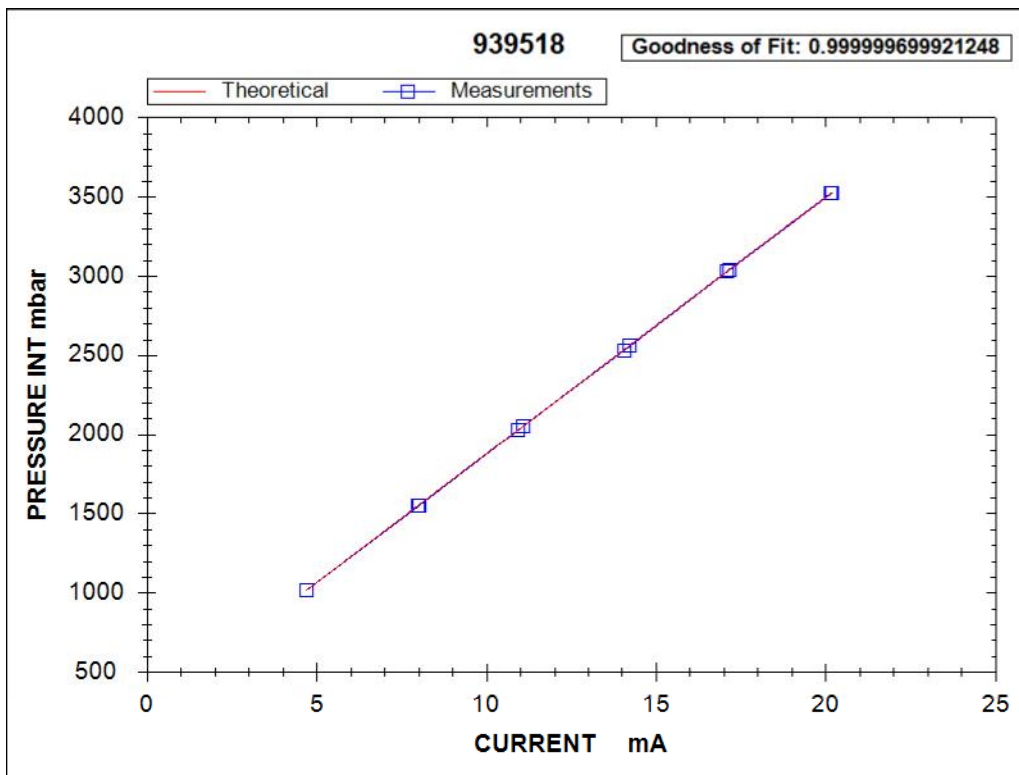
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.370259626831 offset=247.927758900551

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.727	1014.7	16/04/2019	10:32:14	1015.451976156582	0.021485033045197659
8.027	1551	16/04/2019	10:32:34	1551.2738329251247	0.00782379786070513
10.928	2022.4	16/04/2019	10:32:51	2022.309956102562	0.00257268278394674
14.061	2531.3	16/04/2019	10:33:09	2531.0159795134236	0.0081148710450439209
17.185	3038.5	16/04/2019	10:33:28	3038.2606705876442	0.0068379832101657352
20.188	3524.9	16/04/2019	10:33:42	3525.858560247018	0.027387435629082444
20.175	3523.7	16/04/2019	10:33:45	3523.7477468718694	0.0013641963391299733
17.115	3027.7	16/04/2019	10:34:02	3026.8947524137657	0.02300707389240415
14.226	2557.8	16/04/2019	10:34:20	2557.8070723518508	0.00020206719573252486
11.109	2051.7	16/04/2019	10:34:38	2051.6989730950181	2.9340142334279207E-05
7.992	1545.7	16/04/2019	10:35:08	1545.5908738381854	0.0031178903375608312
4.726	1015.8	16/04/2019	10:35:13	1015.2896058969551	0.014582688658424558

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1033331

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1033331	15/01/2019	15:15	21.0 C	12	0.99999974692946458

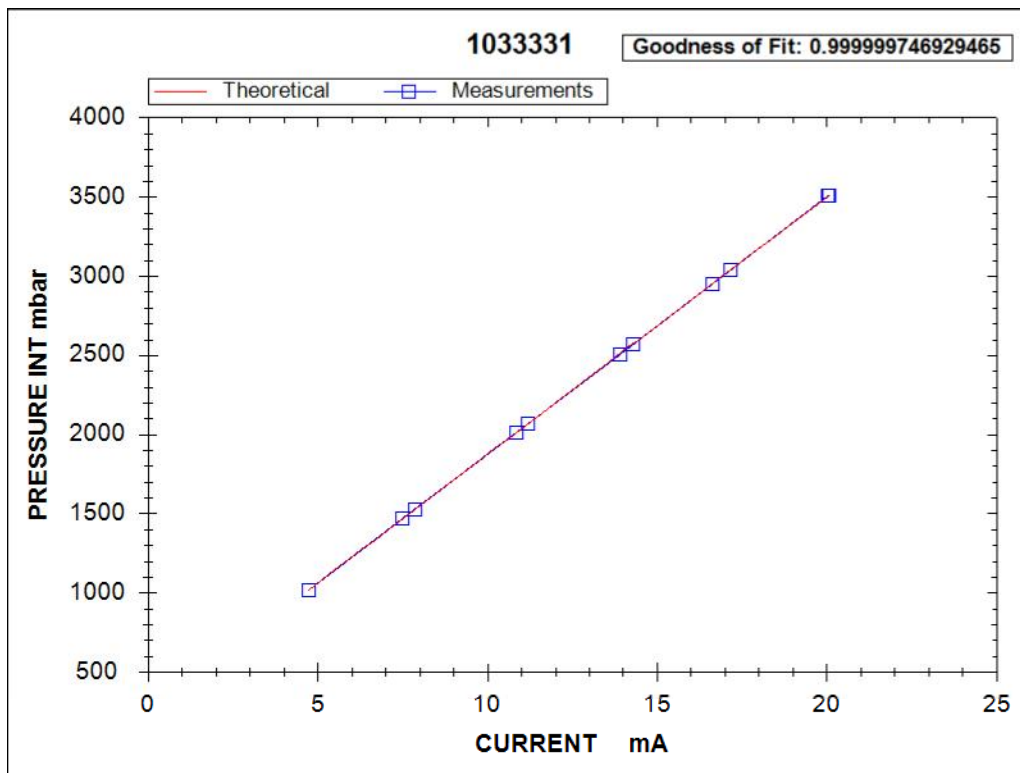
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.477483873908 offset=245.621437038735

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.73	1014.1	15/01/2019	15:28:20	1014.1399357623202	0.001141021780576271
7.881	1526.4	15/01/2019	15:28:37	1526.1064874490044	0.0083860728855922519
10.862	2010.7	15/01/2019	15:29:03	2010.4518668771241	0.0070895177964562855
14.3	2568.4	15/01/2019	15:29:52	2569.04945643562	0.018555898160567658
17.172	3035.4	15/01/2019	15:30:27	3035.6847901214837	0.0081368606138182385
20.069	3506.8	15/01/2019	15:31:02	3506.3820609041954	0.01194111702299259
20.058	3505.4	15/01/2019	15:31:18	3504.5948085815826	0.023005469097643071
16.645	2949.6	15/01/2019	15:32:06	2950.0591561199344	0.013118746283843003
13.908	2504.7	15/01/2019	15:32:28	2505.3582827570481	0.018808078772807286
11.224	2069.2	15/01/2019	15:33:05	2069.2687160394789	0.0019633154136889583
7.521	1467.8	15/01/2019	15:33:41	1467.6145932543975	0.0052973355886414145
4.734	1015	15/01/2019	15:33:55	1014.7898456978157	0.006004408633836127

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1033346

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1033346	18/03/2019	13:35	20.9 C	13	0.99999993098358819

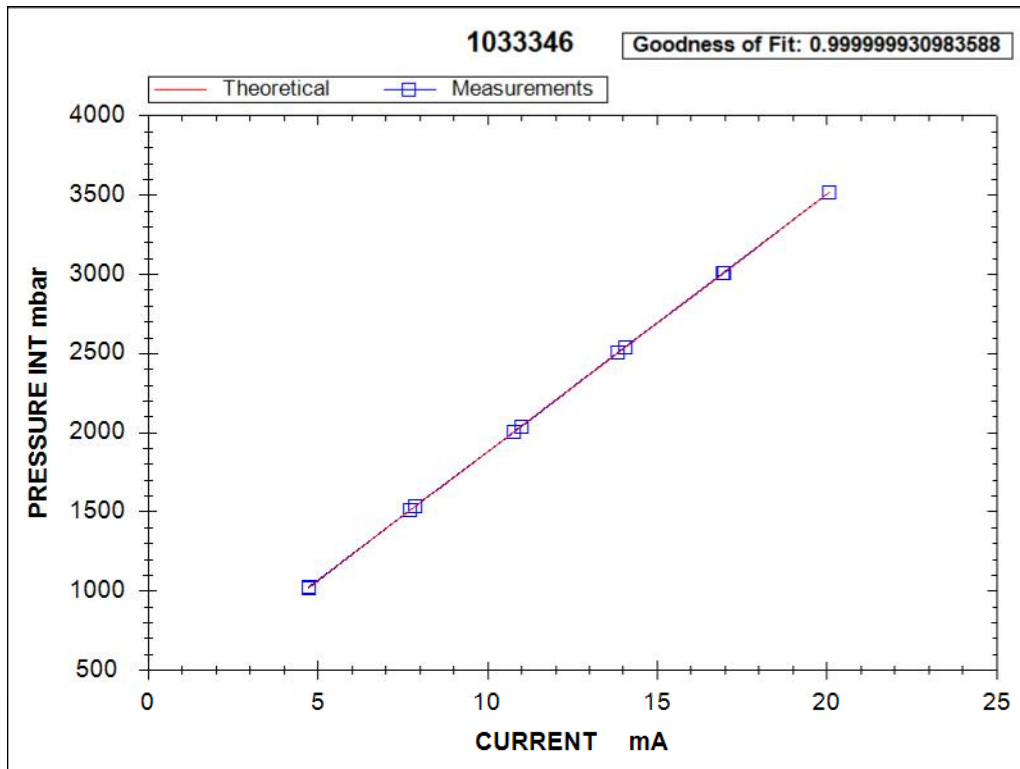
Sensorinformatie

coëfficiënt = 162.40486161891 offset = 249.491137960129

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.734	1018.2	18/03/2019	13:45:32	1018.3157528640477	0.0033072246870753069
4.738	1019.1	18/03/2019	13:45:41	1018.9653723105234	0.0038465054136167963
7.749	1507.8	18/03/2019	13:45:59	1507.9664106450603	0.0047545898588655941
11.012	2037.7	18/03/2019	13:46:20	2037.8934741075627	0.0055278316446479691
14.084	2536.6	18/03/2019	13:46:42	2536.8012090008533	0.0057488285958113144
16.977	3006.8	18/03/2019	13:47:04	3006.638473664359	0.004615038161175887
20.084	3511.6	18/03/2019	13:47:31	3511.2303787143114	0.010560608162528037
20.081	3510.9	18/03/2019	13:47:36	3510.7431641294547	0.0044810248727247069
16.955	3002.7	18/03/2019	13:47:59	3003.0655667087426	0.01044476310693686
13.857	2499.6	18/03/2019	13:48:25	2499.9353054133608	0.0095801546674530464
10.807	2004.7	18/03/2019	13:49:08	2004.6004774756861	0.0028435006946827862
7.885	1530.2	18/03/2019	13:49:38	1530.053471825232	0.0041865192790867568
4.732	1018.3	18/03/2019	13:49:43	1017.9909431408099	0.0088301959768581836

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1061851

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1061851	28/05/2019	14:07	22.2 C	12	0.99999975570960831

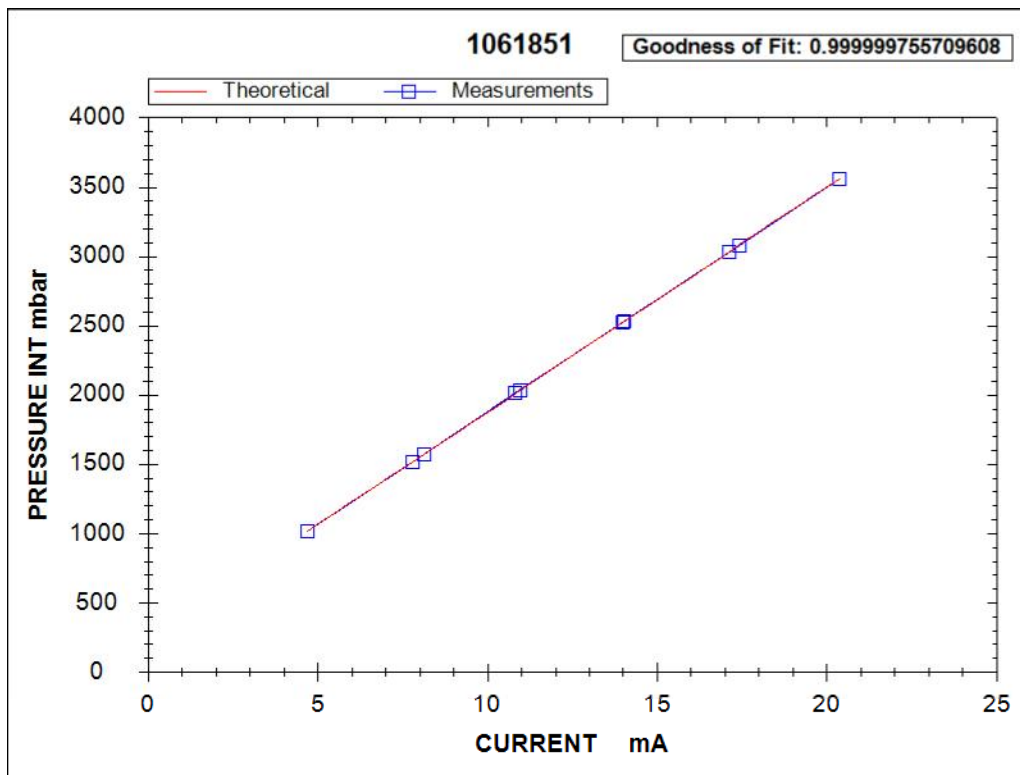
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.441285331843 offset=247.085225593357

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.693	1009.4	28/05/2019	14:09:13	1009.4221776556954	0.00063364730558207938
8.138	1569.3	28/05/2019	14:09:30	1569.0324056238942	0.0076455536030217838
10.981	2030.8	28/05/2019	14:09:46	2030.8529798223235	0.0015137092092442929
14.034	2525.7	28/05/2019	14:10:08	2526.78622394044	0.031034969726858565
17.131	3029.6	28/05/2019	14:10:34	3029.8668846131577	0.0076252746616514095
20.367	3556	28/05/2019	14:11:01	3555.5268839470014	0.013517601514247092
20.365	3555.8	28/05/2019	14:11:02	3555.2020013763372	0.01708567496179967
17.441	3079.8	28/05/2019	14:11:20	3080.2236830660286	0.012105230457953959
14	2521.2	28/05/2019	14:11:42	2521.2632202391574	0.0018062925473584202
10.837	2007.7	28/05/2019	14:12:01	2007.4614347345382	0.0068161504417665652
7.798	1514	28/05/2019	14:12:37	1513.8023686110678	0.0056466111123492221
4.692	1009.4	28/05/2019	14:12:43	1009.2597363703635	0.0040075322753279708

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1061874

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1061874	28/05/2019	14:17	22.2 C	12	0.9999986128080687

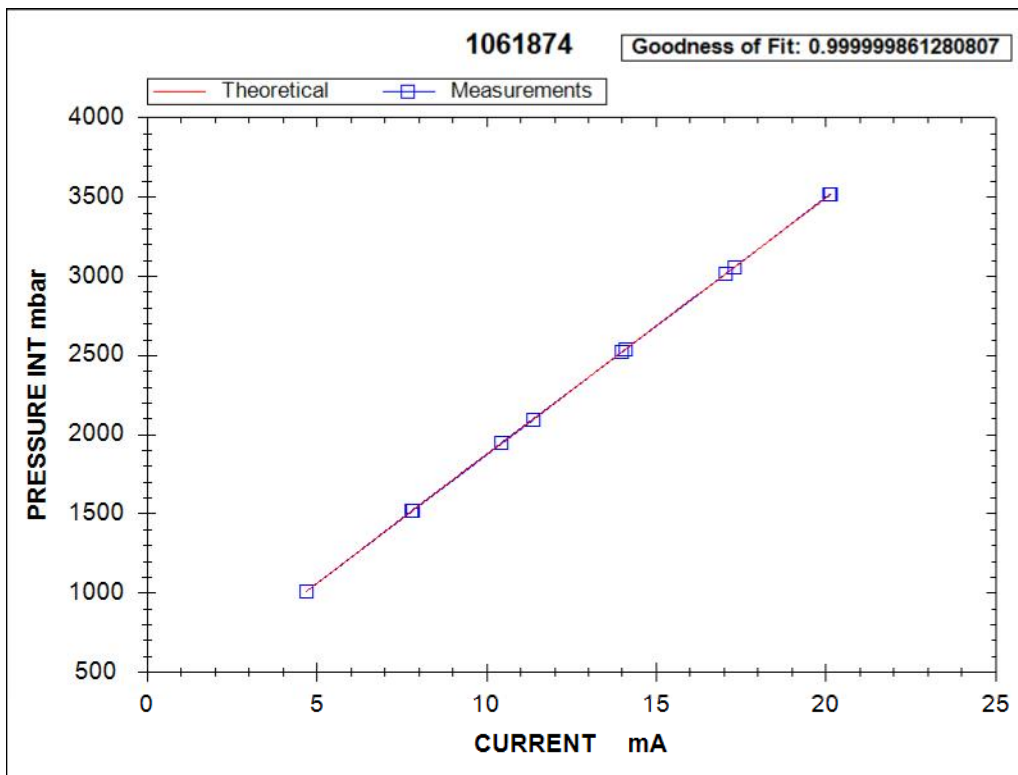
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.147824749937 offset=247.566434791807

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.699	1009.4	28/05/2019	14:23:41	1009.4990632917604	0.0028303797645841248
7.841	1519.3	28/05/2019	14:23:56	1518.9675286560628	0.009499181255348179
11.386	2093.7	28/05/2019	14:24:17	2093.7815673945893	0.0023304969882701697
13.989	2515.5	28/05/2019	14:24:37	2515.8523552186753	0.010067291962150194
17.067	3014.5	28/05/2019	14:24:56	3014.9433597989814	0.012667422828040538
20.143	3513.7	28/05/2019	14:25:12	3513.7100687297875	0.000287677993934007
20.135	3512.8	28/05/2019	14:25:13	3512.4128861317881	0.01106039623463013
17.317	3055.9	28/05/2019	14:25:34	3055.4803159864655	0.011990971815274471
14.125	2537.4	28/05/2019	14:26:04	2537.9044593846666	0.014413125276184604
10.448	1941.8	28/05/2019	14:26:29	1941.6869077791484	0.0032312063100432297
7.819	1515.8	28/05/2019	14:26:51	1515.400276511564	0.011420671098169676
4.7	1009.5	28/05/2019	14:26:56	1009.6612111165105	0.0046060319002987982

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1061911

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1061911	28/05/2019	13:55	22.1 C	12	0.999999673451313

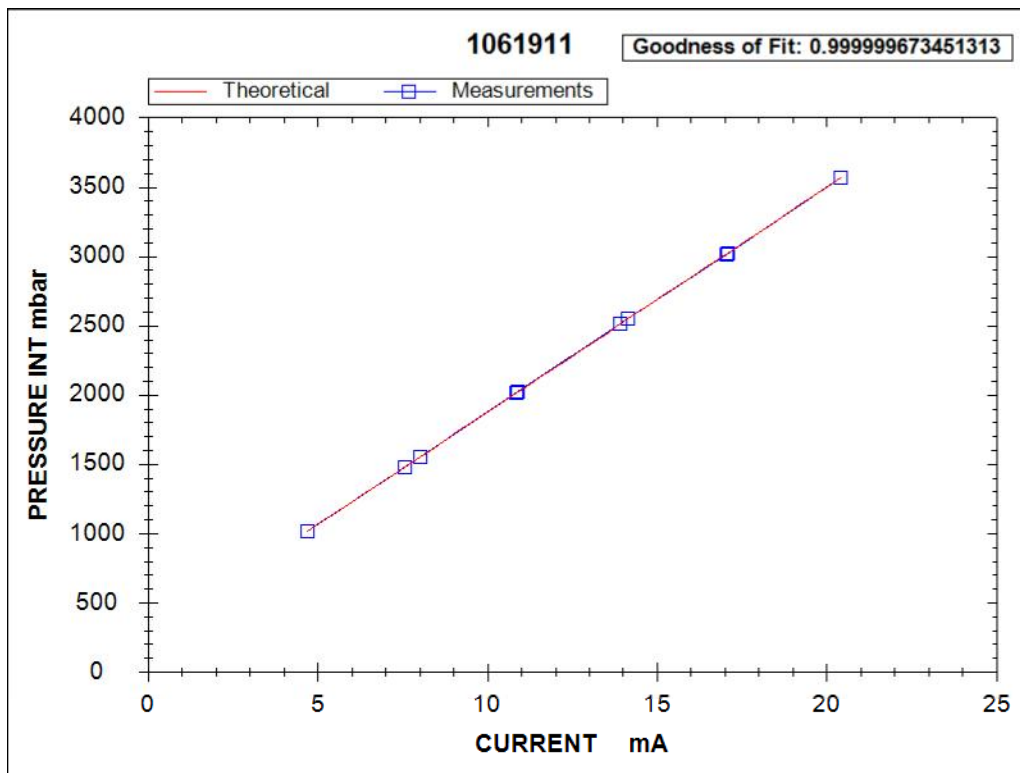
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.371640674684 offset=246.845691677707

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.697	1009.3	28/05/2019	13:57:23	1009.5052879266992	0.00586536933426487
8.037	1551.9	28/05/2019	13:57:43	1551.8265677801451	0.0020980634244291908
10.912	2018.8	28/05/2019	13:57:58	2018.6450347198625	0.0044275794325000922
14.16	2546.1	28/05/2019	13:58:17	2546.0281236312371	0.0020536105360796295
17.05	3013.9	28/05/2019	13:58:35	3015.2821651810746	0.03949043374498485
20.431	3564.5	28/05/2019	13:58:56	3564.2606823021824	0.0068376485090733954
20.428	3564	28/05/2019	13:58:58	3563.7735673801585	0.0064695034240425491
17.085	3020.9	28/05/2019	13:59:30	3020.9651726046886	0.0018620744196726133
13.927	2509.1	28/05/2019	13:59:48	2508.1955313540352	0.025841961313277092
10.873	2012.3	28/05/2019	14:00:14	2012.3125407335497	0.00035830667284894195
7.563	1475	28/05/2019	14:01:06	1474.8624101003445	0.0039311399901570052
4.696	1009.2	28/05/2019	14:01:15	1009.3429162860244	0.0040833224578396511

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1061927

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1061927	28/05/2019	13:10	21.6 C	12	0.99999928746031708

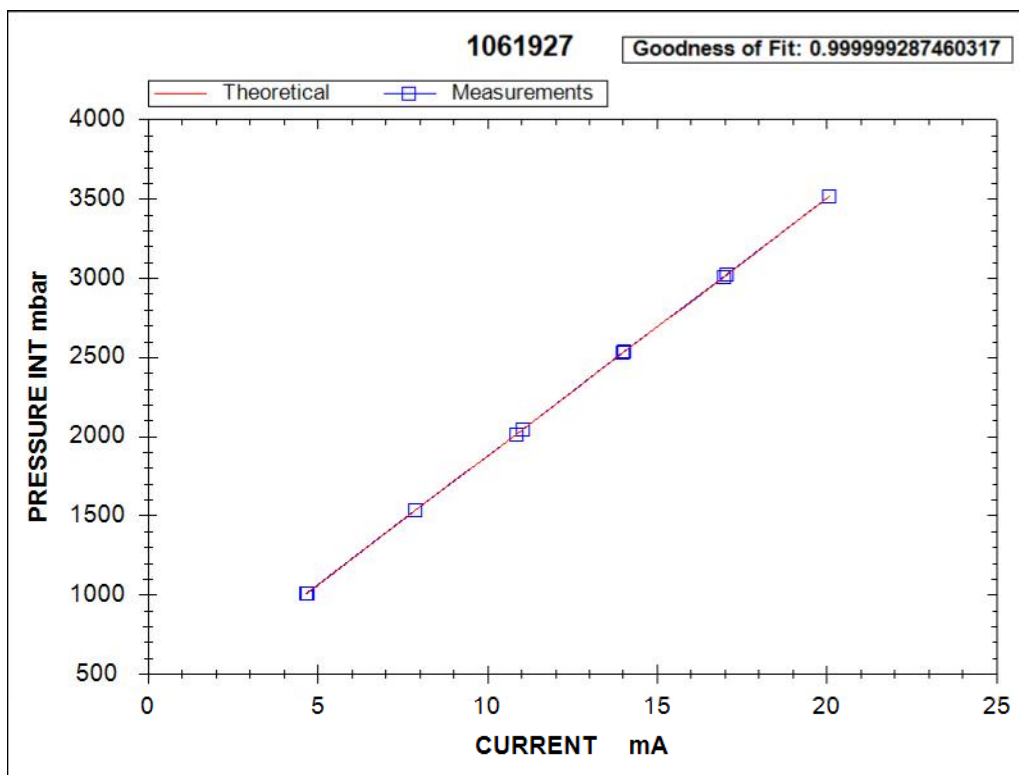
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.454870210585 offset=248.123117366677

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.685	1008.8	28/05/2019	13:12:12	1009.2241843032696	0.012119551521988927
7.887	1529.7	28/05/2019	13:12:33	1529.4046787175639	0.0084377509267466975
11.053	2043.9	28/05/2019	13:12:51	2043.7367978042776	0.0046629198777866677
14.011	2524.1	28/05/2019	13:13:04	2524.2783038871894	0.0050943967768424568
17.045	3017	28/05/2019	13:13:48	3017.1663801061059	0.0047537173173103449
20.092	3511.7	28/05/2019	13:14:12	3512.1663696377591	0.013324846793122042
20.087	3510.9	28/05/2019	13:14:17	3511.3540952867065	0.012974151048735239
16.993	3008.3	28/05/2019	13:14:48	3008.7187268551547	0.011963624432987022
14.051	2532.6	28/05/2019	13:15:11	2530.7764986956126	0.052100037268207548
10.851	2011.2	28/05/2019	13:15:46	2010.9209140217395	0.0079738850931594888
7.898	1531.9	28/05/2019	13:16:21	1531.1916822898804	0.02023764886056207
4.692	1009.2	28/05/2019	13:16:25	1010.3613683947437	0.033181954135534396

Sensor Calibration Measurements



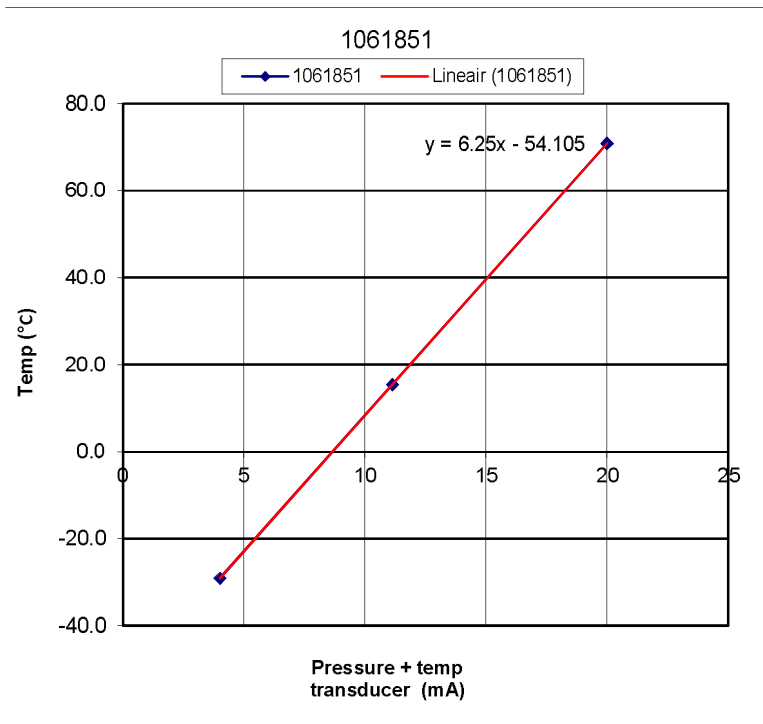
Sensor Calculation Result Graph

A. KALIBRATIES
Temperatuursensoren

CALIBRATION SHEET



Offset calibration temperature sensor WSM	
Project number	1417-0042-142
Client	Waterschap Rivierenland
Manufacturer	Fugro
Type	WSM + Pt1000
Serial number	1061851
Measuring range	-30 to +70 °C
Reference temperature	+15 °C
Input range	4 to 20 mA
Comments <i>one point offset calibration</i>	



STEP	Temp in [° C]	Measurement in [mA]
1	-29.1	4.0000
2	15.4	11.1272
3	70.9	20.0000
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

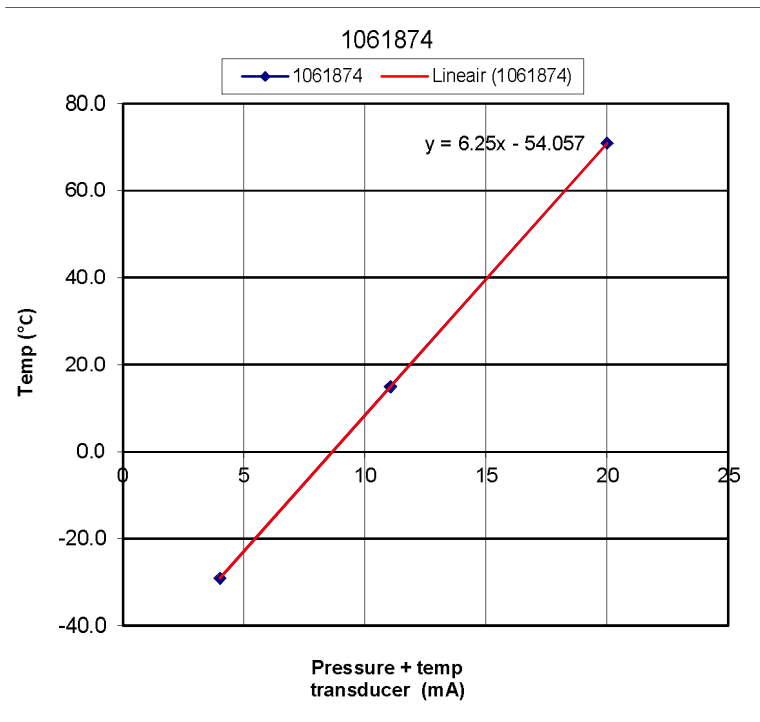
A	6.25
B	-54.1050

Calibrated by	VPS
Date	05/06/2019

CALIBRATION SHEET



Offset calibration temperature sensor WSM	
Project number	1417-0042-142
Client	Waterschap Rivierenland
Manufacturer	Fugro
Type	WSM + Pt1000
Serial number	1061874
Measuring range	-30 to +70 °C
Reference temperature	+15 °C
Input range	4 to 20 mA
Comments <i>one point offset calibration</i>	



STEP	Temp in [° C]	Measurement in [mA]
1	-29.1	4.0000
2	15.0	11.0507
3	70.9	20.0000
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

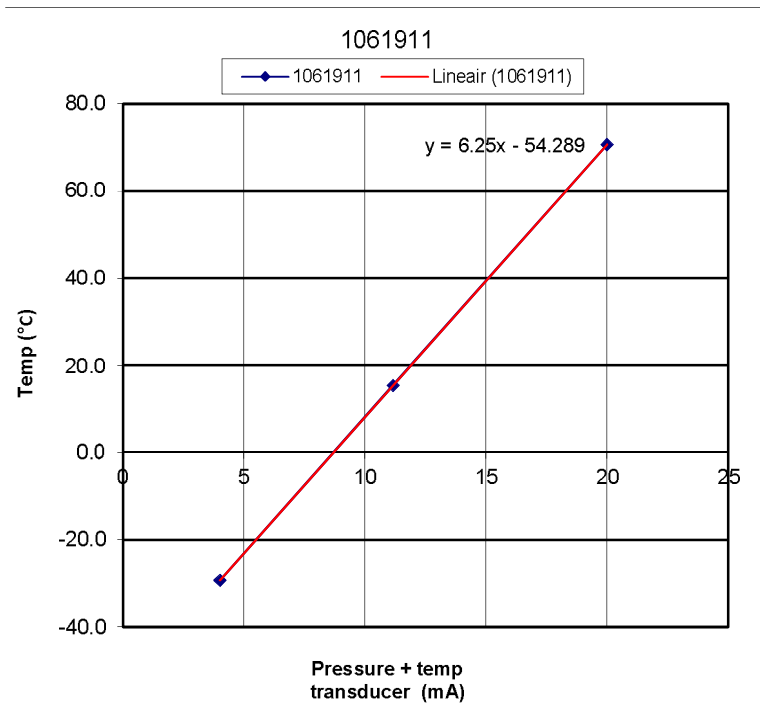
A	6.25
B	-54.0569

Calibrated by	VPS
Date	05/06/2019

CALIBRATION SHEET



Offset calibration temperature sensor WSM	
Project number	1417-0042-142
Client	Waterschap Rivierenland
Manufacturer	Fugro
Type	WSM + Pt1000
Serial number	1061911
Measuring range	-30 to +70 °C
Reference temperature	+15 °C
Input range	4 to 20 mA
Comments <i>one point offset calibration</i>	



STEP	Temp in [° C]	Measurement in [mA]
1	-29.3	4.0000
2	15.4	11.1530
3	70.7	20.0000
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

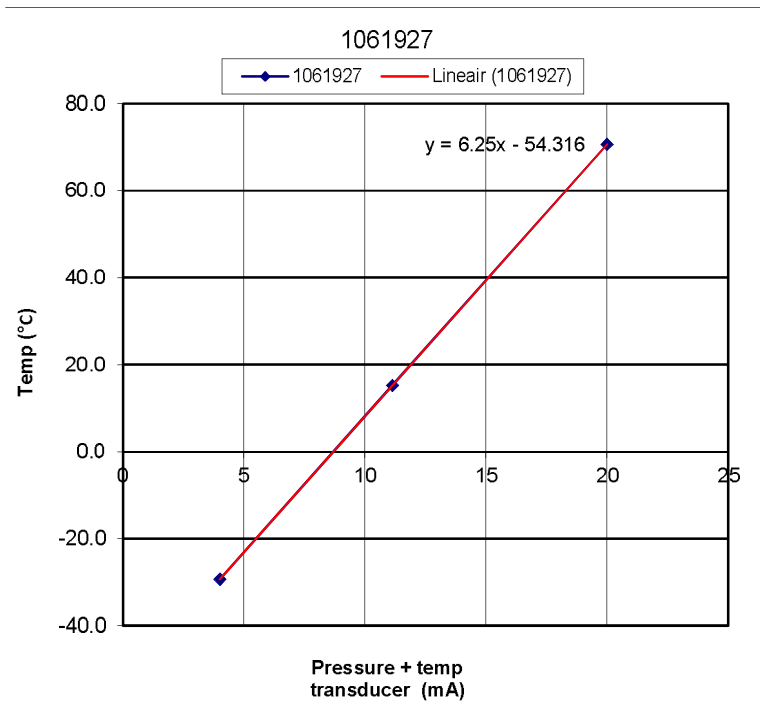
A	6.25
B	-54.2893

Calibrated by	VPS
Date	05/06/2019

CALIBRATION SHEET



Offset calibration temperature sensor WSM	
Project number	1417-0042-142
Client	Waterschap Rivierenland
Manufacturer	Fugro
Type	WSM + Pt1000
Serial number	1061927
Measuring range	-30 to +70 °C
Reference temperature	+15 °C
Input range	4 to 20 mA
Comments <i>one point offset calibration</i>	



STEP	Temp in [° C]	Measurement in [mA]
1	-29.3	4.0000
2	15.3	11.1342
3	70.7	20.0000
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

A	6.25
B	-54.3158

Calibrated by	VPS
Date	05/06/2019

B. BOORBESCHRIJVING

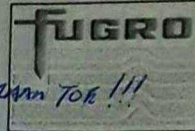
Proefboring 1		
12/06/2019		
Diepte [m- mv]	Omschrijving	
0.00	0.45	K MV s2 H3 ZW
0.45	0.45	K MV s2 H3 ZW
1.10	1.10	K MV S2 H3 Br
1.80	1.80	K MV S2 gr
2.10	2.10	K MV S2 gr
2.70	2.70	V MV Br
3.30	3.30	K MV venig BR
3.50	3.50	V MV Br = klei laagjes
3.90	3.90	K MV S2 gr = een enkel veenhoudend laagje

Boorstaat proefboring

Locatie A			Locatie B		
13/06/2019			12/06/2019		
Diepte [m- mv]	Omschrijving		Diepte [m- mv]	Omschrijving	
0.00	0.50	K MV H2 Z1 do BR	0.00	0.90	K MV Z1 H2 do Br
0.50	0.90	K MV Z1 H1 Br	0.90	1.80	K MV S2 ro Br
0.90	1.70	K MV S2 ro BR rustsporen	1.80	2.60	K MV S2 Gr met humeuse laagjes
1.70	2.80	K MV S2 Gr	2.60	2.70	V MV Br
2.80	2.90	V MV Br			
Locatie C			Locatie D		
12/06/2019			12/06/2019		
Diepte [m- mv]	Omschrijving		Diepte [m- mv]	Omschrijving	
0.00	0.95	K MV S2 H2 ZW	0.00	0.90	K MV S3 H3 do BR
0.95	1.40	K MV S2 H1 Br	0.30	1.80	K MV Z2 H1 Br
1.40	1.70	K MV S2 Br	0.90	2.60	K MV S2 Br/ro
1.70	2.60	K MV S2 Gr	1.60	2.70	K MV S3 Gr
2.60	3.00	V MV Br	2.80	3.00	V MV Br

Boorstaten van 4 clusters: A, B, C en D

OPDRACHTNR: 1417-0042-141 **BOORSTAAT**



Boring: PLOEF BORING 1
Grondwaterstand: 305 * m -mv

* gas DEKKEF NA BORING STROOM LANGZAAM TOE !!!

Plaats:

d.d.: 12-06-19

GHG: M -mv GLG: M -mv

Maaiveldhoogte: m t.o.v. N.A.P./peil

Peilbuis geplaatst op: m Filterlente: m
bkpb: m

Diepte	Omschrijving
000	045 * MB s ² H ³ zc
045	110 * MB s ² B ₁
110	180 k mv s ² H ³ zc/B ₁
180	210 k mv s ² g ₂ + VIEGW. KRISTE
210	270 k mv s ² g ₂
270	330 k mv V ₁ B ₁
330	350 k mv V ₁ B ₁
350	390 k mv B ₁ + k.c. LAAGJE
390	500 van k mv s ² g ₂ + BKW. F. H. V. V. H. H. O. U. D. I. E. R. LAAGJE tot
Micoliet:	0,50 500
Grind:	44 -

BOORSTAAT

OPDRACHTNR: LOCATIE C A *

Plaats: VIANEN

Boring: C A
Grondwaterstand: m -mv

d.d.: 12-06-19

GHG: M -mv GLG: M -mv

Maaiveldhoogte: m t.o.v. N.A.P./peil

Peilbuis geplaatst op: m Filterlente: m
bkpb: m

Diepte	Omschrijving
000	095 k mv s ² H ² zc g ₂ A ₁
095	140 k mv s ² H ¹ B ₁
140	170 k mv s ² g ₂ B ₁
170	260 k mv s ² g ₂
260	300 V ₁ B ₁

van tot
Micoliet: 170 250
Grind: 0,50 170 DAMM

* A = gas ontluuchting
B = gewone WSM

C. DRACHTNR: **BOORSTAAT**

Plaats:



Boring:
 Grondwaterstand: m -mv d.d.:

GHG: GLG:

Maainvelddoogte: m t.o.v. N.A.P./peil

Peilbuis geplaatst op: m Filterlente: m
 bkpb: m

Diepte	Omschrijving
0.00 0.50	flex mv 2" H ² 2' de 1 ^o
0.50 0.90	flex mv 2" H ¹ 1 ^o
0.90 1.70	flex mv 5/8" no/1 ^o restsporen
1.70 2.00	flex mv 5/8" gas
2.00 2.90	flex mv 1" B ₁ 1

van tot
 Micoliet:
 Grind: DAMMEN
 0.50

OPDRACHTNR: **BOORSTAAT**

Plaats:

Boring:
 Grondwaterstand: m -mv d.d.:

GHG: GLG:

Maainvelddoogte: m t.o.v. N.A.P./peil

Peilbuis geplaatst op: m Filterlente: m
 bkpb: m

Diepte	Omschrijving

van tot
 Micoliet:
 Grind:

BOORSTAAT

OPDRACHTNR: 1417-0042-141

Plaats: Vianen



Boring: D-A

Grondwaterstand: m -mv d.d.: 12-06-19

GHG: M -mv GLG: M -mv

Maaiveldhoogte: m t.o.v. N.A.P./peil

Peilbuis geplaatst op: m Filterlente: m
bkpb: m

Diepte	Omschrijving
0.00 0.30	Klei mv S ³ H ³ do 1 st
0.30 0.90	Klei mv S ² H ¹ do 1 st
0.90 1.90	Klei mv S ² Br/no
1.90 2.00	Klei mv S ³ Gas
2.00 3.00	Leem mv 1 st 8

	van	tot
Micoliet:	170	250
Grind:	0.50	1.70

DÄMMER

BOORSTAAT

OPDRACHTNR: 1417-0042-141

Plaats: Vianen

Boring: B-A

Grondwaterstand: m -mv d.d.: 12-06-19

GHG: M -mv GLG: M -mv

Maaiveldhoogte: m t.o.v. N.A.P./peil

Peilbuis geplaatst op: m Filterlente: m
bkpb: m

Diepte	Omschrijving
0.00 0.90	Klei mv S ³ Z ¹ H ² do 1 st
0.90 1.80	Klei mv S ² no/Br
1.80 2.60	Klei mv S ² Gas met zandzand laagjes
2.60 2.70	V mv Br

	van	tot
Micoliet:	170	220
Grind:	0.50	2.70

DÄMMER

Proefboring



Boring_A-A



Boring_B-A



Boring_C-A



Boring_C-B



Boring_D-A



Boring_D-B



C. GUTSEN

Guts_A-A



Guts_A-B



Guts_B-A



Guts_B-B



Guts_C-A



Guts_C-B



Guts_D-A



Guts_D-B




D. PLAATSINGSFORMULIEREN

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A--A
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-A ontgast wsm
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	13/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

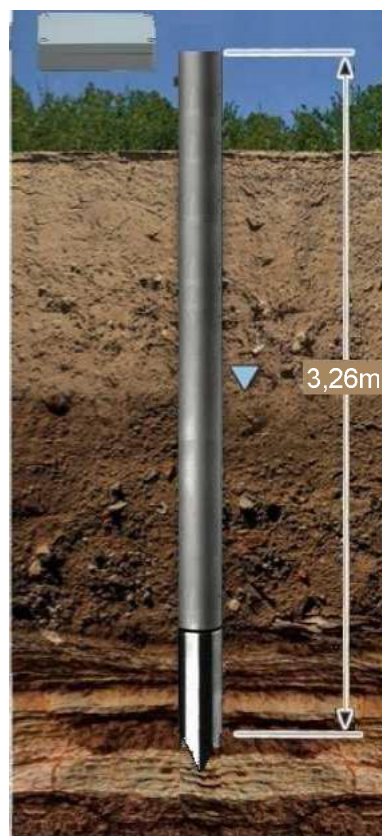
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.703
Voor plaatsen	tijd	09:17
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,36m
Totale lengte	m	3,26m
Handwaarneming	ma	5.256
Na plaatsen	tijd	12:06

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1509
Poort		a
Sensor	nr	1061911
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	12:05

Verandering		
Loggerbox	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
meet waarde na aansluiting flb 5.256mA 16-06-2019	omschrijving	aantal

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A--A
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-A ontgast wsm

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A-B
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-B gewone wsm
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	13/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

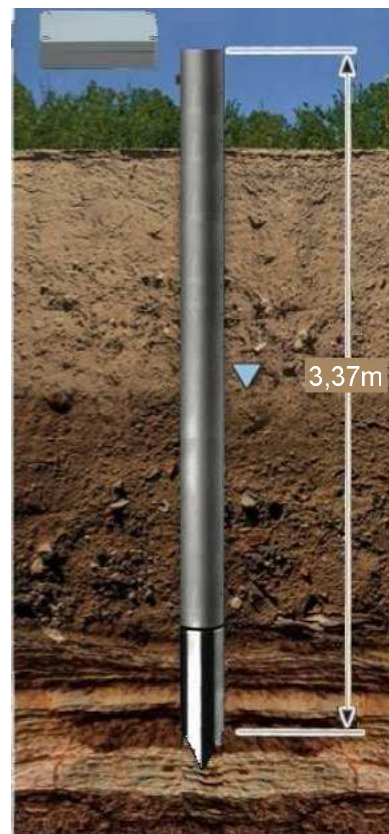
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.669
Voor plaatsen	tijd	09:54
Bk stang / buis t.o.v.	m	0,47m
Totale lengte	m	3,37m
Handwaarneming	ma	5.684
Na plaatsen	tijd	11:36

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1509
Poort		b
Sensor	nr	1033346
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	11:57

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
waarneming na flb aansluiting 5.684mA 16-06-2019	omschrijving	aantal

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A-B
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-B gewone wsm

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM B-A
Plaats:	Vianen	Filter naam:	Wsm B-A
Straat + nr:	Merwedekade 18	Datum:	12/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JMM
Opdracht:	plaatsen wsm's		

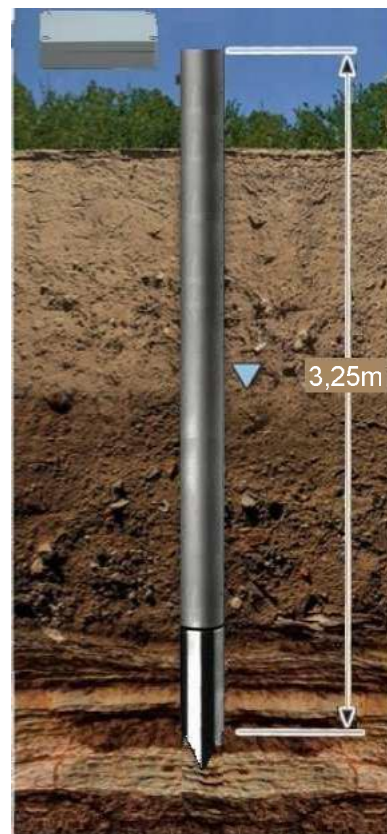
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4671
Voor plaatsen	tijd	15:07
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,55m
Totale lengte	m	3,25m
Handwaarneming	ma	
Na plaatsen	tijd	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1112
Poort		a
Sensor	nr	1061874
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	11:00

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
Handwaarneming 17-06-2019 5.640 mA 11.00uur	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	koker (rood)	1
	mikoliet 00	0.5

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

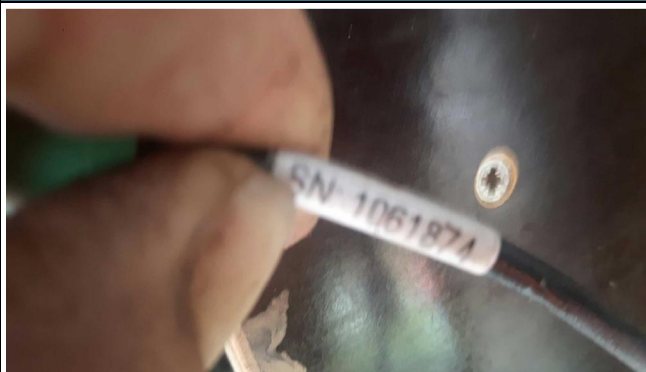
Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM B-A
Plaats:	Vianen	Filter naam:	Wsm B-A

Foto 1

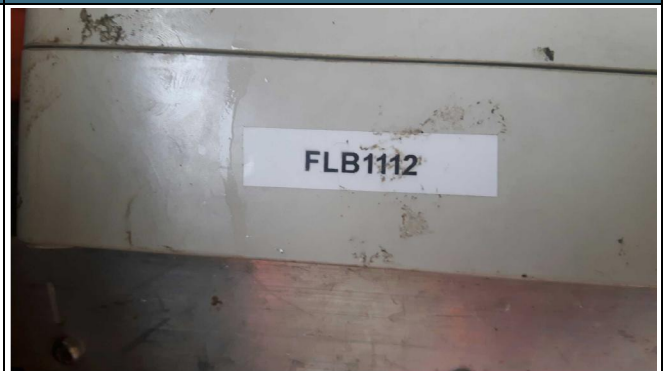


Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM B-B
Plaats:	Vianen	Filter naam:	Wsm B-B
Straat + nr:	Merwedekade 18	Datum:	12/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JMM
Opdracht:	plaatsen wsm's		

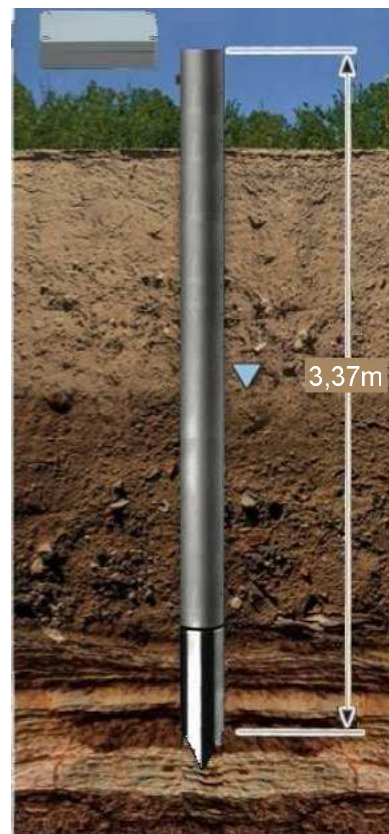
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.652
Voor plaatsen	tijd	15:43
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,67m
Totale lengte	m	3,37m
Handwaarneming	ma	
Na plaatsen	tijd	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1112
Poort		b
Sensor	nr	000025
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	11:00

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
handwaarneming 17-06-2019 5.560mA 11.00uur	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	koker (zwart)	1
	mikoliet 00	0.5

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

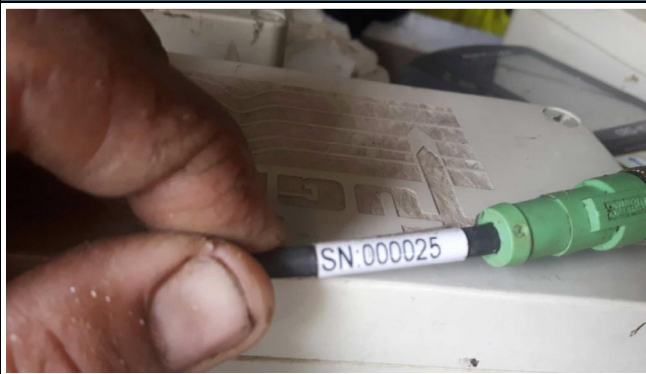
Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM B-B
Plaats:	Vianen	Filter naam:	Wsm B-B

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_C-A
Plaats:	Vianen	Filter naam:	wsm C-A onrgast
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	12/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

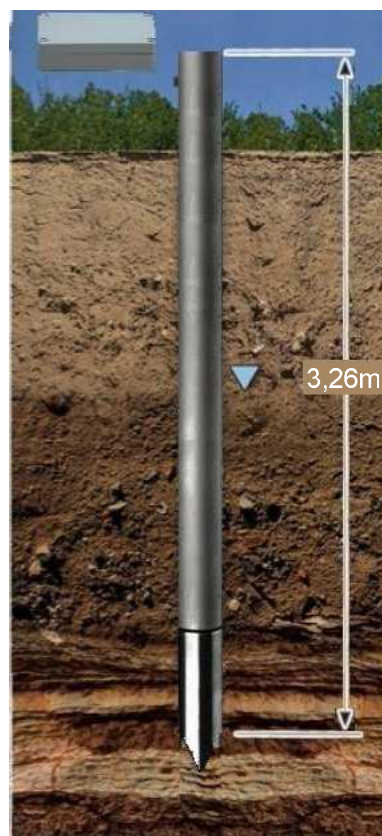
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.670
Voor plaatsen	tijd	12:05
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,26m
Totale lengte	m	3,26m
Handwaarneming	ma	5.548
Na plaatsen	tijd	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1004
Poort		a
Sensor	nr	1061851
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	12:43

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
meetwaarde na aansluiting flb 5.548mA 16-06-2019	omschrijving	aantal

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_C-A
Plaats:	Vianen	Filter naam:	wsm C-A onrgast

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_C-B
Plaats:	Vianen	Filter naam:	C-B gewone wsm
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	12/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

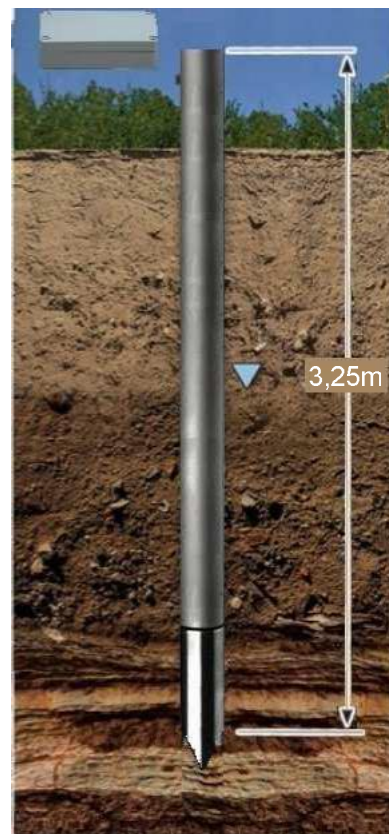
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.681
Voor plaatsen	tijd	12:38
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,30m
Totale lengte	m	3,25m
Handwaarneming	ma	5.554
Na plaatsen	tijd	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1004
Poort		b
Sensor	nr	939518
Meetbereik	bar	3.5
Start/stop equipment	tijd	17:57

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
meet waarde na aansluiting flb 5.554mA 16-06-2019	omschrijving	aantal

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

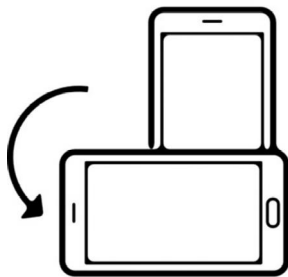
Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_C-B
Plaats:	Vianen	Filter naam:	C-B gewone wsm

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_D-A
Plaats:	vianen	Filter naam:	D-A ontgast
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	12/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

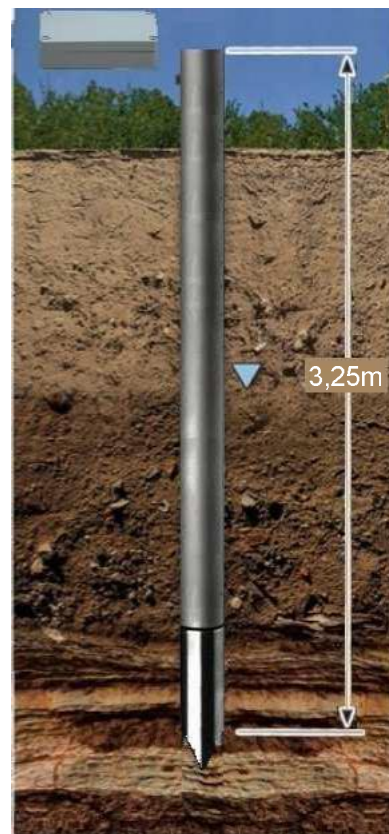
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.672
Voor plaatsen	tijd	14:01
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,25m
Totale lengte	m	3,25m
Handwaarneming	ma	5.547
Na plaatsen	tijd	13:44

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1532
Poort		a
Sensor	nr	1061927
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	17:50

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
meetwaarde na aansluiting flb 5.547mA 16-06-2019	omschrijving	aantal

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_D-A
Plaats:	vianen	Filter naam:	D-A ontgast

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_D-B gewone wsm
Plaats:	Vianen	Filter naam:	D-B gewone wsm
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	12/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

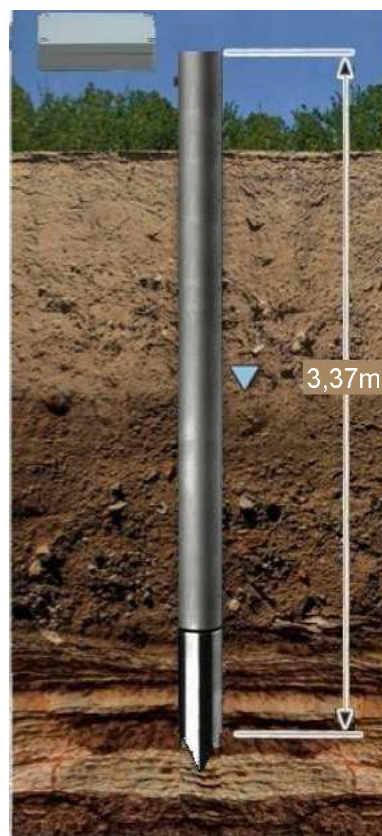
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4673
Voor plaatsen	tijd	14:32
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,37m
Totale lengte	m	3,37m
Handwaarneming	ma	5.521
Na plaatsen	tijd	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1532
Poort		b
Sensor	nr	1033331
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	13:35

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
meetwaarde na aansluiting flb 5.521mA 16-06-2019	omschrijving	aantal

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_D-B gewone wsm
Plaats:	Vianen	Filter naam:	D-B gewone wsm

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer

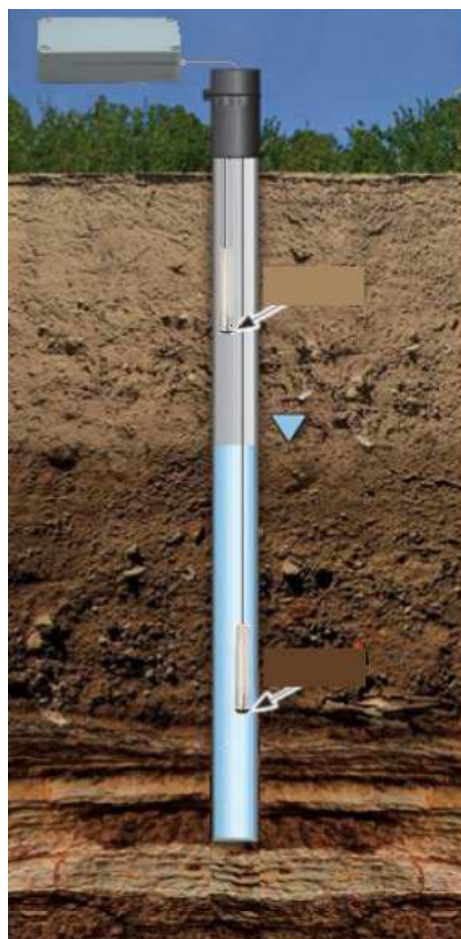


Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_slootpeil
Plaats:	Vianen	Filter naam:	pb slootpeil
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	13/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
BKPB t.o.v. + mv	m	0,75m
Handwaarneming (T.o.v. BKPB)	m	0,39m
	tijd	11:18
Totale lengte pb	m	1,00m
Lengte filter	m	1,00m
Zandvang	m	



Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1160
Poort		a
Sensor	nr	1115313
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Afhangdiepte	m-bkpb	0,93m
Start/stop equipment	tijd	18:02

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
Afhangdiepte	m-bkpb	
	m	
Start verandering	tijd	

Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
mv = slootbodem batt 21-05-2019		

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_slootpeil
Plaats:	Vianen	Filter naam:	pb slootpeil

Overzicht locatie



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer




Detail FLB/kast nummer



PEILBUIS LOGGER FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	kanaal peil
Plaats:	vianen	Filter naam:	kanaal peil
Straat + nr:	merwedekade	Datum:	13/06/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google locatie		
51.9618666, 5.0598303		

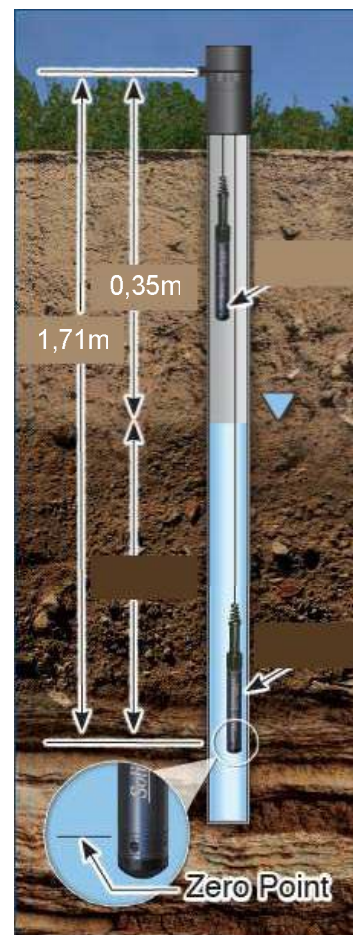


Veldmetingen		
BKPB t.o.v. + mv	m	2,17m
Handwaarneming (T.o.v. BKPB)	m	0,35m
	tijd	14:05
Totale lengte pb	m	2,57m
Lengte filter	m	
Zandvang	m	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Sensor	nr	0102027239
Meetbereik	bar	5m
Afhangdiepte	m-bkpb	1,71m
Interval	uur	1

Baro		
Sensor	nr	

Verandering		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
Afhangdiepte	m-bkpb	
	m	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	kanaal peil
Plaats:	vianen	Filter naam:	kanaal peil

Foto 1



Opmerking foto 1

Foto serienummer



E. FAT-VERSLAG

DEELNEMERS EN DE LOCATIE VAN DE TEST

Datum van de uitvoering: 28 mei t/m 11 juni 2019

Locatie: Werkplaats Fugro Geomonitoring

Veurse Achterweg 10

2264 SG Leidschendam

Fugro NL Land B.V.

Naam	Functie	Handtekening
R. Várady	Projectmedewerker Geomonitoring	
V.P. Schuurmans	Senior Adviseur Monitoring	

Tabel 7: FAT-deelnemers

Waterspanningsmeters

4 stuks van grondwatergasbestendige waterspanningsmeters

Volgende aspecten werden gecontroleerd:

Kalibratiesensoren JA

Output sensoren tussen 4 – 20 mA JA

4 stuks conventionele waterspanningsmeters (Fugro FWS2)

Kalibratiesensoren JA

Output sensoren tussen 4 – 20 mA JA

Regenmeter met datalogger

Datastroom naar de ftp-server JA

Batterijspanning JA

Zonnepaneel JA

Werking opvangbakje neerslag JA

Peilbuissensor

Kalibratiesensoren JA

Output sensoren tussen 4 – 20 mA JA

Fugro logger box

Datastroom naar de ftp-server JA

Batterijspanning JA

Autonome drukopnemer (Diver)

De datalogger wordt geprogrammeerd, het geheugen is gewist en de batterijcapaciteit is gecontroleerd.



F. RAPPORTAGE WIERTSEMA



Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Raadgevend Ingenieursbureau
Wiertsema & Partners B.V.
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert
Tel.: 0594 51 68 64
Fax: 0594 51 64 79
E-mail: info@wiertsema.nl
Internet: www.wiertsema.nl

Waterspanningsmetingen

Ontwikkelingsfase veldtest grondwaterbestendige
waterspanningsmeters te Vianen

VN-67440-2 | 23 oktober 2019




Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Raadgevend Ingenieursbureau
Wiertsema & Partners B.V.
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert
Tel.: 0594 51 68 64
Fax: 0594 51 64 79
E-mail: info@wiertsema.nl
Internet: www.wiertsema.nl

Onderwerp: Ontwikkelingsfase veldtest grondwaterbestendige
waterspanningsmeters te Vianen
Projectnummer: VN-67440-2
Opdrachtgever: Fugro NL Land BV
Postbus 1471
3430 BL Nieuwegein
Nr. opdrachtgever: 1417-0042-000
Datum: 23 oktober 2019

Versie	Datum	Omschrijving wijziging
1	23 oktober 2019	

Opgesteld door:	ing. T. van der Sluijs
Handtekening:	
Documentnummer:	R66427
Status:	definitief
Vrijgegeven door:	drs. C.J.A.W. van der Made



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Inhoudsopgave

blad

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Kwaliteitswaarborging	4
1.3	Leeswijzer.....	4
2	Beschikbare gegevens.....	5
2.1	Projectgegevens	5
2.2	Situatie.....	5
2.3	Meetmethode.....	5
3	Factory acceptance test (FAT)	6
3.1	Doel van een FAT	6
3.2	Systeembeschrijving.....	6
4	Uitvoering en installatie	9
4.1	Plaatsen waterspanningsmeters	9
4.2	Resultaten	10
5	Site acceptance test (SAT en presentatie meetdata	11
6	Presentatie meetdata.....	12

Bijlagen:

- 1 Situatietekening
- 2 Boorstaten
- 3 FAT-verslag
- 4 Kalibratieformulier waterspanningsmeters
- 5 Grafieken meetdata WSM's



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

1 Inleiding

In opdracht van Projectoverstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna POVM) hebben Fugro NL Land BV te Nieuwegein en Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V. waterspanningsmeters geplaatst ten behoeve van het project; Ontwikkelingsfase veldtest grondwaterbestendige waterspanningsmeters te Vianen. Voor de verbetering van de betrouwbaarheid van de waterspanningsmetingen is een consortium samengesteld bestaande uit: Stichting Deltaris, Fugro NL Land BV, Wiertsema en Partners BV en Syrinx Industrial Electronics BV. Wiertsema en Partners heeft in samenwerking met Fugro waterspanningsmeters geplaatst. Deze rapportage betreft de door Wiertsema & Partners geplaatste waterspanningsmeters.

1.1 Aanleiding

Het onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van het POVM project voor de ontwikkeling van grondwaterbestendige waterspanningsmeters. Het onderzoek heeft als doel inzicht te krijgen in het functioneren van de aangebrachte meetinstrumenten. In de praktijk blijkt vaak dat een kwart van de geïnstalleerde waterspanningsmeters na verloop van tijd uitvallen, onder andere door gasvorming in het instrument. Aangezien waterspanningsmeters een belangrijke bron zijn voor risicobeheersing en projectbeheersing voor dijk-gerelateerde werkzaamheden, is vanuit de POVM besloten om met een innovatiepartnerschap een zelf-ontgassende waterspanningsmeter te ontwerpen en te plaatsen in combinatie met normale waterspanningsmeters. Het doel van deze veldtest is om de resultaten van de zelf-ontgassende waterspanningsmeter te verifiëren en te valideren met de standaard waterspanningsmeter en of hier daadwerkelijk verschillen waarneembaar zijn.

1.2 Kwaliteitswaarborging

De werkzaamheden zijn verricht onder ons kwaliteitssysteem NEN-EN-ISO-9001 en ons milieu-managementsysteem NEN-EN-ISO-14001. Wiertsema & Partners B.V. is in het bezit van een VGM-beheersysteem VCA**.

Wij maken u erop attent dat er geen juridische verbintenis bestaat tussen de opdrachtgever en Wiertsema & Partners B.V.

Voor de selectie en installatie van waterspanningsmeters is gebruik gemaakt van het protocol waterspanningsmeters VN-67440-1 / 1417-0042-000 d.d. 16 januari 2019.

1.3 Leeswijzer

Na de inleiding in dit eerste hoofdstuk, volgen in het tweede hoofdstuk de projectgegevens. In hoofdstuk 3 zijn de uitgevoerde werkzaamheden omschreven. De werking van de webapplicatie is omschreven in hoofdstuk 4.

In de bijlagen zijn de situatietekening en boorbeschrijvingen voor de geplaatste waterspanningsmeters opgenomen.



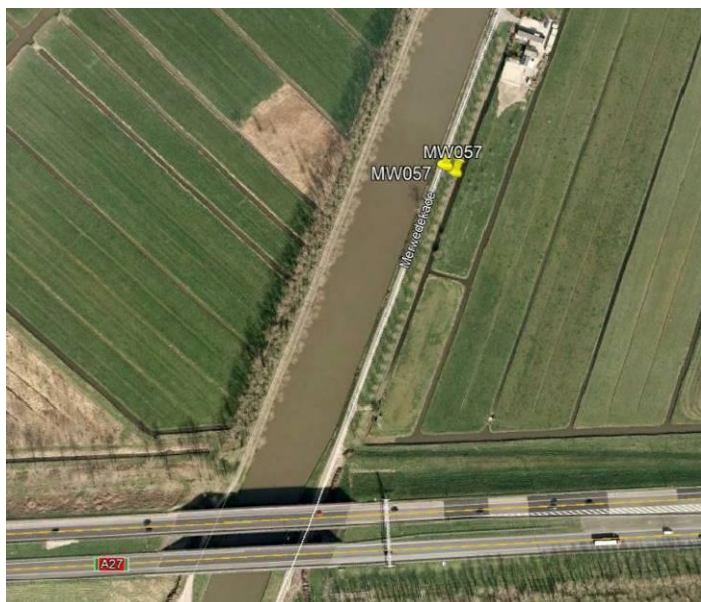
2 Beschikbare gegevens

2.1 Projectgegevens

Conform opdracht zijn 4 waterspanningsmeters geplaatst. De locaties en installatiedieptes zijn door in samenspraak met POVM bepaald en vooraf in het PvA vastgelegd. De waterspanningsmeters zijn op een diepte van -1,45 tot -1,95 N.A.P. m. geplaatst.

2.2 Situatie

De locatie van de veldtest is op basis van eerder onderzoek door Fugro bepaald en is gesitueerd op een locatie waar in het verleden eerder gasvorming is gemeten. Figuur 2.1 geeft de projectlocatie weer.



Figuur 2.1: Luchtfoto Merwedekade 18

2.3 Meetmethode

Voor de monitoring van de waterspanning is gebruik gemaakt van analoge waterspanningsmeters type 21 Y (zie figuur 2.2) met een meetbereik van 200 kPa van Geopoint systems bv. De specificaties van dit type waterspanningsmeter zijn weergegeven in tabel 2.1. Met behulp van de sensoren wordt de druk (mbar) met een vooraf te bepalen tijdsinterval gemeten. Via een vaste kabel aansluiting worden de sensoren op een loggerkast aangesloten. Hierin worden de meetwaarden opgeslagen. Naast de waterdruk wordt tevens de actuele barometrische druk geregistreerd. Voor dit project is gekozen voor een éénkanaals logger (Tinysense) (zie figuur 2.3). De loggerkast stuurt de geregistreerde data dagelijks naar een online server. Op de online webapplicatie wordt de meetdata verwerkt en grafisch gepresenteerd. In hoofdstuk 4 wordt uitgebreid aandacht gegeven aan de werking van de webapplicatie en het gebruik ervan.



Tabel 2.1 Specificaties waterspanningsmeter

Sensor	Analoge waterspanningsmeter
Type	21 Y van Geopoint systems
Meetbereik	200 kPa (2 bar (0-10V))
Meetprincipe	Absoluut
Resolutie (ruisniveau)	n.b.
Offset nauwkeurigheid	n.v.t.
Temperatuur compensatie	Gecompenseerd
Opslag gebruikstemperatuur	-20 ... 80 °C



Figuur 2.2 Analoge waterspanningsmeter 21 Y



Figuur 2.3 Tinysense loggerkast

3 Factory acceptance test (FAT)

Een FAT is een formeel test- en inspectieproces dat wordt uitgevoerd door de fabrikant (Wiertsema & Partners) wanneer het systeem of de faciliteit volledig is gefabriceerd en geassembleerd, voorafgaand aan de plaatsing. Een FAT wordt gebruikt om te verifiëren of conform contract is geproduceerd en of de apparatuur voldoet aan de specificaties. In deze rapportage worden de testen bedoeld die W&P uitvoert voordat de mobilisatie plaatsvindt.

3.1 Doel van een FAT

De test en controle wordt uitgevoerd in de werkplaats van Wiertsema & Partners te Tolbert.

De FAT-procedure is gericht op:

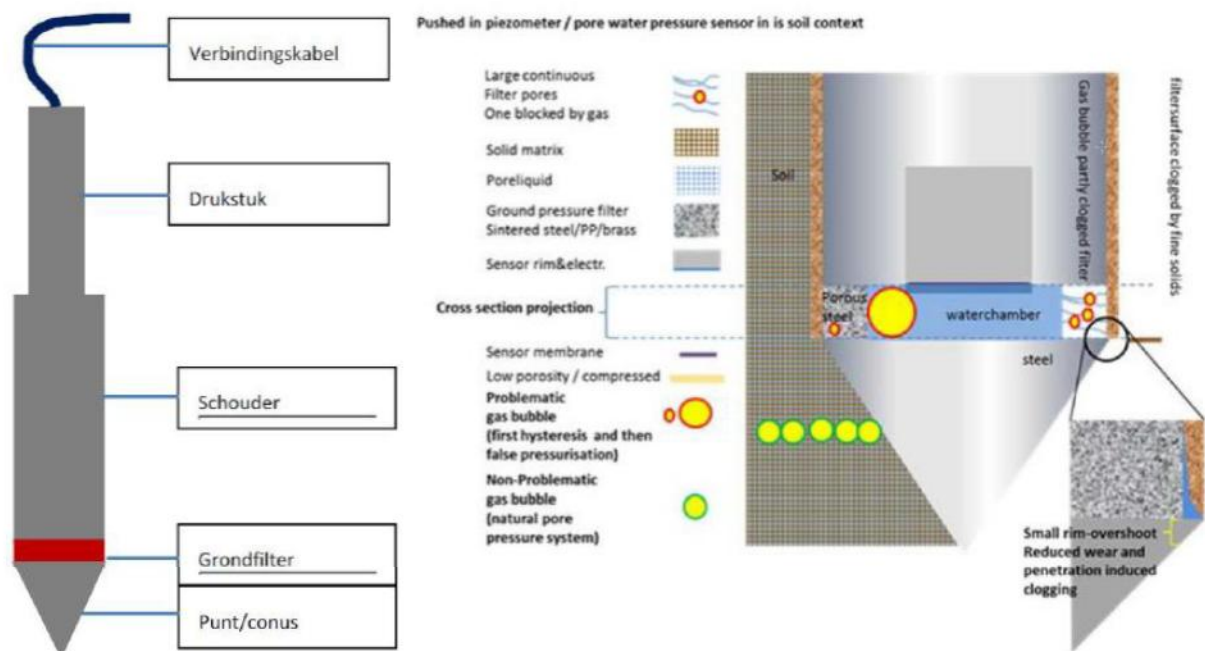
- Controle van de juiste werking van de dataloggers
- Controle van de juiste functie van het meten van de aangesloten sensoren
- Controle van de gegevensoverdracht naar de aangegeven ftp-server

De bovengenoemde aspecten zijn in het FAT-verslag opgenomen (zie bijlage 3).

3.2 Systeembeschrijving

Voor de veldtest zijn 4 conventionele waterspanningsmeters geplaatst van de firma Geopoint systems. In figuur 3.1 is een schematische weergave van de waterspanningsmeter te zien.





Figuur 3.1: Schematische weergave conventionele waterspanningsmeter

Technische specificaties 21 Y sensor Geopoint systems

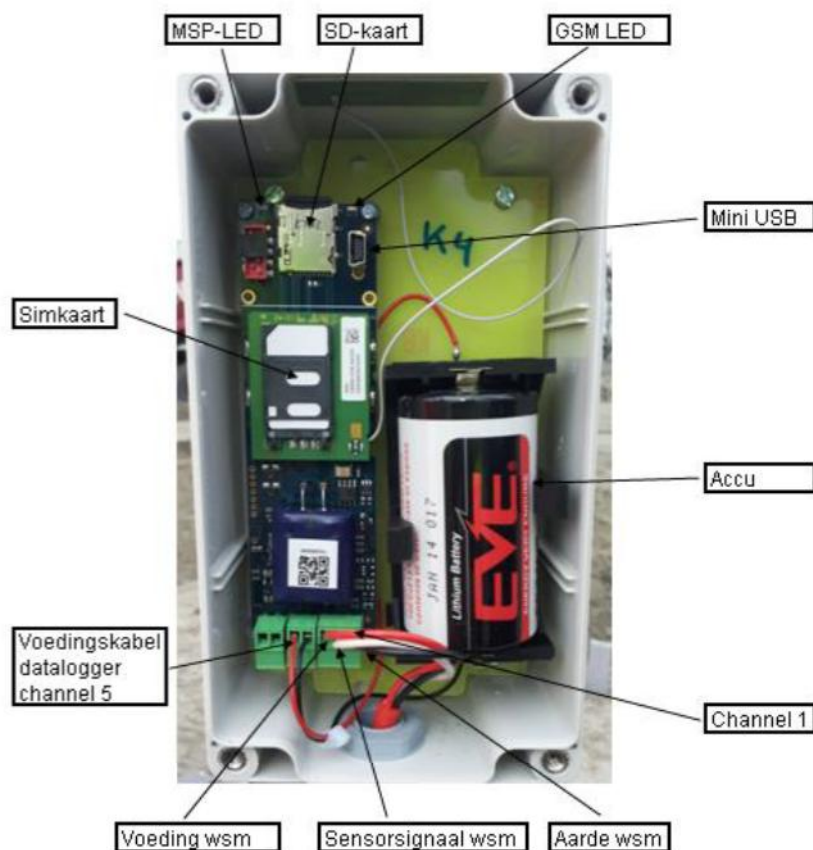
- Meetbereik: 200 kPa
- Voedingsspanning: 8..32 VDC
- Uitgangsignaal: 4..20 mA / 0..10 VDC
- Response tijd: < 5 ms (0..99%)
- Isolatiweerstand: >10 M Ω bij 300 VDC
- Compensatiebereik: 0..50 $^{\circ}$ C
- Opslag/gebruikstemperatuur: -20..80 $^{\circ}$ C
- Max onnauwkeurigheid: <0,5%

Bedrading 21Y 2 bar sensor van Geopoint systems

Kleur	Functie	Symbol	Bereik
Rood	Voeding	+VCC (+V _{supply})	12-28 V
Wit	Sensorsignaal	VDC (V _{out})	0-10 V
Zwart	Aarde	GND	-



De GPT (Geopoint Tiny Sense) is geschikt om één waterspanningsmeter op aan te sluiten. In onderstaande afbeelding is schematisch weergegeven waar de diverse onderdelen voor dienen.



Figuur 3.2 beschrijving GPT loggerkast van Tinysense

Controle waterspanningsmeters				
Aantal	Omschrijving	Type	Serienummer	Gecontroleerd
1	Waterspanningsmeter	2 Bar sensor 21Y van Geopoint systems	7431	Ja
1	Waterspanningsmeter	2 Bar sensor 21Y van Geopoint systems	7434	Ja
1	Waterspanningsmeter	2 Bar sensor 21Y van Geopoint systems	7430	Ja
1	Waterspanningsmeter	2 Bar sensor 21Y van Geopoint systems	7433	Ja
1	Enkelkanaals Loggerkast	Tinysense	GPT084	Ja
1	Enkelkanaals Loggerkast	Tinysense	GPT015	Ja
1	Enkelkanaals Loggerkast	Tinysense	GPT100	Ja
1	Enkelkanaals Loggerkast	Tinysense	GPT019	Ja

Figuur 3.3: Overzicht meetapparatuur

De conventionele waterspanningsmeters zijn voor de start van de veldtest gekalibreerd. De kalibratieformulieren zijn weergegeven in bijlage 4.



4 Uitvoering en installatie

Voorafgaand aan het installeren zijn de vloeistofkamer en grondfilters volledig verzadigd met vloeistof. De conventionele waterspanningsmeters van Geopoint worden geleverd met 3 grondfilters welke al vooraf geïnstalleerd zijn. Het 4^e en laatste grondfilter wordt handmatig onder water aangebracht nadat de meetkamer en overige grondfilters volledig is gevuld zijn. Hierna wordt de elastische condoom om de waterspanningsmeter aangebracht om luchtintreding te voorkomen. De geprepareerde waterspanningsmeters worden vervolgens (onder water) getransporteerd naar de projectlocatie. Hieronder zijn enkele foto's van het bovenbeschreven proces weergegeven.



Figuur. 4.1: Ontluchte waterspanningsmeter



Figuur 4.2: Wijze vervoer naar projectlocatie

4.1 Plaatsen waterspanningsmeters

De waterspanningsmeters zijn op 14 juni 2019 geplaatst. Ten behoeve van het plaatsen van de waterspanningsmeters zijn handboringen uitgevoerd met een edelmanboor (diam 5cm) tot circa 0,5m boven de plaatsingsdiepte van de waterspanningsmeter. Vervolgens is met een guts (2cm) de bodemopbouw tot plaatsingsdiepte vastgesteld. Vervolgens zijn de waterspanningsmeters (diam 4,3cm) handmatig (grond verdringend) op diepte gedrukt. Zie figuur 4.1 t/m 4.4 voor de foto's van de uitvoering.

De locaties zijn door Fugro in het veld uitgezet en ingemeten. De locaties van de waterspanningsmeters zijn weergegeven op de situatietekening in bijlage 1. In tabel 4.1 zijn de metagegevens van de waterspanningsmeters weergegeven.

Tabel 4.1 Metagegevens waterspanningsmeters

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maaiveld (m N.A.P.)	Diepte WSM (m N.A.P.)
WSM A-C	132295,97	441071,11	0,85	-1,95
WSM B-C	132296,35	441071,88	0,86	-1,74
WSM C-C	132295,18	441071,45	1,25	-1,65
WSM D-C	132295,44	441072,16	1,35	-1,45





Figuur 4.1 Kleine diameter gutsboring voor verificatie bodemopbouw.



Figuur 4.2 Opgeboorde grond edelmanboring.

4.2 Resultaten

Met de geplaatste sensoren en loggerkasten wordt de waterspanning gedurende circa 12 maanden met een meetinterval één maal per 10 minuten geregistreerd. Door de gemeten druk te compenseren met de luchtdruk met een geïntegreerde barometer kan de waterspanning worden berekend. De data wordt 1 maal per 2 uur verstuurd naar een online server en op onze webapplicatie WePGIS grafisch gepresenteerd, zie hoofdstuk 4.



5 Site acceptance test (SAT en presentatie meetdata)

De SAT-test dient als controle op de metagegevens. Kloppen de gemeten waardes met de verwachtingen en zijn de resultaten representatief. In de onderstaande tabel zijn de beschikbare gegevens vastgelegd.

Tabel 5.1 metagegevens tijdens plaatsen

Locatie	Voorgestelde Diepte in m N.A.P	WSM serienummer	Nulpunt	Tijdstip	Waarde voor plaatsen (Mbar)	Hoogste waarde tijdens plaatsen	Direct na plaatsen
WSM A-C	onbekend	7431	-5	(13-06-19) 10:32	-72	-68	-65
WSM B-C	onbekend	7434	-3	(13-06-19) 11:48	-75	-71	-64
WSM C-C	onbekend	7430	-4	(13-06-19) 12:30	-20	3	5
WSM D-C	onbekend	7433	-4	(13-06-19) 13:15	-108	-95	-93

Tabel 5.2 vervolg metagegevens tijdens plaatsen

Locatie	X	Y	Z (sensor) in m N.A.P.	Hoogte m.v. m N.A.P.	Diepte Wsm t.o.v. mv	Afwerking	Veldkast
WSM A-C	132295	441071	-1,949	0,851	2,8	afgevuld met grout	GPT144
WSM B-C	132296	441071	-1,744	0,856	2,6	afgevuld met grout	GPT100
WSM C-C	132295	441071	-1,647	1,253	2,9	afgevuld met grout	GPT015
WSM D-C	132295	441072	-1,448	1,352	2,8	afgevuld met grout	GPT084

In bijlage 5 zijn de meetgegevens van de afgelopen maanden weergegeven.



6 Presentatie meetdata

Middels de online webapplicatie WePGIS kan de waterspanning continu op afstand worden gemonitord. Hieronder is een korte handleiding voor het gebruik van WePGIS weergegeven.

Inlogcodes

Via de volgende url: <http://wepgis.wiertsema.nl/wepgis/> kan worden ingelogd in de webapplicatie WePGIS.

Voor toegang tot de webapplicatie zijn de volgende inlogcodes aangemaakt:

- **Gebruikersnaam: 67440**
- **Wachtwoord: Proj3ct_67440!**

Na het inloggen kan het systeem 67440_Lexmond geselecteerd worden.

Hieronder volgt een toelichting op de informatie die daar inzichtelijk is.

Geografische aanduiding

Wanneer het project 67440_Lexmond wordt aangeklikt, zijn via Google Maps/View de locaties van de sensoren op basis van de gemeten x en y coördinaten zichtbaar.

Data / Grafieken

In de categorie Plots is per locatie de grafische weergave van de gemeten waterspanning weergegeven. Daarnaast bestaat de mogelijkheid zelf grafieken aan te maken voor de absolute drukken (drukmetingen niet gecorrigeerd voor luchtdruk) of de stijghoogten (waterspanningen omgezet in meters waterkolom t.o.v. N.A.P.). Alle benodigde informatie is hiervoor reeds in de webapplicatie aanwezig. De kalibratie waarden van de verschillende opnemers zijn reeds in de gepresenteerde data opgenomen.

In de grafieken kan de gebruiker zelf enkele aanpassingen doen:

1. Aanpassen van het datumbereik, bij "X-axis" en "Y-axes" bovenaan de grafiek;
2. Sensoren toevoegen of verwijderen in de grafiek, bij "Data" bovenaan de grafiek;
3. Titel van de grafiek, bij "Title/plotting" bovenaan de grafiek

Wij adviseren om verdere aanpassingen in overleg met Wiertsema & Partners te doen.

Specifieke info waterspanningsmeters

Onder Nodes is de specifieke informatie per waterspanningsmeter, bijvoorbeeld de diepte van installatie t.o.v. N.A.P. weergegeven.

Documenten en foto's

De webapplicatie biedt tevens mogelijkheid om documenten en foto's toe te voegen.

In overleg kunnen we hier desgewenst bestanden toevoegen.

Meet- en verzendfrequentie

De meetfrequentie van waterspanningsmeters is 1 maal per 10 minuten, tenzij anders overeengekomen. De meetwaarden worden 1 maal per 2 uur naar de webapplicatie verzonden.



Data export

De webapplicatie biedt de mogelijkheid om data te exporteren. De oorspronkelijke data kan geëxporteerd worden middels het "tandwiel" icoontje onder de grafiek. De uitgemiddelde data kan geëxporteerd worden middels het Excel- en CSV icoon. De kanttkening bij het uitmiddelen staat in de volgende paragraaf.



Oorspronkelijke data

Wanneer een grote hoeveelheid data is verzameld, wordt de oorspronkelijke data automatisch uitgemiddeld (en daardoor afgevlakt), ten behoeve van de snelheid van de website. Uitschieters worden in dat geval niet meer gepresenteerd. De mate van uitmiddeling is afhankelijk van het meetinterval in combinatie met de opgevraagde meetperiode (zie tabel 6.1). Om te garanderen dat de oorspronkelijke data wordt gepresenteerd dient de opgevraagde meetperiode kleiner te zijn dan de in de tabel 4.1 opgegeven meetperiode.

Tabel 6.1 Periode waarin de oorspronkelijke data wordt gepresenteerd of geëxporteerd

Meetinterval	Maximale meetperiode voor:	
	Dataset	Grafiek
½ minuut	1 dag	21 uren
10 minuten	7 dagen	6 dagen
15 minuten	7 dagen	6 dagen
1 uur	2 maanden	6 dagen



Bijlage 1




Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS



B004
WSMB004

B003
WSMB003

B002
WSMB002



B001
WSMB001

(Schaal 1:100)

Overwegdijk

A27-E311



LEGENDA

-  Waterspanningsmeter
-  Handboring

Situatietekening Ontwikkelingsfase ontwikkeling grondwaterbestendige waterspanningsmeters te Vianen	Datum : 22.10.19	Gew:
	Getekend : NM	Gew:
	Schaal : 1: 1000	Gew:
	Formaat : A3	Gew:



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Blad : 1-1	Opdracht: VN-67440-2	
		

Bijlage 2

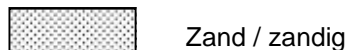



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

NEN 5104 Grondsoorten Hoofdgrondsoort / bijmenging



Grind / grindig



Zand / zandig



Leem / siltig

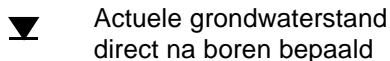


Klei / kleiig

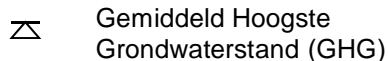


Veem / humeus

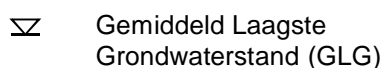
Geohydrologische gegevens



Actuele grondwaterstand
direct na boren bepaald

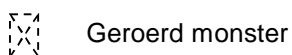


Gemiddeld Hoogste
Grondwaterstand (GHG)



Gemiddeld Laagste
Grondwaterstand (GLG)

Monstername

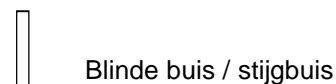


Geroerd monster



Ongeroerd monster

Peilbuizen



Blinde buis / stijgbuis



Filter



Zandvang

Hellingmeetbuizen



Hellingmeetbuis

Niet NEN 5104 hoofdbestanddelen



Gesloten verharding



Puin



Schelpen



Hout

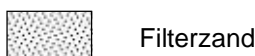


Water

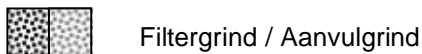


Overige niet binnen NEN 5104
gedefinieerde hoofdbestanddelen

Aanvullingen



Filterzand



Filtergrind / Aanvulgrind



Zwelkleikorrels



Mikolit / Mikolit 00 / Mikolit 300



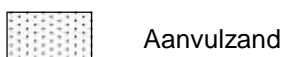
Mikolit B / Bentoniet



QSE



Grond (vrijgekomen / opgeboord)



Aanvulzand



Klei



Grout

Legenda boorprofiel met aanvullende gegevens

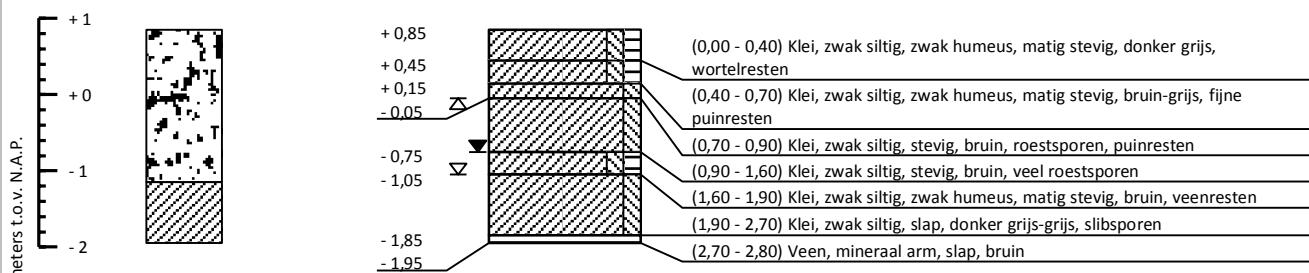


Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS





Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.
 GWS d.d. (14-6-2019): N.A.P. - 0,75 m
 G.H.G.: N.A.P. - 0,05 m
 G.L.G.: N.A.P. - 1,05 m

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

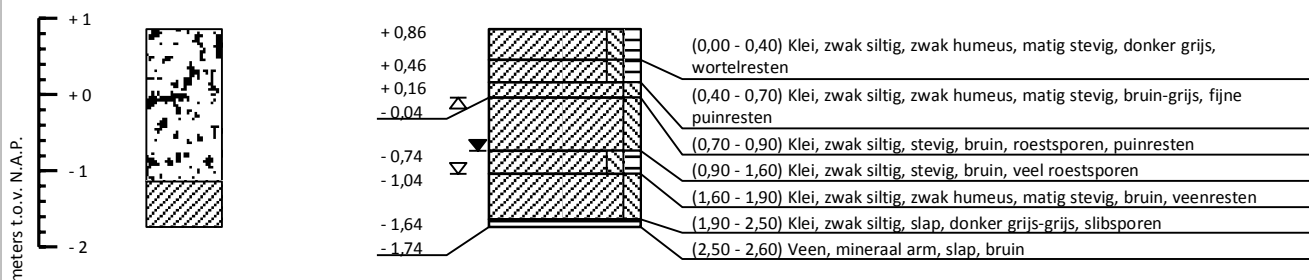
Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Ontwikkelingsfase ontwikkeling grondwaterbestendige waterspanningsmeters	RD coördinatensysteem	Vianen	
Fugro NL Land BV	X = 132 296	Edelmanboring	
 Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 441 071	Boormeester: Harry Hovenkamp	
	Uitgevoerd: 14-6-2019	Opdrachtnr.: 67440	
	Blad 1 van 1	Boornummer: WSM A-C	

VN 67440-2-8001.008 & 67440_0101_CPH1.00



Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.
 GWS d.d. (14-6-2019): N.A.P. - 0,74 m
 G.H.G.: N.A.P. - 0,04 m
 G.L.G.: N.A.P. - 1,04 m

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

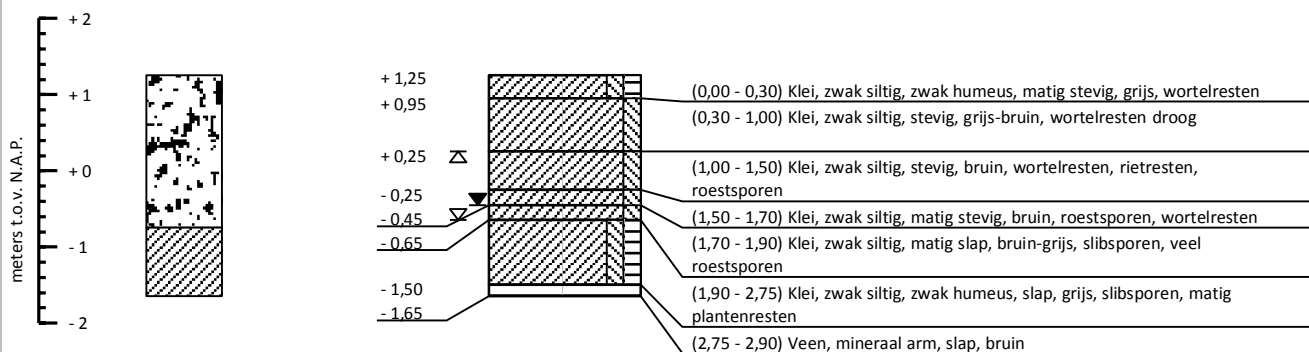
Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Ontwikkelingsfase ontwikkeling grondwaterbestendige waterspanningsmeters	RD coördinatensysteem	Vianen	
Fugro NL Land BV	X = 132 296	Edelmanboring	
	Y = 441 072	Boormeester: Harry Hovenkamp	
	Uitgevoerd: 14-6-2019	Opdrachtnr.: 67440	
	Blad 1 van 1	Boornummer: WSM B-C	

VN 67440-2-R66427-100 & 67440_0102_CPH1.00


Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.
 GWS d.d. (14-6-2019): N.A.P. - 0,45 m
 G.H.G.: N.A.P. + 0,25 m
 G.L.G.: N.A.P. - 0,65 m

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

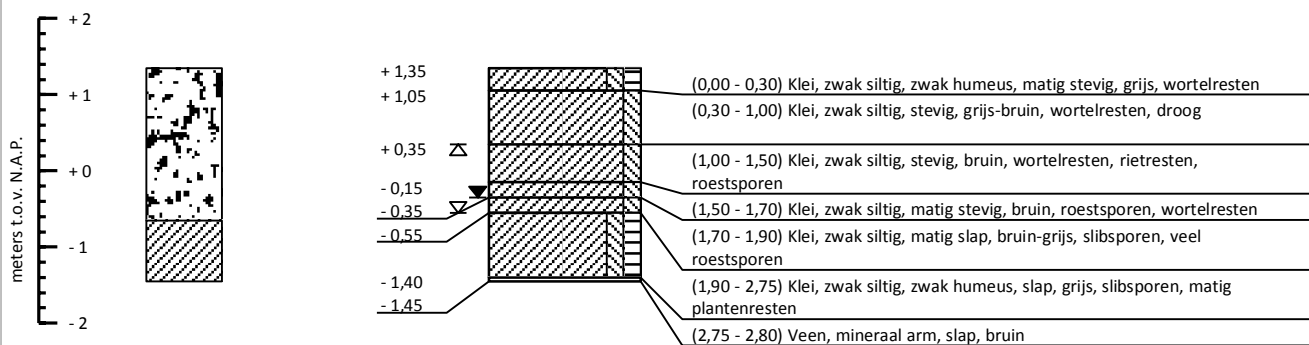
Ontwikkelingsfase ontwikkeling grondwaterbestendige waterspanningsmeters	RD coördinatensysteem	Vianen
Fugro NL Land BV	X = 132 295	Edelmanboring
 Wiertsema & Partners <small>RAADGEVEND INGENIEURS</small>	Y = 441 071	Boormeester: Harry Hovenkamp
	Uitgevoerd: 14-6-2019	Opdrachtnr.: 67440
	Blad 1 van 1	Boornummer: WSM C-C



W: 67440-2-8003.000 & 67440_0103_C001.00



Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.
 GWS d.d. (14-6-2019): N.A.P. - 0,35 m
 G.H.G.: N.A.P. + 0,35 m
 G.L.G.: N.A.P. - 0,55 m

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Protocol plaatsen waterspanningsmeters	RD coördinatensysteem	Nederland
Fugro NL Land BV	X = 132 295	Edelmanboring
	Y = 441 072	Boormeester: Harry Hovenkamp
	Uitgevoerd: 14-6-2019	Opdrachtnr.: 67440
	Blad 1 van 1	Boornummer: WSM D-C
		

W: 67440-2-8004.100 & 67440_0104_CPH1.100

Bijlage 3

FAT-verslag

Datum: 8-06-2019

Locatie: Feithspark 6

9356 BZ Tolbert

Gecontroleerd door: Teunis van der Sluijs

Functie: Projectbegeleider

Waterspanningsmeters (4 stuks)

4 stuks (2-bar) van Geopoint systems BV.

Kalibratiesensoren: Ja

Output na ontlichten tussen 0 -50 Mbar: Ja

Dataloggers GPT (4 stuks)

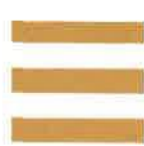
Nieuw batterij geplaatst: Ja

Nieuw geheugenkaartje: Ja

Verbinding gemaakt met FTP-server: Ja

Komt de data door op de server: Ja

Bijlage 4



Wiertsema

Barometerstand 1000mBar				
Serienummer	Nulpunt mBar	Controle datum	Kabellengte m	Druksensor Bar
7430	-4	5-6-2019	15m	2-Bar Abs. (0-10V)
7431	-5	5-6-2019	15m	2-Bar Abs. (0-10V)
7432	-4	5-6-2019	15m	2-Bar Abs. (0-10V)
7433	-4	5-6-2019	15m	2-Bar Abs. (0-10V)
7434	-3	5-6-2019	15m	2-Bar Abs. (0-10V)

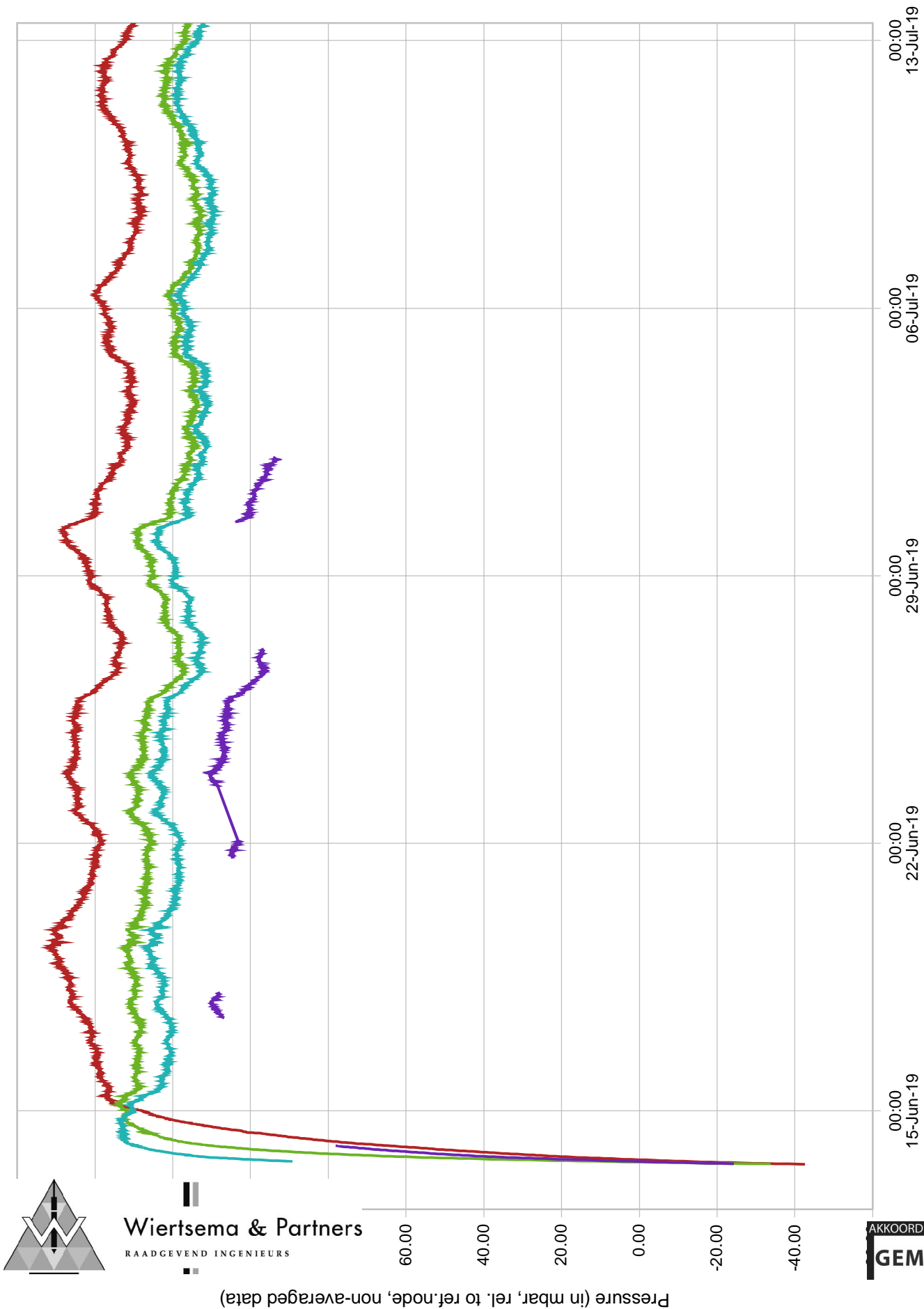
Handtekening

Bijlage 5

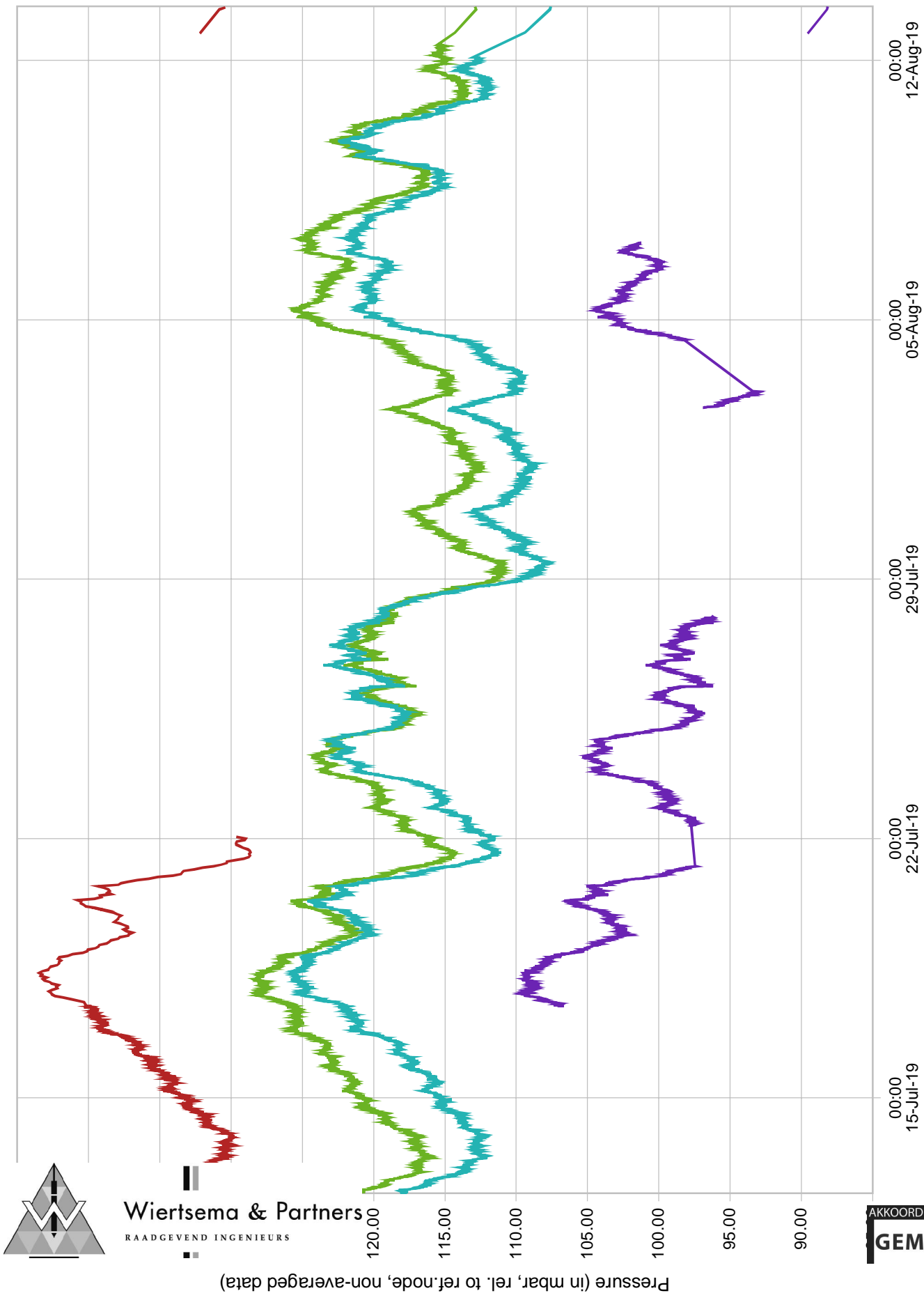



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

Waterdruk



Waterdruk

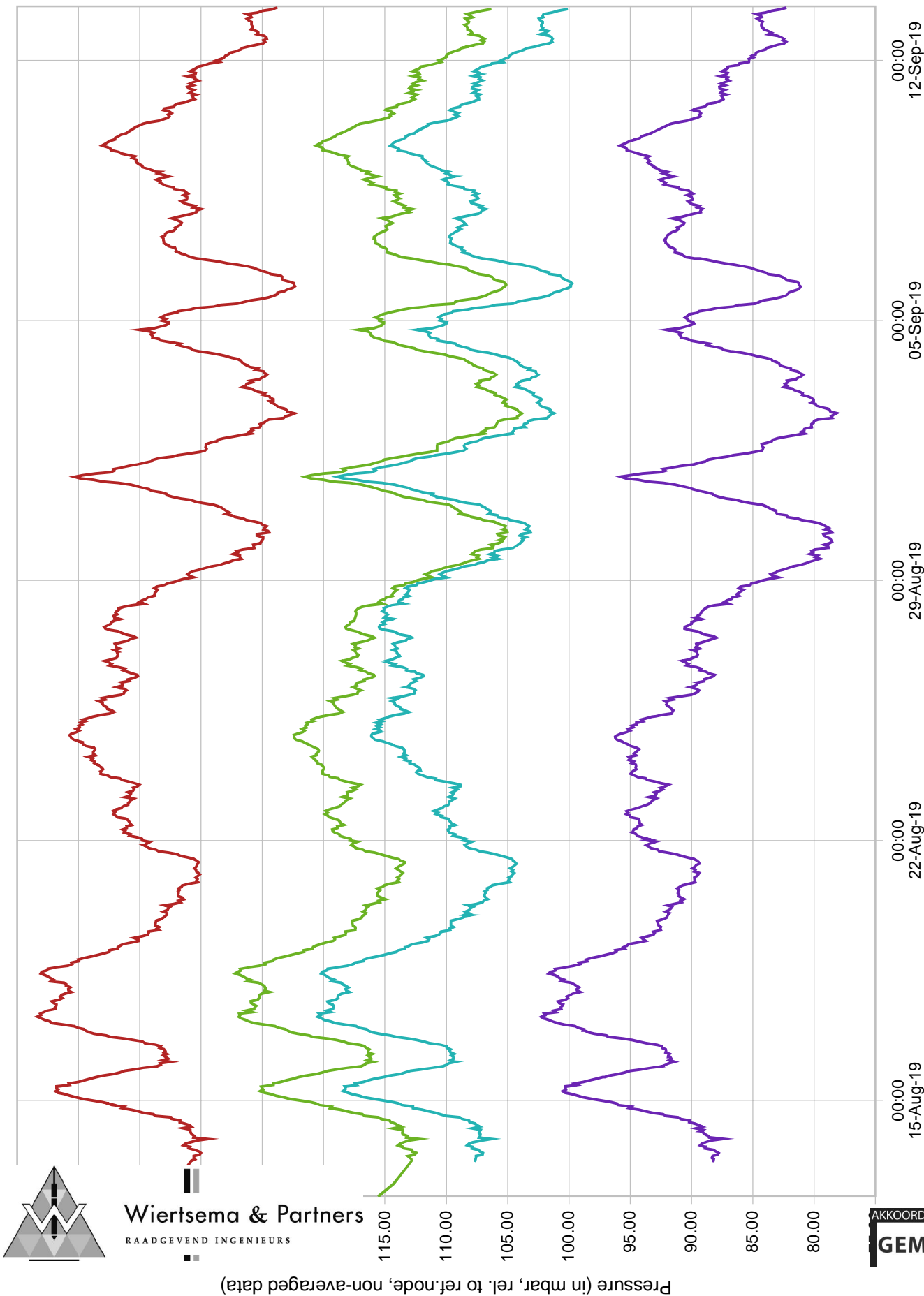


Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS



Waterdruk

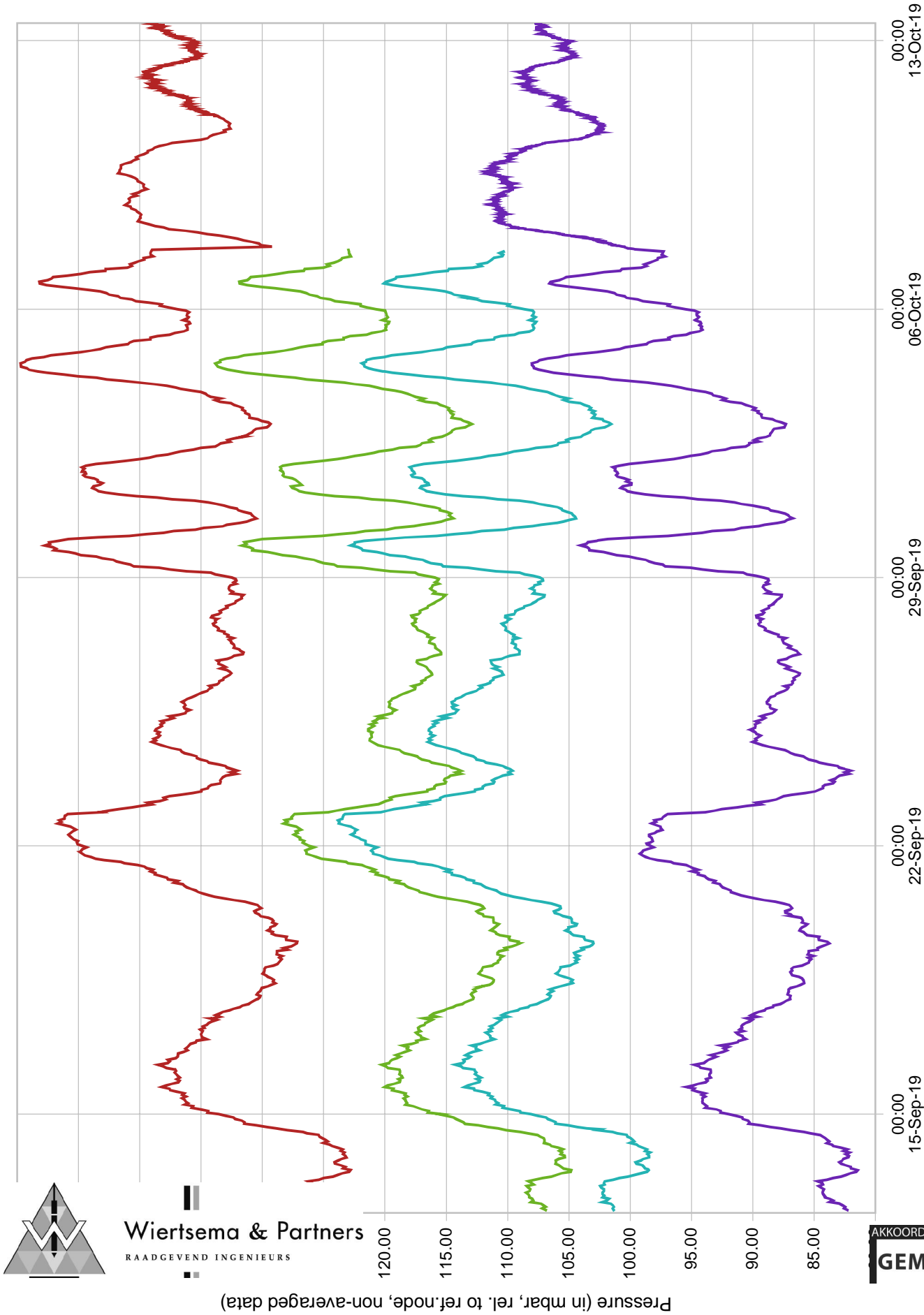
- WSMB001
- WSMB002
- WSMB003
- WSMB004



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS



Waterdruk



Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS



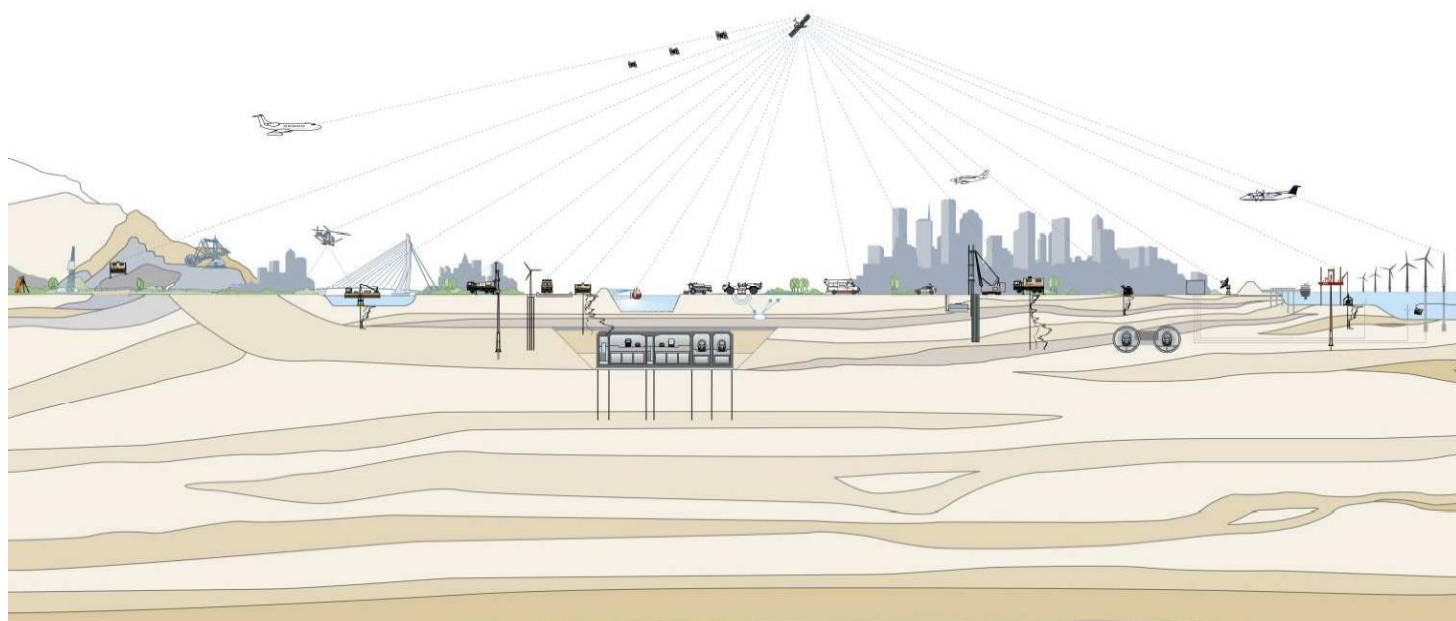
E. Kwartaalrapportage Q1 eerste veldtest – Fugro

1^e Kwartaalrapportage
POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3 - eerste veldtest

Document Nr.: 1417-0042-141.R02

Versie: 1.0

Datum: 17 april 2020



1^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3 - eerste veldtest



Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
Beleidsafdeling Water en Dijken
Postbus 599
4000 AN TIEL

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 31 70700

Projectleider A.D. Pool
Consultant Waterbouw

C. Voorbij-De Groot
Senior Projectleider Geomonitoring

Versiebeheer

1.0	Initiële versie	SMP FNH	ADP	ADP	17-4-2020
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum



INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	4
1.1	Doelstelling	4
1.2	Scope	5
2.	PROJECTOMSCHRIJVING	6
3.	MUTATIE TESTVELD	8
3.1	WSM_A-A-2	8
3.2	Temperatuursensor	8
3.3	Sensor openwatermeetpunt kanaal	8
4.	SENSOROVERZICHT	9
5.	MEETRESULTATEN EN ANALYSE	10
5.1	Meetresultaten	10
5.2	Analyses per cluster	12
5.2.1	Cluster A	12
5.2.2	WSM cluster B	17
5.2.3	WSM cluster C	17
5.2.4	WSM cluster D	18
5.2.5	Temperatuur	22
5.3	Neerslag	22



BIJLAGEN

A. GEGEVENS: WSM A-A-2, TEMPERATUURSENSOR EN OPENWATERPUNT

- A.1 Kalibratieformulieren
- A.2 Plaatsingsformulieren

B. MEETRESULTATEN

- B.1 Cluster A
 - B.1.1 Waterspanning vs. Neerslag
 - B.1.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
 - B.1.3 Waterspanning vs. Temperatuur
 - B.1.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
- B.2 Cluster B
 - B.2.1 Waterspanning vs. Neerslag
 - B.2.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
 - B.2.3 Waterspanning vs. Temperatuur
 - B.2.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
- B.3 Cluster C
 - B.3.1 Waterspanning vs. Neerslag
 - B.3.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
 - B.3.3 Waterspanning vs. Temperatuur
 - B.3.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
- B.4 Cluster D
 - B.4.1 Waterspanning vs. Neerslag
 - B.4.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
 - B.4.3 Waterspanning vs. Temperatuur
 - B.4.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil



1. INLEIDING

Waterspanningsmeters (hierna WSM's) worden toegepast om waterdrukken in de waterverzadigde bodem te meten. Waterspanningsmeters kunnen dat veel nauwkeuriger en vooral veel sneller dan peilbuizen, en al helemaal in slecht doorlatend cohesief en plastisch materiaal zoals klei en veen. In de risicobeheersing van grondwerk is waterspanning de enige indicator die het mogelijk maakt om in te grijpen voordat grondvervormingen en schade optreden (diverse publicaties Timo Sweickendiek). Ze worden daarom op grote schaal toegepast in dijkenbouw en grondophogingen, ondanks dat het interpreteren van waterspanningsmeterdata niet altijd zo eenvoudig is als peilbuisdata. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd tot soms wel een kwart van de geïnstalleerde instrumenten niet alleen de waterspanning meet maar ook allerlei andere fenomenen. Een belangrijke oorzaak van verstoringen van waterspanningsmeetdata is gasvorming door bacteriële afbraak van organisch materiaal.

Om antwoord te geven op de belangrijkste vragen en het bieden van oplossingen is vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit onderzoek is gegund aan het consortium tussen Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **WSM+NL**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het beoogde resultaat van de ontwikkelingsfase is het bouwen van een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters.

In de Onderzoeksfase zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht:

- I. Laboratoriumonderzoek door Deltares waarbij het inzicht in de drijvende processen achter de gasvorming is verbeterd;
- II. Onderzoek door Fugro naar de werking van een gasfilter om gas uit een waterspanningsmeter te kunnen afvoeren door middel van een veldtest.

Het onderzoek van Fugro heeft geleid tot een aangepast gasfiltermateriaal dat naar verwachting het maatgevende gasdebiet kan afvoeren zonder actieve gasdrukverlaging in het filter. De rapportages over deze eerdere projectfasen bevatten veel aanvullende informatie.

1.1 Doelstelling

In de veldtest is een groot aantal instrumenten geplaatst op een locatie waarvan bekend is dat gasbelvorming daar verstoringen veroorzaakt. De resultaten van die veldtestperiode worden in deze rapportages behandeld. Het doel van de veldtest is het vergelijken van prestaties van verschillende waterspanningsmeters in een duurttest. Hiervoor worden de Fugro FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter van Fugro toegepast, uitgevoerd met en zonder gasfilter. Daarnaast wordt het meest gebruikte instrument ingezet dat wordt geleverd door Geopoint. Deze instrumenten en

1^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3 - eerste veldtest



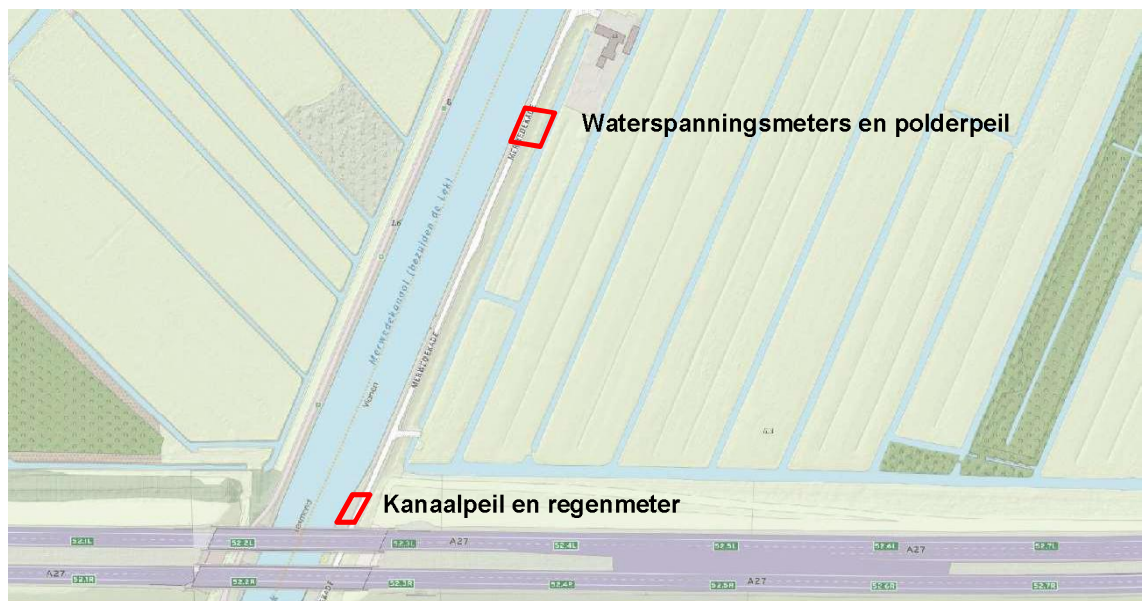
dataloggers worden geplaatst en beheerd door Wiertsema & Partners. Andere waterspanningsmeter leveranciers passen vergelijkbare materialen en voorgevingen toe. Deze zijn daarom niet opgenomen in deze veldtest.

1.2 Scope

Dit document betreft de 1^e kwartaalrapportage van de eerste veldtest. Hierin worden de meetresultaten van de eerste meetperiode van 13 weken van de sensoren van Fugro en Wiertsema & Partners beschreven. De meetperiode voor het 1^e kwartaal loopt van 17-06-2019 tot 17-09-2019.

2. PROJECTOMSCHRIJVING

In de nabije omgeving van Merwedekade 18 te Vianen vinden veldtesten plaats ten behoeve van de ontwikkeling van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeter. Naast waterspanningsmeters is op locatie ondersteunende meetapparatuur geplaatst zoals 2 openwaterpunten en 1 regenmeter om de invloeden op gasvorming in kaart te brengen. Eén openwatermeetpunt is in het kanaal geplaatst en één openwatermeetpunt is geplaatst in de nabijgelegen sloot. Tot slot is er een regenmeter geplaatst nabij de projectlocatie. In onderstaande figuur is de situering van de projectlocatie weergegeven.



Figuur 2-1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo).



Figuur 2-2: Overzicht meetopstelling met beschermkokers en afrastering.



Figuur 2-3: Testveld waterspanningsmeters.



Figuur 2-4: Openwatermeetpunt kanaal en regenmeter



3. MUTATIE TESTVELD

3.1 WSM_A-A-2

Zoals in de rapportage van 1417-0042-141.R01 in paragraaf 5.2 wordt vermeld, is er op 8 augustus bij WSM_A-A een zelfontgassende waterspanningsmeter bijgeplaatst, WSM_A-A-2. In bijlage A zijn de kalibratieformulieren en plaatsingsformulieren opgenomen.

3.2 Temperatuursensor

Op 12 september 2019 is een temperatuursensor die tevens een verzendmogelijkheid heeft geplaatst. In bijlage A zijn de kalibratieformulieren en plaatsingsformulieren opgenomen.

3.3 Sensor openwatermeetpunt kanaal

Op 12 september 2019 is de stand-alone drukopnemer in het kanaal vervangen door een drukopnemer die tevens een verzendmogelijkheid heeft. In bijlage A zijn de kalibratieformulieren en plaatsingsformulieren opgenomen.

1^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3 - eerste veldtest



4. SENSOROVERZICHT

In Tabel 4-1 staan gegevens vermeld over de geplaatste sensoren in de twee testvelden.

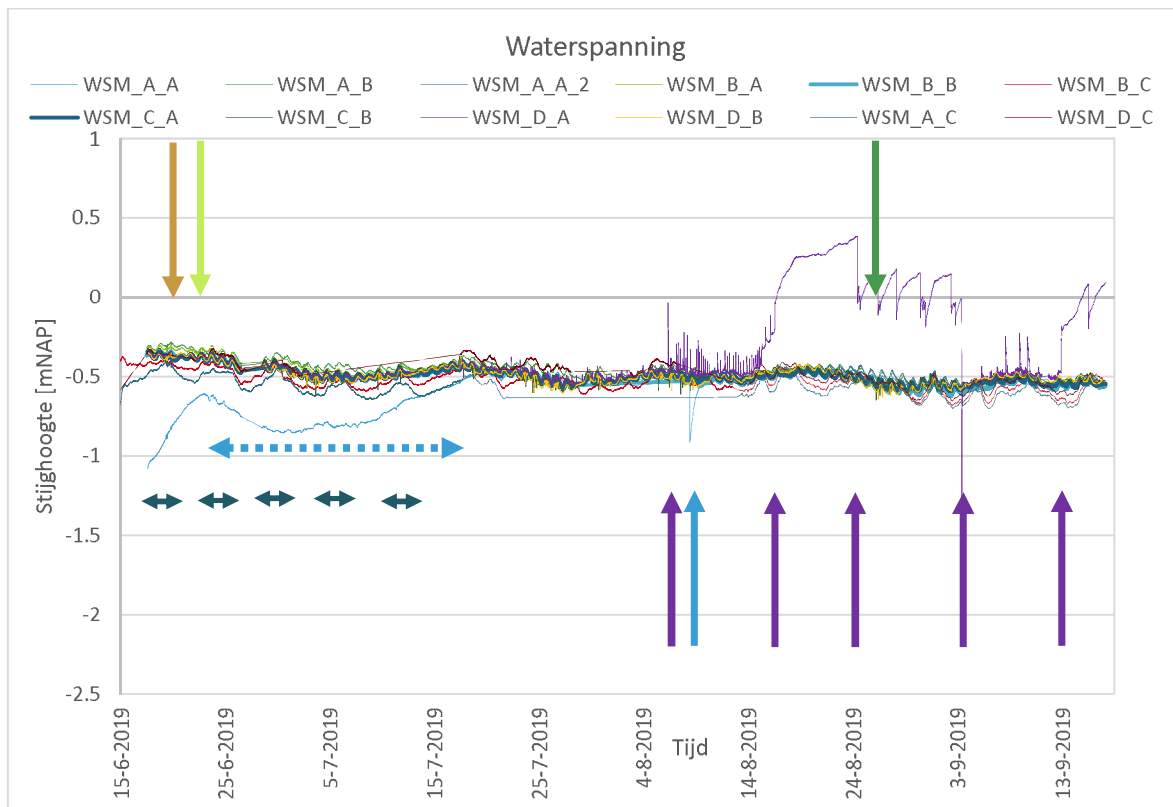
Tabel 4-1: Overzicht sensoren

Locatie	Sensoraam	Sensor type	Coördinaten (RD)		mv	Sensorniveau	Start
			X [m]	Y [m]	[m NAP]	[m NAP]	[d-m-j]
Cluster-A	WSM_A-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.79	441071.04	1.01	-1.87	17-6-2019
	WSM_A-B	Fugro WSM standaard	132295.81	441071.34	1.09	-1.84	17-6-2019
	WSM_A-A-2	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.67	441070.97	1.02	-2.00	17-8-2019
Cluster-B	WSM_B-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132296.14	441071.89	1.02	-1.76	17-6-2019
	WSM_B-B	Fugro WSM standaard	132296.18	441072.13	1.10	-1.69	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132294.96	441071.34	1.38	-1.63	17-6-2019
	WSM_C-B	Fugro WSM standaard	132294.98	441071.67	1.40	-1.62	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.25	441072.14	1.42	-1.64	17-6-2019
	WSM_D-B	Fugro WSM standaard	132295.33	441072.5	1.42	-1.58	17-6-2019
Cluster-A	WSM_A-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.967	441071.113	0.85	-1.95	17-6-2019
Cluster-B	WSM_B-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132296.349	441071.881	0.86	-1.74	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.184	441071.445	1.25	-1.65	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.444	441072.163	1.35	-1.45	17-6-2019
Sloot	PB Slooppeil	OWP	132303.52	441067.35	-0.25 tot 0.75	-0.18	17-6-2019
Kanaal	PB Kanaal	OWP	132209.55	440896.31	0.60-1.60	-1.22	17-6-2019
open water meetpunt	LK070 MWDK	Regenmeter	132213	440896	n.v.t.	2.24	17-6-2019
Cluster B	Temperatuursensor maaveld	Temperatuursensor	132296.38	441072.33	1.10	1.10	12-9-2019

5. MEETRESULTATEN EN ANALYSE

5.1 Meetresultaten

In figuur 5-1 zijn de meetresultaten van alle waterspanningsmeters (de zelf ontgassende WSM, de standaard Fugro WSM en de WSM van Wiertsema) samen weergegeven. De meetopstelling is zo opgesteld dat de geregistreerde druk bij correcte werking maximaal enkele tienden kPa, of enkele centimeters in waterstijghoogte van elkaar zouden afwijken. Alle afwijkingen van “de groep” worden besproken. In bijlage B worden de waterspanningen weergegeven per cluster. Binnen elke cluster is de waterspanning uitgezet tegenover de neerslag, luchtdruk, temperatuur en het kanaal- slootpeil.



Figuur 5-1: Stijghoogte van de waterspanningssensoren in mNAP gedurende de meetperiode 17 juni tot 20 september 2019.

Incomplete data

Het meetnet levert van vrijwel alle WSM's permanent data. De uitzonderingen daarop kunnen worden toegeschreven aan de telemetrische oplossingen die worden geleverd door de uitvoerende partijen, Fugro en Wiertsema. Datalevering is stilgevallen in de volgende reeksen:

- WSM_A-A 2 (Fugro)
- WSM A-B (Fugro, een etmaal uitval in wk 3 juni)
- WSM A-C (Wiertsema enkele weken uitval in juli/augustus)
- WSM B-A en BB (Fugro , twee etmalen eind juni, twee weken eind juli)
- WSM C-A en CB (Fugro, twee dagen eind juni)
- WSM C-C (Wiertsema, twee halve dagen halverwege augustus)
- WSM D-C (Wiertsema, eind juni-derde week juli, en de tweede week van augustus)



De meetopstelling levert desondanks een zeer waardevol inzicht in de verschillen tussen instrumenten door het grote aantal vrijwel identieke instrumenten op zeer korte onderlinge afstand. De verschillen tussen waarnemingen kunnen daarom veel makkelijker worden toegeschreven aan de verschillende instrumenten, loggers en materialen.

Variaties en verschillen tussen reeksen

In overzichtsfiguur 5-1 zijn duidelijk vele verschillende uitingsvormen van veranderlijkheid in de gerapporteerde resultaten te zien. De reeksen kunnen aan de hand van figuur 5-1 niet in voldoende detail worden besproken. Daarom zijn in de bijlagen reeksen per cluster weergegeven. Voor iedere cluster worden dezelfde reeksen 4 keer weergegeven, waarbij de waterstand steeds is uitgezet tegenover een van de volgende verklarende reeksen:

1. Neerslag,
2. Luchtdruk,
3. Temperatuur
4. Sloot- en Kanaalpeil.

De vier figuren zijn aangemaakt voor alle 4 de clusters, en zijn weergegeven in bijlagen B (cluster A), bijlagen C (cluster B), D (cluster C) en E (cluster D).

In figuur 5-1 zijn de meest opvallende perioden en momenten gemarkeerd met pijlen in de kleur van meetreeksen waarnaar wordt verwezen.

De paarse pijlen wijzen op opvallende ruisvormige en later zaagtandvormige veranderingen in meetreeks WSM D-A, een Fugro WSM met gasfilter. Achtereenvolgens zijn in dit tijdvak vijf veranderingen gemarkeerd.

De blauwe verticale pijl markeert eveneens een kortdurende drukverlaging in reeks A-A.

De **horizontale gestippelde blauwe pijl** markeert een periode waarin de geregistreerde druk een golfbeweging laat zien die in een andere situatie niet veel aandacht zou vragen, maar in dit geval wel aangezien deze sterk afwijkt van hetgeen in alle andere instrumenten wordt geregistreerd.

De meerdaagse schommelingen zoals herkenbaar in bijvoorbeeld WSM A-C (5 horizontale pijlen in **blauwgrijs**) is kennelijk heel specifiek voor een speciaal groepje instrumenten.

Alle reeksen vertonen kleine variaties met een periodelengte van een etmaal. Deze zijn in figuur 5-1 gemarkeerd met een **gele** (D-B) **lichtgroene** (B-A) of **donkergroene** (A-B) pijl.

Verreweg de meest opvallende afwijking (paarse reeks in figuur 5-1) doet zich voor in D-A, welke in detail wordt besproken in cluster D. De andere gemarkeerde afwijkingen worden allemaal besproken in de volgende paragraaf over cluster A. Omdat deze categorieën variaties ook in de andere clusters voorkomen worden in cluster A voorlopige algemene conclusies getrokken.

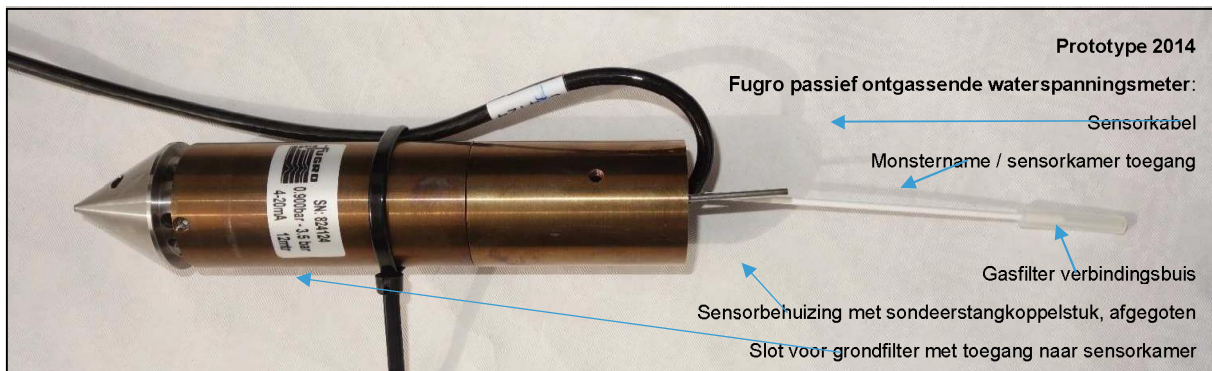
5.2 Analyses per cluster

5.2.1 Cluster A

WSM A-A

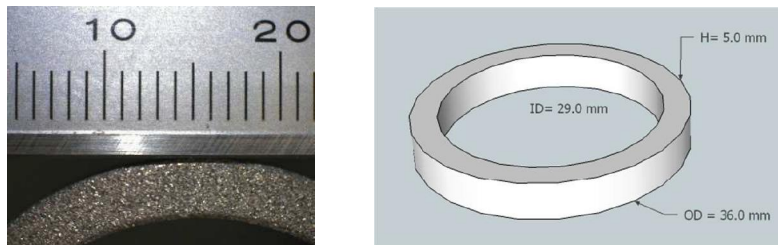
De drie verschillende instrumenten in cluster A vertonen gedurende de eerste maand opvallend verschillende meetwaarden. Zoals in figuur 5-1 is getoond valt vooral de negatieve afwijking van reeks van WSM A-A op in de eerste weken, en daarna vanaf 8 augustus. Het verschil tussen B (later A en B.) en reeks C wordt daarna besproken.

WSM_A-A(1) heeft na plaatsing een maand nodig gehad voordat die dezelfde druk liet zien als WSM_A-B (zie periodemarkering met blauw gestippelde pijl). Na deze periode is de meetreeks vrijwel perfect in lijn met de anderen en er lijkt daarom met de inwinningsketen verder niets aan de hand te zijn. Alle andere WSM's vertonen vrijwel direct na plaatsing een vergelijkbare druk. De geregistreerde druk was structureel lager tot halverwege juli. Deze afwijking is bij Fugro besproken en alle ruwe data zijn nagelopen om fouten in de dataverwerking uit te kunnen sluiten. Het betreft echter een instrument met een gasfilter waardoor een insitu behandelingsmogelijkheid bestaat (zie kadertekst voor het algemene verhaal). Op 8 augustus is daarom bij WSM_A-A een vacuümbehandeling uitgevoerd. De week voorafgaand aan de vacuümbehandeling vertoonde de WSM geen afwijkende druk meer.



Figuur 5-2: Fugro WSM met monstername en gasfilteraansluitingen.

Het “herstel tot normale waarden” na de vacuümbehandeling, heeft enkele dagen tijd gekost en vanaf 16 augustus lijkt de reeks weer vrij nauwkeurig het beeld van WSM_A-B te volgen. Desondanks is besloten er een extra sensor bij te plaatsen. De reeks van de bijgeplaatste sensor A-A-2 (geel) ligt vrijwel direct op hetzelfde niveau als de andere sensoren.



Figuur 5-3: Filtering voor scheiding van gronddruk en vloeistofdruk, detail (gesinterd staal) en maatvoering (rechts).



Waarnemingen en verklaringen A-A.

De vacuümbehandeling van WSM A-A heeft als effect gehad dat de geregistreeerde druk direct daalde naar aanvankelijk ruim 30 cm wk lager dan de druk die door andere Fugro WSM's werd geregistreeerd. In de reeks is te zien dat de druk in de WSM daarna gedurende enkele dagen gestaag herstelde tot "normale waarden". Wat opvalt aan de vacuümtest is dat de druk in de waterkamer van de WSM enkele dagen nodig had om te herstellen. Om het trage herstel te kunnen toeschrijven aan een proces is onvoldoende informatie beschikbaar over wat zich precies in de WSM en in de spuit en PVC leiding heeft afgespeeld. Er zijn nu drie hypothesen voor onderdruk:

1. Vacuümspuit houdt druk in WSM laag tot een grote gasbel verwijderd is.
2. Vacuümspuit houdt druk in WSM laag in de gasbel maar slaagt er niet in om de omgeving volledig bellenvrij te krijgen.
3. De vacuümspuit heeft water door een lekkage omhoog gezogen door een lek in het gasfilterelement, waarbij de onderdruk in de filterkamer pas na enkele dagen is vereffend door toestroming van water en/of gas (waterdamp etc).

Hypothese 1 en 2; Grote gasbel, al dan niet volledig verwijderd.

Het kan niet worden uitgesloten dat er zich na de behandeling alsnog gas in de WSM aanwezig is geweest. Hypothese 1 of 2 kunnen beide kloppen. Het wegzuigen van een gasbel of water uit de WSM heeft dagenlang geleid tot een lage druk in de vloeistofkamer. Dat houdt in dat de toestroming van water of gas ter vereffening van de druk kennelijk zeer beperkt is. De waterspanningsmeter bevindt zich in dat geval dus in een materiaal met een uiterst lage water- of gas-doorlatendheid. Het gaat immers maar om een klein volume dat wordt afgevoerd, binnen de WSM bevindt zich maar 3cm³ (leiding + vloeistofkamer).

werking van gasfilter

Een gasfilter zoals toegepast in de Fugro WSM vormt een barrière tussen bodemwater (sensorkamer) en buitenlucht. Luchtdruk verschillen leiden niet tot een verplaatsing van gas of vloeistof en dus ook niet tot drukveranderingen in de watergevulde sensorkamer. Als het gasfilter in contact staat met een bel wordt die weggevoerd al naar gelang de grootte van het gasdrukverschil. De gasfiltermethode waarvoor dit proefveld is opgezet is gebaseerd op de veronderstelling dat het dampdrukverschil tussen grondwater en bodemlucht altijd groot genoeg is om de concentratie van gassen zo laag te houden dat gasbelvorming uitgesloten is. De filtermaterialen zijn op dit doel geselecteerd en de maatvoering is zo ontworpen (gemeten en berekend) dat methaanproductie door methanogene bacteriën onder alle omstandigheden naar de atmosfeer kan ontsnappen. Daarbij is uitgegaan van een schatting van geproduceerd gas op een andere locatie in een ander project waar een waterspanningsmeter zeer duidelijke indicaties gaf van de geproduceerde hoeveelheid gas.

Vacuümbehandeling uitvoering

De gasfilters hebben een uitgang richting de atmosfeer in de vorm van een pvc slang. Door een injectiespuit aan de slang te bevestigen en de spuit uit te trekken daalt de druk tot ongeveer 50 mBar absolute druk. Dat kan nog worden versterkt door de slang te knikken (afsluiten), de spuit vervolgens te legen en weer opnieuw vacuüm te trekken. De druk in het filter komt na kleine lekkages en waterdamp na verloop van tijd weer in evenwicht met de atmosfeer maar dat kan enkele dagen duren. Door deze urenlang durende sterke verlaging van de luchtdruk in de slang neemt de drukgradient over het filter sterk toe en kan gas veel sneller en makkelijker ontsnappen. Indien een gasbel contact maakt met het gasfilter kan een bel in een minuut verdwenen zijn. Het wegtrekken van een bel leidt tot een waterverplaatsing en dat moet worden aangevoerd. De drukverlaging die nodig is om water aan te trekken hangt af van de weerstand die wordt geboden door de omliggende bodem.

Effect op gemeten druk

Een vacuümbehandeling mag geen effect hebben op de meetreeks. Als dat wel zo is, is er sprake van een onttrekking of toevoeging van gas of vloeistof aan de normaal gesproken met vloeistof gevulde sensorkamer. Als daadwerkelijk water wordt aangetrokken door of langs het filter is de druk in de waterkamer niet meer toe te schrijven aan omgevingsomstandigheden. De WSM gedraagt zich dan als een peilbuis met een onbekende hysteresis (traagheid in de reactie op veranderingen van waterspanning in de bodem) en is daardoor volstrekt ongeschikt voor risicobeheersing van waterspanning-gerelateerde geotechnische processen.

Hypothese 3; Lek gasfilter

Indien water juist door het filter omhoog gezogen is duidt dat op een lek filter of een lek in de lijmverbinding. In feite is de WSM dan een peilbuis met capillaire werking (pvc binnenmaat 2mm). De WSM's zijn na productie individueel getest op dichtheid met een bellentest. Dit sluit niet uit dat na plaatsing de WSM alsnog is gaan lekken. In dat geval zou de aanhoudende onderdruk eveneens het gevolg moeten zijn van een zeer lage waterdoorlatendheid rondom de WSM. In alle gevallen lijkt het er dus op dat het instrument zodanig ingesloten zit in het omliggende materiaal dat het de toestroming van water voor drukvereffening niet toelaat. Dissipatietests met waterdrukverhoging (AMPT) en het dissiperen van wateroverspanning voor karakterisatie van slecht doorlatende bodemlagen hebben over het algemeen een drukverhoging tot gevolg die uiterlijk na enkele uren is vereffend. De in deze test aangetoonde aanhoudende onderdruk ligt niet in lijn met die situaties.

Onderdruk

De onderdruk na plaatsing en de onderdruk na de vacuümbehandeling in hetzelfde instrument suggereren dat hetzelfde speelt in beide perioden. Navraag bij de plaatsingsploeg heeft uitgesloten dat de WSM's na plaatsing omhoog getrokken zijn. Dat zou namelijk een verkneding van de WSM omgeving hebben kunnen veroorzaken waarna het uittrekken zou leiden tot een onderdruk. Onderdruk is ook gerapporteerd tijdens en direct na plaatsing van waterspanningsmeters in proefopstellingen in het kader van AMPT/HPT onderzoek naar de invloed van anisotropie op de ruimte-tijd drukverdeling bij waterinjectie.

Hypothese: onderdruk door kleef-terugtrekking leidt tot extra verdichting rondom WSM grondfilter

Een belangrijk verschil tussen overdruk dissipatie en onderdruk is dat bij de laatste het wegzuigen van bodemwater leidt tot een blijvende samentrekking van de poriën, direct in de versmeerde film rondom een net ingebrachte WSM, met als gevolg een sterke verhoging van de weerstand tegen vloeistofstroming.

De oorzaak van een terugtrekkende actie van de WSM bij plaatsing is mogelijk het gevolg van negatieve kleef. De WSM's zijn echter voor een groot deel voorgeboord en alleen het diepe deel is de WSM ingedrukt. Daarbij is met een kleine diameter voorgegutsd tot enkele decimeters boven de beoogde plaatsingsdiepte. Het idee dat met een "klevende lengte" dan alsnog onderdruk kan worden opgewekt is moeilijk voor te stellen, maar niet uitgesloten. Vooral nog is dit de verklaring die het beste past bij de waarnemingen maar het ontbreekt aan bewijs en non-destructieve onderzoeksmethoden.



Figuur 5-4: WSM beschermkokers tijdens vacuümbehandeling, augustus 2019.



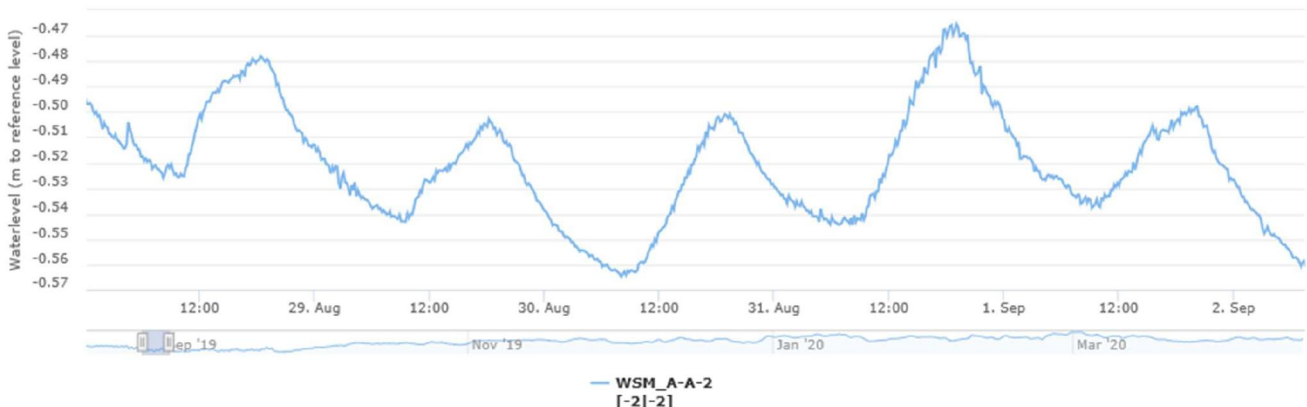
Figuur 5-5: Detail telemetrie, gas slang en vacuümpuit bij afsluiting deksel.

Verstorings met periodelengte van 1 etmaal

De variatie met een periodelengte van 1 etmaal komt consistent in alle reeksen voor en loopt qua timing een aantal uur achter op omgevingstemperatuur. Het is elke dag waarneembaar maar het duidelijkst tijdens de 2^{de} helft van augustus waarin de etmaalt temperatuur dagelijks het sterkst schommelt (zie weergave 3 in alle clusters). De verstoring door temperatuur is duidelijker in de sensoren A en B, de (Fugro WSM's) dan in de C sensoren (Geopoint/Wiertsema). De output van het Fugro meetsysteem beweegt zich met amplitude van 3cm rondom de etmaalgemiddelde waarde. Bij de output van het meetsysteem van Wiertsema is de etmaalvariatie kleiner en gaat deze op in andere variaties.

De temperatuur varieert alleen in de bovengrondse delen van de meetinstrumenten en kabels. Deze bevinden zich allemaal binnen lange rode beschermkokers (zie figuur 5-4 en 5-5). De kabelweerstand is temperatuurafhankelijk maar door gebruik te maken van 4-20mA sensoren is zowel kabellengte als kabelweerstand binnen zekere grenzen niet meer van invloed op de meetresultaten. De temperatuurgevoeligheid zou normaal gesproken noodgedwongen moeten worden toeschreven aan de meetapparatuur of batterijspanningsverschillen maar hier is nog een controle systeem voorhanden, de oppervlaktewaterpeil meetapparatuur maakt gebruik van vrijwel identieke sensoren, kabels en meetinstrumenten. In de meetreeksen van het sloot- en kanaalpeil is geen etmaalvariatie terug te vinden die proportioneel is met die in de WSM's. De oorzaak ligt daarom waarschijnlijk niet aan meetinstrumenten noch aan sensoren of bodemtemperatuur.

Één hypothese blijft over en die ligt in lijn met de verklaring die ontbeert voor de onderdruk die geregistreerd is in WSM A-A. Een eventuele trekkende kracht die wordt uitgeoefend door klei op de buis/stang kan zowel een langdurige zuigspanning aanhouden als temperatuurgevoelig zijn. Temperatuurverschillen kunnen de bovengrond laten dalen en stijgen zoals dat ook gebeurt met eb en vloed. Zo kunnen maaiveldhoogtevariëaties bestaan die via kleef ook een trekkracht kunnen uitoefenen op WSM's. In principe kan dat alleen leiden tot een trekkracht in de warme uren en een afname daarvan in de koude uren of met een geringe vertraging daarna. De temperatuurinvloed is Immers het hoogst in de ondiepste bodemlaag.



Figuur 5-6: Waterspanning uitgedrukt in stijghoogte [m tov NAP], (Gaia Insight grafiekgenerator) WSM A-A2 eind augustus 2019.

De timing van maxima ligt over de gehele reeks structureel in de middaguren tot vroege avond. De timing van de minima liggen over de gehele reeks structureel juist in de vroege ochtend, het tijdstip waarop de temperatuur het laagst ligt. De hypothese dat trekkracht wordt uitgeoefend op de stang bij

hoge bodemtemperatuur (bodemzwellung) verondersteld een drukdaling en omgekeerd een druktoename rond de vroege ochtenduren. De timing van de min en max falsificeert deze hypothese.

Vooralsnog is een temperatuureffect in de meetinstrumenten nog altijd de meest voor de hand liggende verklaring. Het verschil tussen WSM's van verschillende makelij en de oppervlaktewaterpeilsensoren is nog onverklaard.

Meerdaagse fluctuaties van Geopoint / Wiertsema WSM's.

De meetreeksen van Geopoint WSM's (Wiertsema) vertonen een beweging rondom de resultaten van de Fugro WSM's. In de tweede bijlage van iedere cluster, maar vooral duidelijk in die van cluster A, is te zien dat de meetreeksen van de WSM's bijna proportioneel tegengesteld zijn aan de luchtdrukvariatie. Deze schommeling lijkt op het oog volledig te ontbreken in de reeksen van de Fugro WSM's maar enige samenhang is misschien nog te vinden als een tijdreekanalyse zou worden toegepast. De luchtdrukcompensatie is tegengesteld dus lijkt het erop dat de sensorcalibratie factor iets te hoog is, waardoor mogelijk ook verklaard kan worden dat de geregistreerde druk systematisch lager ligt dan die van de Fugro Waterspanningsmeters.

Gasbeldruk verstoringen

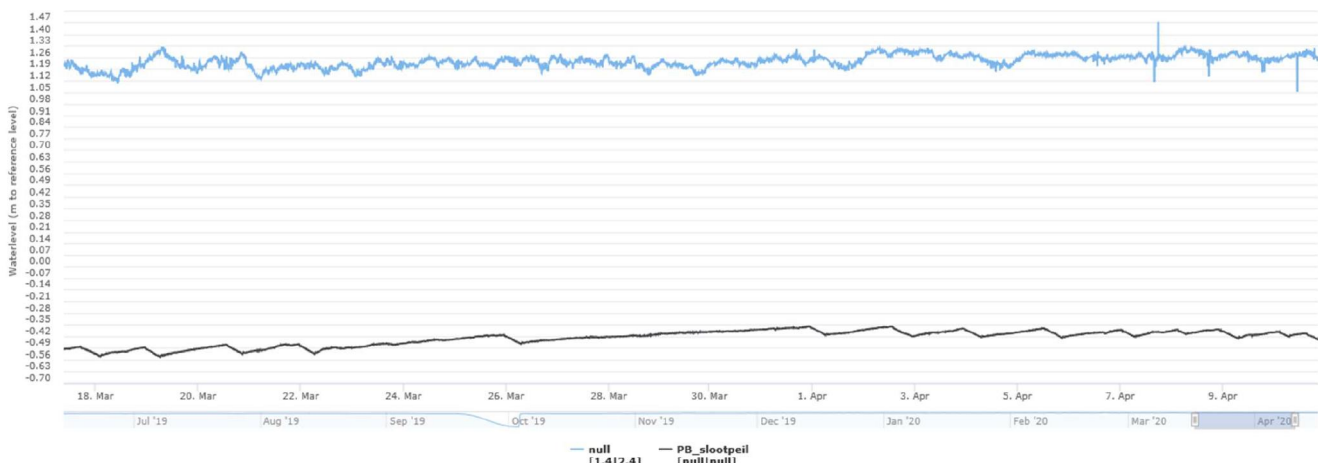
Geen van de sensoren in cluster A vertoont dit kwartaal invloed van gasbeldruk.

Overige verklarende factoren en hun invloed op waterspanning.

De bodemtemperatuur op sensordiepte loopt gestaag op van 10 naar 16°C, en dat ligt volledig in lijn met normale bodemtemperatuurdynamiek die op die diepte geen etmaaleffect meer heeft maar wel de jaarlijkse seizoenen volgt. Bijvoorbeeld in De Bilt waar het KNMI al decennialang bodemtemperatuur meet onder grasland verloopt de temperatuur op 1 meter diepte tussen 4 en 18°C.

Kanaalpeil en slootpeil.

De variatie van het waterpeil in het kanaal en die van de poldersloten is redelijk beperkt zoals duidelijk zichtbaar in het detailbeeld in figuur 5-7. In het polderwaterniveau (zwarte reeks) is een omhooggerichte zaagtand te zien die perfect laat zien hoe het poldergemaal werkt. Het polderniveau wordt eind maart opgezet waardoor enkele dagen geen uitmaling nodig was.



Figuur 5-7: Oppervlaktewaterpeilen eind maart 2019 [m tov NAP], (Gaia Insight grafiekgenerator).

Het kanaalniveau vertoont op alle frequenties meer variatie die naar verwachting kan worden toegeschreven aan regionale waterbeheersing, golven en stuwung door wind in het kanaal, ook mogelijk met signalen van activiteiten over langere afstanden. De door de WSM's gerapporteerde druk (in stijghoogte) ligt in lijn met die van deze oppervlaktewaterregimes.

Neerslag

Neerslag verklaart een deel van de meerdaagse variatie, maar doet zich gelden over een periode van enkele dagen tot tientallen dagen. De waterbalans = neerslag + evapotranspiratie (door gras en door de bomen (in de zomer) + grondwaterstroming naar poldersloten is verreweg de belangrijkste factor voor de gemeten variaties in de waterspanning. Mogelijk is bij intensieve neerslag soms sprake van oppervlakkige afstroming (flinke helling richting de sloot). Daarvan is naar verwachting maar heel beperkte invloed waarneembaar in de WSM's aangezien het overgrote deel van de neerslag richting de sloot stroomt.

5.2.2 WSM cluster B

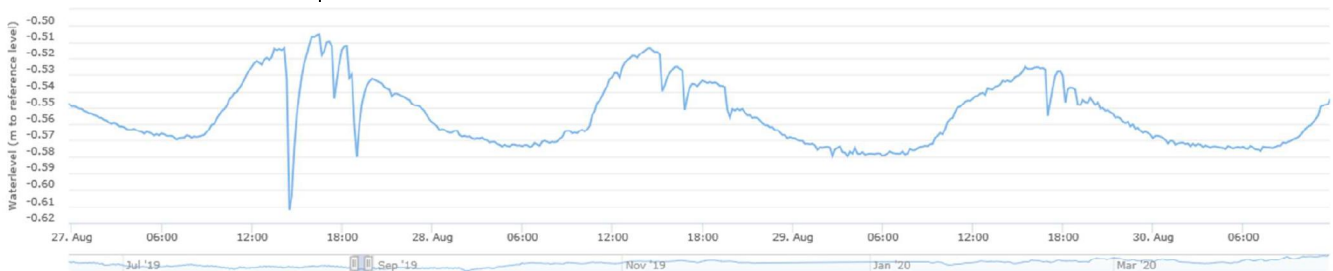
De waterspanningsmeetreeksen van drie sensoren B-A, B-B en B-C vertonen hetzelfde beeld als de overeenkomstige sensoren in cluster A, maar dan al vanaf het begin van de meetperiode. De Fugro-instrumenten vertonen een tweetal datagaten van een aantal dagen en een ruime week.

Geen van de sensoren vertoont tekenen van gasbeldruk.

5.2.3 WSM cluster C

Fugro WSM's vertonen twee gaten in de data van enkele dagen eind juni en geen data vanaf ongeveer 10 september. Sensor C-C beweegt net onder de Fugro WSM waarden, met een meerdaagse golfbeweging mee in tegengestelde richting van de luchtdrukveranderingen. Alle reeksen vertonen enige temperatuurgevoeligheid maar daarbij is het materiaal van Fugro duidelijk gevoeliger met een amplitude van bijna 1 kPa in augustus. Geen van de WSM-reeksen vertoont sporen van gasbeldruk.

WSM C-B (een Fugro WSM zonder gasfilter) vertoont met enige regelmaat neerwaartse pieken ter grootte van meer dan 1 kPa. In de figuur hieronder is in detail weergegeven hoe een dergelijke neerwaartse piek eruit ziet.



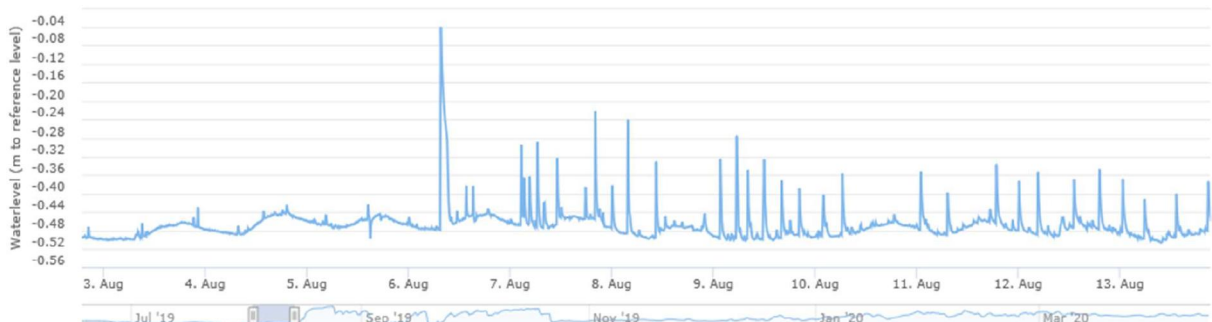
Figuur 5-8: WSM C-B neerwaartse pieken tijdens middaguren.

De neerwaartse pieken treden abrupt op in de namiddag. De druk loopt na het minimum weer rustig op waarna soms enkele uren duurt voor er weer een piek volgt. Dit fenomeen wordt in andere WSM's ook waargenomen. Het brandschone verloop van de metingen wijst erop dat hier sprake is van een natuurlijk proces en niet op verstoringen in meetapparatuur of telemetrie. De druk is daadwerkelijk gedurende korte tijd ineens 1 kPa lager.

5.2.4 WSM cluster D

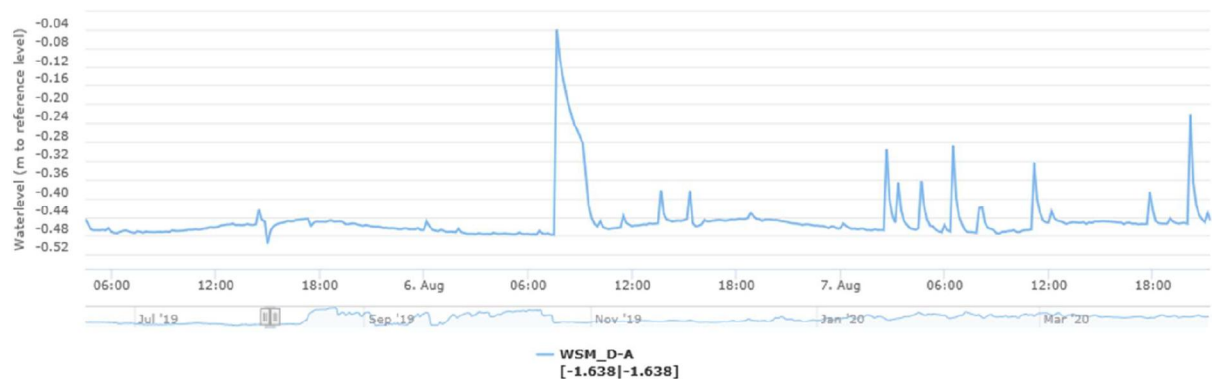
5.2.4.1 WSM_D-A

De sensoren D-A, D-B en D-C volgen aanvankelijk hetzelfde patroon als de WSM's in de andere clusters, echter vanaf half juli begint D-A een sterke nervositeit te vertonen terwijl dat in geen enkele andere sensor voorkomt.



Figuur 5-9: Waterspanning in WSM D-A uitgedrukt in stijghoogte [m tov NAP] in de eerste weken van augustus 2019 (Gaia Insight grafiekgenerator).

De omhooggerichte drukpieken beginnen met een amplitude van enkele centimeters waterdruk. De druk loopt plotseling op en bouwt zich gestaag af. De eerste grote piek is hieronder in detail weergegeven.



Figuur 5-10: Waterspanning in WSM D-A uitgedrukt in stijghoogte [m tov NAP] op 6 en 7 augustus 2019.

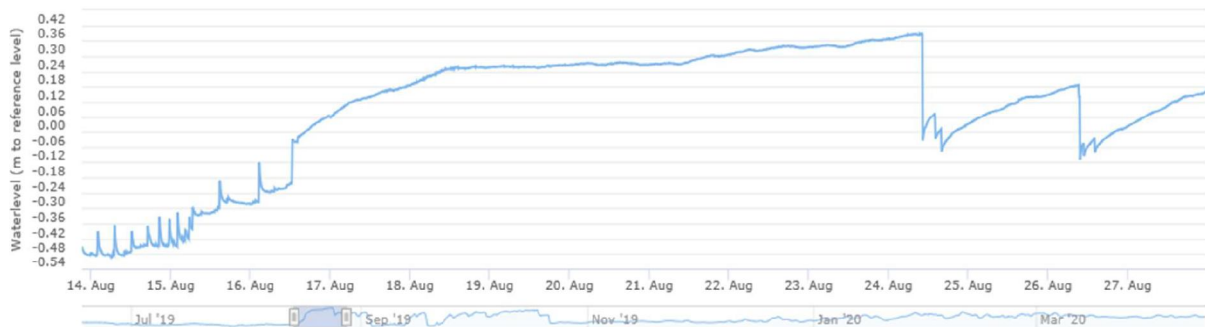
In de detailweergave is te zien dat binnen een meetinterval van 10 minuten de druk is opgelopen met 4 kPa (ongeveer 40 cm wk). In meer of minder mate herhaalt zich dit in de week hierna. De druk neemt abrupt toe waarna de drukdaling tussen 20 en 60 minuten terugkeert richting normaal, waardoor de reeks nog te interpreteren valt. Voor risicomangement doelen is de WSM reeks absoluut ongeschikt.

Pieken na 6 augustus

De hoge piek van de ochtend van 6 augustus wordt niet meer bereikt maar de frequentie van de pieken begint flink toe te nemen en de bereikte hoogte van de piek lijkt een flinke variatie te vertonen. Dat ligt echter naar verwachting aan de meetfrequentie die ontoereikend is om de piek te pakken als die maar kort duurt. Aan de hand van de herstellende druk na een piek kan wel worden geconcludeerd dat de pieken niet meer het 40 cmwk niveau bereiken. Aan figuur 5-8 is te zien dat er zoveel pieken zijn met een vergelijkbare hoogte van 20 cmwk dat ondanks de lage meetfrequentie (10 minuten interval) toch wel kan worden gesteld dat dat ongeveer de bereikte waarde zal zijn, het is immers onvermijdelijk dat

een groot deel van de pieken pas wordt gemeten als die al weer grotendeels voorbij is. De frequentie van druktoenames tussen 10 en 13 augustus ligt op 5 a 20 per etmaal.

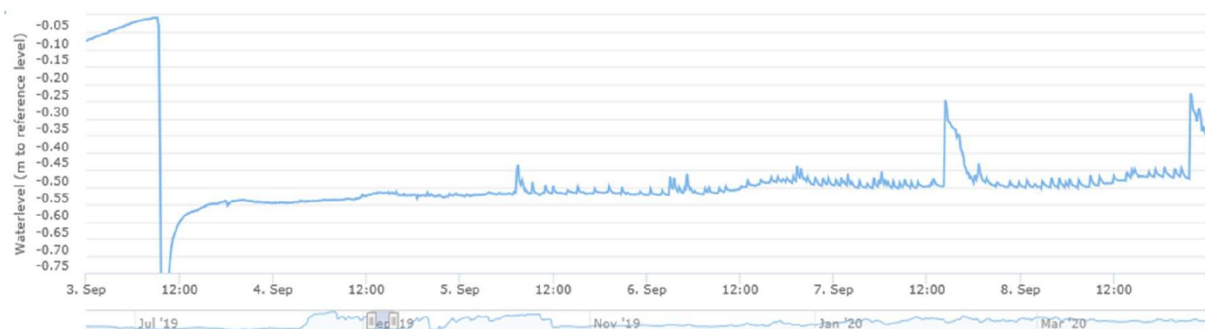
Na deze fase gebeurt er iets anders. De verstoringen nemen in frequentie toe en in de tussenliggende tijd bereikt de druk niet meer de lage "normale druk" (zoals die door andere WSM's wordt gemeten). De druk blijft structureel bijna een meter hoger dan die in de andere sensoren en wordt uiteindelijk op 16 augustus opgetild om niet meer te zakken (zie figuur 5-9 tot 5-12).



Figuur 5-11: Waterspanning in WSM D-A uitgedrukt in stijghoogte [m tov NAP] laatste 2 weken van augustus 2019.

Na het plateau niveau een ruime week te hebben gehandhaafd, zonder enige piek te vertonen, verandert het patroon wederom abrupt met een daling gevolgd door een gestage stijging. De voor de daling bereikte druk is iedere keer anders maar het patroon volgt vanaf 24 augustus een klassiek zaagtandpatroon dat past bij ventielwerking van een capillaire opening, onder invloed van gasdruk. Dit is zeer kenmerkend voor gasbeldrukopbouw in de waterkamer van een WSM.

Op 3 september wordt een vacuümbehandeling uitgevoerd (zie de daling in figuur 5-12) waarna de druk terugkeert (na een uur of 6) op een niveau dat overeenkomt met dat in alle andere WSM's. Na enkele dagen begint de nervositeit weer toe te nemen in de vorm van de omhooggerichte pieken zoals die in de eerste helft van augustus ook voorkwamen, maar wel met een wat grilliger afwisseling van amplitude en periode.



Figuur 5-12: Waterspanning in WSM D-A uitgedrukt in stijghoogte [m tov NAP] in de eerste weken van september 2019.



Verstoringsmechanisme door gasbeldruk

Als gasbellen ontstaan in waterspanningsmeters kan door de oppervlaktespanning van het belletje kracht worden uitgeoefend op de druksensor, zelfs voordat al het water uit de WSM is weggedrukt. De drukopbouw die daarmee gepaard gaat is soms zichtbaar als een verstoring in waterspanningsmeetreeksen. Deze verstoring is altijd een druk-toename. Bij toename van de omvang van de gasbel neemt de extra druk toe totdat het gas kan ontsnappen, dit gebeurt wanneer de gasbel in contact staat met een porie die groot genoeg is. De daarvoor benodigde druk wordt bepaald door de zogenaamde gas(lucht)-intredewaarde van de porie (oppervlaktespanning en poriediameter langs de ontsnappingsroute), en uiteraard door de ruimte die beschikbaar is achter de porie waarheen de bel kan ontsnappen. Grote filters met grote poriën lijken daarvoor gunstig maar in de praktijk worden alle poriën en ook andere speciale ontsnappingsuitgangen dichtgesmeerd door bodemmateriaal bij plaatsing. Vrijwel altijd worden WSM's geplaatst in cohesieve plastische en versmerende bodemlagen. De luchtintredewaarde van de filters en bodem is daardoor altijd hoog. De oplossing voor bodemgas in waterspanningsmeters zoals die vaak is aangedragen door ontwerpers werkt daarom alleen in zandige bodems met zeer lage lutum- of organische stofgehaltenes.

Fase 2 drukverstoring doet zich alleen voor in WSM D-A en fase 1 type verstoring doet zich ook voor in WSM C-B. De twee fasen in de verstoringen en het effect van de vacuümbehandeling leiden tot een nieuwe hypothese:

De tweede fase (abrupte drukdaling na gestage opbouw) wijst op drukopbouw en ventielwerking. Dit kan zowel in de bodem als in de WSM gebeuren, en tegelijk. Dit is het doel waarvoor gasfilters zijn ontwikkeld omdat gasbeldruk in de WSM kan leiden tot een drukopbouw die zich in de bodem niet noodzakelijkerwijs voordoet. Het ontstaan van gasdruk in de bodem is geen probleem voor het meetinstrument, maar het leidt wel degelijk tot een lastige besluitvorming over de sterkte toestand van het grondlichaam of de dijk die daarop ligt.

De eerste en derde fase fenomenen (abrupte omhooggerichte druk en daaropvolgende dissipatie) zijn van een heel andere origine.



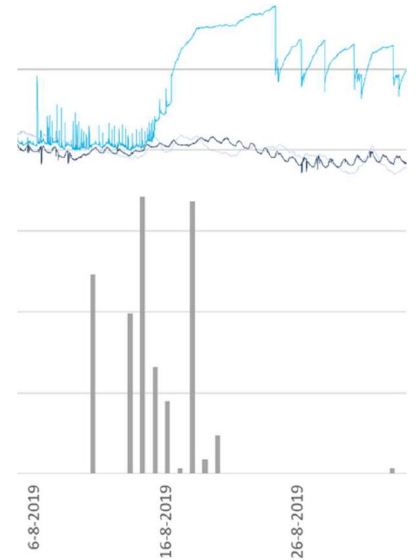
Correlatie neerslag en fasering van verstoringen?

Opvallend is dat de tweede fase van verstoringen wordt voorafgegaan door een neerslagperiode van een week waarbij in totaal ruim 40 mm neerslag viel. De tijd tussen de eerste neerslag en de verandering van verstoringen is voldoende voor neerslag om door te dringen tot het grondwater. Een bekend fenomeen van bacteriegroei is dat de aanvoer van verse nutriënten leidt tot een directe versnelling van de processen die tot dan toe door diffusie werden gevoed. Het heeft er alle schijn van dat de neerslag heeft geleid tot een verandering die zich onder andere uit in een omslag van het verstoringfenomeen van een abrupt oplopende zaagpiek naar een abrupt dalende zaagtand.

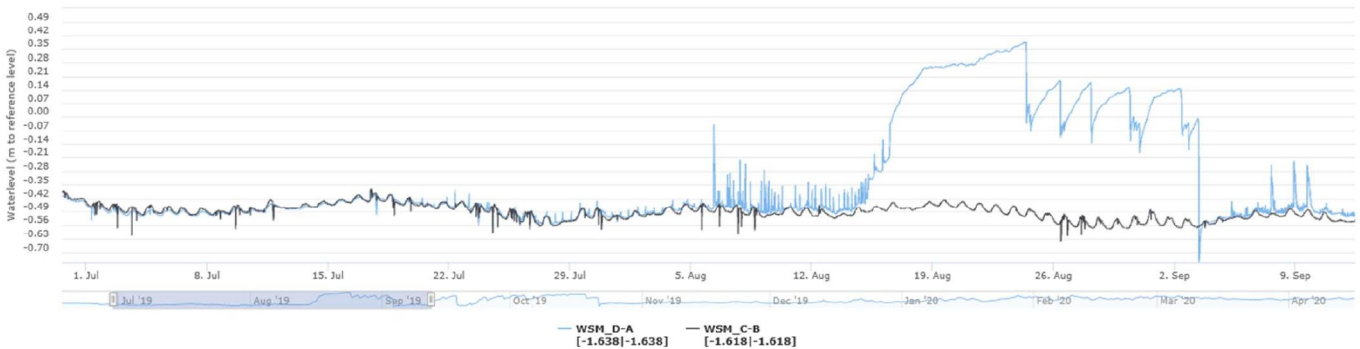
De bodemtemperatuur is niet noemenswaardig sneller toegenomen onder invloed van de infiltratie van neerslag.

Correlatie tussen opwaartse en neerwaartse drukpieken?

De neerwaartse drukpieken in C-B lijken zijn niet gecorreleerd met de omhooggerichte drukpieken, zoals in figuur 5-14 nog even is getoond.



Figuur 5-13: Uitsnede uit bijlage D, zonder verticale assen. WSM D-A en C-B, met neerslag in augustus 2019.



Figuur 5-14: WSM D-A en WSM C-B in juli en augustus 2019.



Correlatie tussen aanwezigheid van gasfilters en drukverstoringen

WSM D-A heeft een gasfilter ingebouwd en vertoont een grote diversiteit aan verstoringen, nog spectaculairder dan WSM A-A. Dit is de laatste sensor in deze cluster waar dit meetresultaat verwacht werd.

Om zeker te stellen dat het deze sensor betreft (administratieve fout) is op 3 september 2019 bij WSM_D-A een vacuümbehandeling toegepast door een grote onderdruk aan te brengen in de gasafvoerslang vanaf maaiveld, identiek aan de behandeling van A-A in augustus. Hierdoor daalde de druk in de sensor direct en na een halve dag was de druk in de WSM hersteld tot een rustig beeld, met een meetwaarde vrijwel identiek aan die in de andere Fugro sensoren in deze en andere clusters.

De inhoud van de spuit die is gebruikt voor de vacuümbehandeling is eind september door Deltares personeel bemonsterd om te zien welke gassen zich in de spuit bevinden. De resultaten hiervan zijn nog niet bekend. Bodemgas bevat in veen altijd veel methaan dus is het niet heel makkelijk om daaruit een scherpere diagnose te stellen.

Zeker is dat de gasfilters de mogelijkheid bieden om verstoorde instrumenten te resetten met minimale inspanningen. In speciale gevallen kan het met een op afstand aangestuurde vacuümpomp worden uitgevoerd maar dat loont zich naar verwachting maar zelden. Dit is wel gebruikelijk in tensiometeropstellingen waar gasbelvorming de orde van de dag is door de grote negatieve waterspanning in de water-onverzadigde zone.

5.2.5 Temperatuur

Voor de vorming van methaan door bacteriële afbraak is de temperatuur een van de belangrijkste factoren. De WSM's met gasfilter hebben een temperatuursensor ingebouwd gekregen waarmee de temperatuur nauwkeurig kan worden bijgehouden. De meetresultaten hiervan gedurende de periode 17-juni tot 20 september 2019 wijzen op een gestaag toenemende temperatuur van 12 a 13°C tot 15 a 16°C, op de diepte van de sensor (ruim 1 m onder maaiveld).

De timing van het ontstaan van de nervositeit in WSM D-A (waarvan verondersteld wordt dat die veroorzaakt wordt door gasbeldruk) komt goed overeen met de toenemende bodemtemperatuur. De bodemtemperatuur neemt nog toe dus naar verwachting zal de productie van gas nog enkele weken aanhouden en weer afnemen als de bodemtemperatuur weer daalt in de winter.

5.3 Neerslag

De neerslag is beperkt van invloed op de gemeten waterspanningen, wat blijkt uit alle andere reeksen. De infiltratie ten tijde van het onderzoek is dus beperkt tov de drainage. De indringing van neerslag in de herfst in de bodem verhoogt wel de warmtegeleidingscoëfficiënt waardoor de bodemwarmtevoorraad die in de zomer wordt opgebouwd weer kan worden afgebouwd. De neerslag van oktober zal mogelijk al snel verandering brengen in de gasproductie binnen WSM_D-A.

De verdenking dat neerslag in augustus invloed gehad heeft op de fase overgang van de verstoringen in D-A blijft staan als hypothese maar kan niet zonder aanvullend onderzoek worden getoetst.



Bijlagen



1^E KWARTAAL RAPPORTAGE BIJLAGEN

POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – eerste veldtest

A. GEGEVENS: WSM A-A-2, TEMPERATUURSENSOR EN OPENWATERPUNT

A.1 Kalibratieformulieren

Sensor 1061847

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1061847	25/06/2019	10:13	22.6 C	12	0.9999973890315309

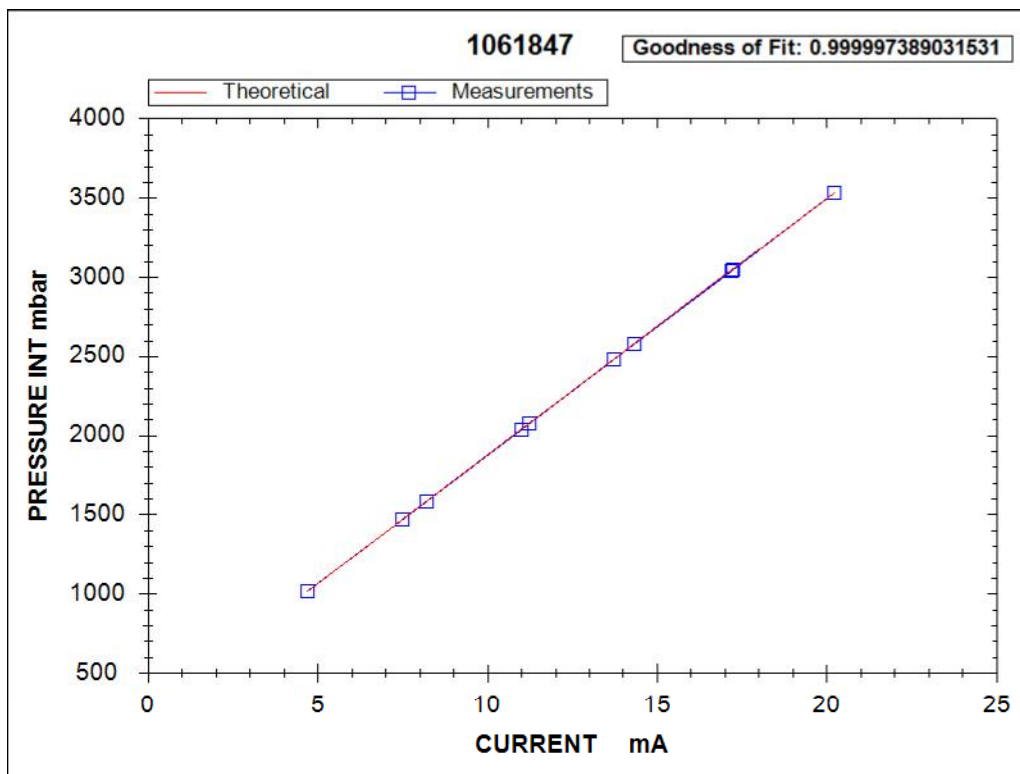
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.234454267068 offset=249.323028175037

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.723	1013.3	25/06/2019	10:15:09	1015.5563556783987	0.0644673050971083
8.225	1584.1	25/06/2019	10:15:26	1583.7014145216704	0.011388156523701452
11.002	2034.8	25/06/2019	10:15:47	2034.2264940213176	0.016385885105208737
14.337	2575.3	25/06/2019	10:16:10	2575.2783990019889	0.00061717137175167276
17.248	3047.5	25/06/2019	10:16:32	3047.5428953734236	0.0012255820978160565
20.245	3532.7	25/06/2019	10:16:50	3533.7595548118261	0.03027299462360783
20.241	3532.2	25/06/2019	10:16:52	3533.1106169947575	0.026017628421647843
17.204	3039.8	25/06/2019	10:17:26	3040.4045793856726	0.017273696733497802
13.735	2480.8	25/06/2019	10:17:54	2477.613257533214	0.09104978476532
11.245	2074.4	25/06/2019	10:18:43	2073.6494664082152	0.021443816908140435
7.498	1465.7	25/06/2019	10:19:08	1465.7569662695118	0.0016276077003372588

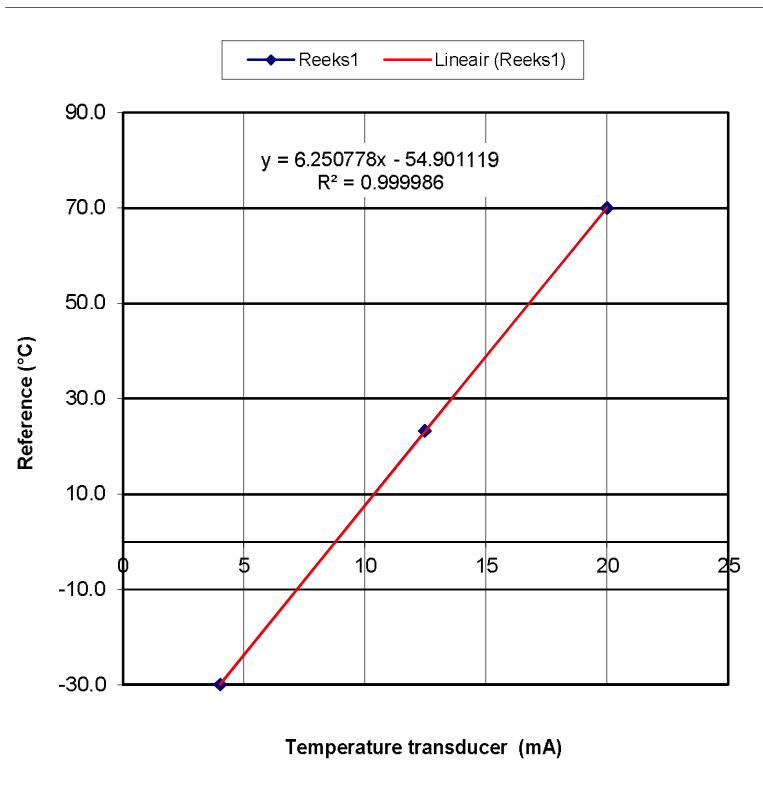
Sensor Calibration Measurements



CALIBRATION SHEET



Project number	1417-0042-142
Client	Waterschap Rivierenland
Date	27-8-2019
Manufacturer	Fugro
Type	Pt1000
Serial number	1061961
Measuring range	-30 - 70 °C
Calibrated range	22 - 24 °C
Load / unload	No
Comments	



Results

STEP	Temperature [° C]	Results in [mA]
1	-30.00	4
2	23.20	12.46
3	70.00	20
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		

A	6.251
B	-54.901

Barometric pressure	1015.0
Temperature	23.0
Calibrated by	VPS
Date	27-8-2019

Sensor 1115269

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DPI615.V3.00.00	61558660	1115269	28/03/2019	14:55	21.0 C	8	0.9999937971819675

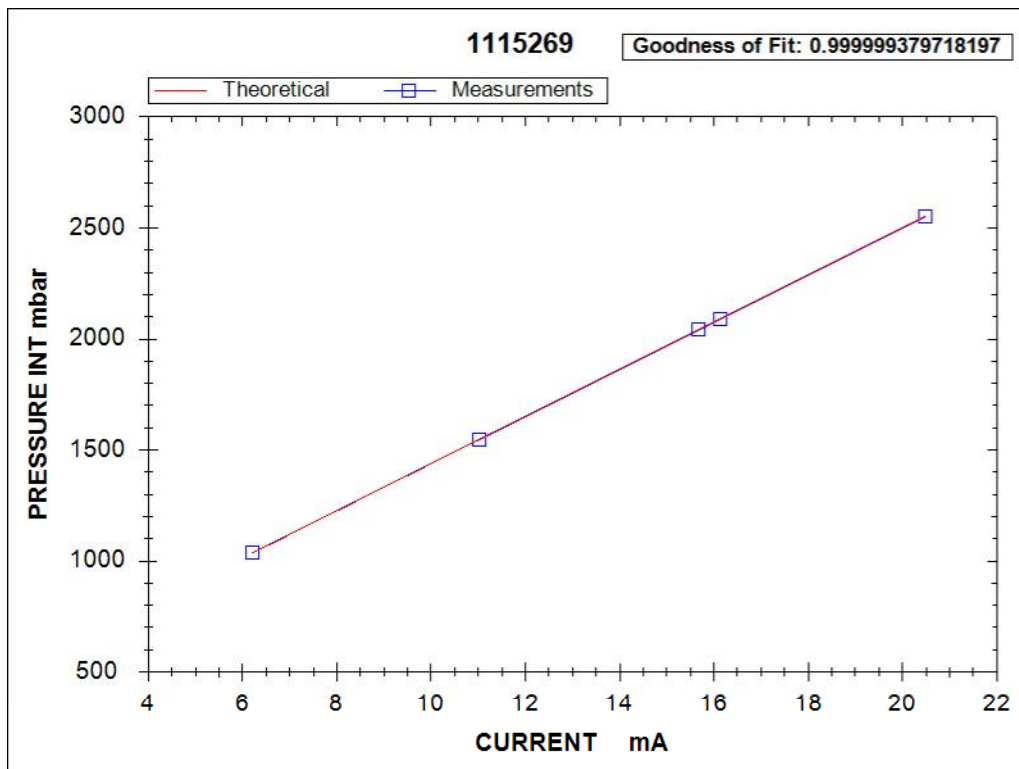
Sensorinformatie

coëfficiënt = 106.22449414512 offset = 372.406344696028

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
6.234	1033.7	28/03/2019	14:58:20	1034.6098411967057	0.036393647868226256
11.027	1544.1	28/03/2019	14:58:33	1543.7438416342652	0.014246334629388003
16.143	2086.8	28/03/2019	14:58:47	2087.1883536806986	0.015534147227936047
20.508	2550.9	28/03/2019	14:59:01	2550.8582706241468	0.0016691750341306032
20.506	2550.7	28/03/2019	14:59:03	2550.6458216358569	0.0021671345657159691
15.697	2039.8	28/03/2019	14:59:22	2039.812229291975	0.0004891716790007194
11.022	1543.4	28/03/2019	14:59:48	1543.2127191635395	0.0074912334584223573
6.221	1033.9	28/03/2019	14:59:54	1033.2289227728193	0.026843089087233239

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph



A.2 Plaatsingsformulieren

WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A-A-2
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-A-2
Straat + nr:		Datum:	08/08/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	NZ/PNK
Opdracht:	plaatsen Wsm		

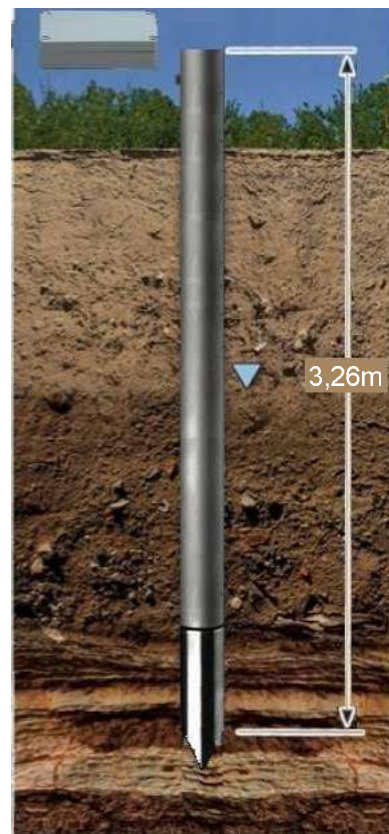
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat	51.9560852, 5.0554898	



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.686
Voor plaatsen	tijd	10:25
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	0,26m
Totale lengte	m	3,26m
Handwaarneming	ma	6.308
Na plaatsen	tijd	11:46

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1228
Poort		a
Sensor	nr	1061847
Meetbereik	bar	0.9 tot 3.5
Start/stop equipment	tijd	11:25

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	koker (rood)	1

WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A-A-2
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-A-2

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer

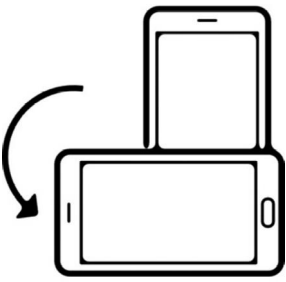
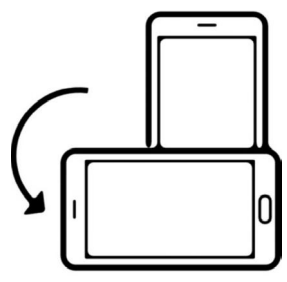


Detail FLB/kast nummer




Projectgegevens			
Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	WSM_A-A-2
Plaats:	Vianen	Filter naam:	A-A-2

Foto's wijzigingen

Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_TEMPERTUUR 01
Plaats:	Vianen	Filter naam:	temperatuur 01
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	12/09/2019
Werkzaamheden:	veranderen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:	temperatuur sensor plaatsen		

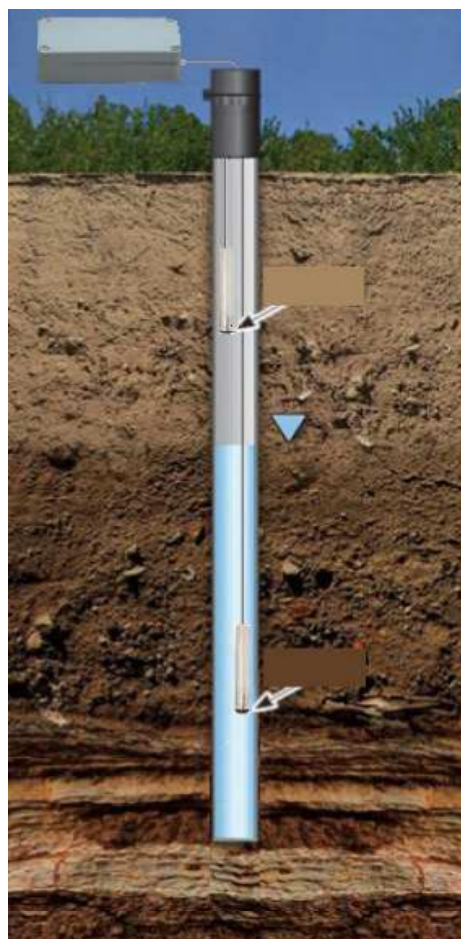
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
BKPB t.o.v. - mv	m	0,05m
Handwaarneming (T.o.v. BKPB)	m	0,00m
	tijd	14:42
Totale lengte pb	m	0,00m
Lengte filter	m	00m
Zandvang	m	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1228
Poort		b
Sensor	nr	8438557
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Afhangdiepte	m-bkpb	0,05m
Start/stop equipment	tijd	15:02

Verandering		
Loggerbox	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
Afhangdiepte	m-bkpb	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen		
temperatuur sensor geplaatst ten noorden van koker B-B. aangesloten op koker A-A-2 gemeten waarde 12.22 mA 13:30 uur	omschrijving	aantal	

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_TEMPERTUUR 01
Plaats:	Vianen	Filter naam:	temperatuur 01

Overzicht locatie



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer


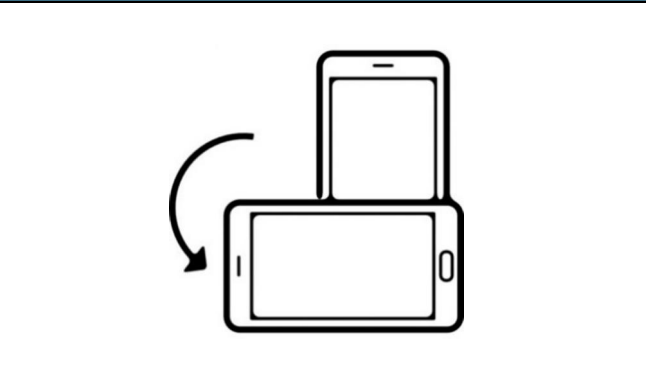


Detail FLB/kast nummer




Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_TEMPERTUUR 01
Plaats:	Vianen	Filter naam:	temperatuur 01

Foto's wijzigingen

Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	

Projectnummer:	1417-0024-142	Locatie naam:	PB_open_waterpunt
Plaats:	Vianen POVM	Filter naam:	
Straat + nr:		Datum:	18/09/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JDO
Opdracht:			

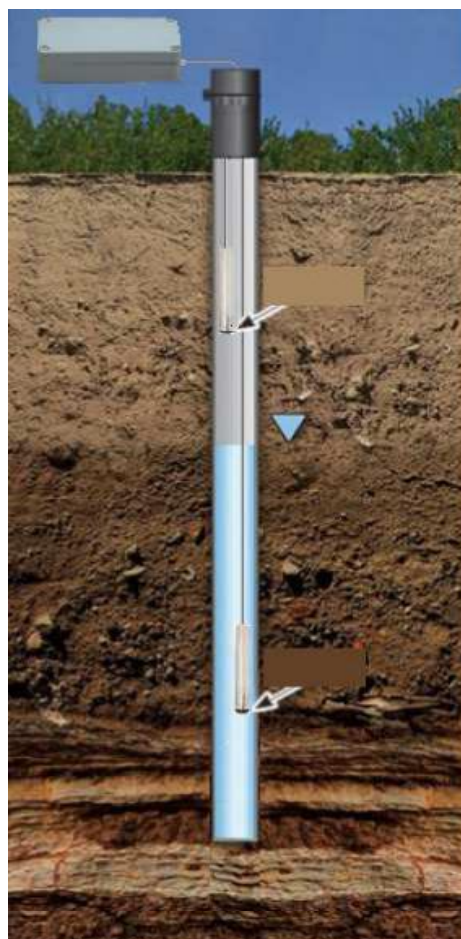
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
BKPB t.o.v. + mv	m	0,44m
Handwaarneming (T.o.v. BKPB)	m	0,44m
	tijd	11:08
Totale lengte pb	m	2,40m
Lengte filter	m	1m
Zandvang	m	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1019
Poort		a
Sensor	nr	1115269
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Afhangdiepte	m-bkpb	2m
Start/stop equipment	tijd	11:12

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
Afhangdiepte	m-bkpb	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
Sisgeo 7.584		

Projectnummer:	1417-0024-142	Locatie naam:	PB_open_waterpunt
Plaats:	Vianen POVM	Filter naam:	

Overzicht locatie



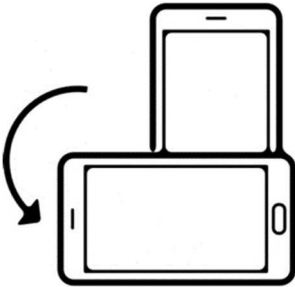
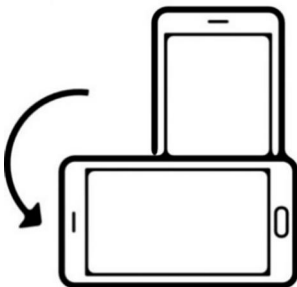
Opmerking foto 1

Detail sensor nummer Detail FLB/kast nummer




Projectnummer:	1417-0024-142	Locatie naam:	PB_open_waterpunt
Plaats:	Vianen POVM	Filter naam:	

Foto's wijzigingen

Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	

Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_ kanaal peil
Plaats:	Vianen	Filter naam:	kanaal pei
Straat + nr:	merwedekade 18	Datum:	12/09/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JBD
Opdracht:			

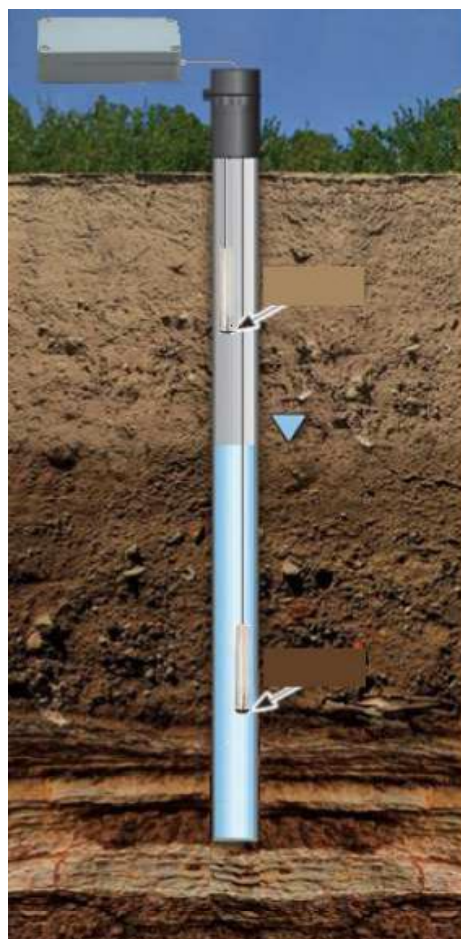
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
BKPB t.o.v. - mv	m	0,00m
Handwaarneming (T.o.v. BKPB)	m	0,44m
	tijd	14:52
Totale lengte pb	m	2,40m
Lengte filter	m	1,00m
Zandvang	m	

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerkast	nr	70
Poort		1
Sensor	nr	111526
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Afhangdiepte	m-bkpb	2,00m
Start/stop equipment	tijd	14:53

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
Afhangdiepte	m-bkpb	
	m	
Start verandering	tijd	



Opmerkingen	Verbruik materialen	
tov bovenkant sloof gemeten bk sloof is 0.02m boven oude peilbuis. gemeten waarde 7.57 mA 12:30 uur totale lengte kabel is 4.00 m tot aan de dop bij de logger kast.	omschrijving	aantal

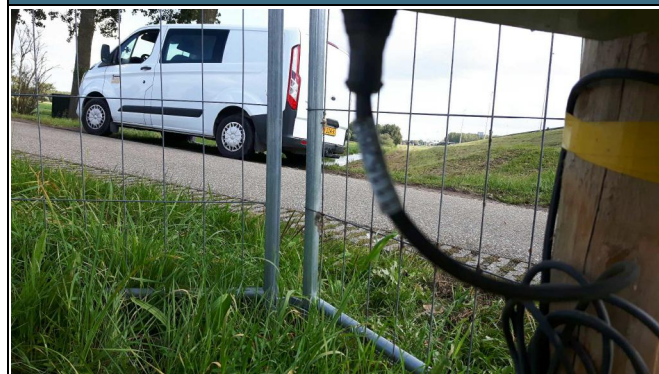
Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_ kanaal peil
Plaats:	Vianen	Filter naam:	kanaal peil

Overzicht locatie




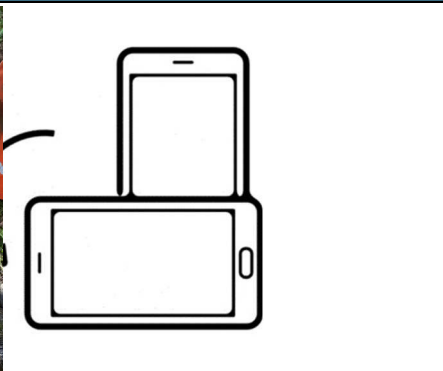

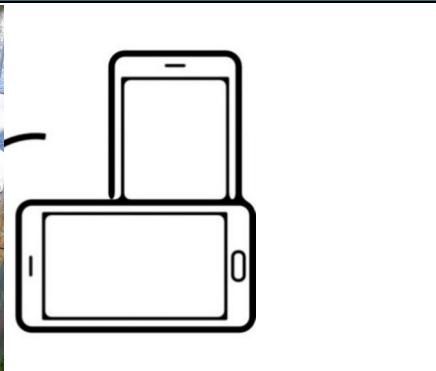
Opmerking foto 1

Detail sensor nummer Detail FLB/kast nummer



Projectnummer:	1417-0042-141	Locatie naam:	PB_ kanaal peil
Plaats:	Vianen	Filter naam:	kanaal peil

Foto's wijzigingen

Detail sensor nummer		Detail FLB/kast nummer	
			



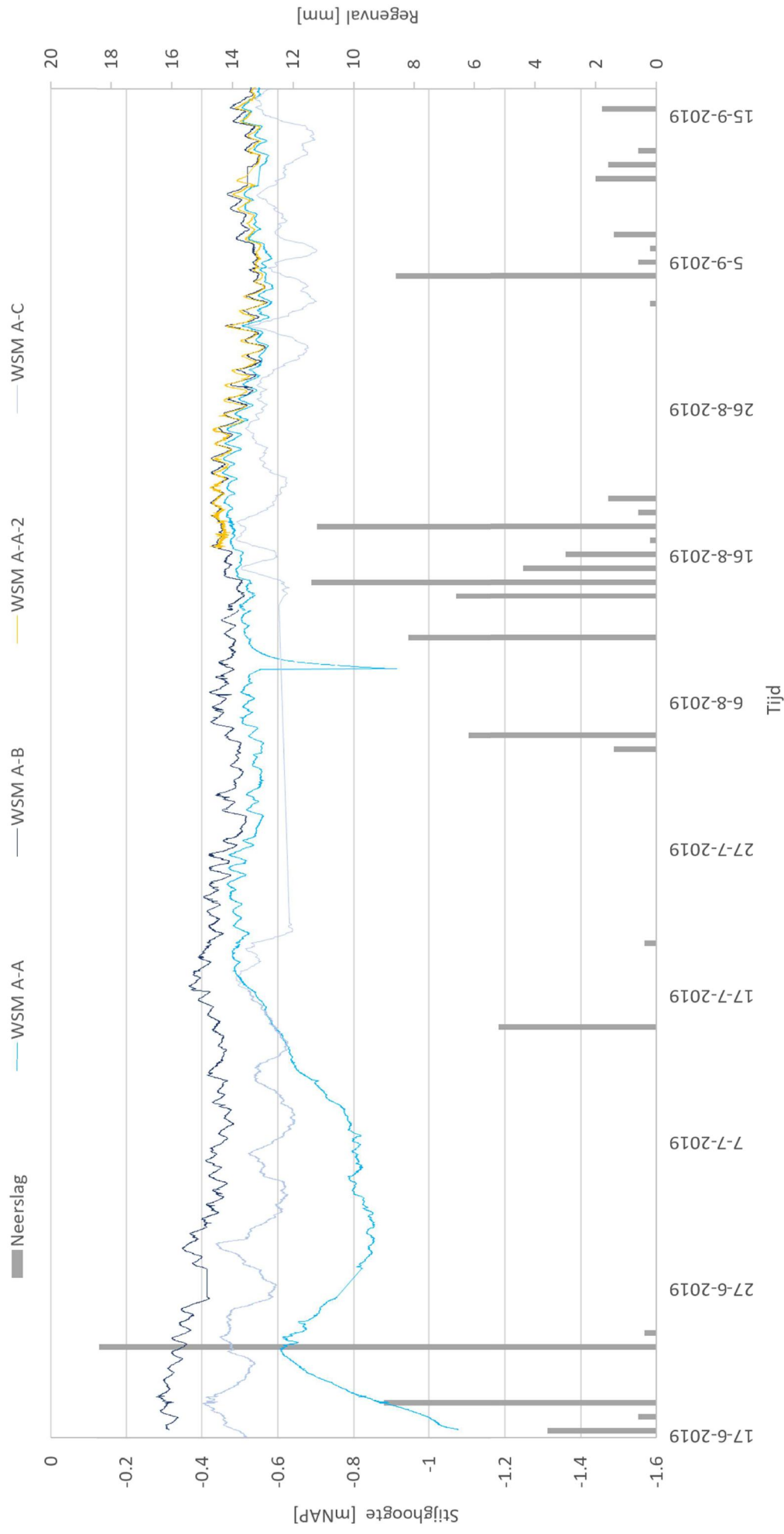
B MEETRESULTATEN

B.1 Cluster A

B.1.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

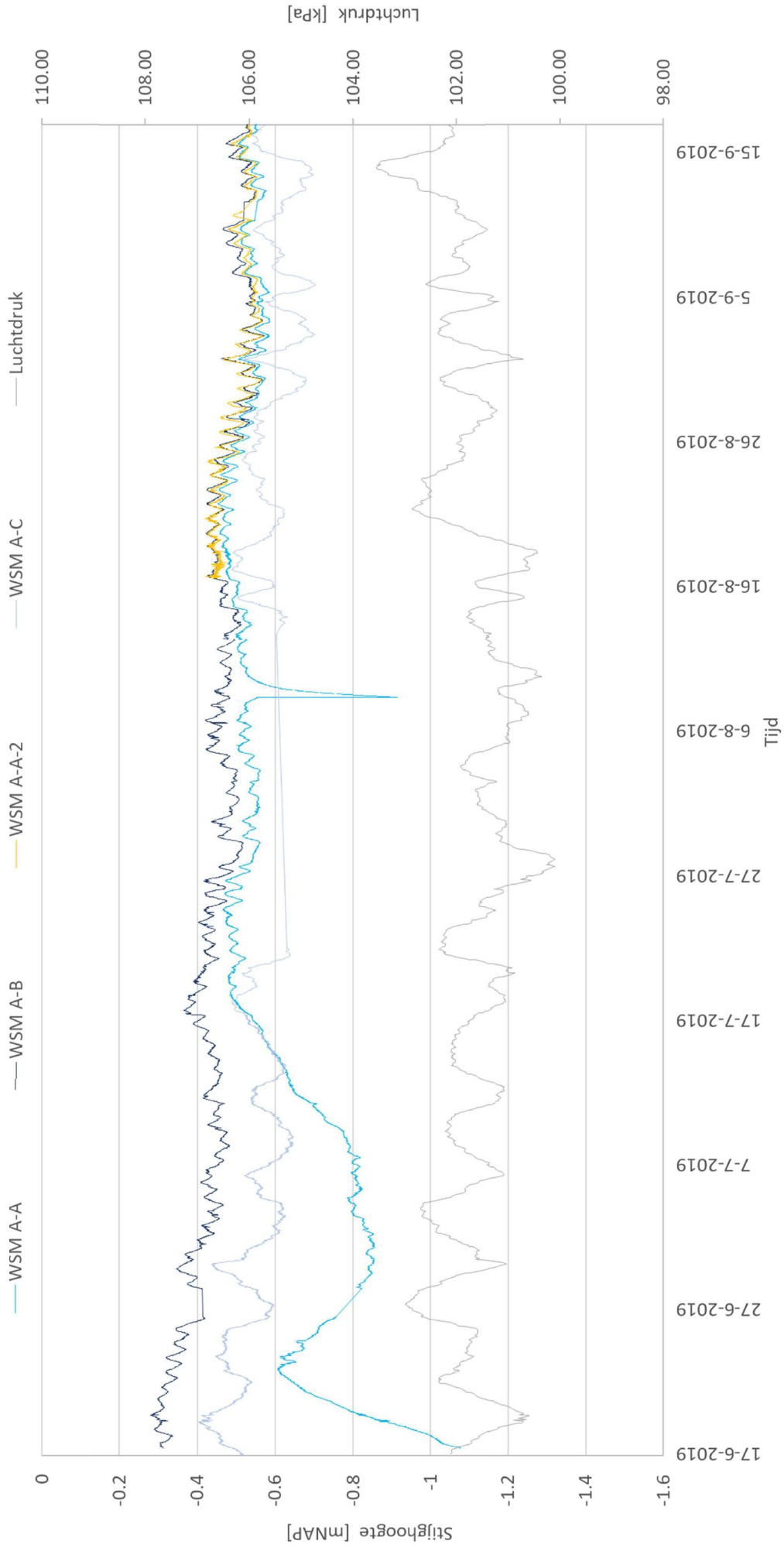
Cluster A: Waterspanning vs. Neerslag



B.1.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

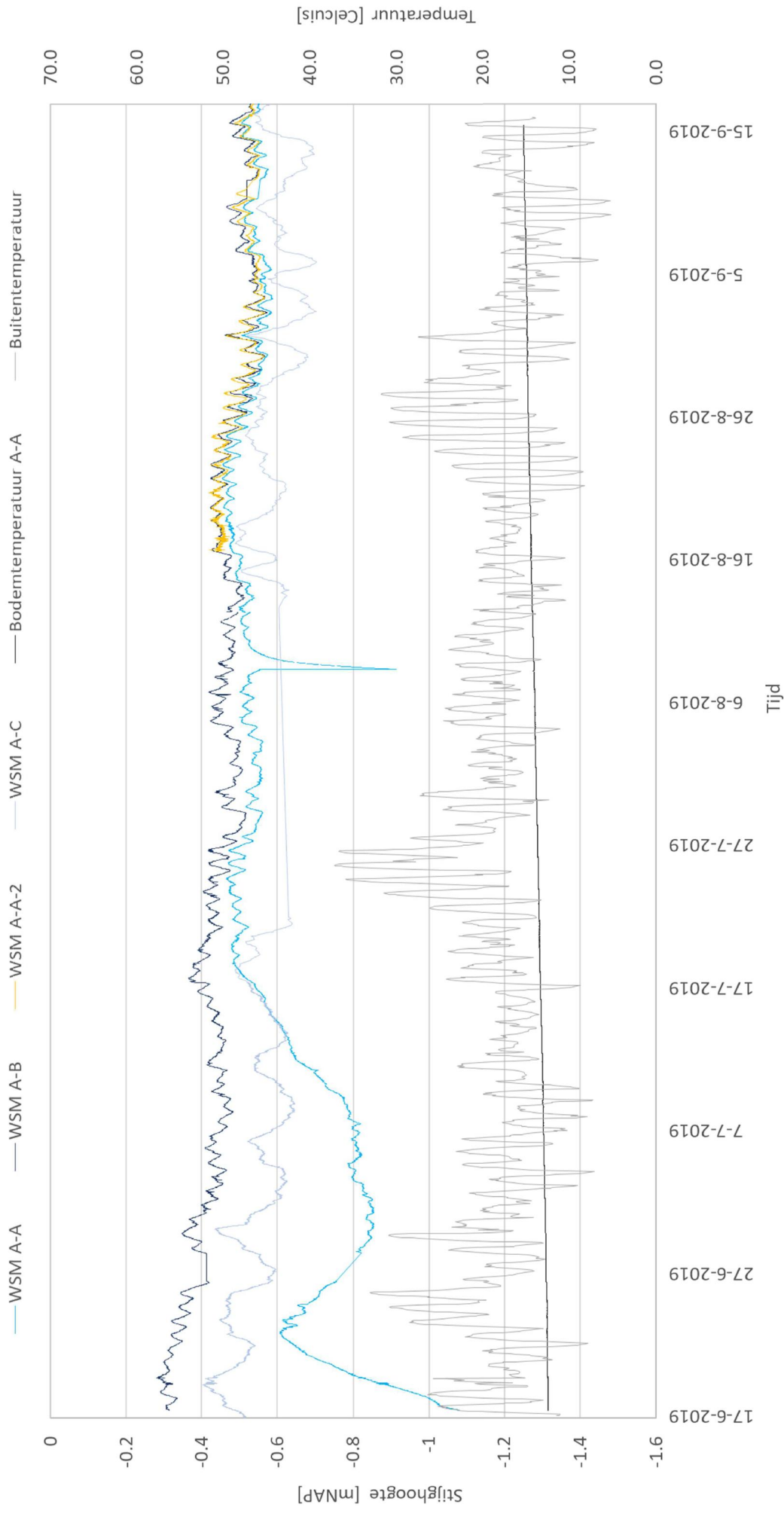
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Bilt.

Cluster A: Waterspanning vs. Luchtdruk



B.1.4 Waterspanning vs. Temperatuur
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster A en de buitentemperatuur.

Cluster A: Waterspanning vs. Temperatuur

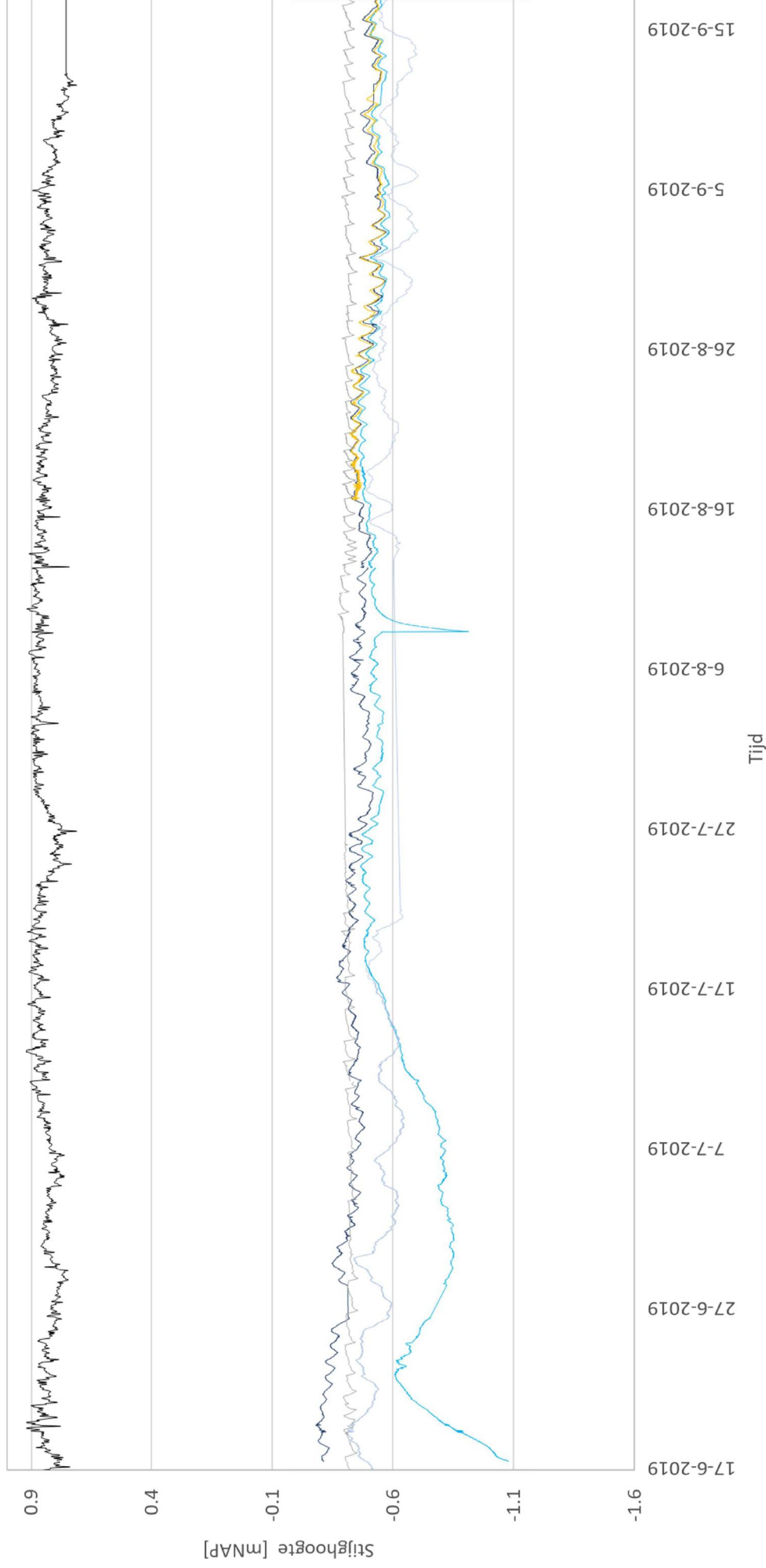


B.1.5 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster A: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

— WSM A-A — WSM A-B — WSM A-A-2 — Kanaalpeil — WSM A-C — Slootpeil

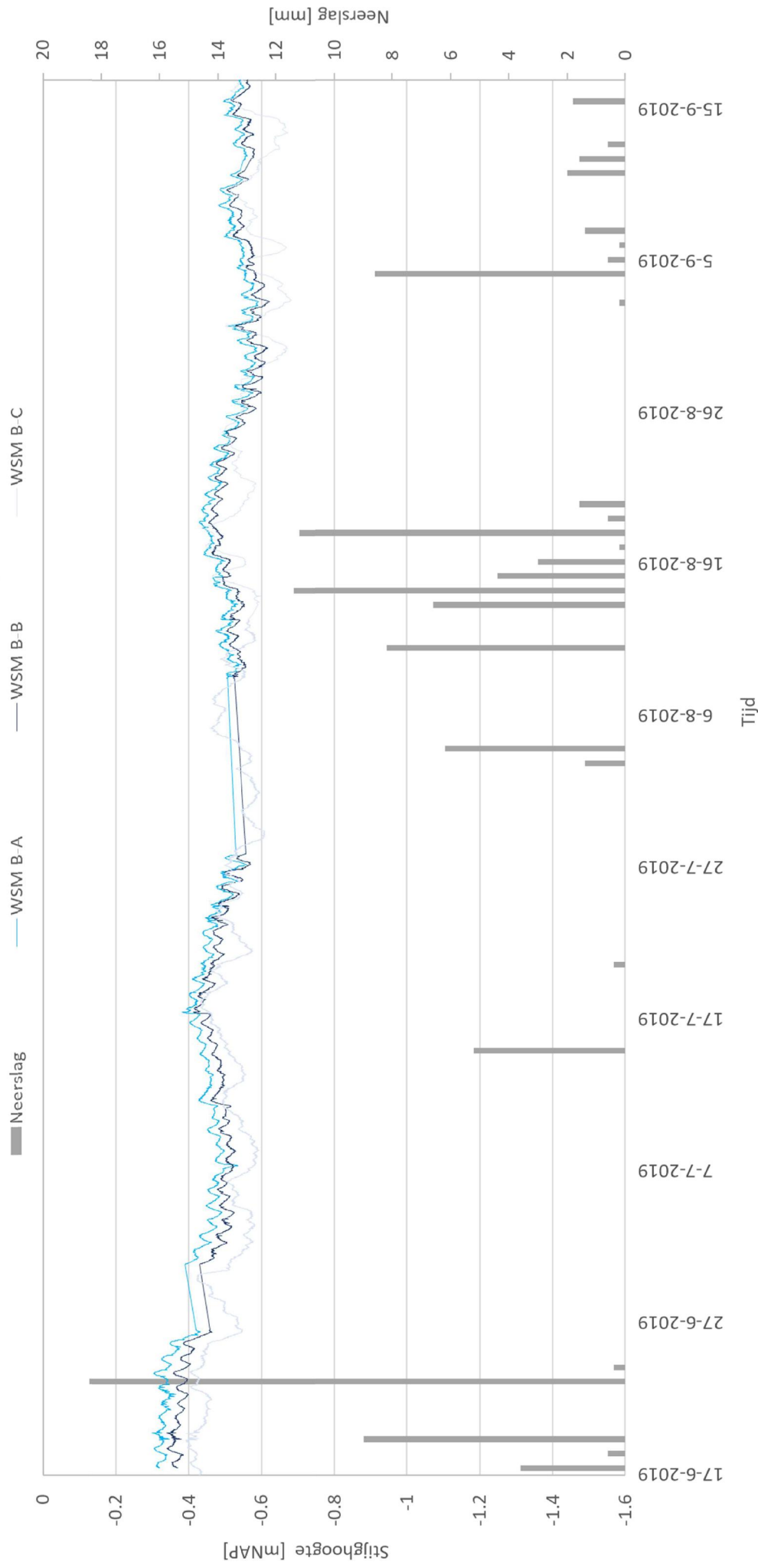


B.2 Cluster B

B.2.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

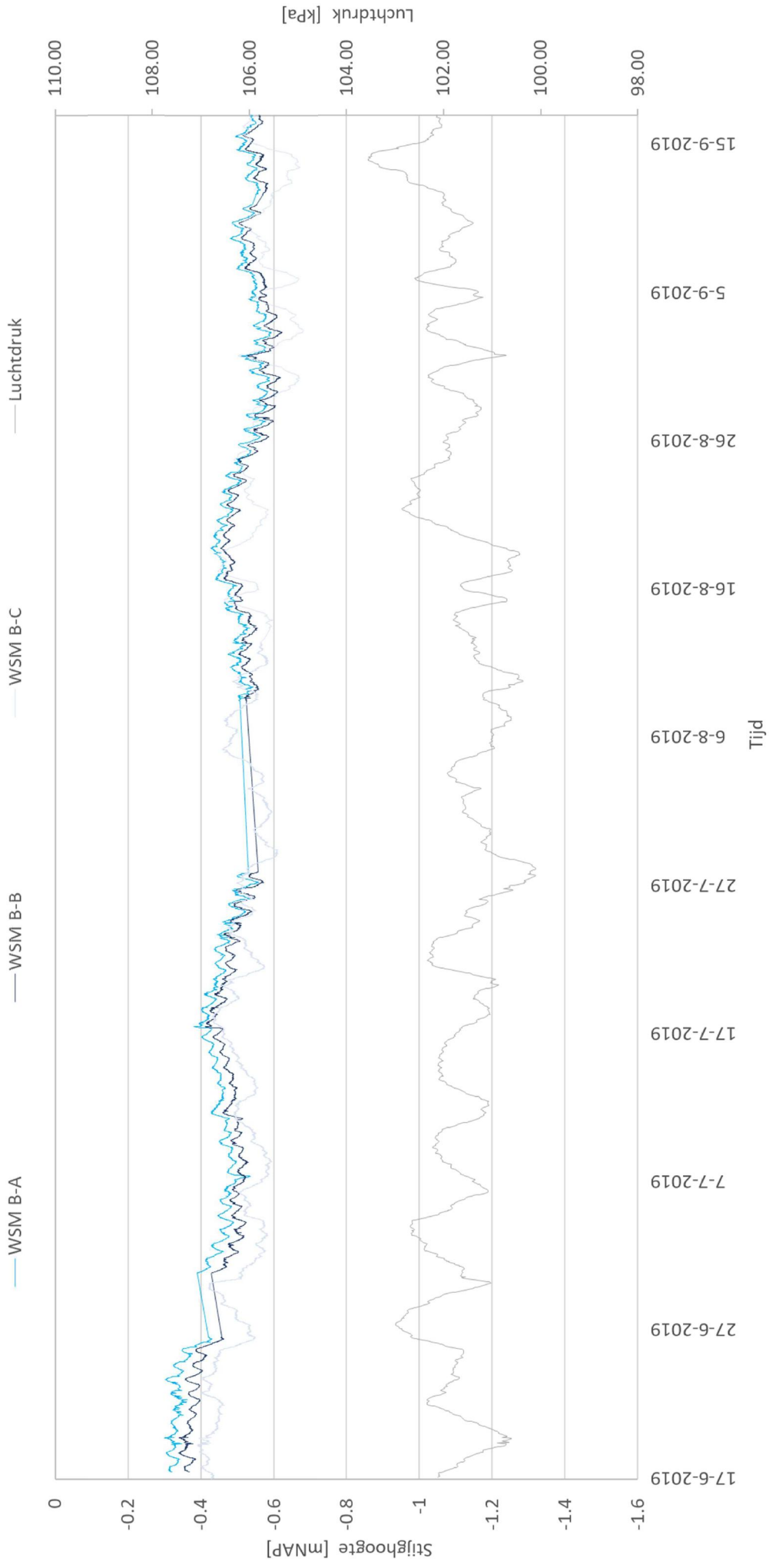
Cluster B: Waterspanning vs. Neerslag



B.2.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

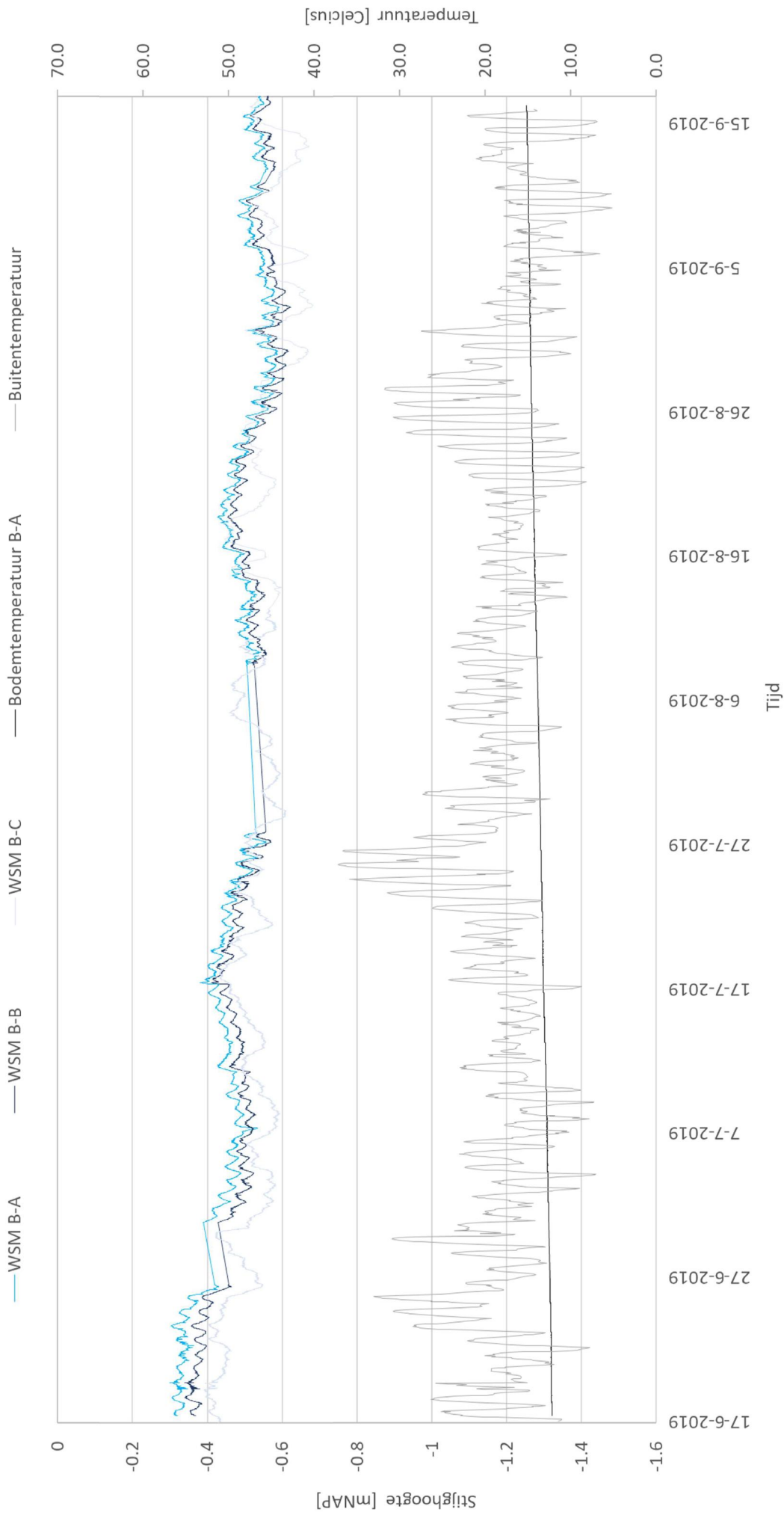
Cluster B: Waterspanning vs. Luchtdruk



B.2.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster B en de buitentemperatuur.

Cluster B: Waterspanning vs. Temperatuur

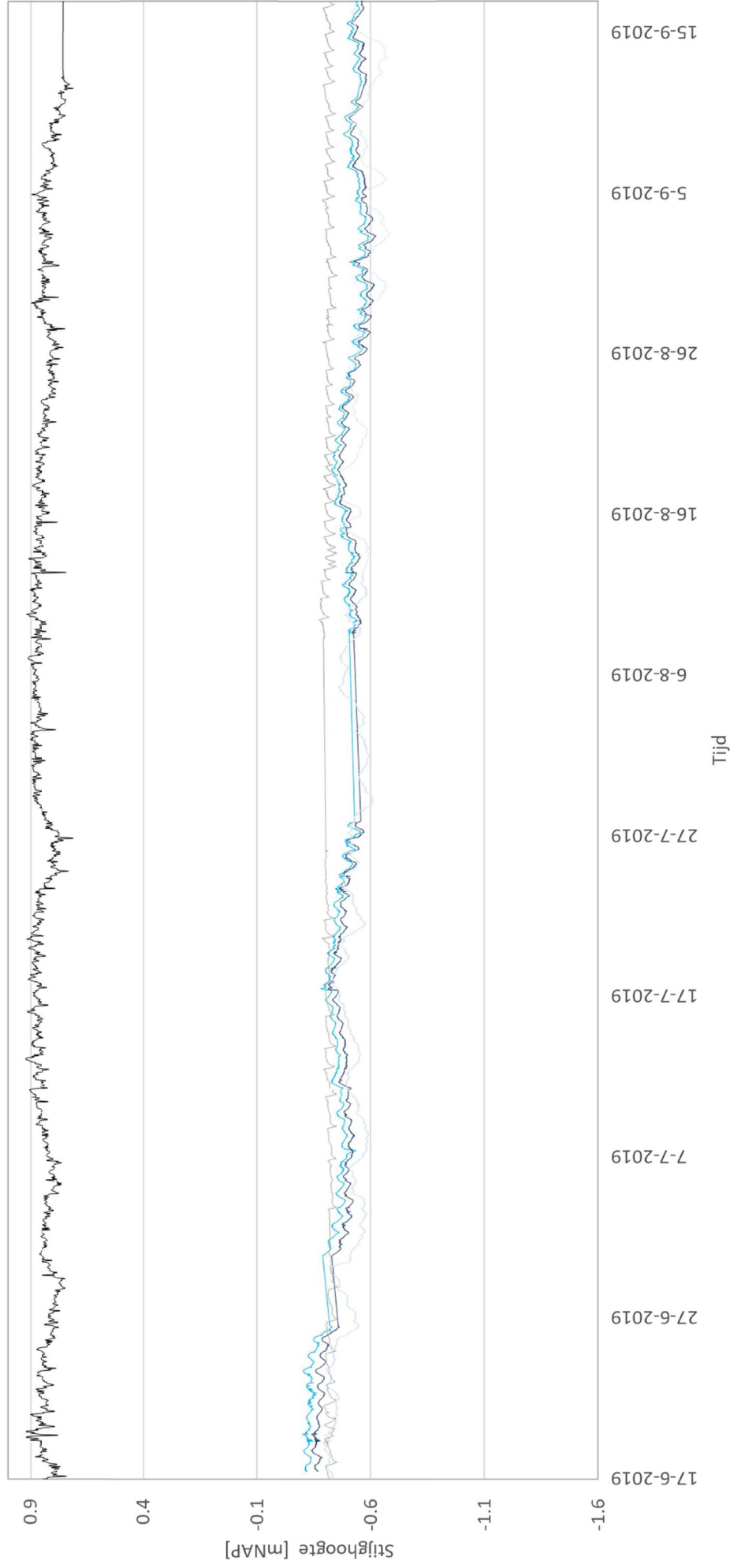


B.2.4 Waterspanning vs. Sloop- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster B: Waterspanning vs. Sloop- en Kanaalpeil

— WSM B-A — WSM B-B — WSM B-C — Slooppeil — Kanaalpeil

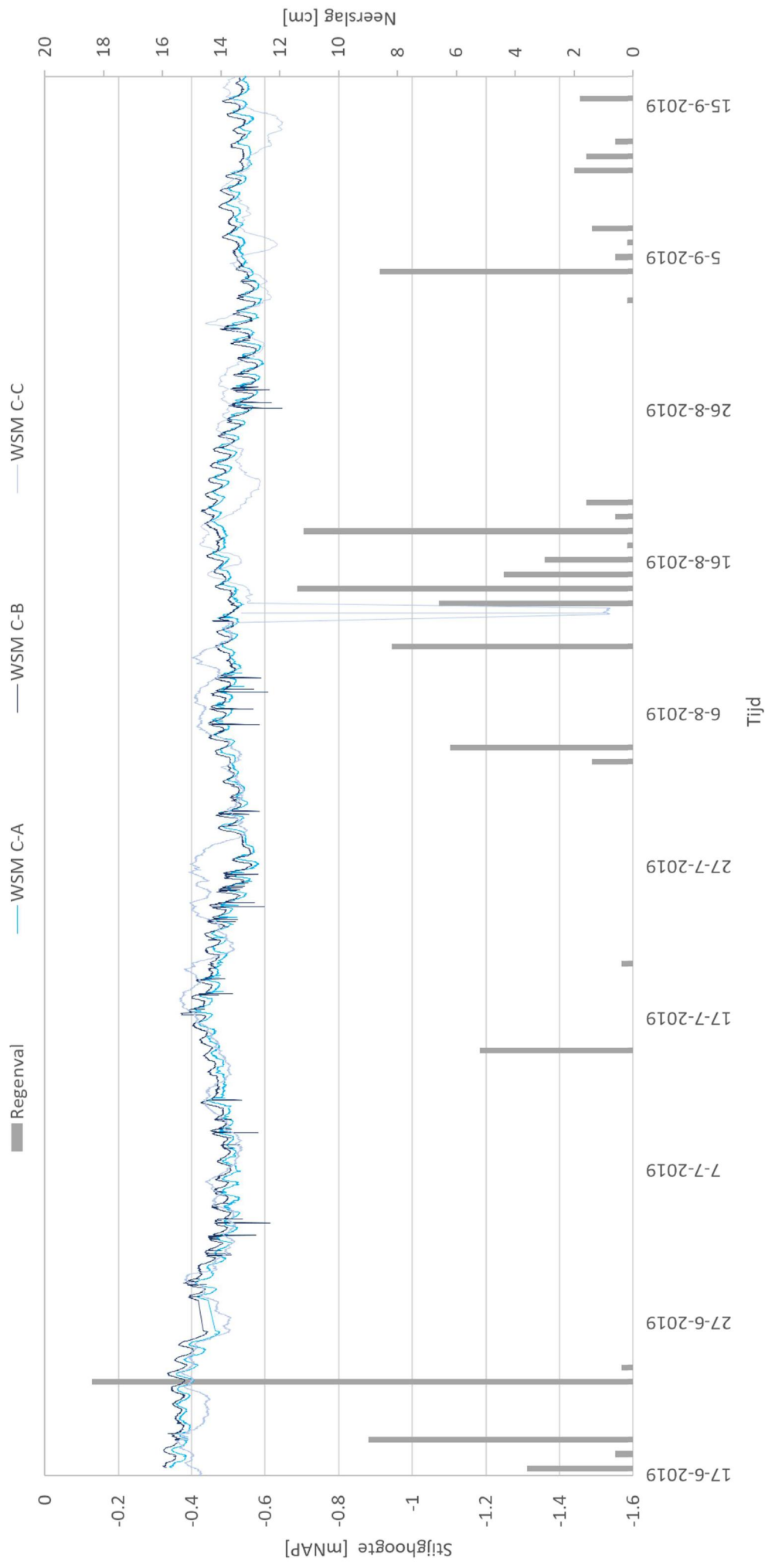


B.3 Cluster C

B.3.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

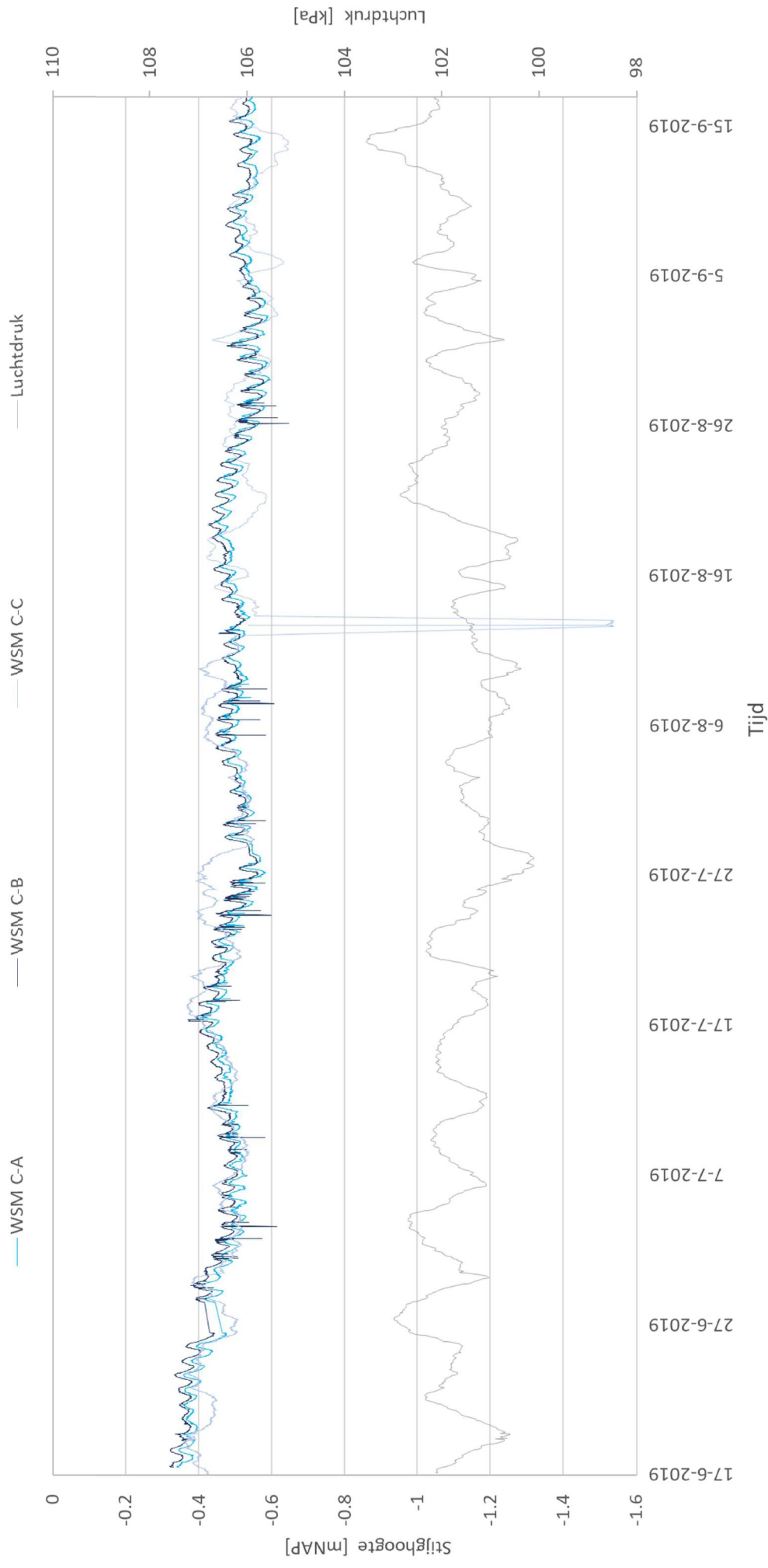
Cluster C: Waterspanning vs. Neerslag



B.3.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

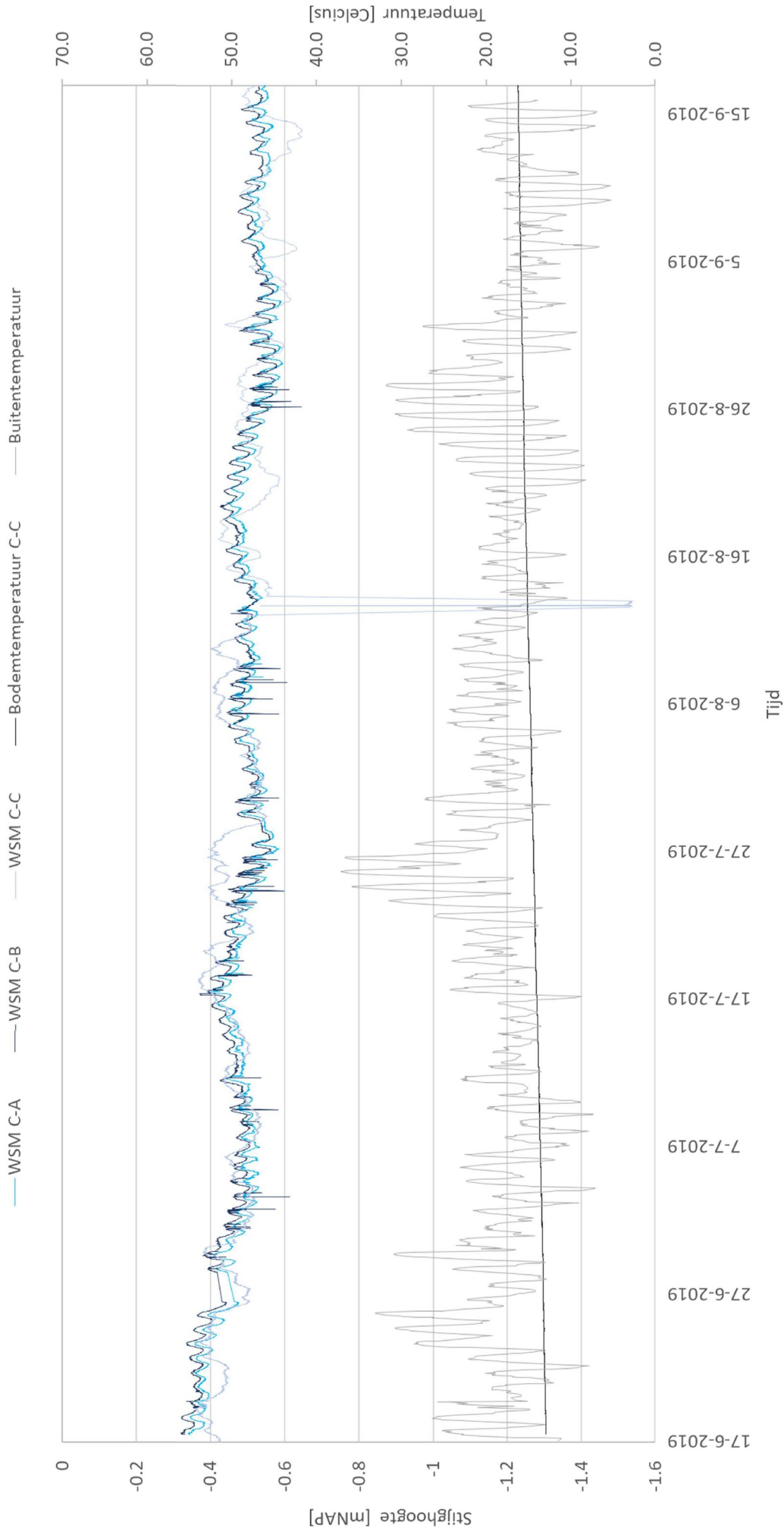
Cluster C: Waterspanning vs. Luchtdruk



B.3.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster C en de buiten temperatuur.

Cluster C: Waterspanning vs. Temperatuur

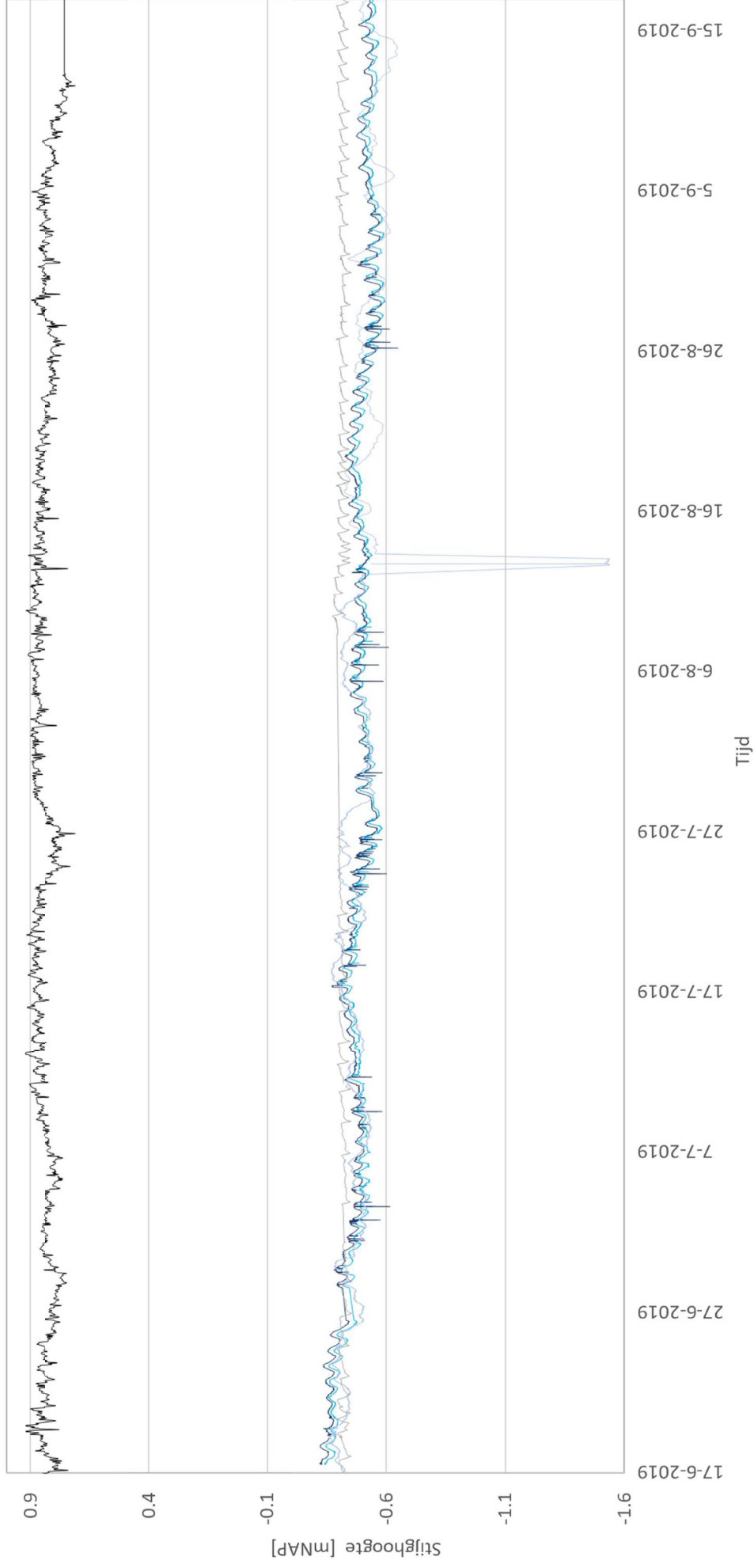


B.3.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster C: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

— WSM C-A — WSM C-B — WSM C-C — Waterpeil Kanaal — Waterpeil Sloot

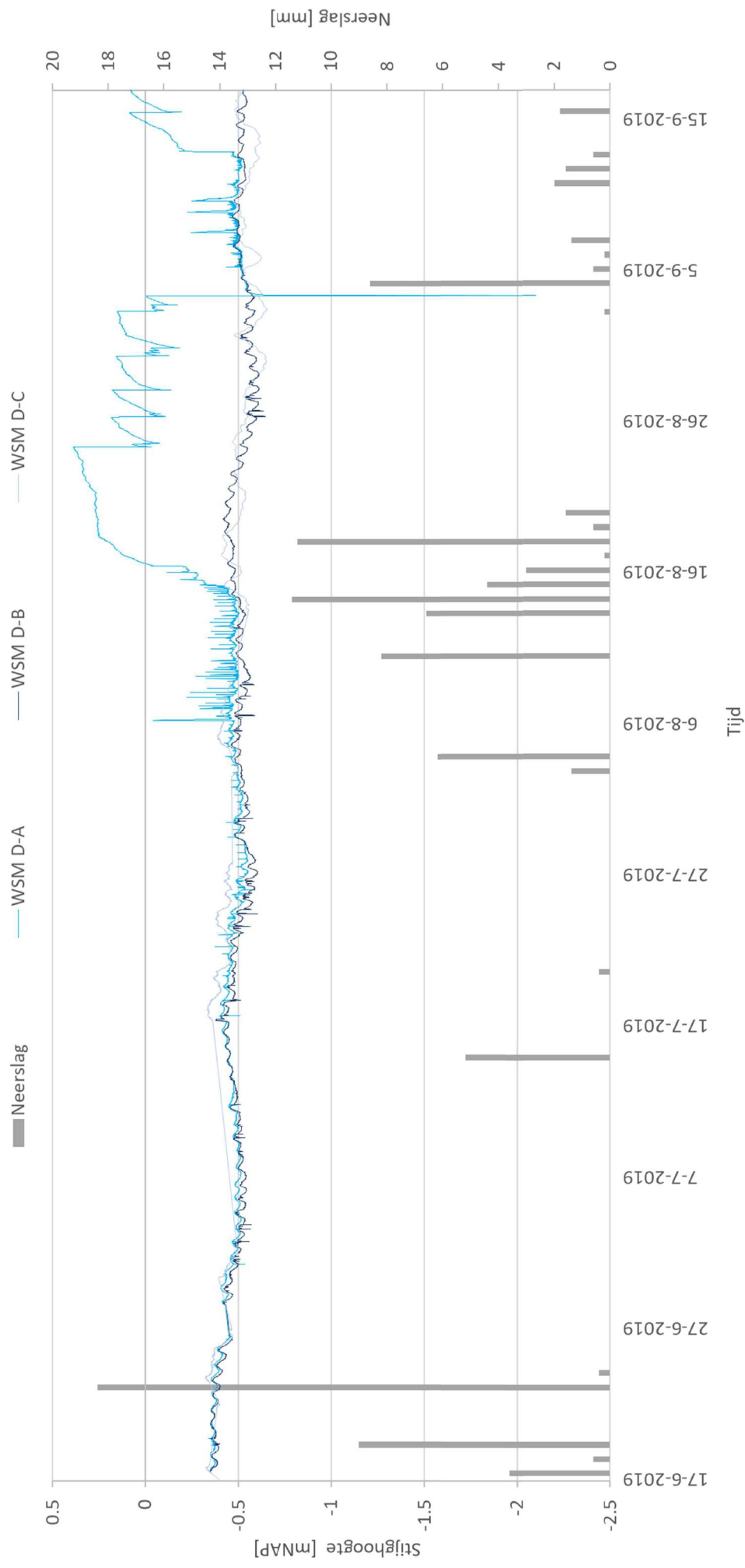


B.4 Cluster D

B.4.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

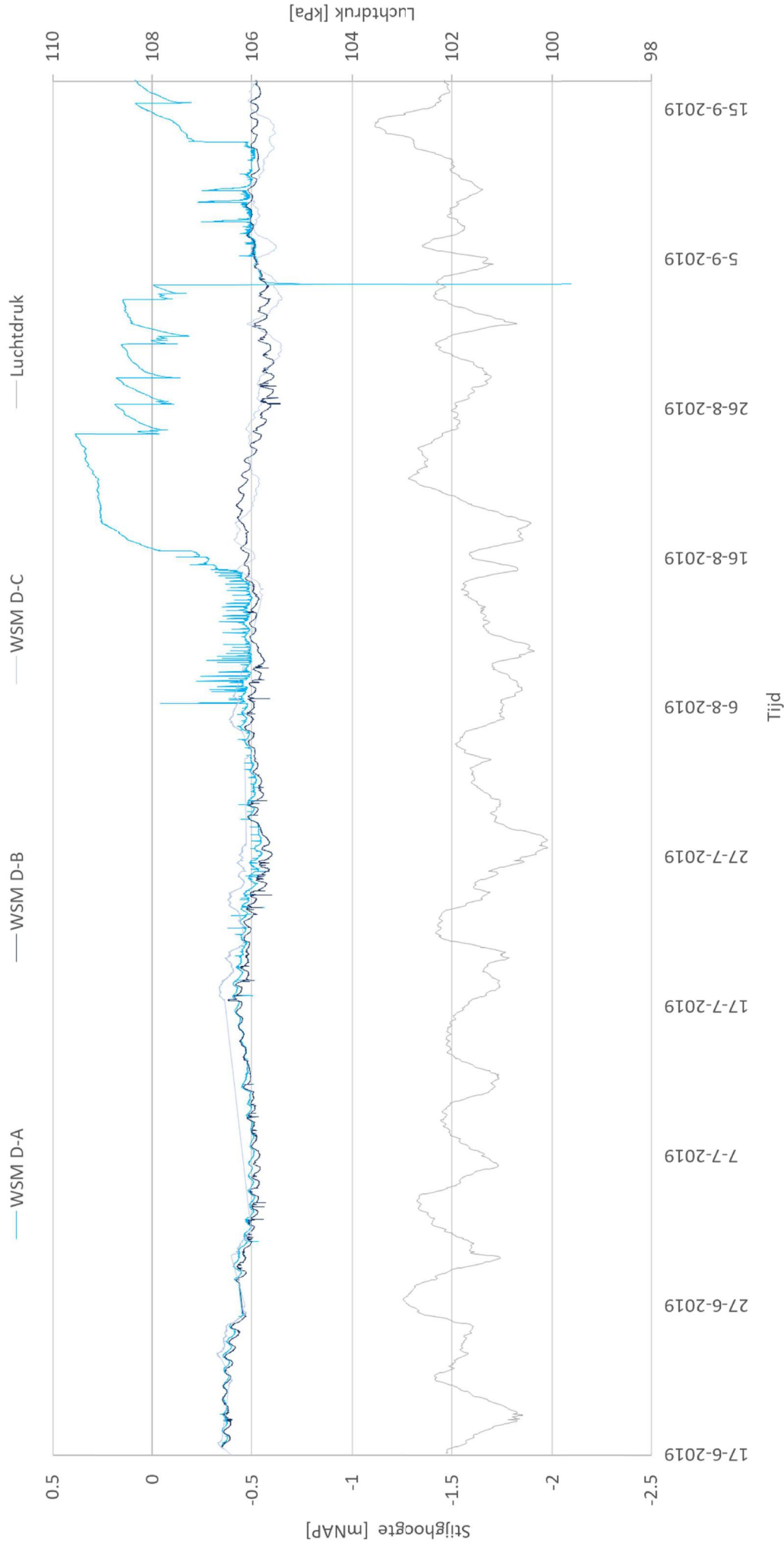
Cluster D: Waterspanning vs. Neerslag



B.4.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

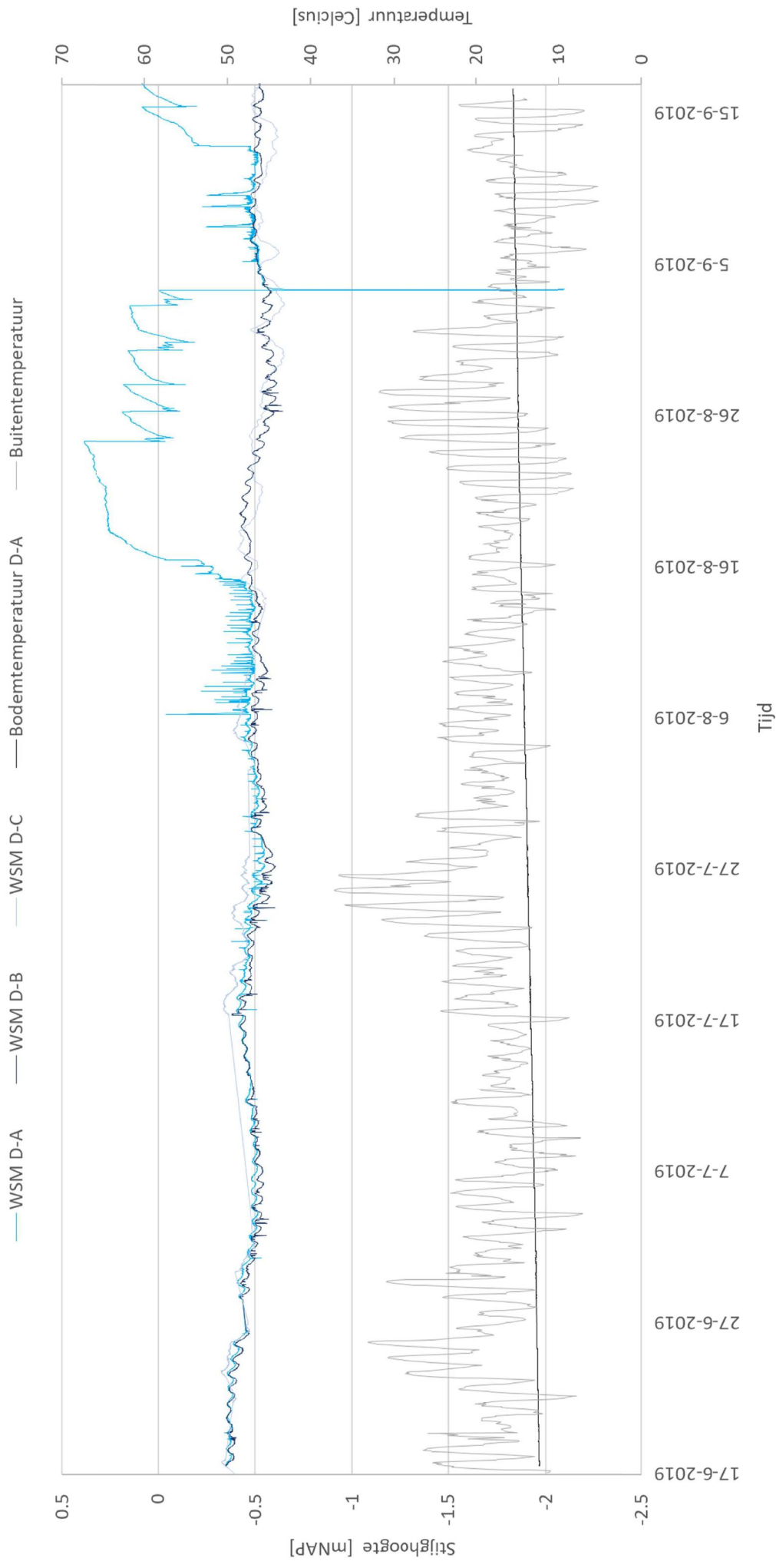
Cluster D: Waterspanning vs. Luchtdruk



B.4.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster D en de buiten temperatuur.

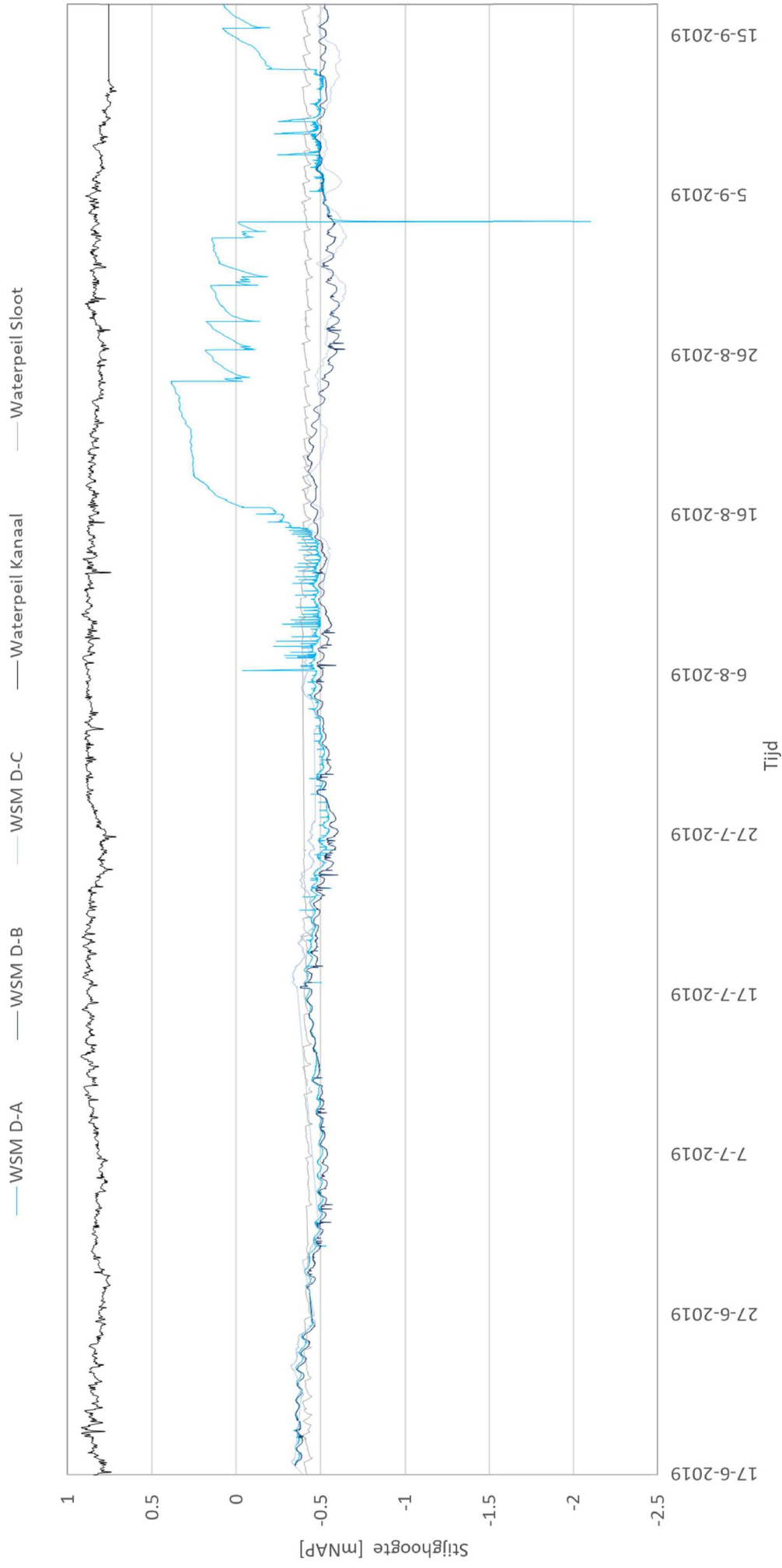
Cluster D: Waterspanning vs. Temperatuur



B.4.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster D: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil



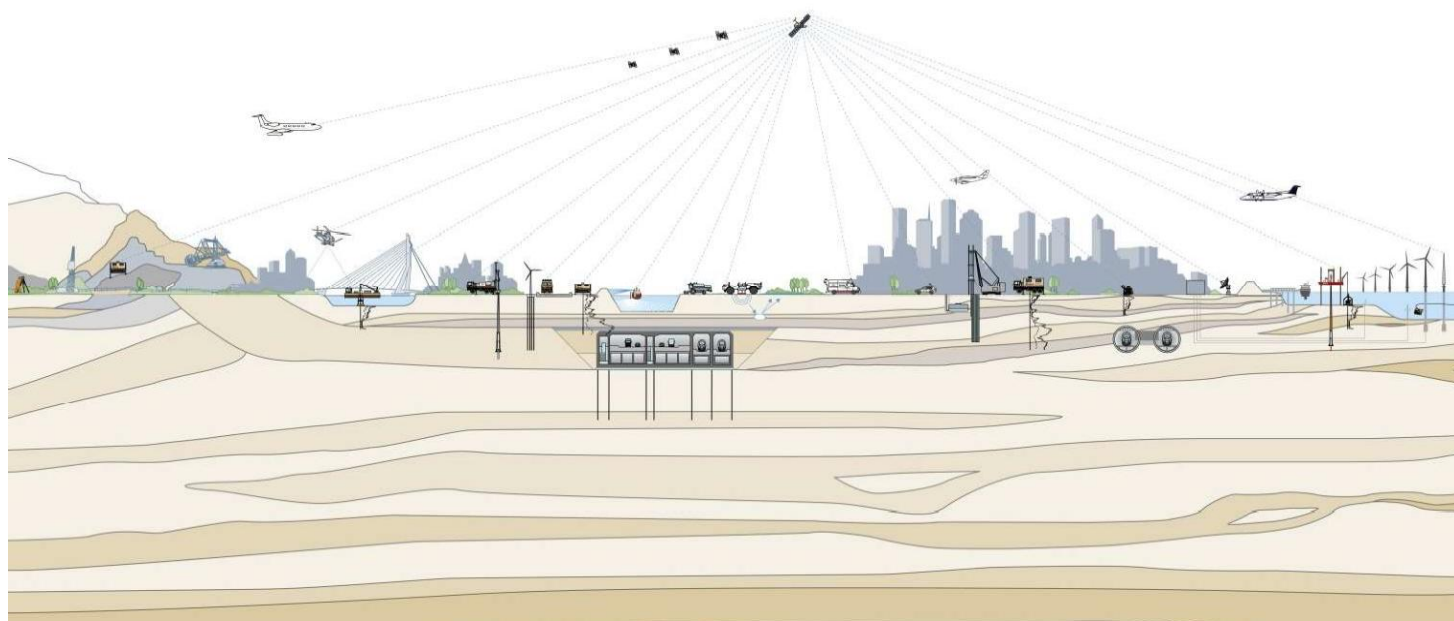
F. Kwartaalrapportage Q2 eerste veldtest – Fugro

2^e Kwartaalrapportage
POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3

Document Nr.: 1417-0042-141.R02

Versie: 1.0

Datum: 23 April 2020



2^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3



Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
Beleidsafdeling Water en Dijken
Postbus 599
4000 AN TIEL

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 31 70700

Projectleider A.D. Pool
Consultant Waterbouw

C. Voorbij-De Groot
Senior Projectleider Geomonitoring

Versiebeheer

1.0	Initiële versie	AVK	FNH	CVO	24-4-2020
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	3
1.1	Doelstelling	3
1.2	Scope	4
2.	PROJECTOMSCHRIJVING	5
3.	MUTATIE TESTVELD	7
3.1	Neerslag	7
4.	SENSOROVERZICHT	8
5.	MEETRESULTATEN EN ANALYSE	9
5.1	Meetresultaten	9
5.2	Analyses per cluster	10
5.2.1	Cluster A	10
5.2.2	Cluster B	11
5.2.3	Cluster C	11
5.2.4	Cluster D	12

BIJLAGEN**A. MEETRESULTATEN**

A.1	Cluster A
A.1.1	Waterspanning vs. Neerslag
A.1.2	Waterspanning vs. Luchtdruk
A.1.3	Waterspanning vs. Temperatuur
A.1.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
A.2	Cluster B
A.2.1	Waterspanning vs. Neerslag
A.2.2	Waterspanning vs. Luchtdruk
A.2.3	Waterspanning vs. Temperatuur
A.2.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
A.3	Cluster C
A.3.1	Waterspanning vs. Neerslag
A.3.2	Waterspanning vs. Luchtdruk
A.3.3	Waterspanning vs. Temperatuur
A.3.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
A.4	Cluster D
A.4.1	Waterspanning vs. Neerslag
A.4.2	Waterspanning vs. Luchtdruk
A.4.3	Waterspanning vs. Temperatuur
A.4.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil



1. INLEIDING

Waterspanningsmeters (hierna WSM's) worden toegepast om waterdrukken in de waterverzadigde bodem te meten. Waterspanningsmeters kunnen dat veel nauwkeuriger en vooral veel sneller dan peilbuizen, en al helemaal in slecht doorlatend cohesief en plastisch materiaal zoals klei en veen. In de risicobeheersing van grondwerk is waterspanning de enige indicator die het mogelijk maakt om in te grijpen voordat grondvervormingen en schade optreden (diverse publicaties Timo Sweickendiek). Ze worden daarom op grote schaal toegepast in dijkbouw en grondophogingen, ondanks dat het interpreteren van waterspanningsmeterdata niet altijd zo eenvoudig is als peilbuisdata. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd tot soms wel een kwart van de geïnstalleerde instrumenten niet alleen de waterspanning meet maar ook allerlei andere fenomenen. Een belangrijke oorzaak van verstoringen van waterspanningsmeetdata is gasvorming door bacteriële afbraak van organisch materiaal.

Om antwoord te geven op de belangrijkste vragen en het bieden van oplossingen is vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit onderzoek is gegund aan het consortium tussen Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **WSM+NL**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het beoogde resultaat van de ontwikkelingsfase is het bouwen van een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters.

In de Onderzoeksfase zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht:

- I. Laboratoriumonderzoek door Deltares waarbij het inzicht in de drijvende processen achter de gasvorming is verbeterd;
- II. Onderzoek door Fugro naar de werking van een gasfilter om gas uit een waterspanningsmeter te kunnen afvoeren door middel van een veldtest.

Het onderzoek van Fugro heeft geleid tot een aangepast gasfiltermateriaal dat naar verwachting het maatgevende gasdebiet kan afvoeren zonder actieve gasdrukverlaging in het filter. De rapportages over deze eerdere projectfasen bevatten veel aanvullende informatie.

1.1 Doelstelling

In de veldtest is een groot aantal instrumenten geplaatst op een locatie waarvan bekend is dat gasbelvorming daar verstoringen veroorzaakt. De resultaten van die veldtestperiode worden in deze rapportages behandeld. Het doel van de veldtest is het vergelijken van prestaties van verschillende waterspanningsmeters in een duurtest. Hiervoor worden de Fugro FWS2 hoge-



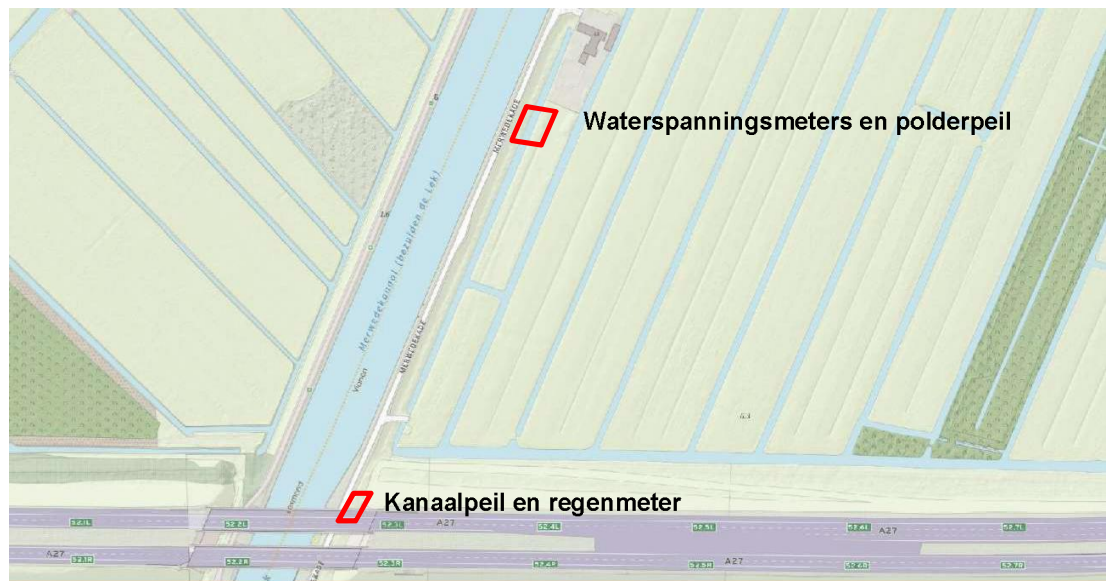
sterktevariant waterspanningsmeter van Fugro toegepast, uitgevoerd met en zonder gasfilter. Daarnaast wordt het meest gebruikte instrument ingezet dat wordt geleverd door Geopoint. Deze instrumenten en dataloggers worden geplaatst en beheerd door Wiertsema & Partners. Andere waterspanningsmeter leveranciers passen vergelijkbare materialen en voorkeuren toe. Deze zijn daarom niet opgenomen in deze veldtest.

1.2 Scope

Dit document betreft de 2^e kwartaalrapportage van de eerste veldtest. Hierin worden de meetresultaten van de tweede meetperiode van 13 weken van de sensoren van Fugro en Wiertsema & Partners beschreven. De eerste kwartaalrapportage heeft kenmerk 1417-0042-141.R02_Kwartaal 1.pdf

2. PROJECTOMSCHRIJVING

In de nabije omgeving van Merwedekade 18 te Vianen vinden veldtesten plaats ten behoeve van de ontwikkeling van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeter. Naast waterspanningsmeters is op locatie ondersteunende meetapparatuur geplaatst zoals 2 openwaterpunten en 1 regenmeter om de invloeden op gasvorming in kaart te brengen. Eén openwatermeetpunt is in het kanaal geplaatst en één openwatermeetpunt is geplaatst in de nabijgelegen sloot. Tot slot is er een regenmeter geplaatst nabij de projectlocatie. In onderstaande figuur is de situering van de projectlocatie weergegeven.



Figuur 2-1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo).



Figuur 2-2: Overzicht meetopstelling met beschermkokers en afrastering.



Figuur 2-3: Testveld waterspanningsmeters.

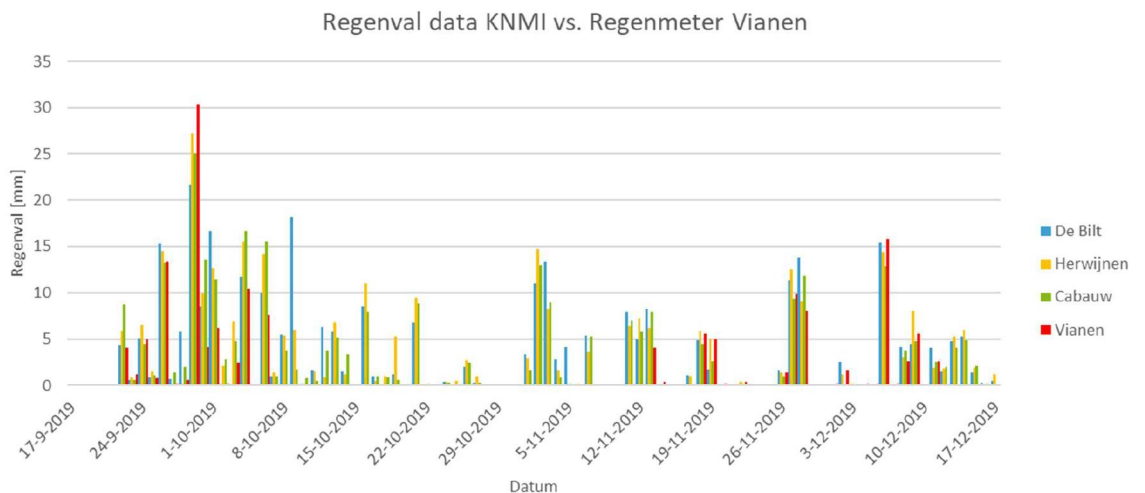


Figuur 2-4: Openwatermeetpunt kanaal en regenmeter

3. MUTATIE TESTVELD

3.1 Neerslag

De neerslag wordt met de lokale regenmeter geregistreerd met intervallen van 10 minuten. In de periode van 7 oktober t/m 13 november 2019 en 12 t/m 17 december 2019 is de regenmeter buiten werking geweest. Op 13 november 2019 is de regenmeter hersteld, en op 7 januari 2020 is de regenmeter opnieuw hersteld. Deze heeft sindsdien zonder problemen gefunctioneerd. Om de neerslag te kunnen meenemen in de analyse is ervoor gekozen om etmaalneerslagdata te gebruiken van drie nabij gelegen KNMI stations: De Bilt, Herwijnen en Cabauw (Figuur 3-1) voor de periodes dat de regenmeter niet heeft gefunctioneerd. De testlocatie in Vianen ligt te midden van bovengenoemde KNMI stations. Hierom is ervoor gekozen om de missende regenval data te compenseren met een gemiddelde regenval, welke is berekend aan de hand van de drie nabijgelegen KNMI stations.



Figuur 3-1: Etmaalneerslagdata verkregen met de regenmeter vergeleken met neerslagdata verkregen van de nabijgelegen KNMI stations: De Bilt, Herwijnen en Cabauw.

2^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3



4. SENSOROVERZICHT

In tabel 4-1 staan gegevens vermeld over de geplaatste sensoren in de twee testvelden.

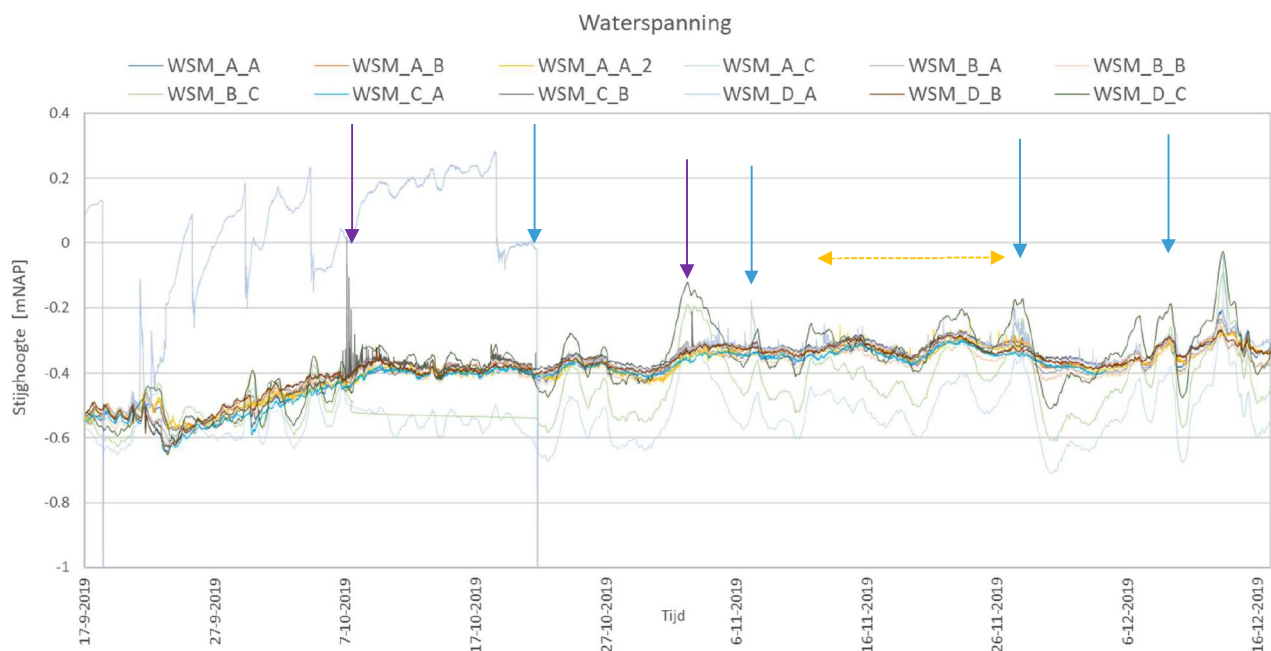
Tabel 4-1: Overzicht sensoren

Locatie	Sensornaam	Sensor type	Coördinaten (RD)		mv	Sensorniveau	Start
			X [m]	Y [m]	[m NAP]	[m NAP]	[d-m-j]
Cluster-A	WSM_A-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.79	441071.04	1.01	-1.87	17-6-2019
	WSM_A-B	Fugro WSM standaard	132295.81	441071.34	1.09	-1.84	17-6-2019
	WSM_A-A-2	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.67	441070.97	1.02	-2.00	17-8-2019
Cluster-B	WSM_B-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132296.14	441071.89	1.02	-1.76	17-6-2019
	WSM_B-B	Fugro WSM standaard	132296.18	441072.13	1.10	-1.69	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132294.96	441071.34	1.38	-1.63	17-6-2019
	WSM_C-B	Fugro WSM standaard	132294.98	441071.67	1.40	-1.62	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.25	441072.14	1.42	-1.64	17-6-2019
	WSM_D-B	Fugro WSM standaard	132295.33	441072.5	1.42	-1.58	17-6-2019
Cluster-A	WSM_A-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.967	441071.113	0.85	-1.95	17-6-2019
Cluster-B	WSM_B-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132296.349	441071.881	0.86	-1.74	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.184	441071.445	1.25	-1.65	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.444	441072.163	1.35	-1.45	17-6-2019
Sloot	PB Slootpeil	OWP	132303.52	441067.35	-0.25 tot 0.75	-0.18	17-6-2019
Kanaal	PB Kanaal	OWP	132209.55	440896.31	0.60-1.60	-1.22	17-6-2019
open water meetpunt	LK070 MWDK	Regenmeter	132213	440896	n.v.t.	2.24	17-6-2019
Cluster B	Temperatuursensor maaiveld	Temperatuursensor	132296.38	441072.33	1.10	1.10	12-9-2019

5. MEETRESULTATEN EN ANALYSE

5.1 Meetresultaten

In Figuur 5-1 zijn de meetresultaten van alle waterspanningsmeters samen weergegeven -A en -B zijn Fugro FWS2 sensoren zonder respectievelijk met gasfilter, -C sensoren zijn Geopoint. In bijlage A worden de waterspanningen weergegeven per cluster. Binnen elke cluster is de waterspanning uitgezet tegenover de neerslag, luchtdruk, temperatuur en het waterpeil in de sloot en het kanaal.



Figuur 5-1: Stijghoogte uitgedrukt in m tov NAP gedurende de meetperiode 17 september tot 17 december 2019.

In figuur 5-1 zijn de opmerkelijke momenten gemarkeerd in de kleur van de bijpassende reeks. Deze worden in de rapportagetekst hieronder per gebeurtenis besproken. Daarbij wordt voortgeborduurd op hetgeen is vermeld in de voorgaande kwartaalrapportage.

Het algemene beeld is dat :

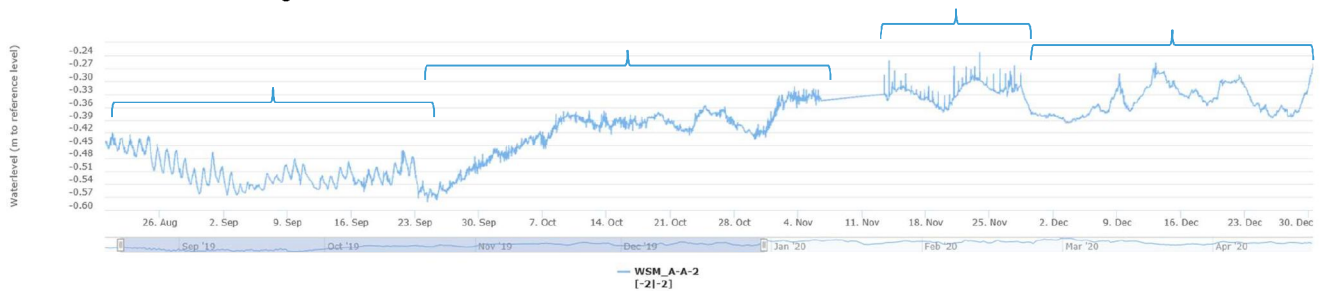
- vrijwel alle sensoren permanent data leveren;
- het kanaalpeil loopt gestaag op tot boven NAP+1 m, en het polderpeil wordt half oktober met 10 cm verlaagd naar NAP -0.5 m;
- dat de bodemtemperatuur half oktober zijn maximale waarde bereikt van 15.5 a 16.5°C;
- dat de neerslag in het betreffende kwartaal beperkt was afgezien van de 31mm bui van eind september en een bui van 16 mm op de dag van Sinterklaas.
- Alle meetreeksen vertonen nog variatie door luchtdrukverschillen waarbij opvalt dat deze correlatie 3 tot 4 keer zo sterk is in de reeksen afkomstig van Geopoints, in vergelijking met die zichtbaar is in de Fugro WSM's. De oorzaak kan liggen in het gebruik van niet lokaal gemeten luchtdruk waardoor over correctie mogelijk is.

5.2 Analyses per cluster

5.2.1 Cluster A

WSM A-A-2

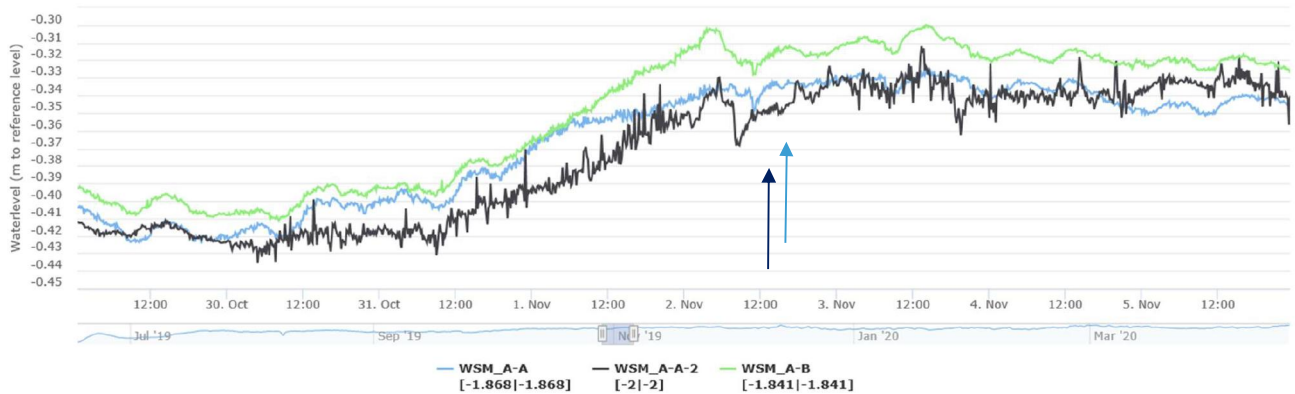
De meetreeks van de bijgeplaatste sensor A-A-2 (geel) levert begin november gedurende een week geen data.



Figuur 5-2: WSM A-A-2, waterspanning uitgedrukt in stijghoogte [M tov NAP].

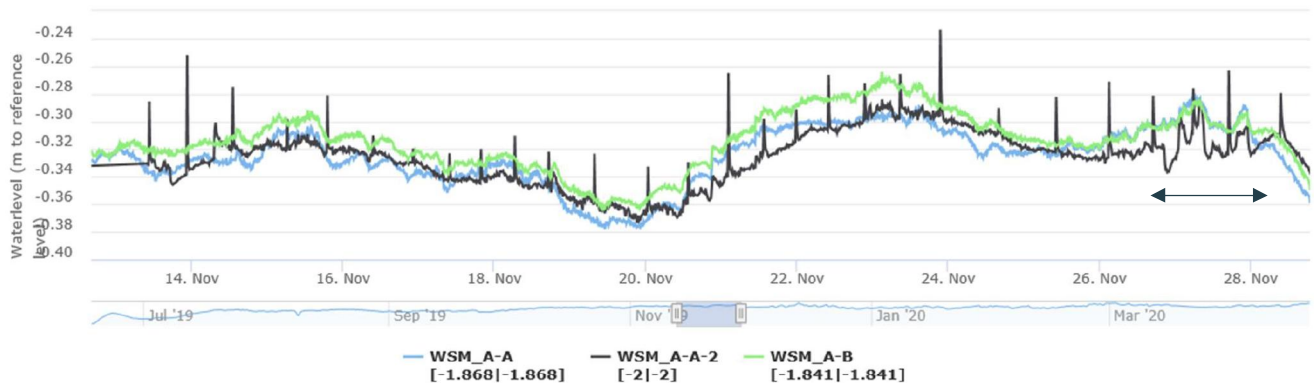
De variaties in de reeks kunnen op het oog ingedeeld worden omdat er duidelijk van elkaar te onderscheiden perioden te zien zijn. Deze perioden zijn weergegeven in figuur 5-2, de perioden vallen ruwweg gedurende:

- A. September; etmaalschommelingen temperatuur gecorreleerd, maar verder zeer lage ruis;
- B. Oktober (figuur 5-2); bijna totale afwezigheid van etmaalschommelingen, en veel hoger ruisniveau;
- C. November (figuur 5-3); nervositeit van oktober is vervangen door 2 pieken per etmaal;
- D. December; schijnbaar perfect rustige waterspanning, passend bij het seizoen.



Figuur 3-3: Detail reeks WSM A-A-2 gedurende periode B, witte ruis van enkele cm's waterkolom.

De nervositeit van reeks A-A-2 lijkt weinig structuur te bevatten maar maakt de interpretatie van veranderingen erg dubieus. Er zijn vele opeenvolgende waarnemingen nodig om een beeld te krijgen van de onderliggende trend in waterspanning. De met pijlen gemarkeerde periode lijkt wel een echte gebeurtenis te markeren omdat de metingen enige tijd op hetzelfde lage niveau liggen om vervolgens op te lopen. De amplitude van de ruis lijkt in de uren daarna ook minder uitgesproken om na 3 november weer los te gaan.



Figuur 5-4: Periode C van reeks A-A-2, pieken in WSM meetreeks als gevolg van spanningsverlies van de sensor bij het verzenden van meetdata.

De pieken in periode C doen zich 2 keer per dag voor maar op verschillende tijdstippen. Dat wijst op het samenvallen van een meting vlak na, of tijdens een dataverzending (tijdelijk lage batterijspanning) waardoor de meting een systematische fout meekrijgt. Dit beeld is na 28 november weer verdwenen en het wordt nagezocht of hier inderdaad sprake is van een meetfout.

Op 27 november is in WSM A-A-2 een flinke onregelmatigheid te zien in de reeks. Deze is niet ongestructureerd zoals de ruis in periode B, maar heeft wel dezelfde amplitude van ruim 3 cm wk. Geen van de verklarende omgevingsvariabelen hangt duidelijk (op het oog) samen met het ontstaan of verdwijnen van deze kortdurende onregelmatigheid.

In vergelijking met de witte ruis is dit nog lastiger te interpreteren omdat er een veelvoud van herhalingen nodig is voordat iets met zekerheid over de onderliggende trend gezegd kan worden. Bij de ruis van periode B zou een lopend gemiddelde van 5-10 intervallen (1 a 2 uur) genoeg zijn, maar hier zijn toch zeker tientallen intervallen nodig (4-6 uur) om een gedegen conclusie te kunnen trekken.

5.2.2 Cluster B

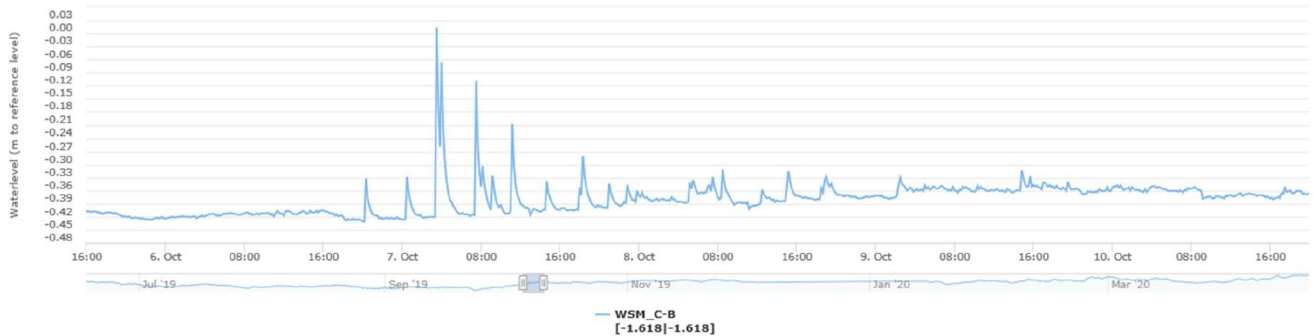
De waterspanningsmeetreeksen van drie sensoren B-A, B-B en B-C vertonen hetzelfde beeld als in de zomerperiode.

Over de reeks B-C valt op dat er een data gat is in de tweede week van oktober. Geen van de sensoren vertoont tekenen van gasbeldruk, ruis of andere verstoringen zoals die zijn besproken in cluster A.

5.2.3 Cluster C

Fugro WSM C_A en C_B hebben elke dag gemeten tot aan 4 december 2019.

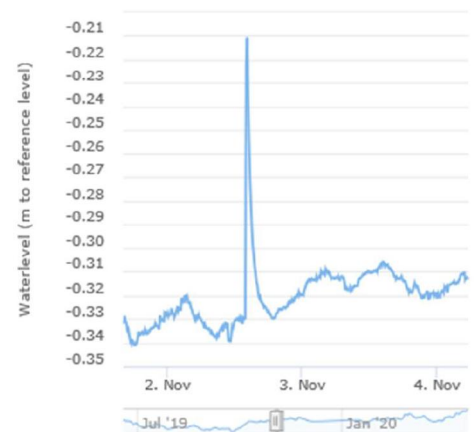
Sensor C-B heeft vanaf 7 oktober een sterke omhooggerichte verstoring waargenomen. Deze is in de onderstaande figuur in detail weergegeven.



Figuur 5-5: Verstoring 7 oktober WSM C-B.

De metingen zijn continue en vertonen geen ruis. De pieken verlopen zoals je zou verwachten van een uit de diepte omhoog geperste gasbel die geleidelijk bodemwater verdringt. De piek bereikt een waarde van 4kPa t.o.v. de eerder gemeten rustig fluctuerende druk van -0.42 mNAP. In de uitdovende periode vanaf 9 oktober lijkt het drukniveau op een iets hoger niveau te stabiliseren en weer te verdwijnen op 9 oktober. Als de drukpieken inderdaad worden veroorzaakt door bellen zijn het bellen buiten het instrument, welke zich toevallig in de buurt van de sensor bevinden.

De registratie door WSM C-B van omhooggerichte pieken in oktober volgt op de omlaag gerichte pieken die eerder in kwartaalrapportage 1 zijn beschreven. De cluster van 7 oktober is zo op het oog niet te correleren met een lage luchtdruk of neerslag gebeurtenis. Dat is wel het geval met de omhooggerichte enkele piek op 2 november (figuur 5-6). De figuur hiernaast laat deze drukpiek van 1 kPa goed zien, en ook in de bijlage met luchtdruk is die goed herkenbaar.



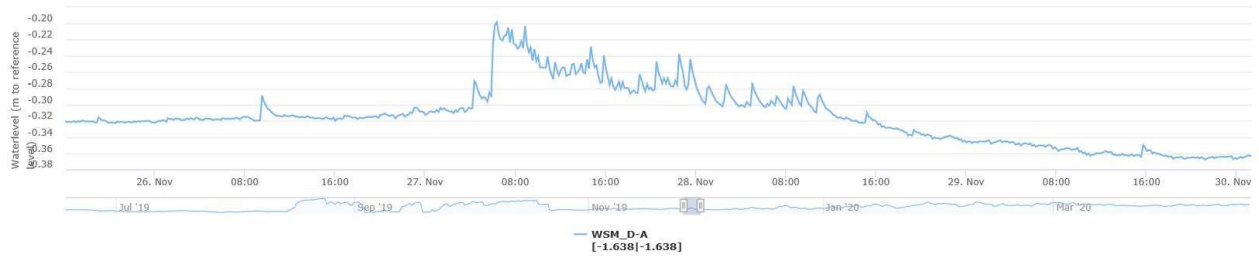
Geen van de WSM-reeksen vertoont los van dat minimale hogere drukniveau op 9 oktober sporen van gasbeldruk in de sensor.

Figuur 5-6: WSM C-B, begin november.

5.2.4 Cluster D

Sensor D-A, laat al in het eerste kwartaal een sterke nervositeit zien waardoor de reeks onbruikbaar is voor risicomanagementvraagstukken, tenzij interesse is in de werkelijk in de bodem opgebouwde druk onder invloed van gasbellen.

De zaagtandvormige patronen (die in de zomer pas na de piek-daling fase ontstonden) wijzen op ventielwerking onder invloed van gasbeldruk. Deze patronen werden gestopt door de vacuümbehandelingen, waarna pas vanaf 22 oktober rust komt in de data. Vanaf 2 november ontstaan weer omhooggerichte fase 1 pieken waarvan de meest markante ontstaat op 7 november. Ook eind november is er een periode waarin een uitbraak van pieken ontstond met een vrijwel ontbreken van witte ruis. Hieronder is de gebeurtenis die op 27-28 november plaats vond in detail weergegeven.



Figuur 5-7: WSM D-A gebeurtenis 27-28 november.

De opbouw van druk na de eerste uitbraak en het blijvend verhoogde drukniveau is verstorend en lastig te hanteren in een risicomanagementsituatie. De druk is net als in alle andere metingen van D-A wel degelijk een correcte weergave van de totaal druk. Helaas is het filter niet in staat om bodemgas dat eventueel in de omgeving aanwezig is af te voeren.

In de herfst is de bodem temperatuur gedaald waardoor ook een afname van gasproductie te verwachten is. De piekdrukgebeurtenissen lijken in december uit te blijven totdat er een laatste piek van 2 kPa ontstaat op 13 december. Vooral deze laatste piek lijkt getriggerd te worden door een passerend lage drukgebied met een luchtdruk van ongeveer 975 mBar en eventueel versterkt door de bijbehorende neerslag. Ook eind november is er sprake van een lage drukgebied maar minder diep. In minder mate is de luchtdrukminimumwaarde wel terug te vinden in een versterking van de in D-A geregistreerde druk, in alle perioden en bij de fase 1 en fase 2 verstoringen. De bijlage met waterspanning vs. luchtdruk geeft daarvoor een mooi overzicht.



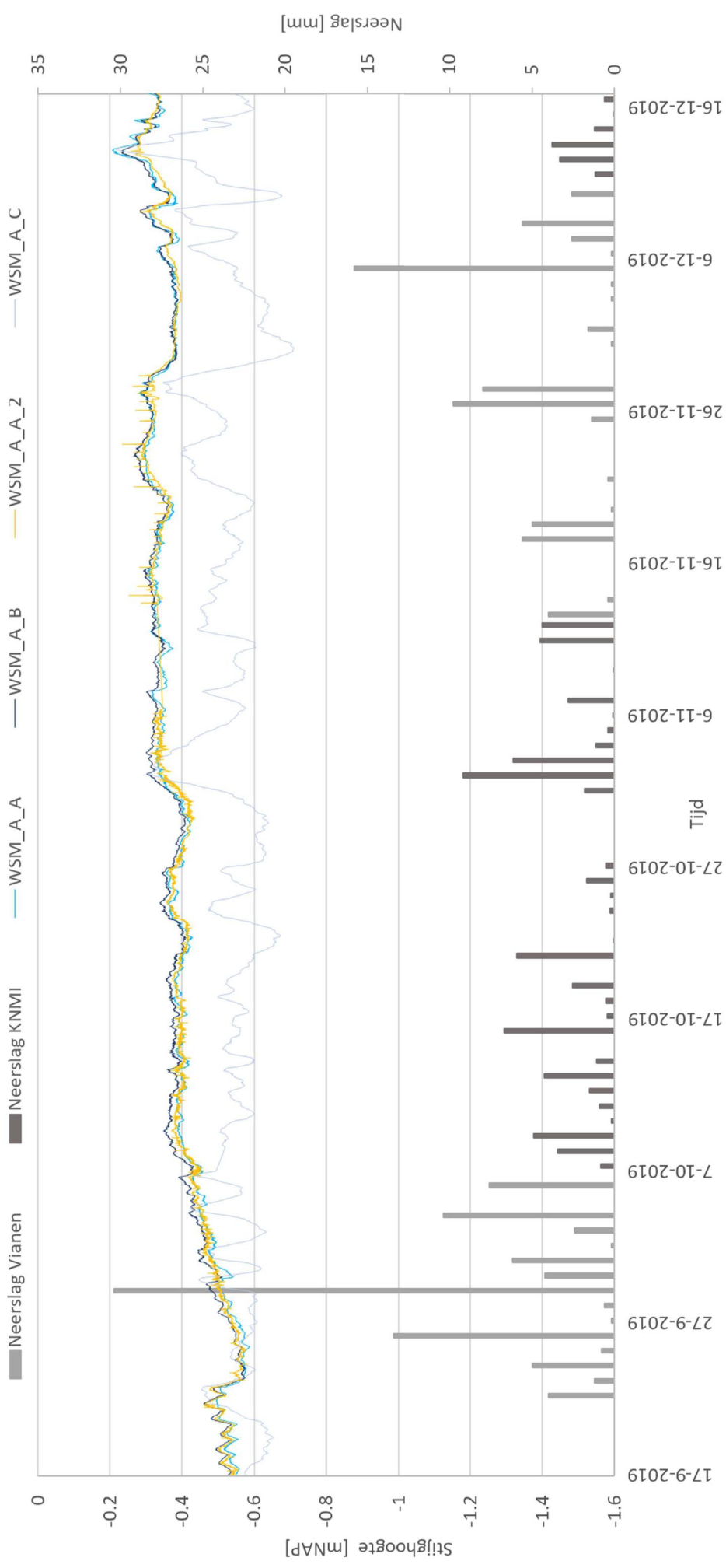
Bijlagen

A.1 Cluster A

A.1.1 Waterspanning vs. Neerslag

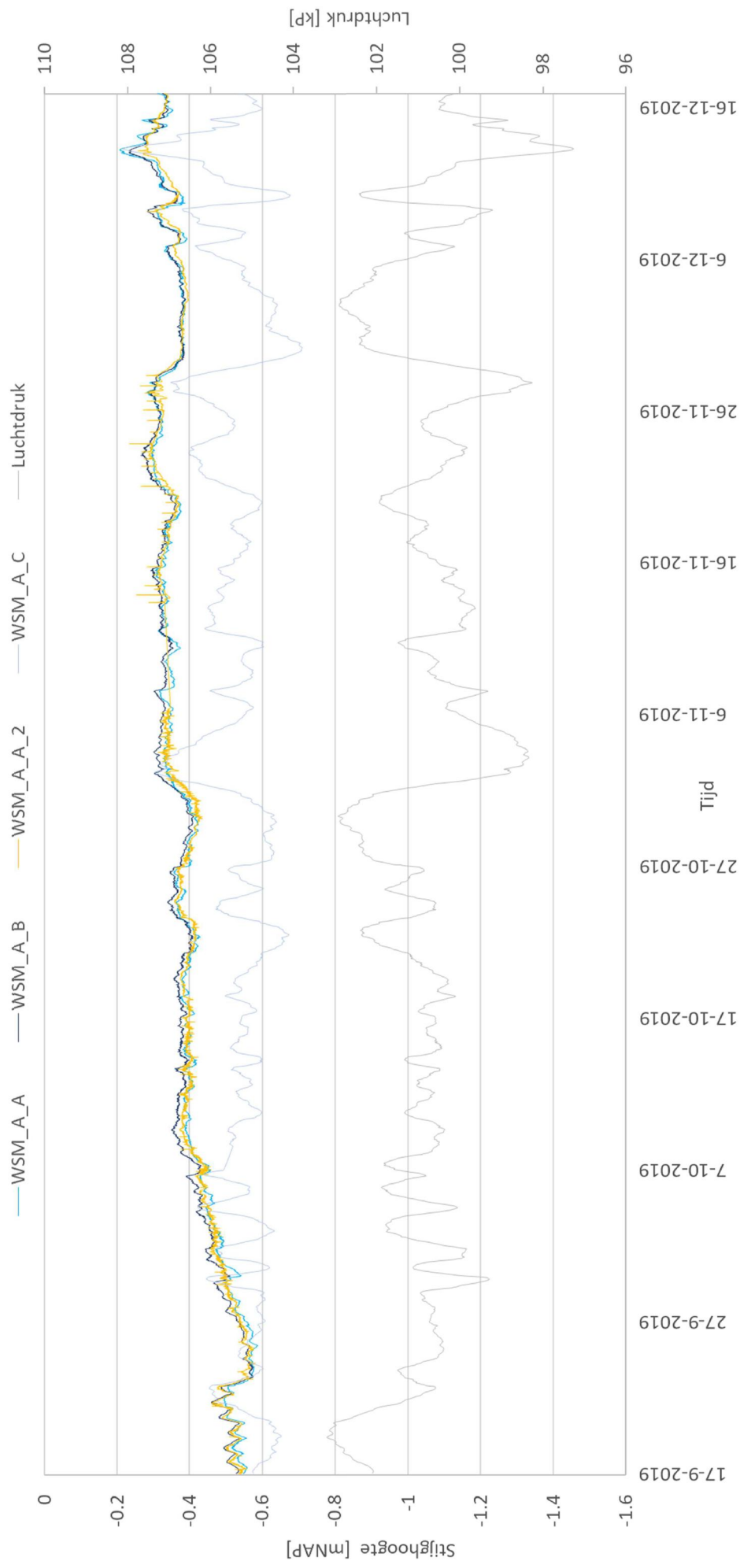
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De waterspanning is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

Cluster A: Waterspanning vs. Neerslag



A.1.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Bilt.

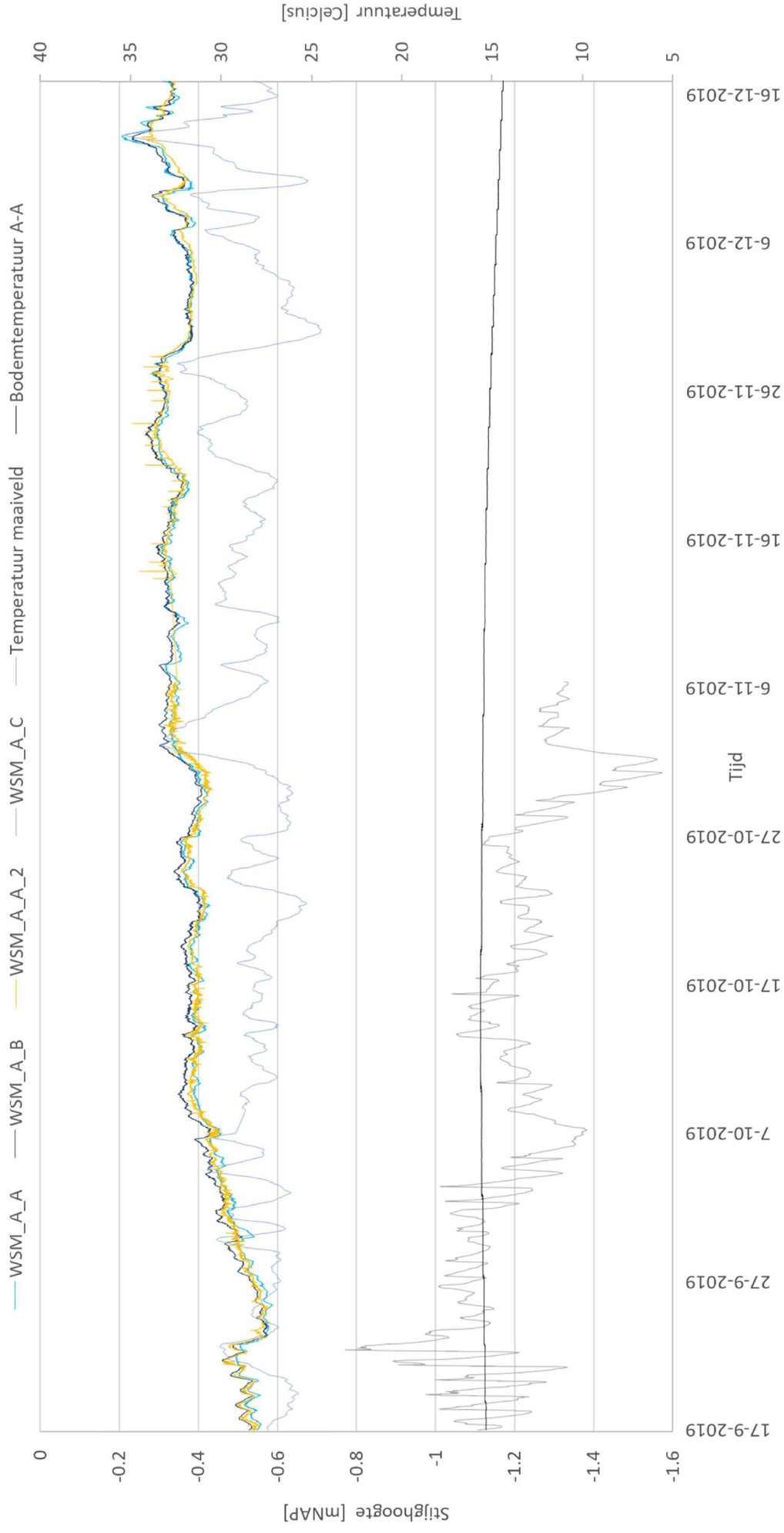
Cluster A: Waterspanning vs. luchtdruk



A.1.4 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster A en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, waardoor die voor de rest van het tweede kwartaal geen data meer heeft kunnen geven.

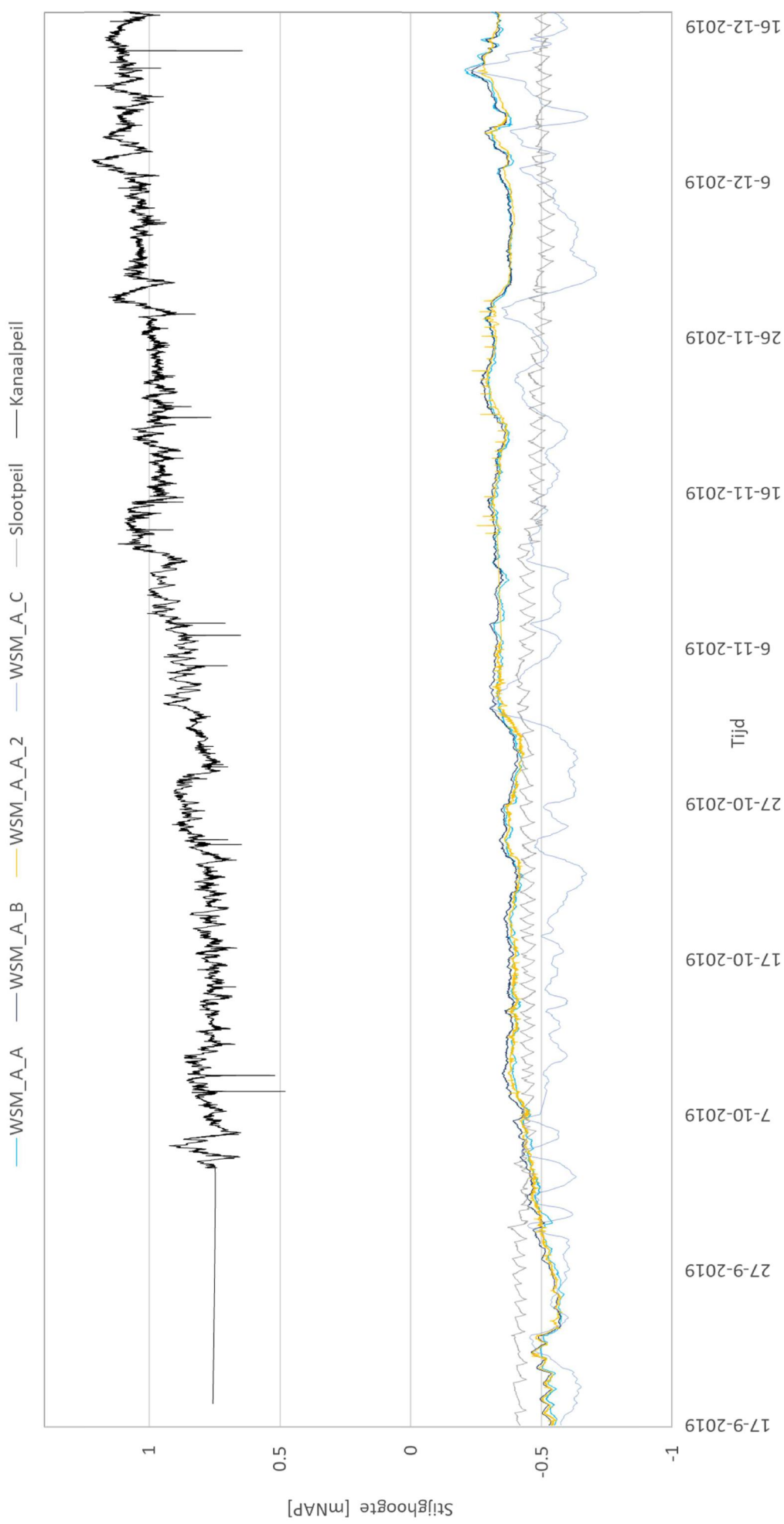
Cluster A: Waterspanning vs. Temperatuur



A.1.5 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster A: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

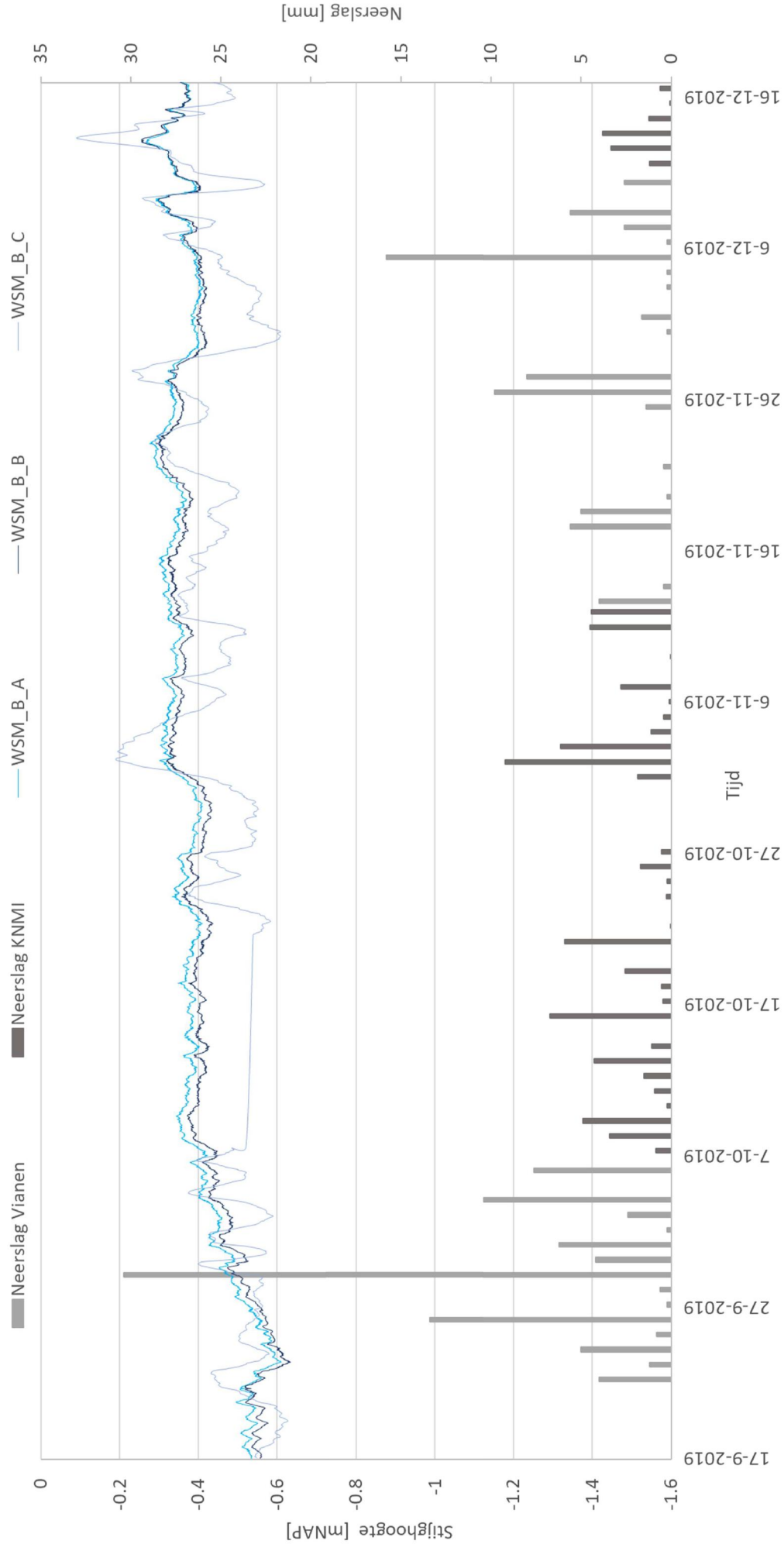


A.2 Cluster B

A.2.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

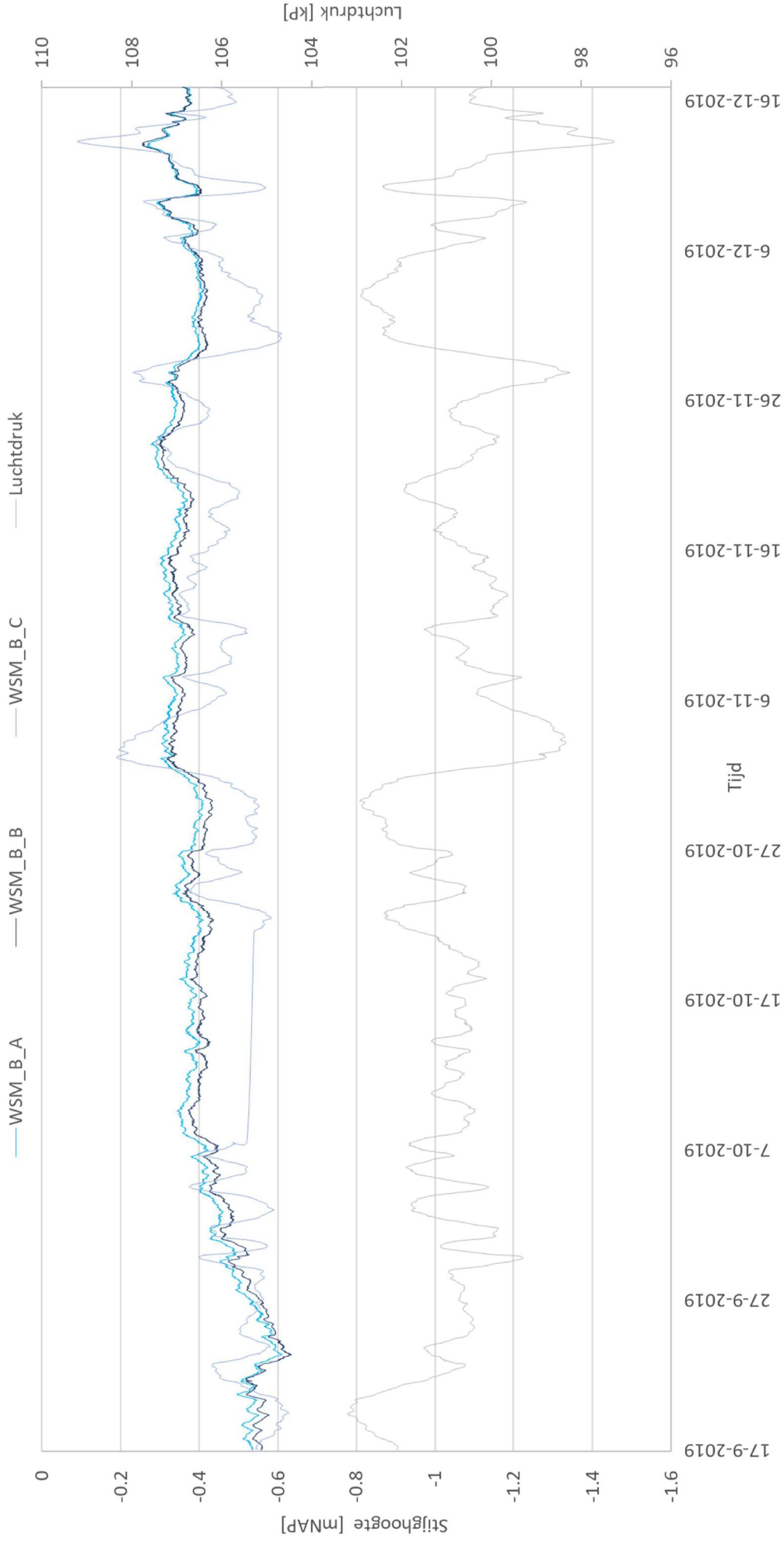
Cluster B: Waterspanning vs. Neerslag



A.2.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

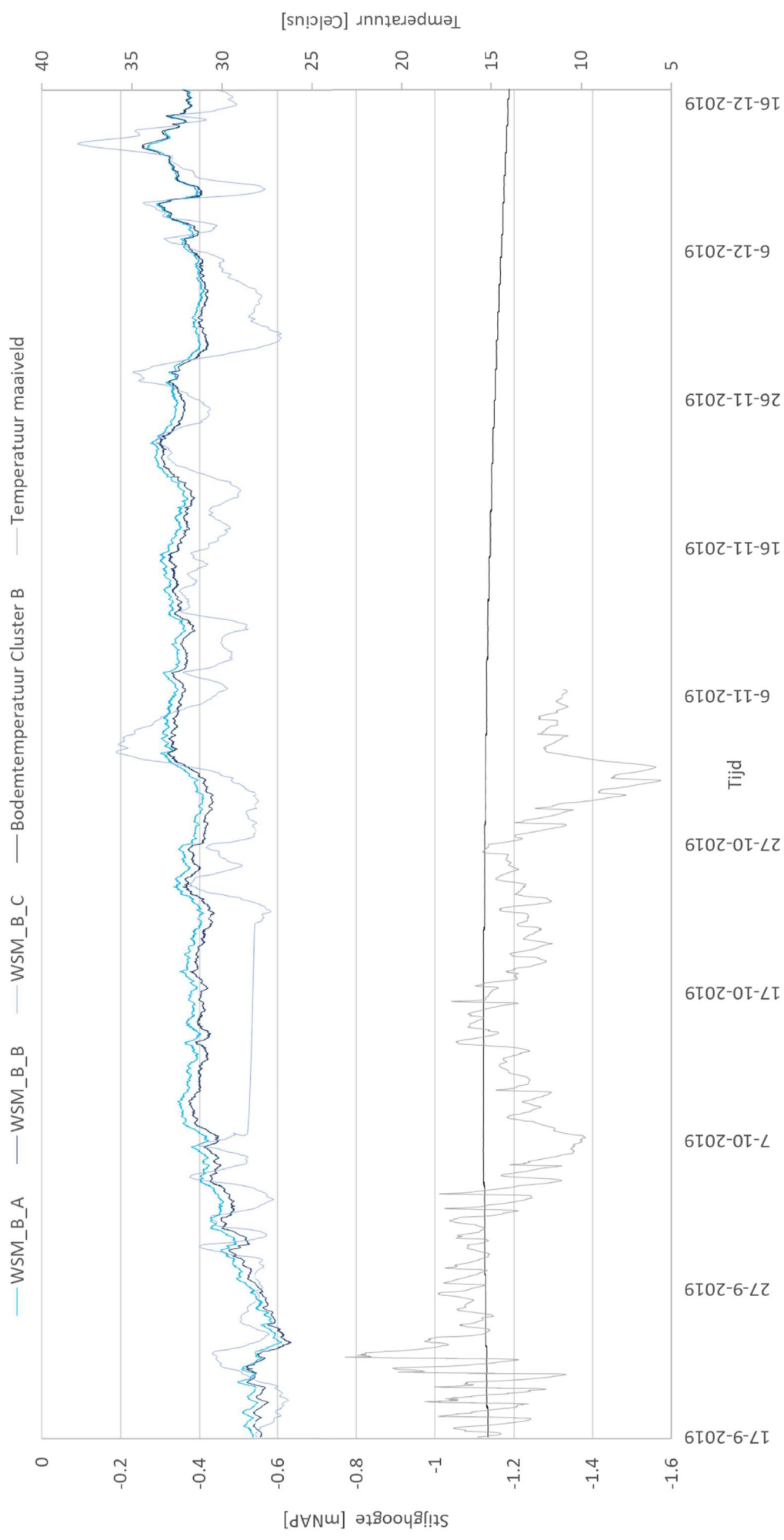
Cluster B: Waterspanning vs. luchtdruk



A.2.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster B en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, waardoor die voor de rest van het tweede kwartaal geen data meer heeft kunnen geven.

Cluster B: Waterspanning vs. Temperatuur

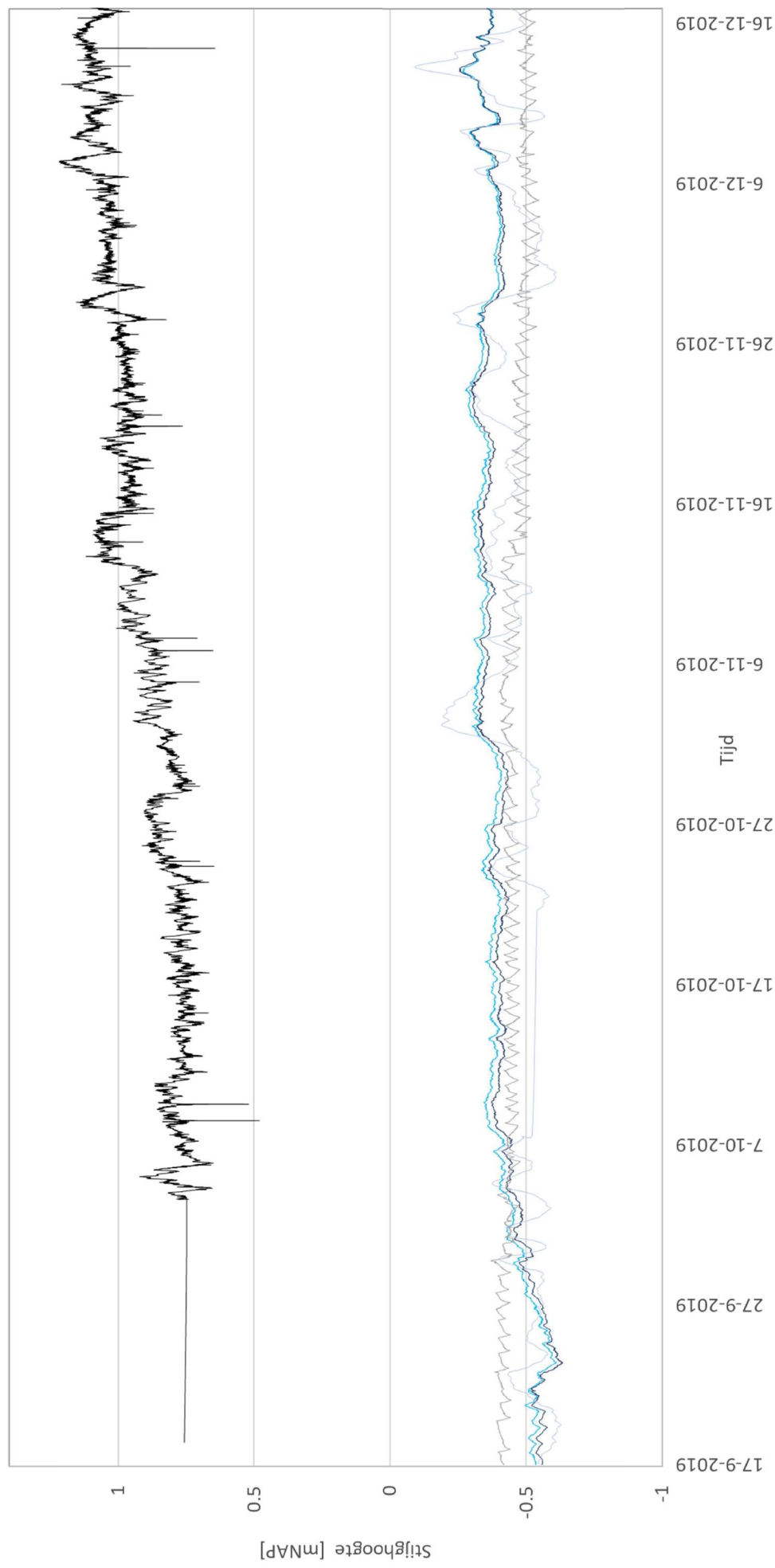


A.2.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster B: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

— WSM_B_A — WSM_B_B — WSM_B_C — Slootpeil — Kanaalpeil

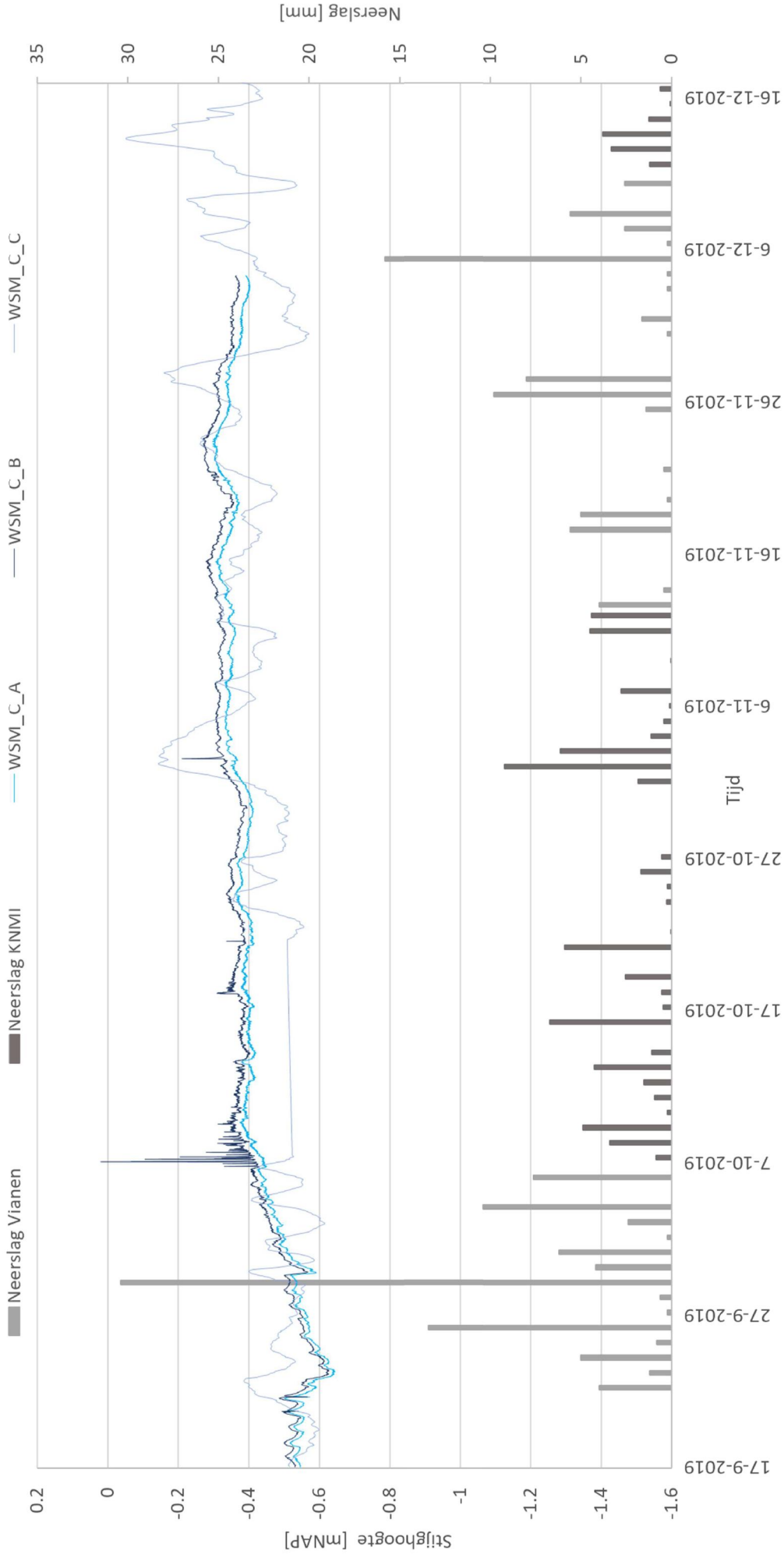


B.3 WSM cluster C

B.3.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter. De waterspanningsmeters WSM C B en WSM C C zijn op 4-12-2019 kapot gegaan. Hierdoor hebben zij voor de rest van het tweede kwartaal geen waterstand kunnen meten.

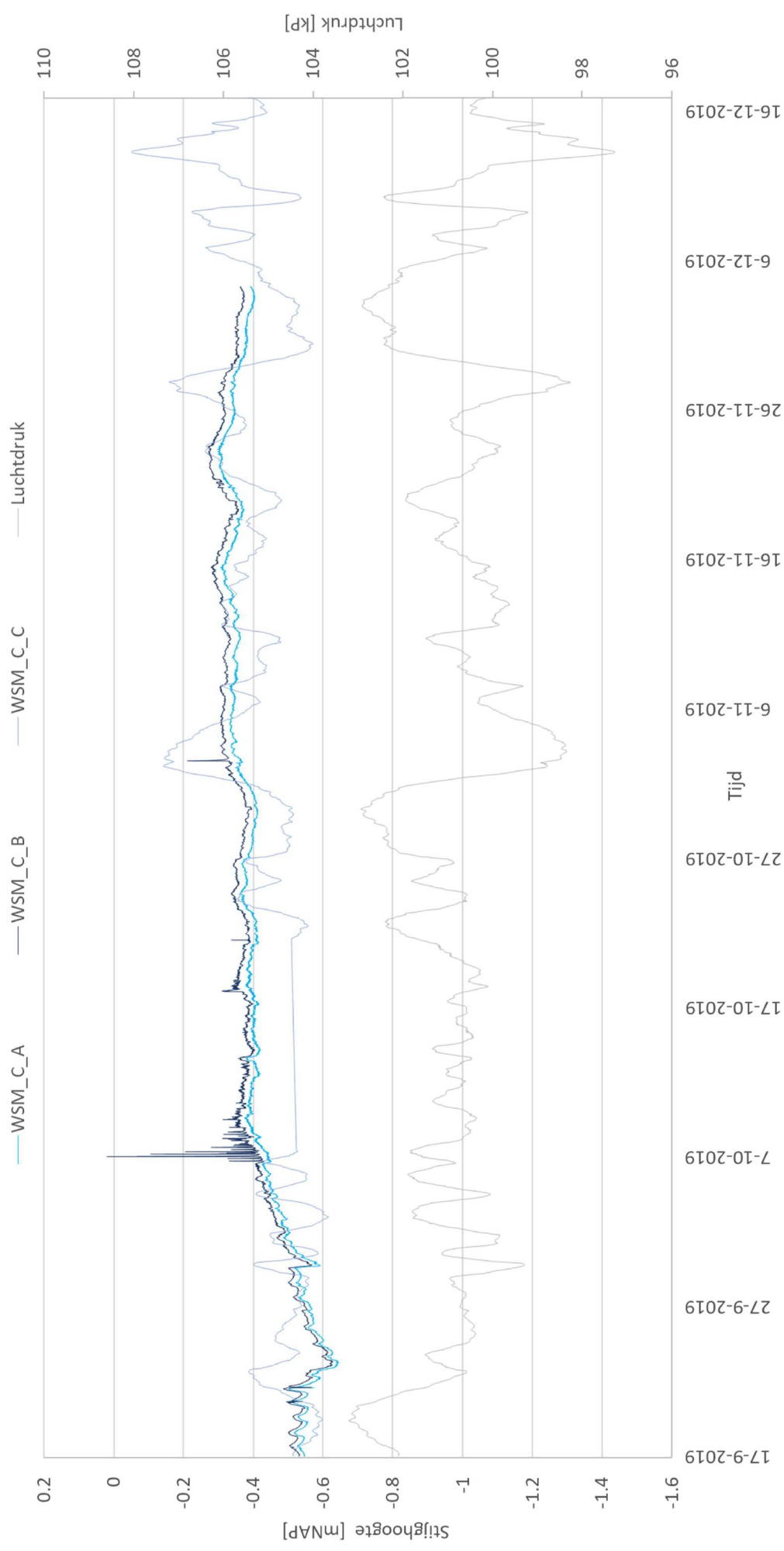
Cluster C: Waterspanning vs. Neerslag



B.3.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit. De waterspanningsmeters WSM_C_B en WSM_C_C zijn op 4-12-2019 kapot gegaan. Hierdoor hebben zij voor de rest van het tweede kwartaal geen waterspanning kunnen meten.

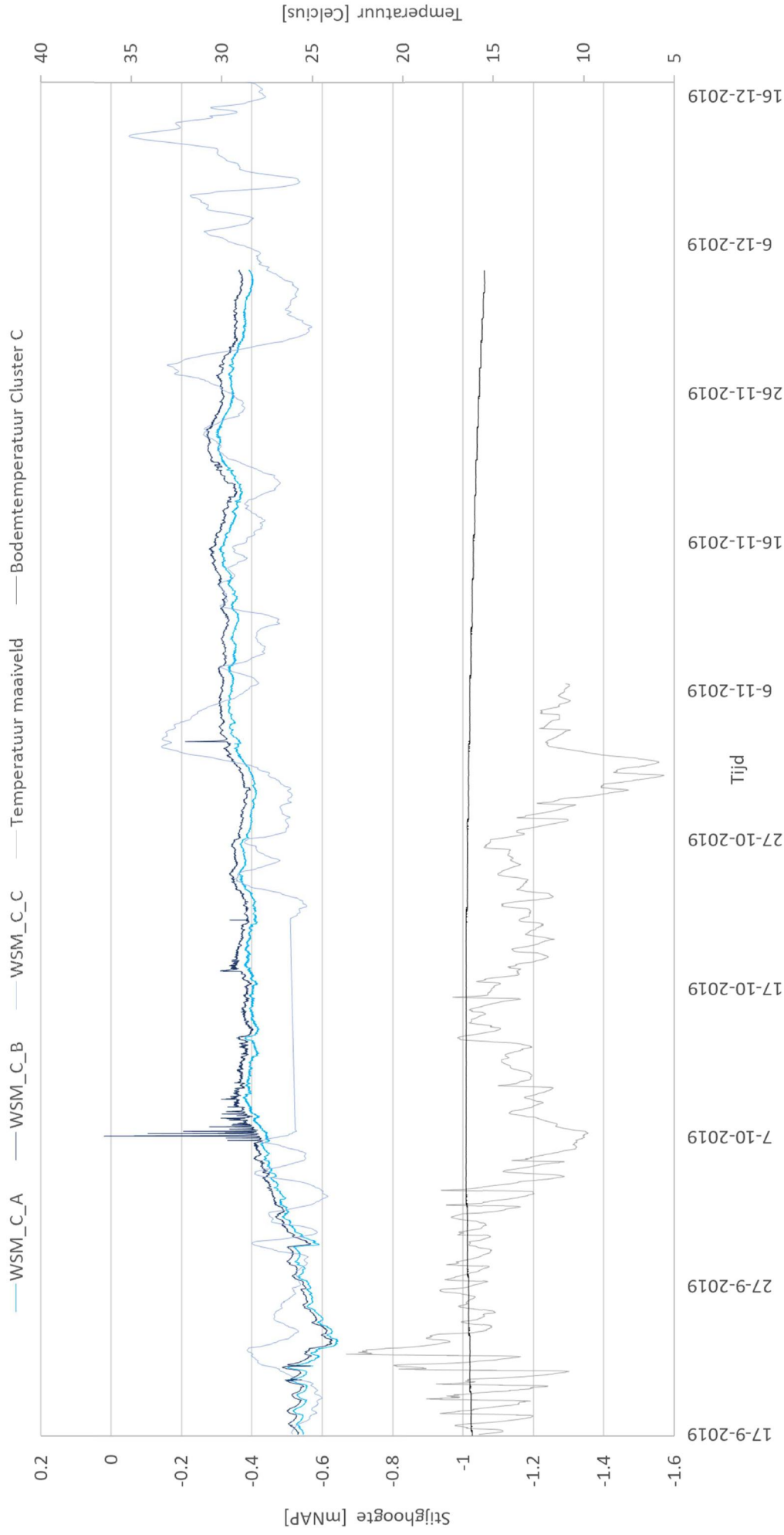
Cluster C: Waterspanning vs. luchtdruk



B.3.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster C en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, waardoor die voor de rest van het tweede kwartaal geen data meer heeft kunnen geven. De waterspanningsmeters WSM_C_B en WSM_C_C zijn op 4-12-2019 kapot gegaan. Hierdoor hebben zij voor de rest van het tweede kwartaal geen waterstand kunnen meten.

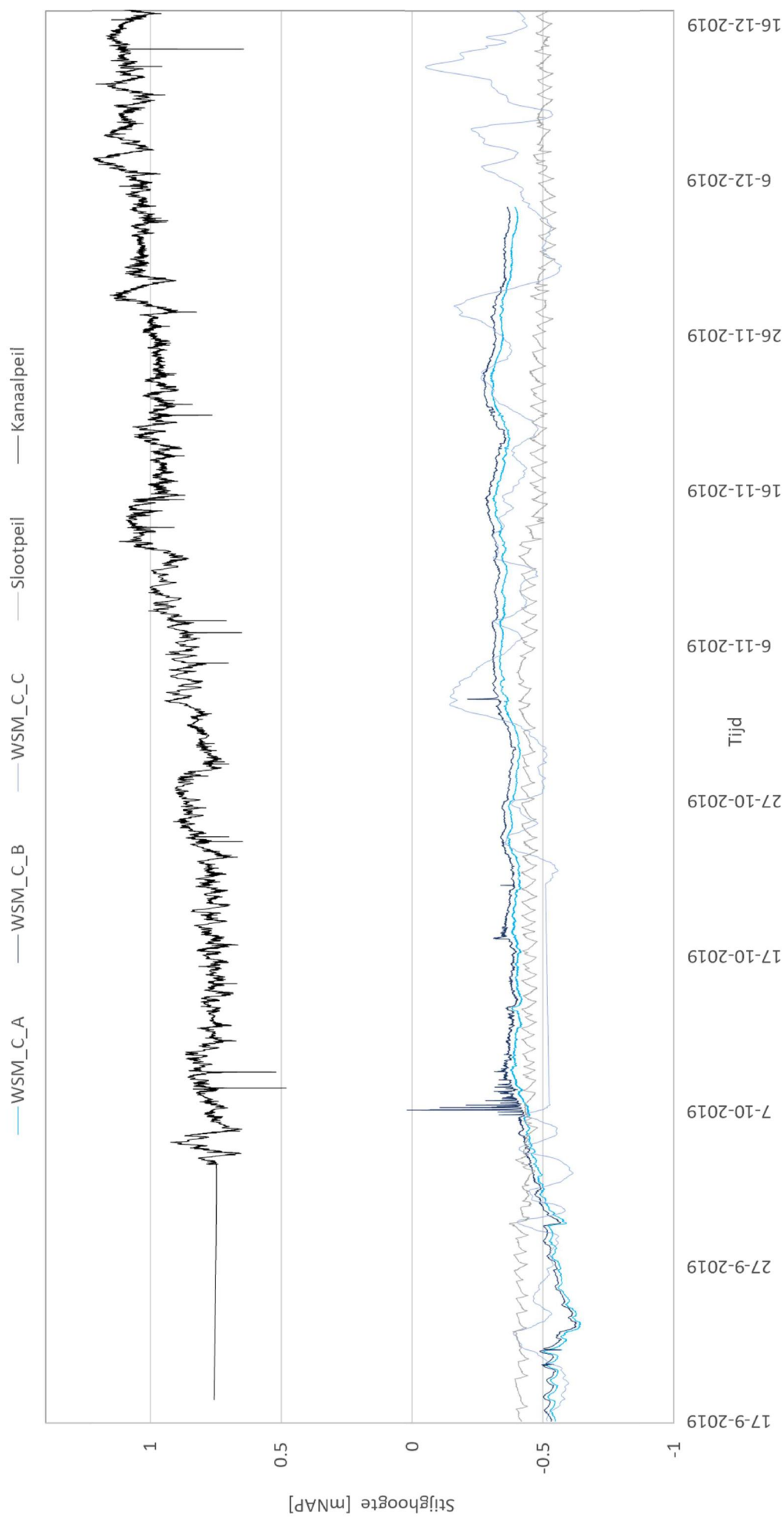
Cluster C: Waterspanning vs. Temperatuur



B.3.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot. De waterspanningsmeters WSM_C_B en WSM_C_C zijn op 4-12-2019 kapot gegaan. Hierdoor hebben zij voor de rest van het tweede kwartaal geen waterstand kunnen meten.

Cluster C: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

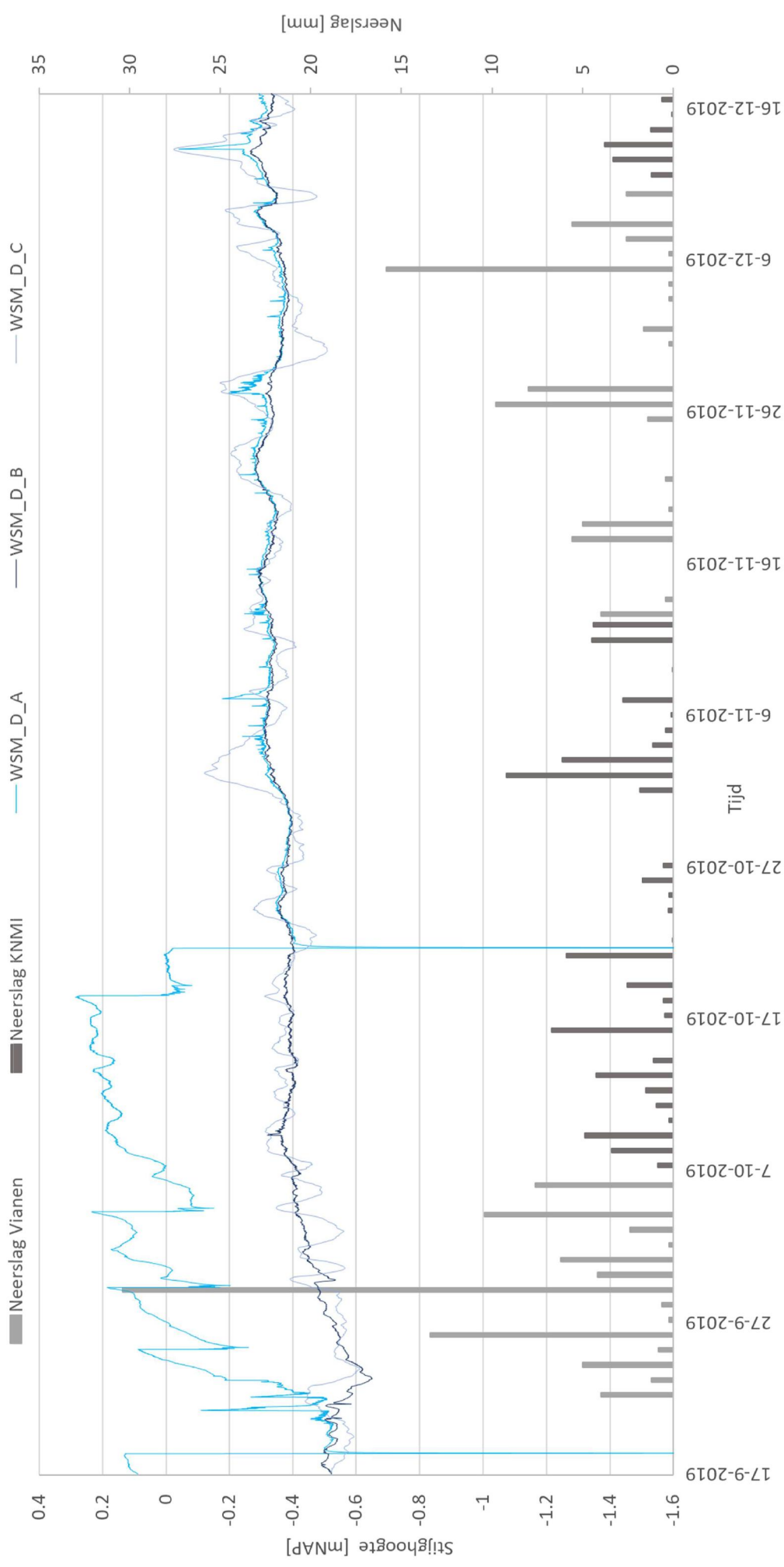


B.4 Cluster D

B.4.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

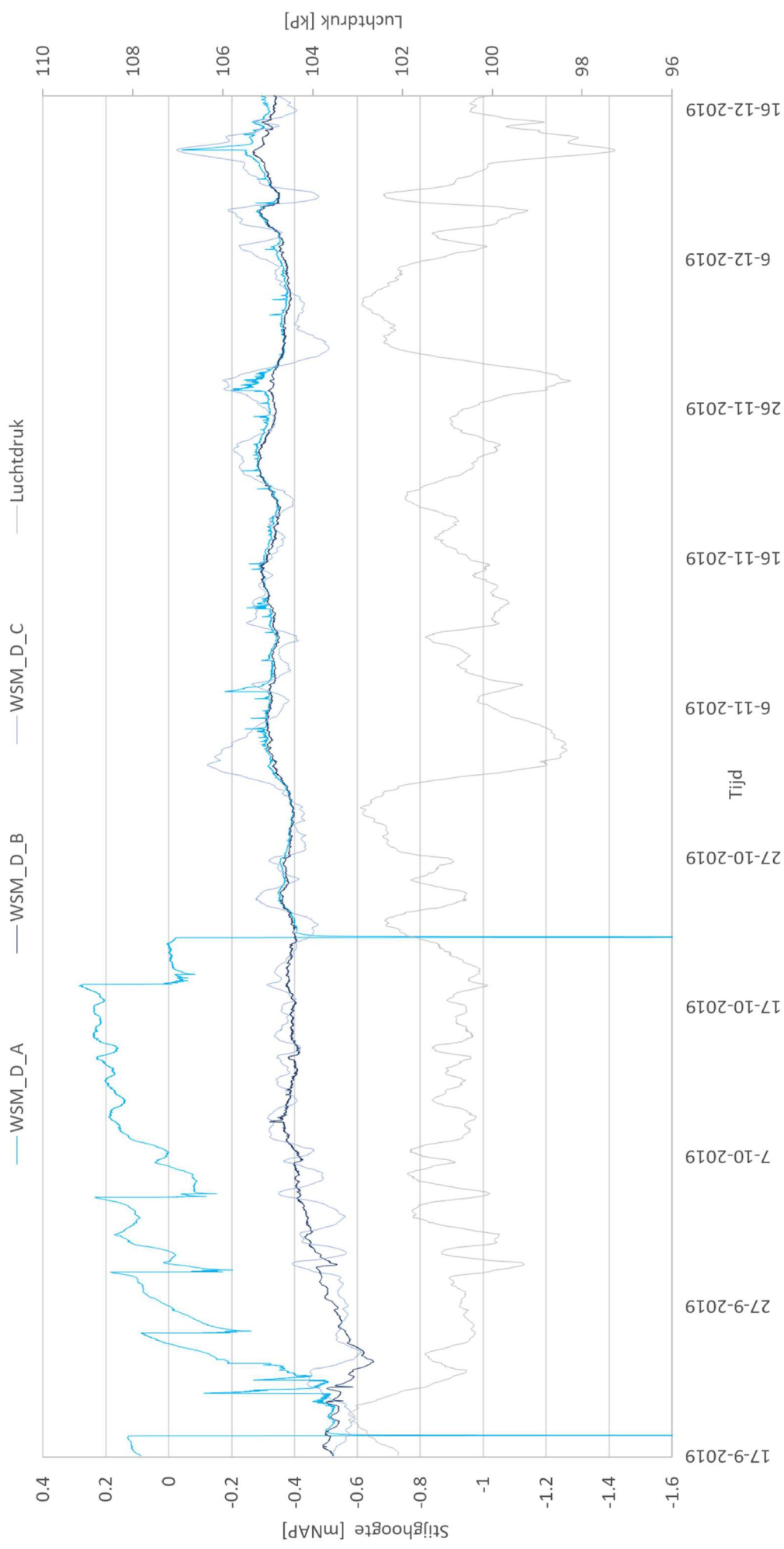
Cluster D: Waterspanning vs. Neerslag



B.4.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

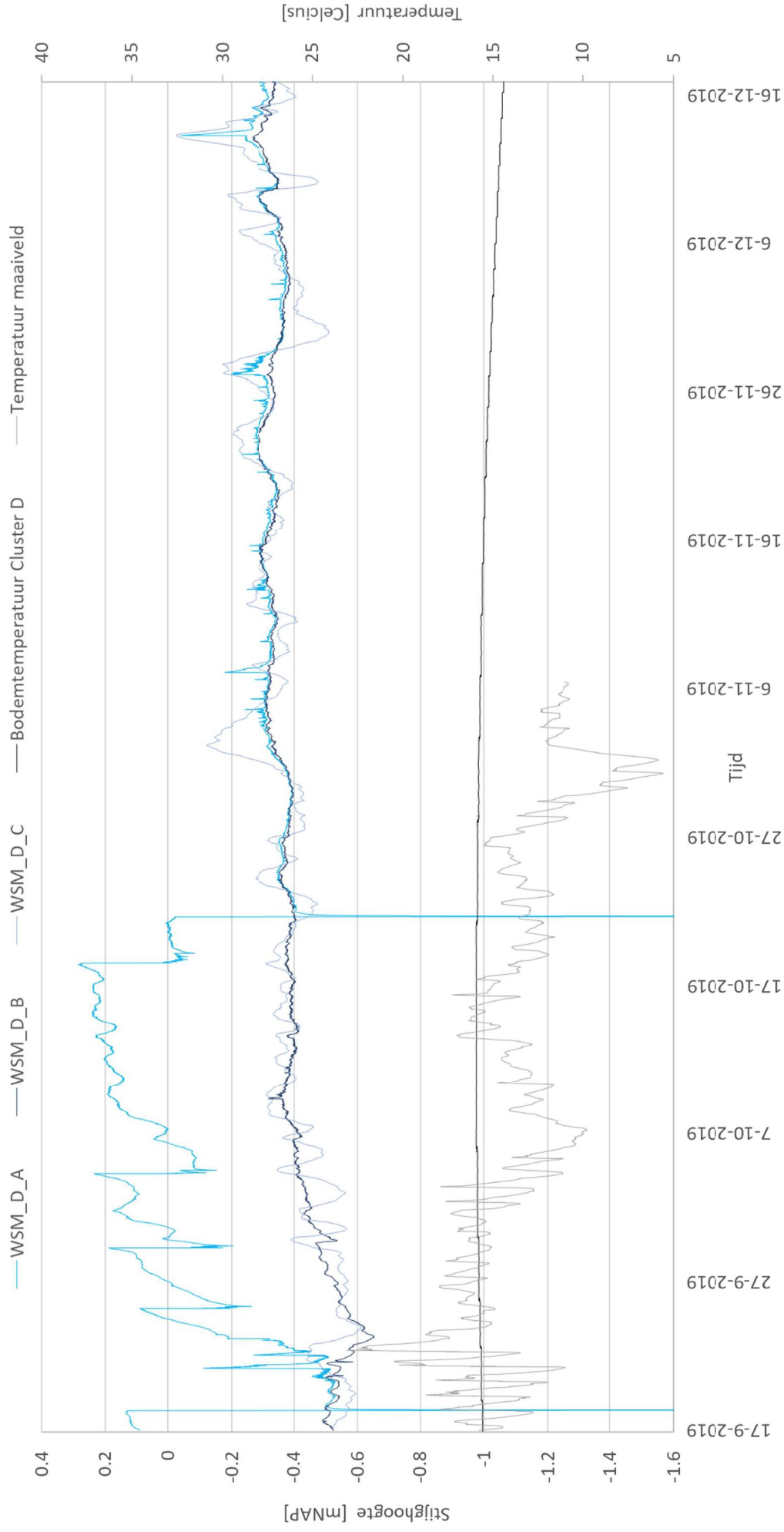
Cluster D: Waterspanning vs. luchtdruk



B.4.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster D en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, waardoor die voor de rest van het tweede kwartaal geen data meer heeft kunnen geven.

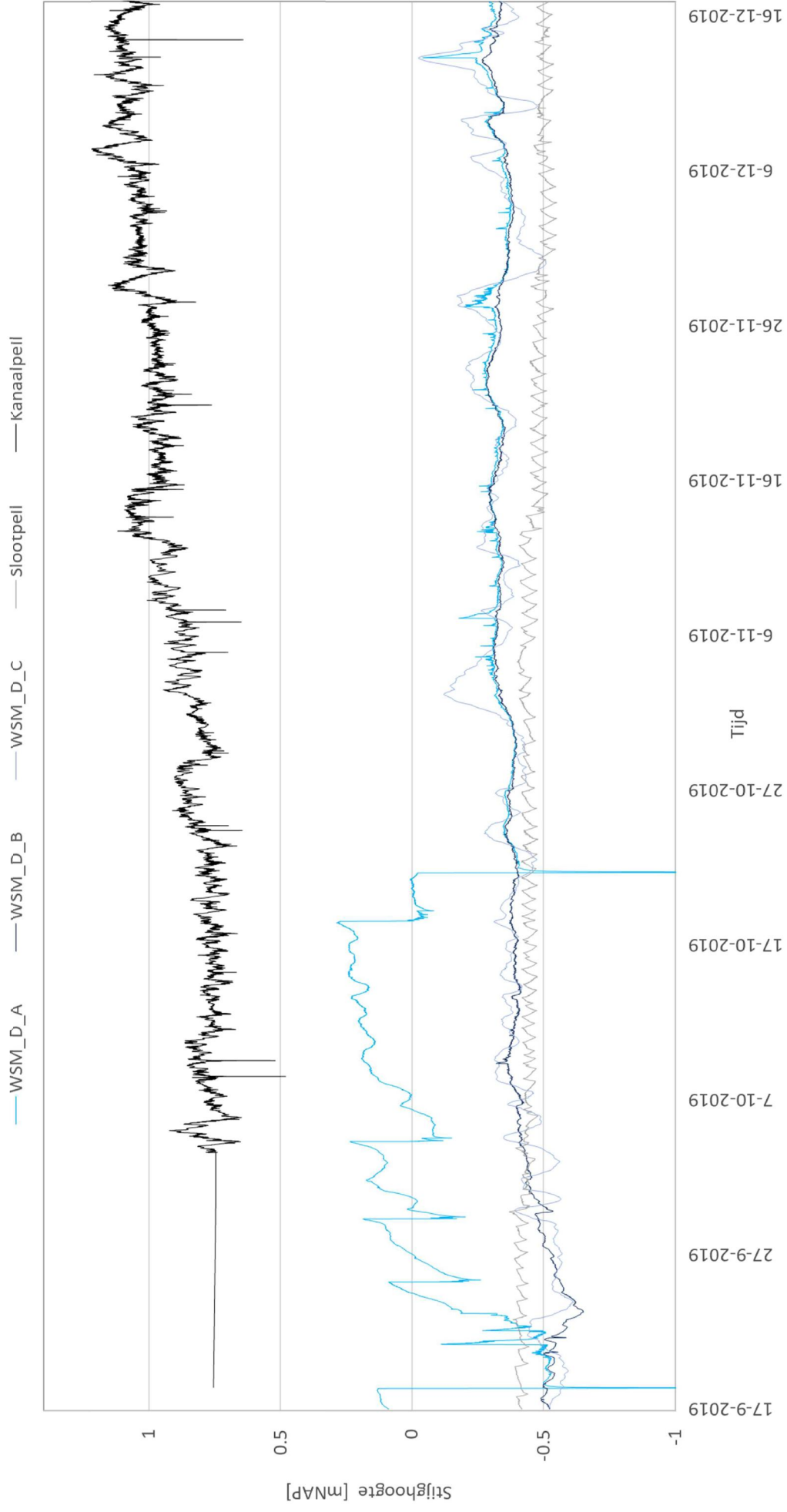
Cluster D: Waterspanning vs. Temperatuur



B.4.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster D: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil



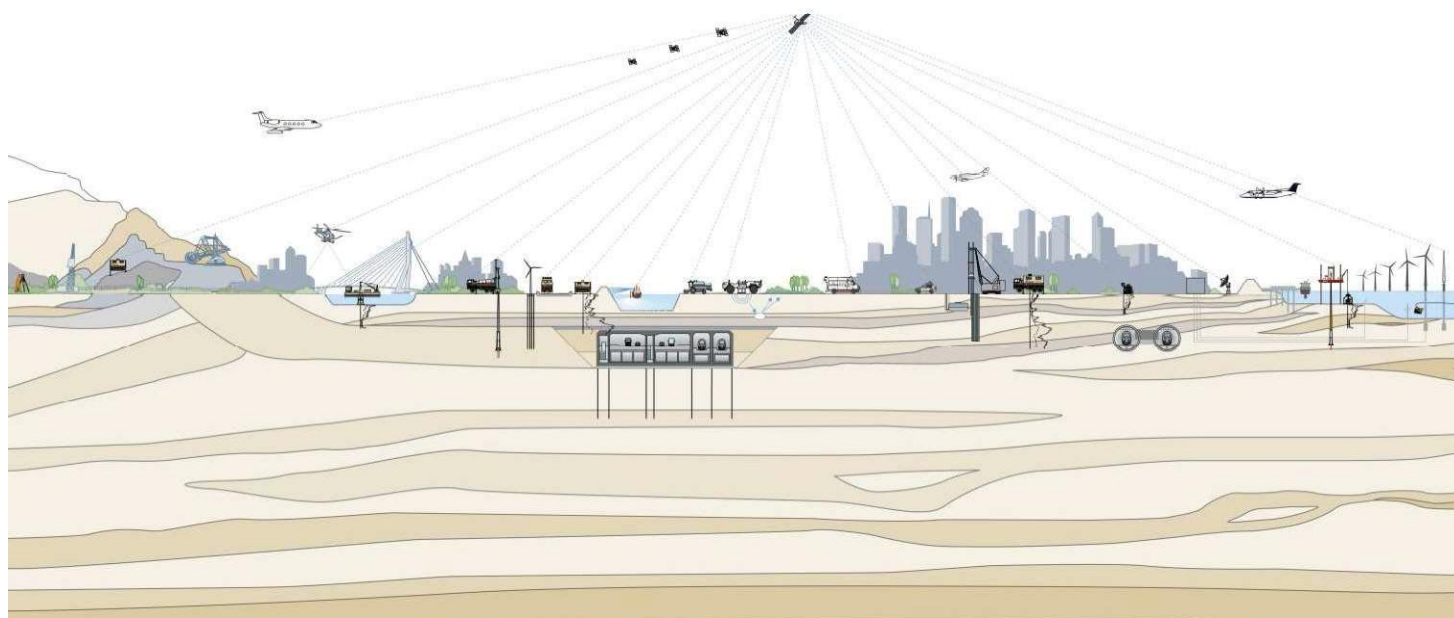
G.Kwartaalrapportage Q3 eerste veldtest – Fugro

3^e Kwartaalrapportage
POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3

Document Nr.: 1417-0042-141.R03

Versie: 1.0

Datum: 23 juli 2020





Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
Beleidsafdeling Water en Dijken
Postbus 599
4000 AN TIEL

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 31 70700

Projectleider A.D. Pool
Consultant Waterbouw

C. Voorbij-De Groot
Senior Projectleider Geomonitoring

Versiebeheer

1.0	Initiële versie	AVK	FNH	CVO	23-7-2020
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	3
1.1	Doelstelling	3
1.2	Scope	4
2.	PROJECTOMSCHRIJVING	5
3.	MUTATIE TESTVELD	7
3.1	Neerslag	7
3.2	Kanaalpeil	7
4.	SENSOROVERZICHT	8
5.	MEETRESULTATEN EN ANALYSE	9
5.1	Meetresultaten	9
5.2	Analyses per cluster	10
5.2.1	Cluster A	10
5.2.2	Cluster A, langdurige niet abrupte drukverandering in A-A2	16
5.2.3	Cluster B en C	16
5.2.4	Cluster D, langduriger niet abrupte drukverandering D-A	16
BIJLAGEN		
A.	MEETRESULTATEN	
A.1	Cluster A	
A.1.1	Waterspanning vs. Neerslag	
A.1.2	Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.1.3	Waterspanning vs. Temperatuur	
A.1.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	
A.2	Cluster B	
A.2.1	Waterspanning vs. Neerslag	
A.2.2	Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.2.3	Waterspanning vs. Temperatuur	
A.2.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	
A.3	Cluster C	
A.3.1	Waterspanning vs. Neerslag	
A.3.2	Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.3.3	Waterspanning vs. Temperatuur	
A.3.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	
A.4	Cluster D	
A.4.1	Waterspanning vs. Neerslag	
A.4.2	Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.4.3	Waterspanning vs. Temperatuur	
A.4.4	Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	



1. INLEIDING

Waterspanningsmeters (hierna WSM's) worden toegepast om waterdrukken in de waterverzadigde bodem te meten. Waterspanningsmeters kunnen dat veel nauwkeuriger en vooral veel sneller dan peilbuizen, en al helemaal in slecht doorlatend cohesief en plastisch materiaal zoals klei en veen. In de risicobeheersing van grondwerk is waterspanning de enige indicator die het mogelijk maakt om in te grijpen voordat grondvervormingen en schade optreden (diverse publicaties Timo Sweickendiek). Ze worden daarom op grote schaal toegepast in dijkbouw en grondophogingen, ondanks dat het interpreteren van waterspanningsmeterdata niet altijd zo eenvoudig is als peilbuisdata. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd tot soms wel een kwart van de geïnstalleerde instrumenten niet alleen de waterspanning meet maar ook allerlei andere fenomenen. Een belangrijke oorzaak van verstoringen van waterspanningsmeetdata is gasvorming door bacteriële afbraak van organisch materiaal.

Om antwoord te geven op de belangrijkste vragen en het bieden van oplossingen is vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit onderzoek is gegund aan het consortium tussen Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **WSM+NL**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het beoogde resultaat van de ontwikkelingsfase is het bouwen van een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters.

In de Onderzoeksfase zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht:

- I. Laboratoriumonderzoek door Deltares waarbij het inzicht in de drijvende processen achter de gasvorming is verbeterd;
- II. Onderzoek door Fugro naar de werking van een gasfilter om gas uit een waterspanningsmeter te kunnen afvoeren door middel van een veldtest.

Het onderzoek van Fugro heeft geleid tot een aangepast gasfiltermateriaal dat naar verwachting het maatgevende gasdebiet kan afvoeren zonder actieve gasdrukverlaging in het filter. De rapportages over deze eerdere projectfasen bevatten veel aanvullende informatie.

1.1 Doelstelling

In de veldtest is een groot aantal instrumenten geplaatst op een locatie waarvan bekend is dat gasbelvorming daar verstoringen veroorzaakt. De resultaten van die veldtestperiode worden in deze rapportages behandeld. Het doel van de veldtest is het vergelijken van prestaties van verschillende waterspanningsmeters in een duurtest. Hiervoor worden de Fugro FWS2 hoge-



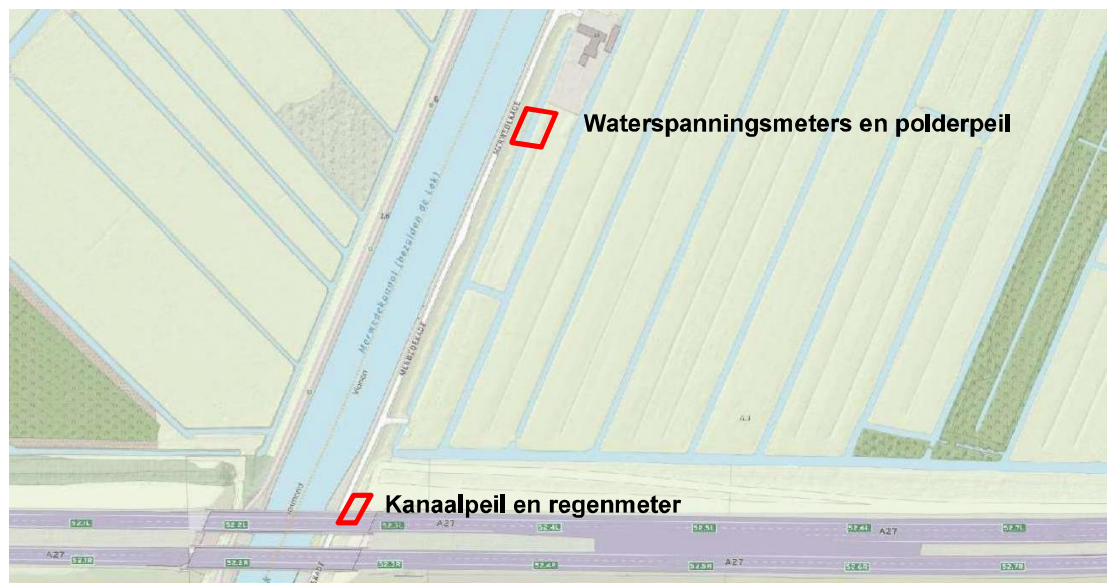
sterktevariant waterspanningsmeter van Fugro toegepast, uitgevoerd met en zonder gasfilter. Daarnaast wordt het meest gebruikte instrument ingezet dat wordt geleverd door Geopoint. Deze instrumenten en dataloggers worden geplaatst en beheerd door Wiertsema & Partners. Andere waterspanningsmeter leveranciers passen vergelijkbare materialen en voorgevingen toe. Deze zijn daarom niet opgenomen in deze veldtest.

1.2 Scope

Dit document betreft de 3^e kwartaalrapportage van de eerste veldtest. Hierin worden de meetresultaten met sensoren van Fugro en Wiertsema & Partners beschreven uit de periode tussen 17 december en 16 maart 2020. De voorafgaande kwartaalrapportages zijn terug te vinden onder het volgende kenmerk: kwartaalrapportage 1, 1417-0042-141.R02_Kwartaal 1.pdf en kwartaalrapportage 2, 1417-0042-141.R03_Kwartaal 2.pdf.

2. PROJECTOMSCHRIJVING

In de nabije omgeving van Merwedekade 18 te Vianen vinden veldtesten plaats ten behoeve van de ontwikkeling van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeter. Naast waterspanningsmeters is op locatie ondersteunende meetapparatuur geplaatst zoals 2 openwaterpunten en 1 regenmeter om de invloeden op gasvorming in kaart te brengen. Eén openwatermeetpunt is in het kanaal geplaatst en één openwatermeetpunt is geplaatst in de nabijgelegen sloot. Tot slot is er een regenmeter geplaatst nabij de projectlocatie. In onderstaande figuur is de situering van de projectlocatie weergegeven.



Figuur 2-1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo).



Figuur 2-2: Overzicht meetopstelling met beschermkokers en afrastering.



Figuur 2-3: Testveld waterspanningsmeters.



Figuur 2-4: Openwatermeetpunt kanaal en regenmeter

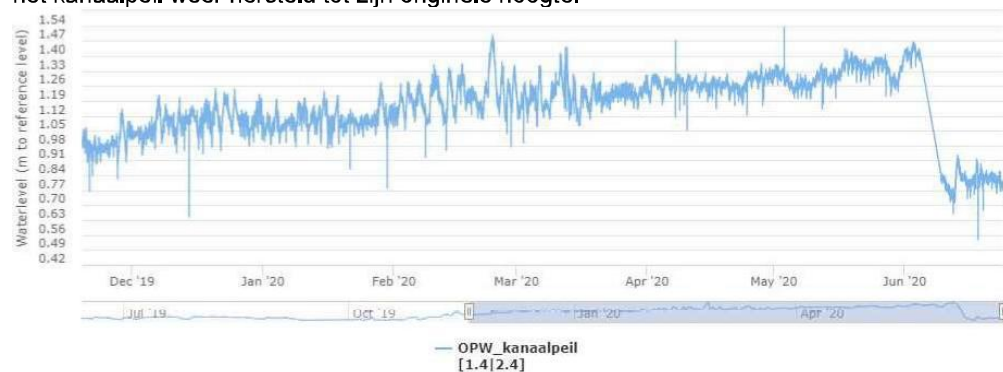
3. MUTATIE TESTVELD

3.1 Neerslag

De neerslagmeter op de meetlocatie heeft tot 14 januari geen regen geregistreerd. Op 14 januari is de regenmeter gemaakt. De neerslag die in de periode voor 14 januari gevallen is, is geschat door gebruik te maken van KNMI data. Waarbij het gemiddelde van de regenval van de drie nabij gelegen KNMI stations: Herwijnen, Cabauw en de Bilt is genomen.

3.2 Kanaalpeil

Het kanaalpeil loopt gedurende het derde kwartaal gestaag op tot boven NAP+1 m (Figuur 3.2). Deze stijging is veroorzaakt door een driftende sensor, welke op 9 juni is vervangen. Na 9 juni is het kanaalpeil weer hersteld tot zijn originele hoogte.



Figuur 3-1 Stijghoogte kanaalpeil gedurende het derde kwartaal.

4. SENSOROVERZICHT

In tabel 4-1 staan gegevens vermeld over de geplaatste sensoren in de twee testvelden.

Tabel 4-1: Overzicht sensoren

Locatie	Sensornaam	Sensor type	Coördinaten (RD)		mv	Sensorniveau	Start
			X [m]	Y [m]	[m NAP]	[m NAP]	[d-m-j]
Cluster-A	WSM_A-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.79	441071.04	1.01	-1.87	17-6-2019
	WSM_A-B	Fugro WSM standaard	132295.81	441071.34	1.09	-1.84	17-6-2019
	WSM_A-A-2	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.67	441070.97	1.02	-2.00	17-8-2019
Cluster-B	WSM_B-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132296.14	441071.89	1.02	-1.76	17-6-2019
	WSM_B-B	Fugro WSM standaard	132296.18	441072.13	1.10	-1.69	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132294.96	441071.34	1.38	-1.63	17-6-2019
	WSM_C-B	Fugro WSM standaard	132294.98	441071.67	1.40	-1.62	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.25	441072.14	1.42	-1.64	17-6-2019
	WSM_D-B	Fugro WSM standaard	132295.33	441072.5	1.42	-1.58	17-6-2019
Cluster-A	WSM_A-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.967	441071.113	0.85	-1.95	17-6-2019
Cluster-B	WSM_B-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132296.349	441071.881	0.86	-1.74	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.184	441071.445	1.25	-1.65	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.444	441072.163	1.35	-1.45	17-6-2019
Sloot	PB_Slootpeil	OWP	132303.52	441067.35	-0.25 tot 0.75	-0.18	17-6-2019
Kanaal	PB_Kanaal	OWP	132209.55	440896.31	0.60-1.60	-1.22	17-6-2019
open water meetpunt	LK070 MWDK	Regenmeter	132213	440896	n.v.t.	2.24	17-6-2019
Cluster B	Temperatuursensor maaiveld	Temperatuursensor	132296.38	441072.33	1.10	1.10	12-9-2019

5. MEETRESULTATEN EN ANALYSE

5.1 Meetresultaten

In Figuur 5-1 zijn de meetresultaten van alle waterspanningsmeters samen weergegeven met naamcode “groep/cluster” – “type”.

4 clusters / groepen: A, B, C en D en 3 types:

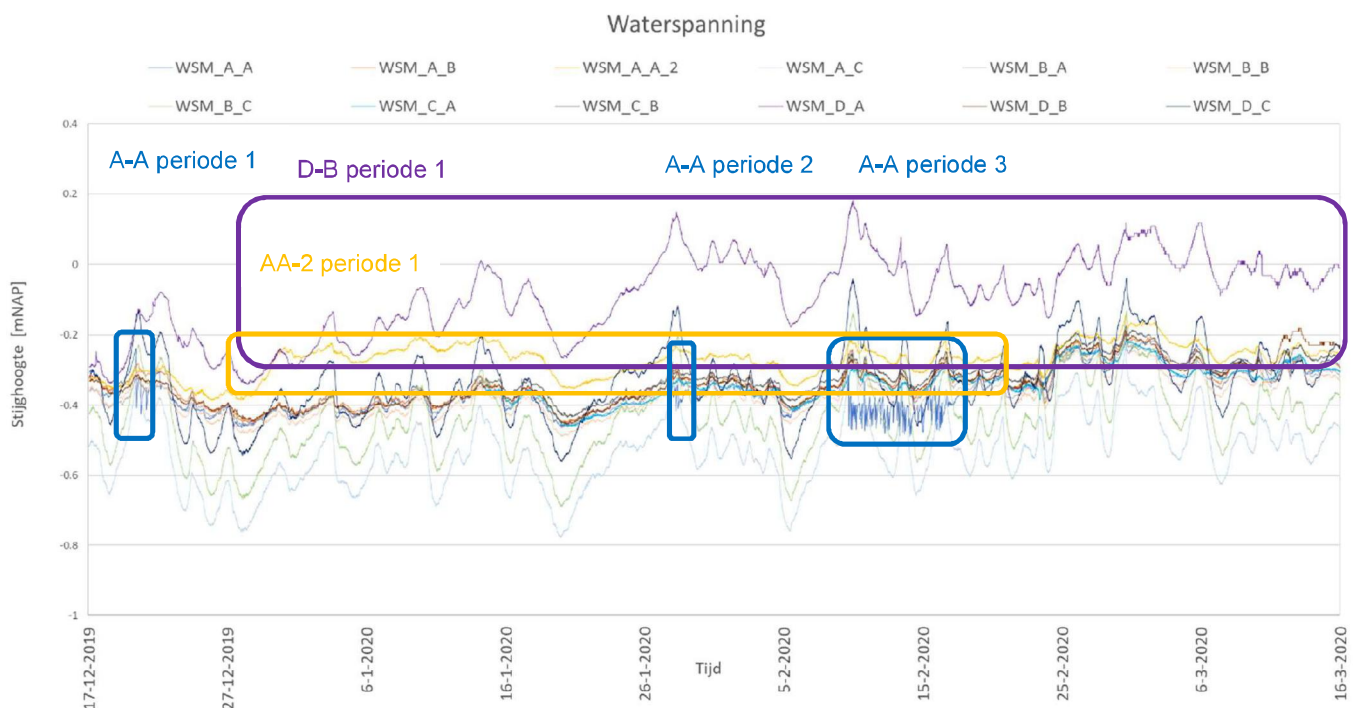
A - Fugro FWS2 sensoren met gasfilter

B - Fugro FWS2 sensoren zonder gasfilter

C - Geopoint WSMs geplaatst en beheerd door Wiertsema & Partners.

In bijlage A worden de waterspanningen weergegeven per cluster. Binnen elke cluster is de waterspanning uitgezet tegen achtereenvolgens neerslag, luchtdruk, temperatuur en het waterpeil in de sloot en het kanaal.

De bijlagen lijken een compleet beeld te geven van de reeksen maar wij raden iedereen aan om de data te bekijken in het daarvoor beschikbare webportal Gaia Insight. De figuren die worden getoond in de toelichting per gebeurtenis (ook in de eerdere kwartaalrapportages) zijn opgebouwd met de Gaia Insight grafiekgenerator waarmee aanzienlijk dieper kan worden ingezoomd. De veranderingen in variabiliteit bieden een weelde aan inzichten over wat er zich afspeelt in de ondiepe bodem, zelfs als alleen waterspanning wordt bekeken.



Figuur 5-1: Waterspanning in alle wsm sensoren uitgedrukt als Stijghoogte in m tov NAP gedurende de meetperiode 17 december tot 16 maart 2020.

In figuur 5-1 zijn de opmerkelijke momenten gemarkeerd in de kleur van de bijpassende reeks. In reeks WSM A-A zijn drie perioden gemarkeerd waarin abrupte veranderingen worden geregistreerd. Binnen reeks A-A2 zit een lange periode waarin een afwijking van de trend bestaat die abrupt eindigt. Reeks WSM D-B valt eveneens op gedurende vrijwel de gehele periode van "kwartaal" 3, ook vanwege een sterk verhoogde druk in vergelijking met de trend. Deze reeksdelen worden in de rapportagetekst hieronder per gebeurtenis besproken. Daarbij wordt voortgeborduurd op hetgeen is vermeld in de voorgaande kwartaalrapportages.

Het algemene beeld is dat :

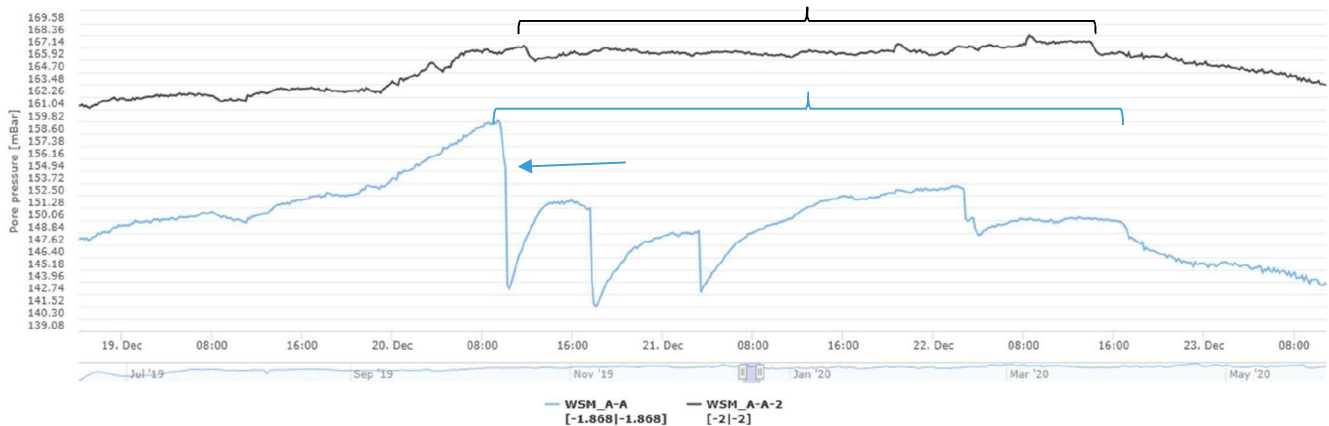
- Alle sensoren vrijwel permanent data leveren met uitzondering van sensoren C-A en C-B die tot 14 januari geen data leverden. Op 14 januari zijn de sensoren vervangen waarna zij weer onverstoorde datareeksen laten zien.
- Het kanaalpeil loopt gestaag op tot boven NAP+1 m, dit beeld is veroorzaakt door een drijvende sensor. Op 9 juni is de sensor vervangen, waarna een verlaging van het polderpeil van 10 cm naar NAP -0.5 m is te zien;
- De bodemtemperatuur daalde gestaag naar 12°C. Hierdoor neemt de oplosbaarheid van methaan en veel andere gassen in water toe;
- De neerslag in het betreffende kwartaal was beperkt;
- Alle meetreeksen vertonen nog variatie door luchtdrukverschillen waarbij opvalt dat de veranderingen in luchtdruk 3 tot 4 keer zo sterk voorkomen in de reeksen afkomstig van Geopoints dan in de Fugro WSM's. Dat wil zeggen dat veranderingen in luchtdruk daarin ongeveer met dezelfde grootte voorkomen in de waterspanningsmeetreeksen. Ook in de Fugro WSM's is dus nog altijd 1 kPa toename te verwachten als de luchtdruk 30 hPa toeneemt.

5.2 Analyses per cluster

5.2.1 Cluster A

Periode 19 december

In reeks A-A (Blauw in figuur) is vanaf 19 december een eigenaardige druktoename te zien die maar in beperkte mate voorkomt in die van A_A2. De druktoename komt in de ochtend van 20 december abrupt tot een einde waarna de druktoename weer rustig stijgt. *Abrupte dalingen worden normaal gesproken binnen een meetinterval afgerond maar de daling op 19 december vindt plaats rondom het meettijdstip (zie horizontale pijl), waardoor het lijkt alsof de daling gedurende 2 intervallen (20 minuten) heeft afgespeeld. Dat is uitzonderlijk. Om meer informatie over de duur van deze gebeurtenissen te verkrijgen moeten enkele reeksen veel vaker worden bemeten, bijvoorbeeld 6 keer per minuut. Daarmee worden de grenzen opgezocht van de mogelijkheden van de hier gebruikte telemetrie apparaten. In de warme periode worden hiervoor gericht voor specifieke instrumenten en perioden aanvragen voor ingediend.*

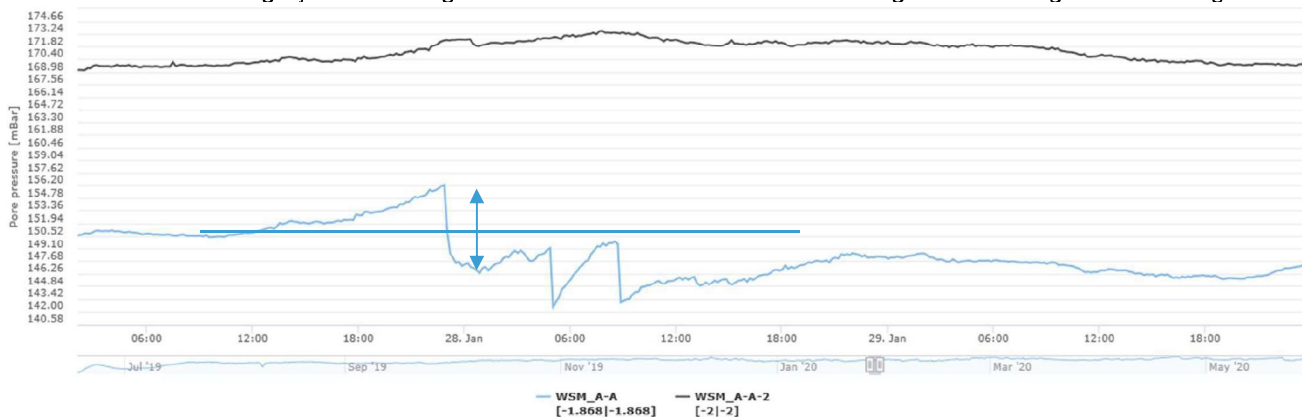


Figuur 5-2, Reeksen A-A 1 en 2, 19-23 december 2020.

WSM A-A2 vertoont geen noemenswaardige variatie maar door het detailbeeld blijkt dat zich ook hier een stijging voordoet waarna enkele kleine dalingen voorkomen van orde grootte 0.2 kPa, die niet in 1 meetinterval zijn afgerond.

Periode 26-28 Januari 2020

De tweede periode waarin A-A begint af te wijken van A-A2 is op 25 januari 2020 (weergegeven in de figuur hieronder) waar gedurende een half etmaal een drietal abrupte drukdalingen ontstonden na een korte druktoename van ongeveer 0.5 kPa (5 mBar). De eerste drukdaling ligt gelijk 10 mBar lager en dat niveau wordt door de drukdalingen daarna nog verder verlaagd.



Figuur 5-3, Drukdalingen 25 - 26 januari 2020.

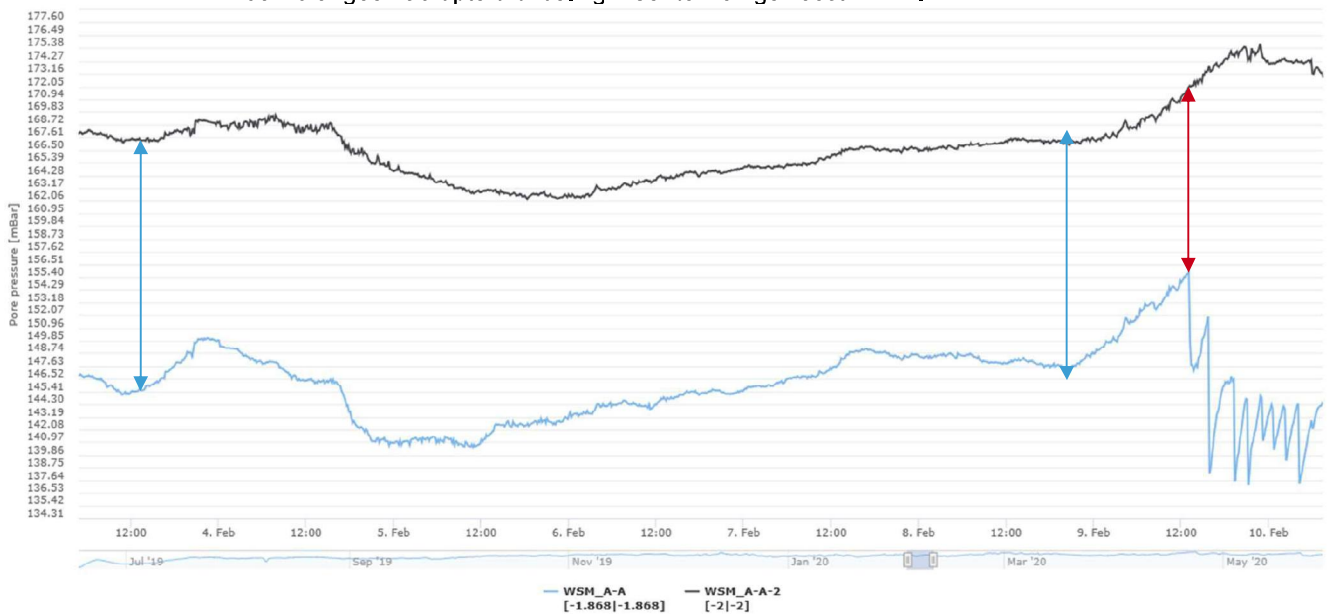
Na een etmaal is de reeks weer op vergelijkbare druk en is de drukvariatie en trend weer geheel in lijn met die van WSM A-A2.

Periode 9-17 februari 2020

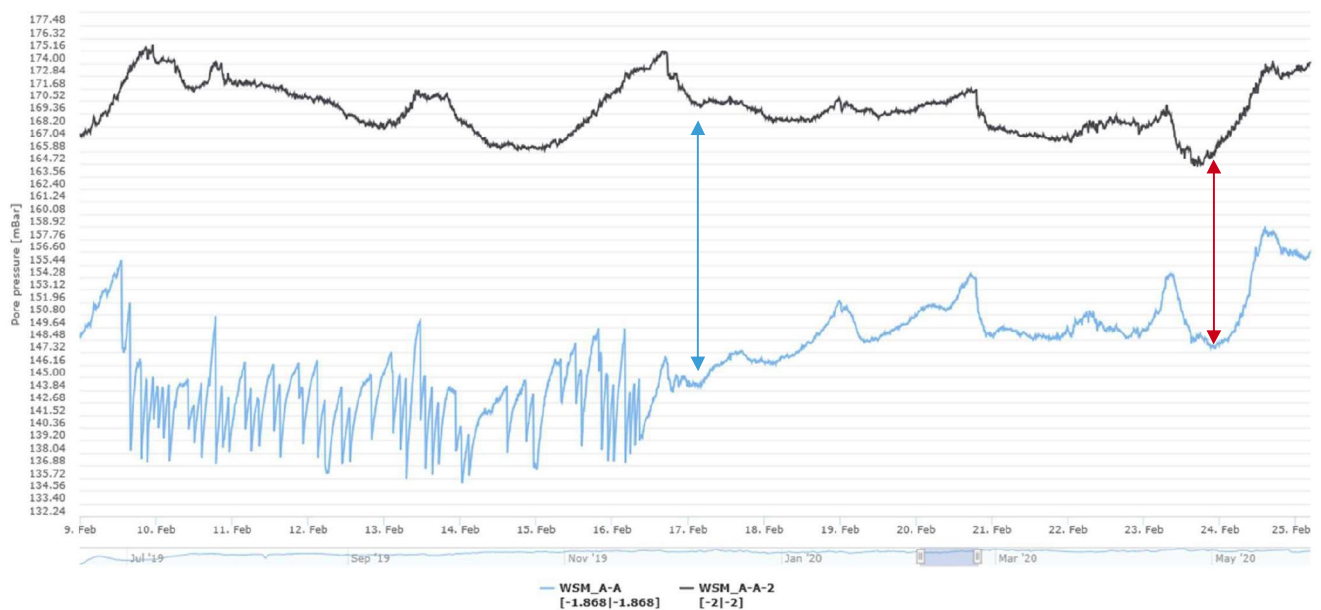
De week vanaf 9 februari is er van alles aan de hand. In de onderstaande figuren staat de gehele periode in overzicht en in detail weergegeven (10 februari). De week volgt op een juist rustige periode waarin in de vroege uren van 9 februari sprake is van een toenemende druk waarna rond het middaguur een onafhoudende reeks drukdalingen volgen op gestaag maar sterk toenemende druk.

De druk in reeks A-A2 (zie het verschil in figuur 5-4) vertoont tijdens de verstoringen in A-A wel meer witte ruis (minder dan 0.1 kPa) maar er valt verder geen opvallende trend uit af te leiden. Alleen aan het begin en het einde van de verstoorde periode in A-A is er in A-A2 een klein abrupte daling zichtbaar zij het niet meer dan 0,2 kPa.

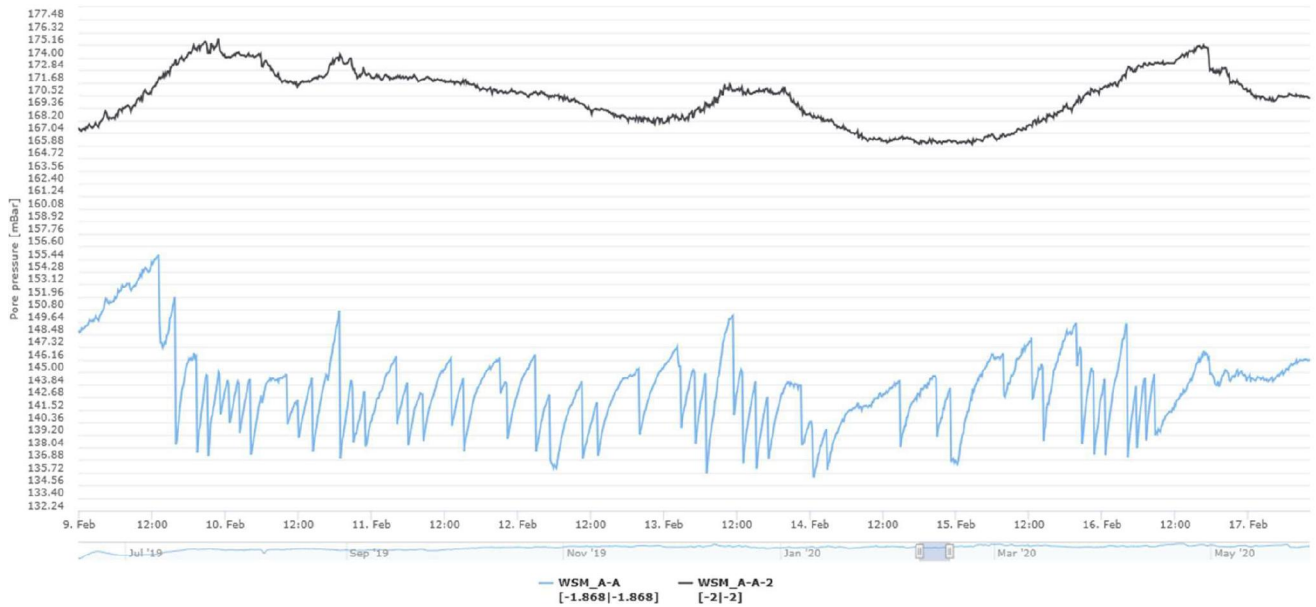
Een ander opvallend aspect is dat het “normale” drukverschil iets meer dan 2 kPa (verticale blauwe pijlen in figuren hieronder) tijdelijk wat minder wordt (verticale rode pijlen), en dat daarna omstreeks 17 februari het drukverschil weer is toegenomen. Om weer af te nemen zoals te zien is aan de rode pijl op 24 februari. Daar is de nervositeit in de A-A2 reeks nog niet verdwenen. Toch is er geen abrupte drukdaling meer te zien geweest in A-A.



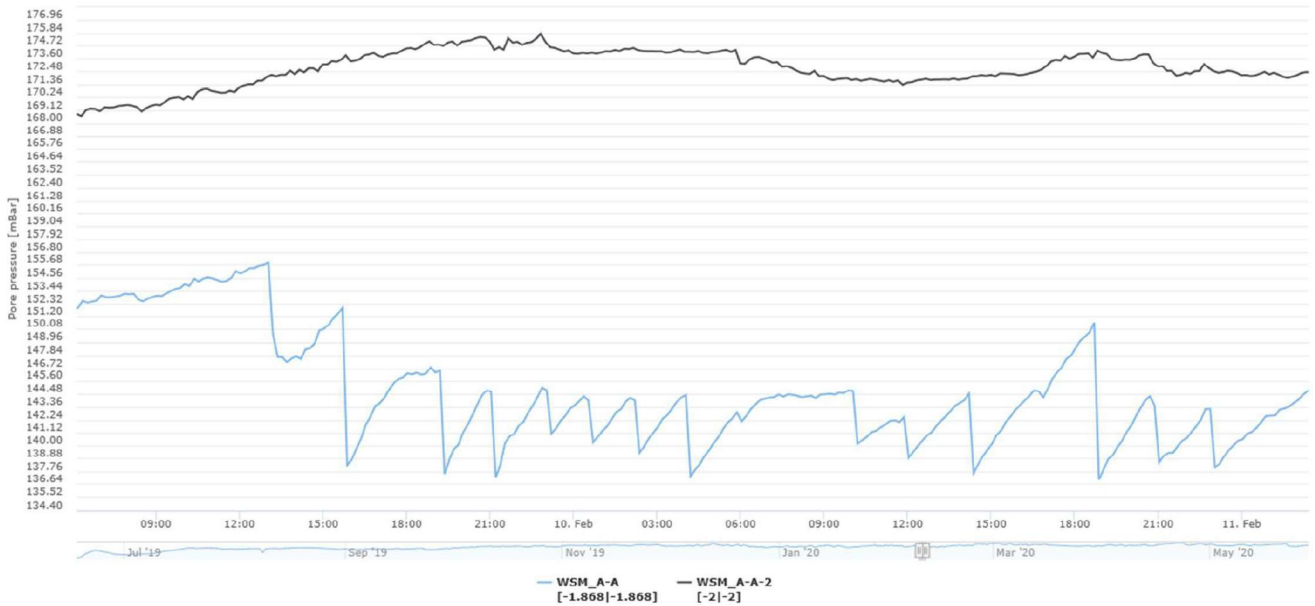
Figuur 5-4, drukdalingen periode februari, week vooraf.



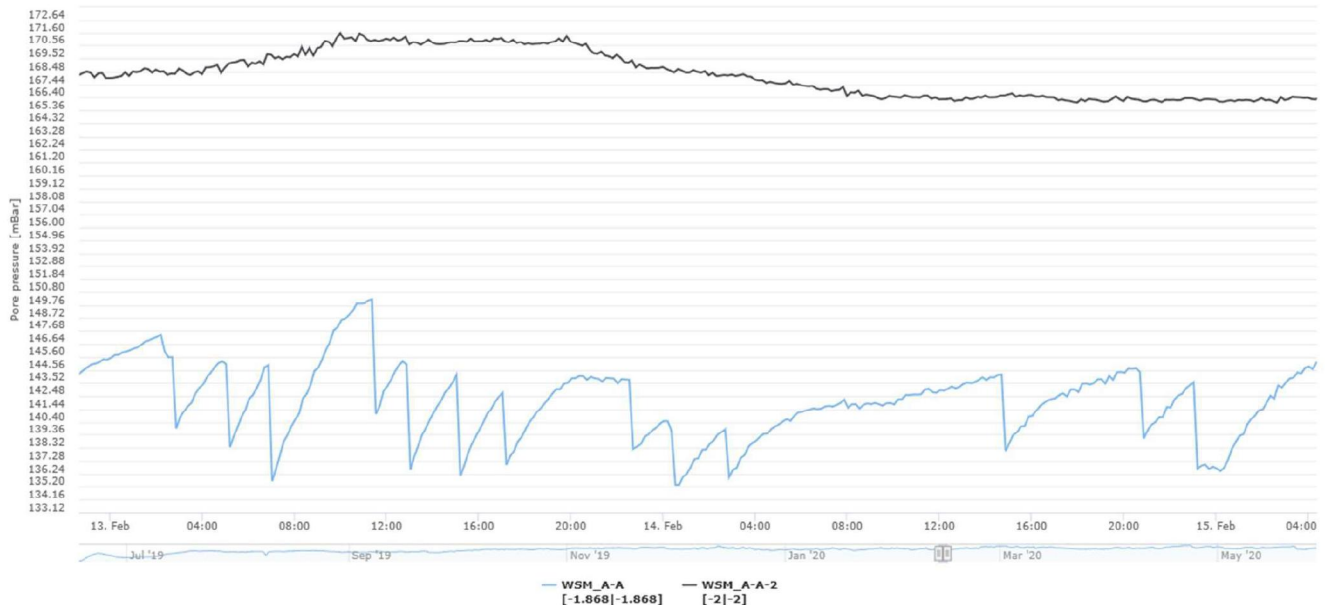
Figuur 5-5, drukdalingen periode februari, met week erna.



Figuur 5-6, drukdalingen periode februari, alle grote dalingen.



Figuur 5-7, drukdalingen periode februari, detail 9 tot 11 februari.



Figuur 5-8, drukdalingen periode februari, detail 12 tot 15 februari.

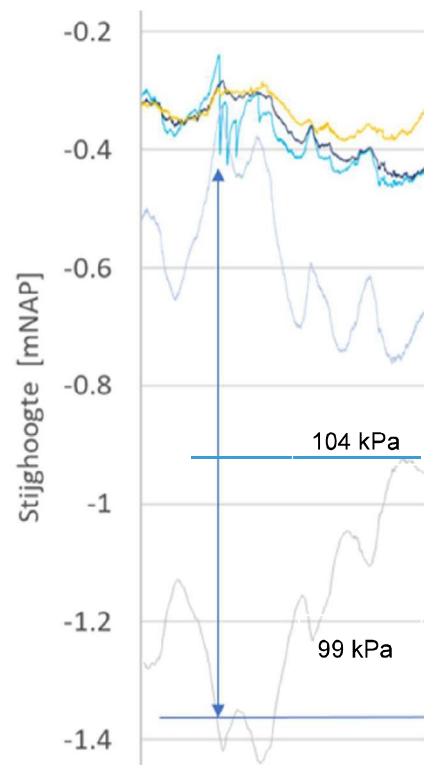
Verband met luchtdruk

In de bijlagen is een figuur opgenomen met de reeksen van Cluster A op de linker verticale as en de luchtdruk op de rechter verticale as. Daarin zijn de 5 perioden gemarkeerd waarin de luchtdruk daalde tot onder 99 kPa. Figuur 5-9 geeft een uitsnede weer van die bijlage figuur over de eerste verstoring op 20 december. De eerste drie luchtdruk dalingen tot onder 99 kPa werden direct gevolgd door de verstoringen in waterspanning in reeks A-A. De twee laatste perioden van luchtdruk daling vallen op doordat daar geen waterspanningsdalingen op volgden. De andere gemeten omgevingsvariabelen vertonen geen verband met de start of amplitude van drukverschillen in de WSM reeksen.

“Het uitblijven van abrupte drukdalingen bij sterke luchtdrukdalingen”: Hypothese.

Allereerst valt op dat de eerste drie luchtdrukdalingen, (met abrupte drukdalingen) volgden op perioden met redelijk hoge luchtdruk. De laatste twee binnen deze kwartaalperiode (die zonder WSM drukverstoringen), volgden niet op hoge luchtdrukperioden. Mogelijk is dat relevant voor de vorming van bellen.

In eerdere POVM rapportages over WSM gasbeldrukverstoringen en literatuur o.a. over veenbonkvorming (Veenbonken gehoorzamen de gaswetten, P. van Diest en F.A.N. Hogervorst, H₂O online 2014) is benadrukt dat grondwater met



Figuur 5-9, detail cluster A (gekleurde reeksen) met luchtdruk (lage grijze lijn).

hoge opgeloste gasconcentraties door luchtdrukdalingen en temperatuurstijgingen oververzadigd kan worden wat direct leidt tot gasbelvorming. Hier is geen sprake van temperatuurstijgingen dus die factor valt af.

Het ontstaan van gasbellen is omkeerbaar wanneer de druk in het bodemwater weer toeneemt, maar in de tussentijd kunnen gasbellen ontsnappen naar hogere bodemlagen. Daarna is het grondwater gedurende enige tijd weer in staat methaan en andere gassen op te nemen. Het grondwater fungeert dan als een reservoir.

Tijdens perioden met lage gasproductie is dat mogelijk te beperkt om de concentratie hoog te houden, immers gas kan via diffusie door de water en bodemgasfase ontsnappen naar de atmosfeer. Het weer opbouwen van hoge gasconcentraties kan lang duren.

Het ontstaan van gasbellen leidt tot een volumetoename en het vezelige veen verzet zich daartegen. Door die tegenwerkende krachten neemt de druk in vloeistof en bodemgas minder af dan de luchtdruk en neemt verhoudingsgewijs de waterspanning toe. De gemeten waterspanning neemt dus toe als in de buurt een gasbel ontstaat. Deze toegenomen druk leidt tot het uitpersen van bodemwater en soms tot gasbel ontsnapping door een ventiel, waardoor de druk lokaal abrupt afneemt. De ontgassing kan doorgaan totdat er een evenwicht bereikt is en het reservoir uitgeput is of de atmosferische luchtdruk is opgelopen. Als grondwater door het ontsnappen van gasbellen door het ventiel wordt meegesleept kan de druk in korte tijd sterk dalen waardoor ineens nog veel meer gasbellen worden geproduceerd.

Via macroporiën kan een dergelijke ontgassing in theorie zelfs uitmonden in een blow-out. Daarvan zijn in de praktijk echter geen waarnemingen bekend. Dat is niet verwonderlijk omdat macroporiën in de water-onverzadigde zone veelvuldig voorkomen en een toenemend deel uitmaken van het poriëstelsel. Eventueel binnen de bodem uitblazend schuim met bodemwater kan makkelijk aan menselijke waarneming voorbij gaan. Het uitblazen van water kan de lage druk verklaren die soms nog langdurig onder het niveau lijkt te liggen dat in de omgeving heerst. Een voorbeeld daarvan is de lage druk in A-A na diverse abrupte dalingen (Figuren 5-4 en 5-5).

Veenbodems van watergangen en meren worden door ingesloten gasbellen groter en krijgen een lagere dichtheid dan water, en willen dan gaan drijven. Brokstukken kunnen losscheuren van de bodem en gaan drijven. De veenpakketten in dijken of vlak land kunnen (zullen) ook expanderen (opschuimen). De gevolgen voor de mechanische eigenschappen van het vezelige materiaal kunnen relevant zijn voor de stabiliteit van dijken en grondconstructies. Hierover is gepubliceerd door onder andere Stefano Murano (pHD Thesis 2019).

Het feit dat veenbonken gaan drijven bewijst dat ze expanderen. In een ingesloten situatie oefenen veenvolumes met ontgassend grondwater dus zeker alzijdige kracht uit die niet alleen uitmondt in maaiveldverhoging. Mogelijk staan de bodemmaterialen en grondconstructies op die momenten bloot aan meetbare krachten.

Als een reeks opeenvolgende ontgassingingen heeft geleid tot een hogere afvoer van gas dan de productie in diezelfde periode kan al bij een kleine daling van de temperatuur een onverzadigde situatie ontstaan. Om dan ontgassing (belvorming) mogelijk te maken moet de druk steeds dieper

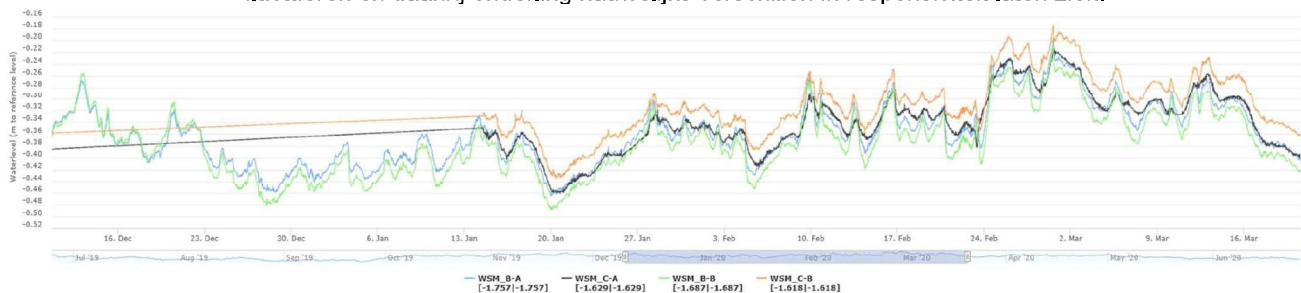
dalen. Op deze manier kan de voorraad opgelost gas door de eerste drie ontgassingingen in de omgeving van WSM A-A de oorzaak zijn van het uitblijven van abrupte drukdalingen tijdens de luchtdruk dalingen van eind februari / begin maart 2020.

5.2.2 Cluster A, langdurige niet abrupte drukverandering in A-A2

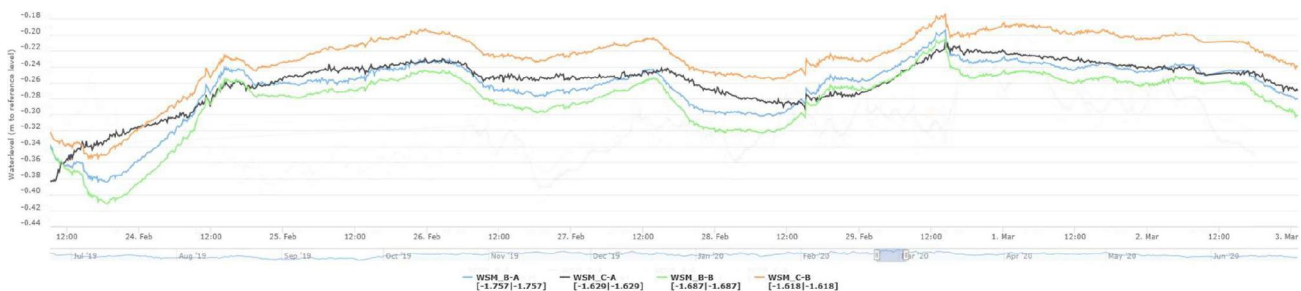
In de bijlagefiguur van “Cluster A met luchtdruk” is de geel gemarkeerde reeks van A-A2 vanaf de donkere dagen voor kerstmis, maar vooral vanaf de jaarwisseling, een ruime kPa opgelopen ten opzichte van de andere twee sensoren. Dit verschil neemt weer wat af vanaf half januari om vrijwel te verdwijnen. Deze drukstijging valt alleen op omdat de andere reeksen die op zeer korte afstand zijn geplaatst

5.2.3 Cluster B en C

In bijlage figuren voor Clusters B en C zijn de reeksen in samenhang te zien met de verschillende verklarende reeksen. In onderstaande figuur 5-10 is duidelijk te zien dat de reeksen maar beperkt fluctueren en daarbij onderling nauwelijks verschillen in responsiviteit laten zien.



Figuur 3-10, Reeksen Fugro wsms van clusters B en C.



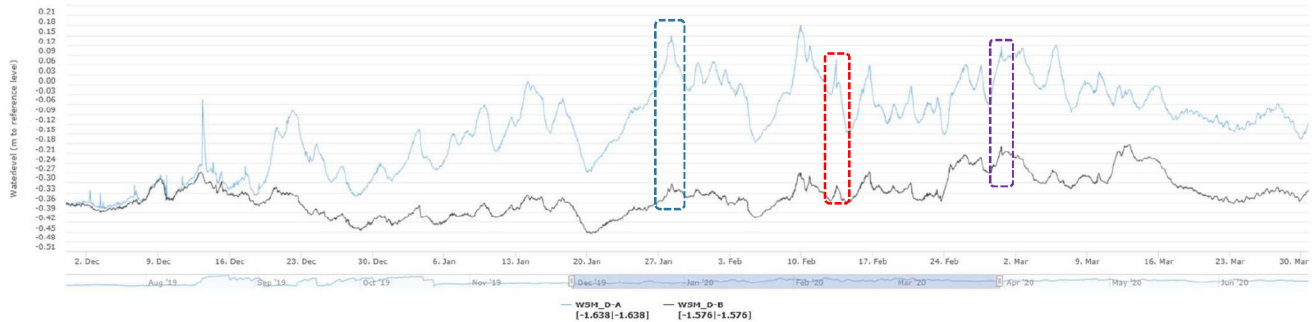
Figuur 5-11, detail begin maart reeksen Fugro wsms cluster B en C.

De detailreeks in figuur 5-11 laat de meest dynamische fase zien, met enige druk val op 29 februari. De meest opvallende reeks van de vier is B-A die wat stugger lijkt te reageren. Het moment waarop veranderingen intreden ligt hier wel ongeveer op hetzelfde moment maar veranderingen leiden in deze reeks tot een kleinere reactie. In de eerste uren van het detail lijkt B-A zelfs vooruit te lopen op de stijgende trend die later met een grotere amplitude wordt opgepikt door B-B, C-A en C-B.

5.2.4 Cluster D, langduriger niet abrupte drukverandering D-A

In figuur 5-12 hieronder is de tamelijk spectaculaire druktoename van veelal rond 30 cmw [H2O](#) te zien in WSM D-A gedurende kwartaal 3. Ter verduidelijking van de overgang half december 2019 zijn de laatste weken van periode “kwartaal 2” mee in de figuur weergegeven. Het verschil tussen de reeksen neemt toe tot de grootste verschildruk 45,8 cmw [H2O](#) op 28 januari 6:32

(gemarkeerd met blauwe stippellijn). Op dit moment is ook sprake van de passage van het dieptepunt van een luchtdrukdepressie van ongeveer 99 kPa. Dit is de tweede periode waarin in reeksen A-A een gasbeldrukproces in gang werd gezet. In de figuren daaronder staan nog twee kleine drukverstoringen gemarkeerd die in de overzichtsgrafiek 5-12 niet opvallen.



Figuur 5-12, Weergave van Fugro waterspanningsreeksen in cluster D in kwartaal 3 uitgedrukt in stijghoogte.

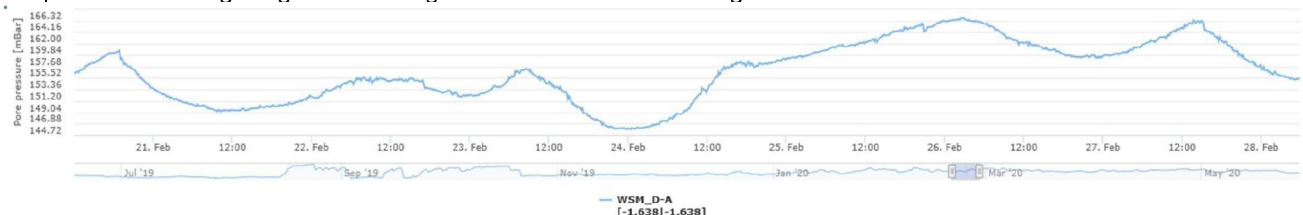
Naast de gestage toename van de reeks D-A is ook sprake van een toename van de amplitude van de variabiliteit. Deze komt meer overeen met die in D-C dan met D-B. Dat wijkt echt af van de situatie in de voorafgaande twee perioden. De samenhang van de reeksen -C met luchtdruk verstoort de interpretatie van de druk, en dat deze reeks vloeiend overgaat van een rustige naar een door luchtdruk beheerst gedrag heeft voornamelijk nog geen verklaring gekregen.

In figuur 5-13 hieronder is de reeks van D-A in detail weergegeven bij de markering met rode stippellijn. De drukafname die hier tussen twee opeenvolgende metingen van 10 minuten wordt geregistreerd is nauwelijks een halve kPa, maar toch markant.



Figuur 5-13, Drukval 13-16 februari, rode stippellijn gemarkeerde zone.

De paarse markering in figuur 5-1 is uitgelicht in de onderstaande figuur 5-14.



Figuur 5-14, Drukval 20 en 25 februari.

Door het sterk vergroten van de reeks blijkt ook een toename van de nervositeit van de resultaten. De amplitude van de variaties is soms een paar cm water maar dan net wel iedere keer omlaag gericht. Omdat de piekjes net overeenkomen met pieken in de reeks D-B is er toch mogelijk sprake van een vingerafdruk van iets dat zich in de omgeving afspeelt. Door bijvoorbeeld een drukval van grotere omvang op enkele dm afstand kan het signaal in deze sensor mogelijk net opgepikt worden.

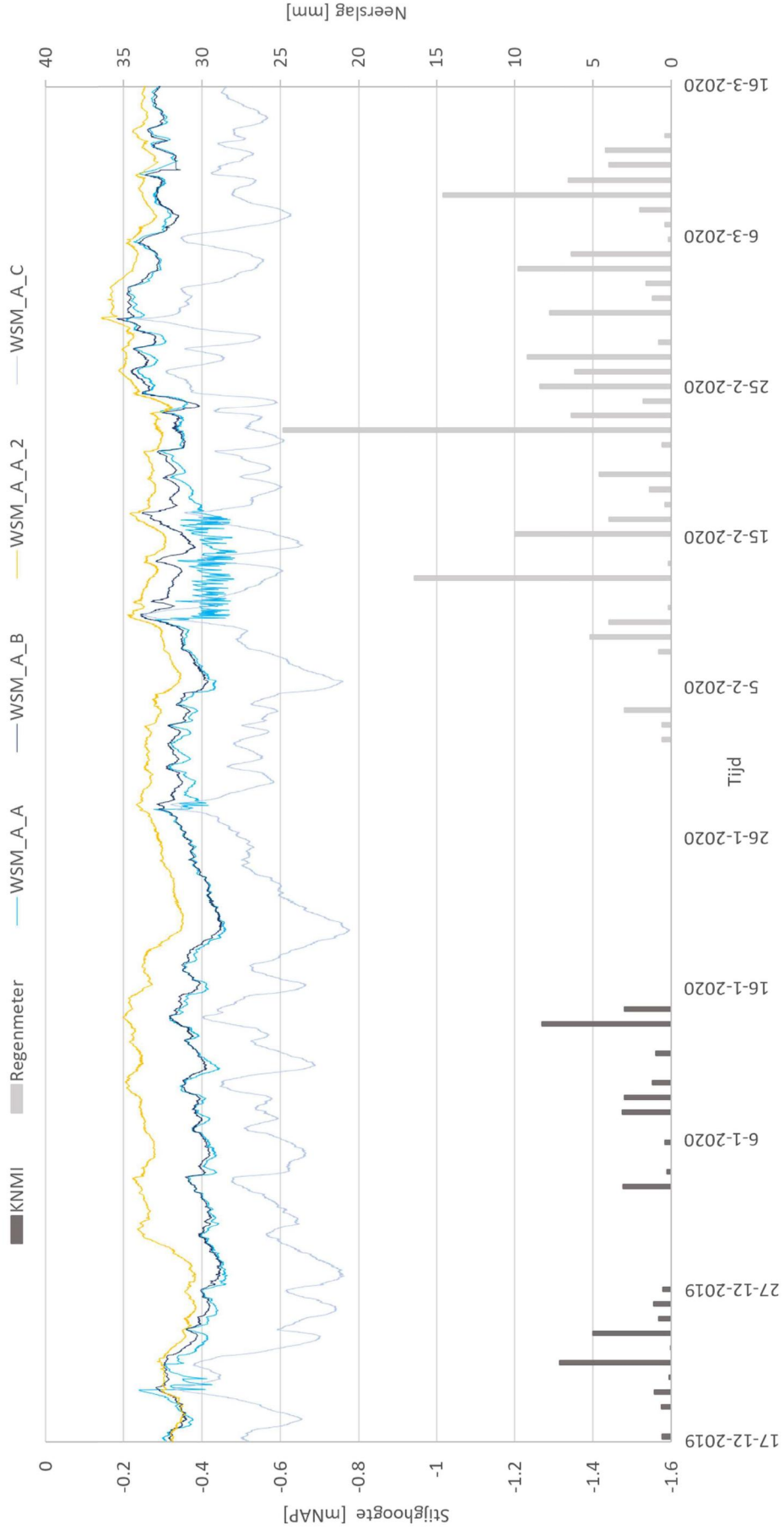


A.1 Cluster A

A.1.1 Waterspanning vs. Neerslag

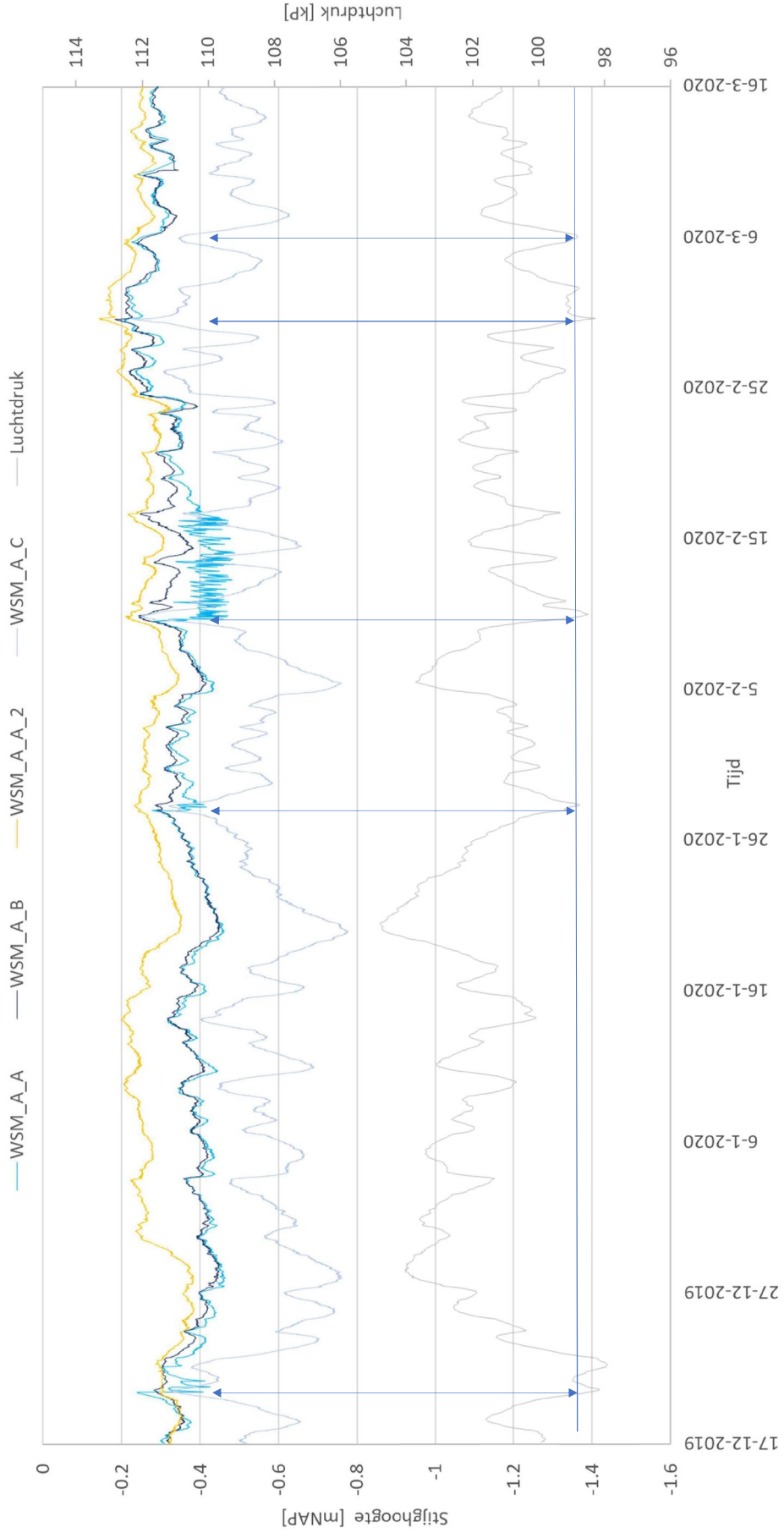
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

Cluster A: Waterspanning vs. Neerslag



A.1.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Bilt.

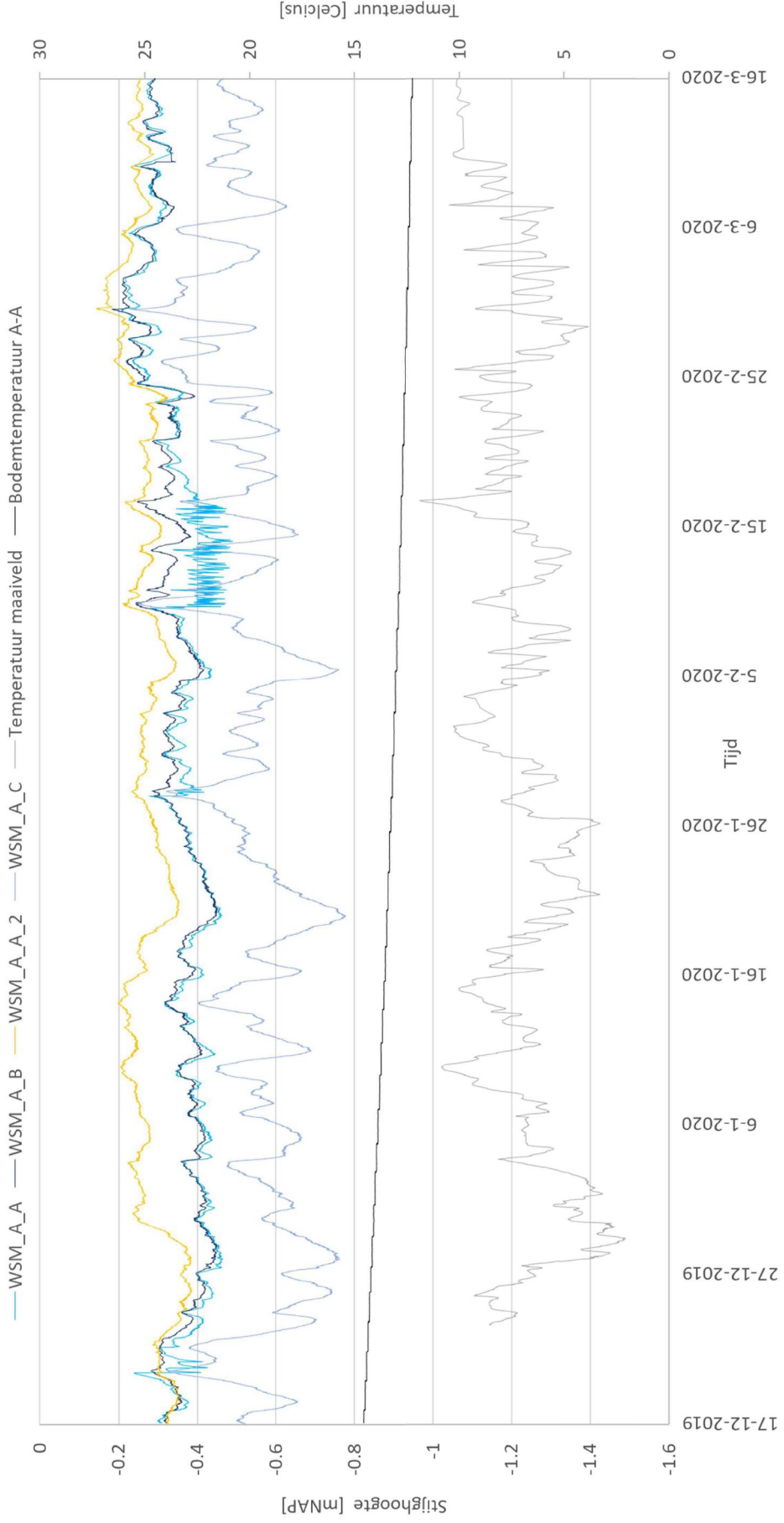
Cluster A: Waterspanning vs. luchtdruk



A.1.4 Waterspanning vs. Temperatuur

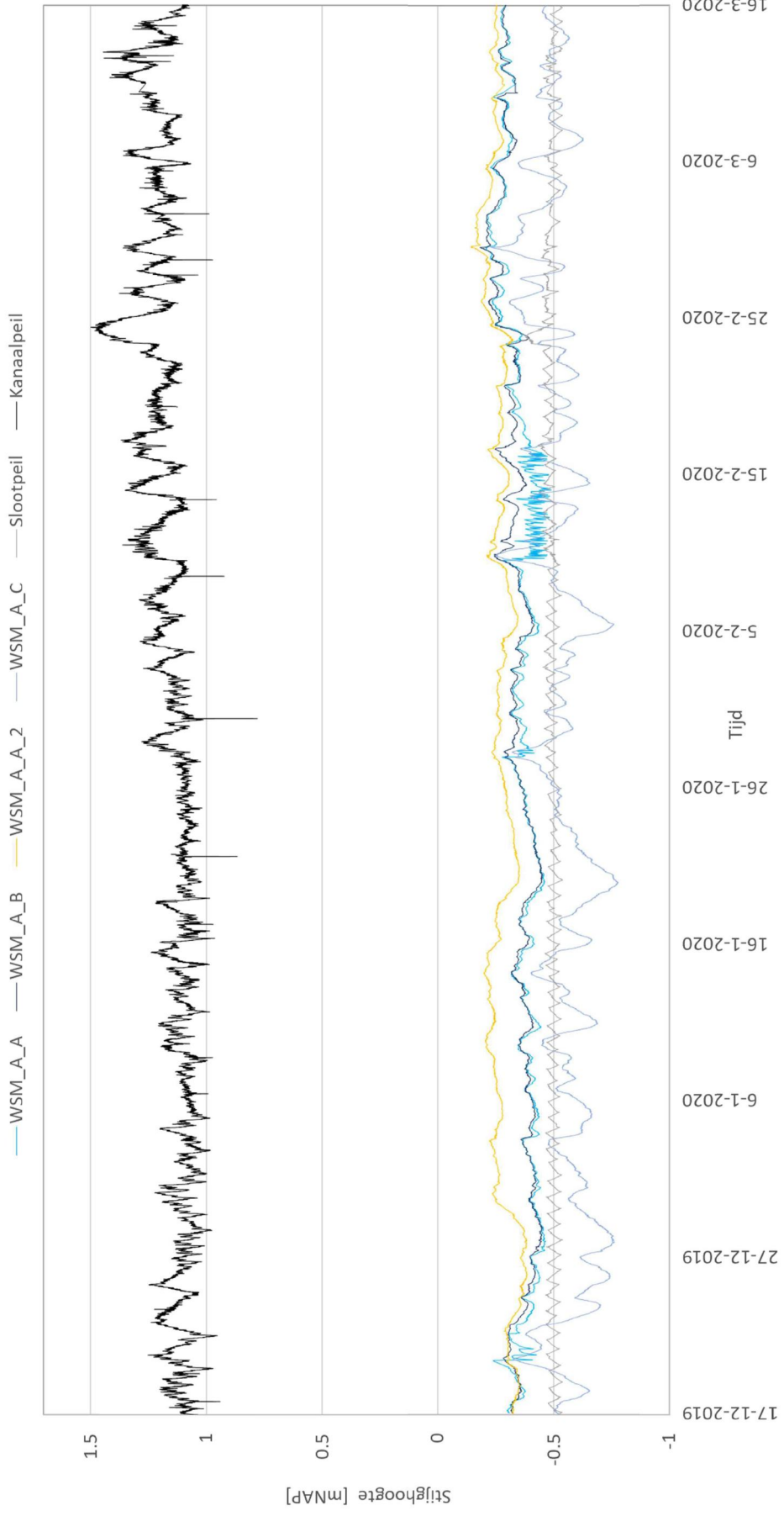
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster A en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, maar is op 23-12-2020 weer gemaakt waardoor die voor de rest van kwartaal 3 een goede meetreeks laat zien.

Cluster A: Waterspanning vs. Temperatuur



A.1.5 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster A: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

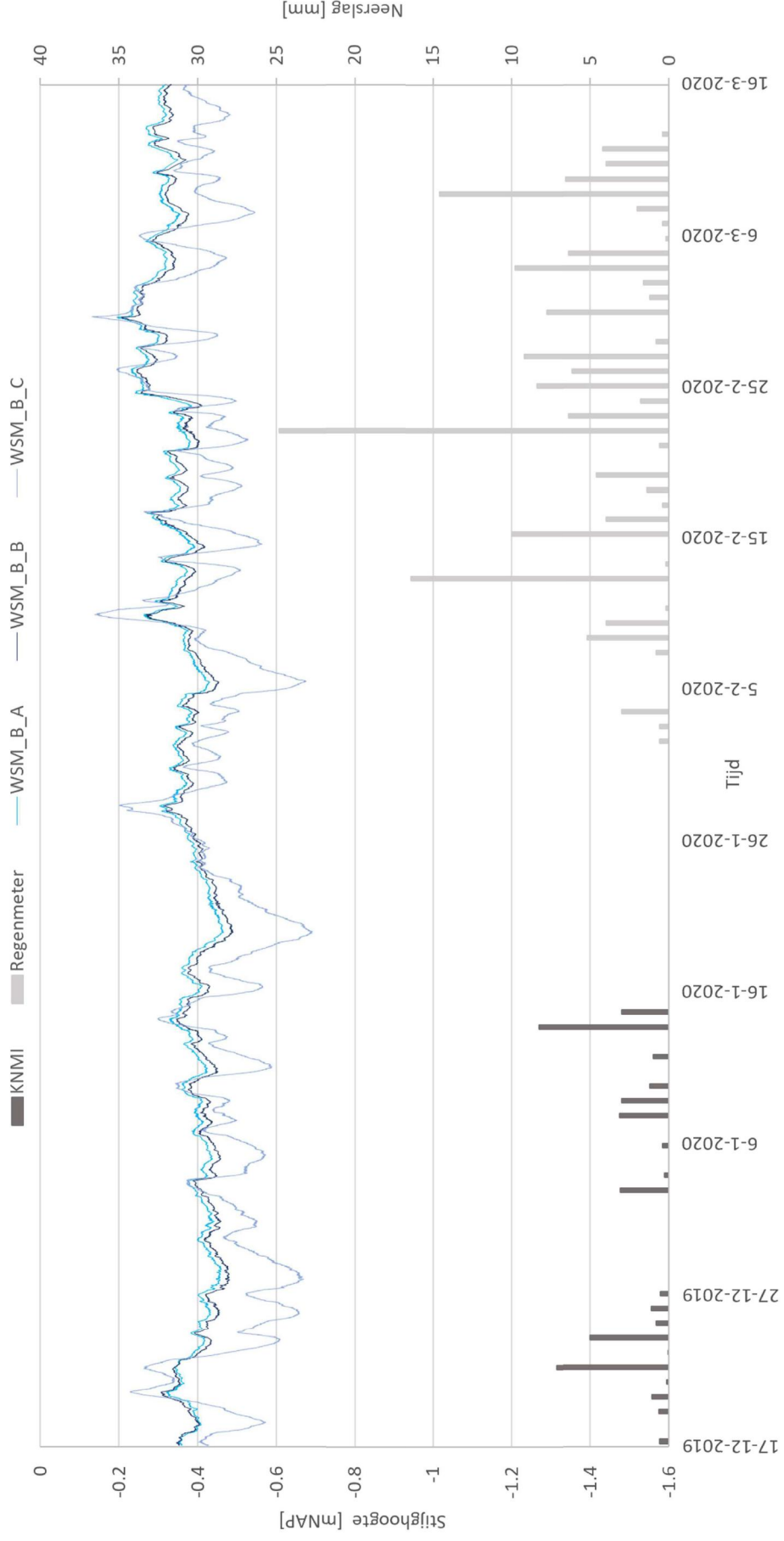


A.2 Cluster B

A.2.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

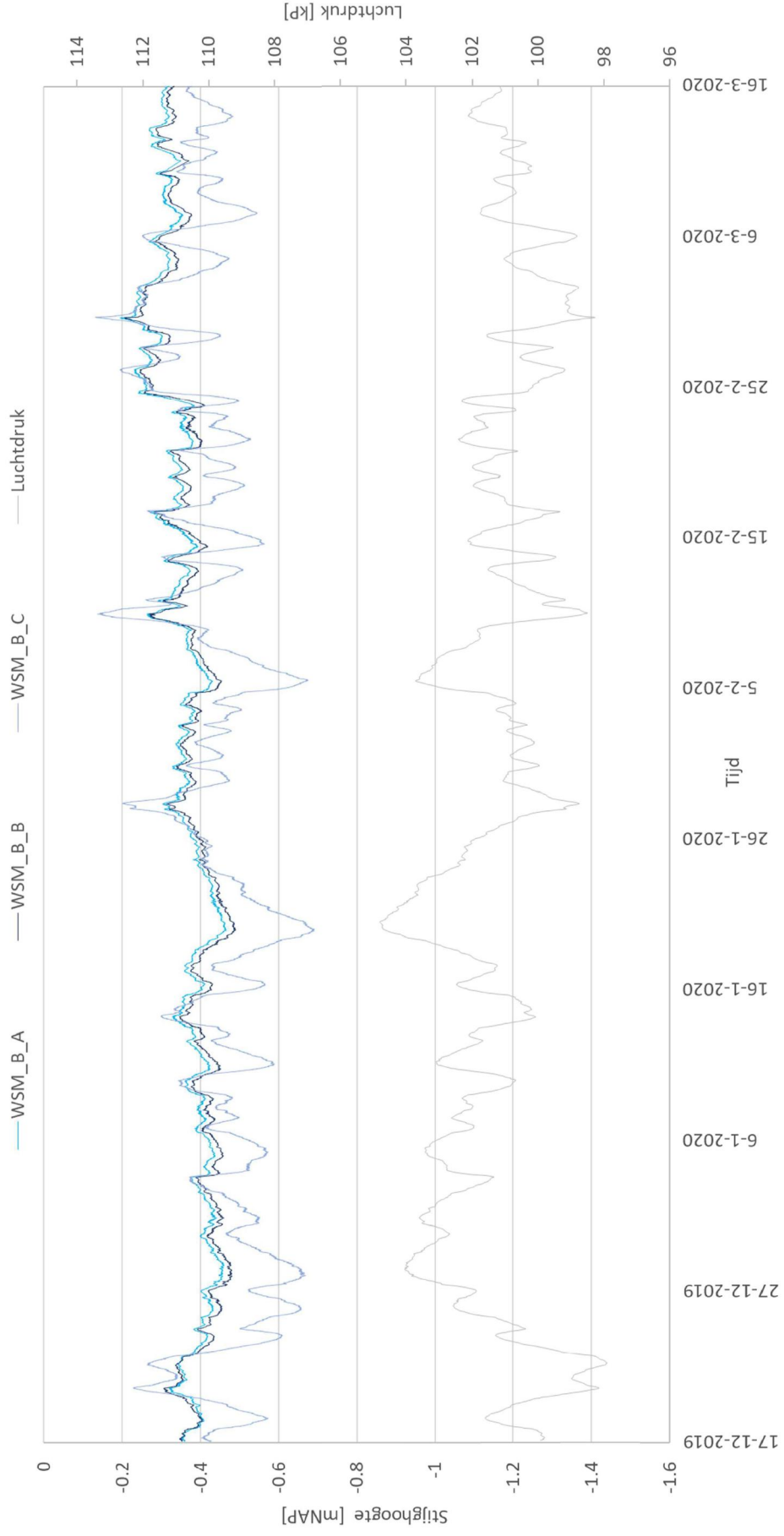
Cluster B: Waterspanning vs. Neerslag



A.2.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De Luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Bilt.

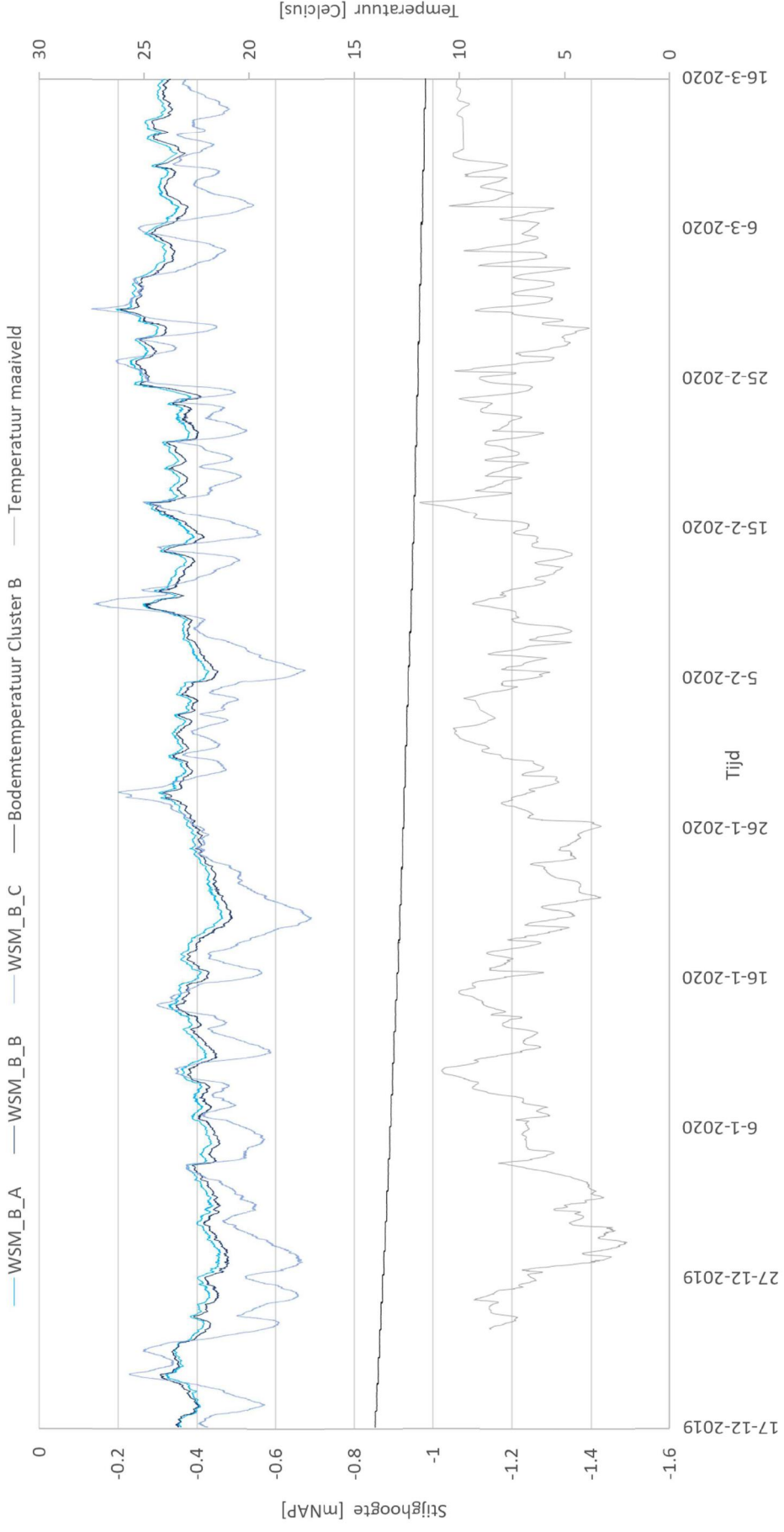
Cluster B: Waterspanning vs. luchtdruk



A.2.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster B en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, maar is op 23-12-2020 weer gemaakt waardoor die voor de rest van kwartaal 3 een goede meetreeks laat zien.

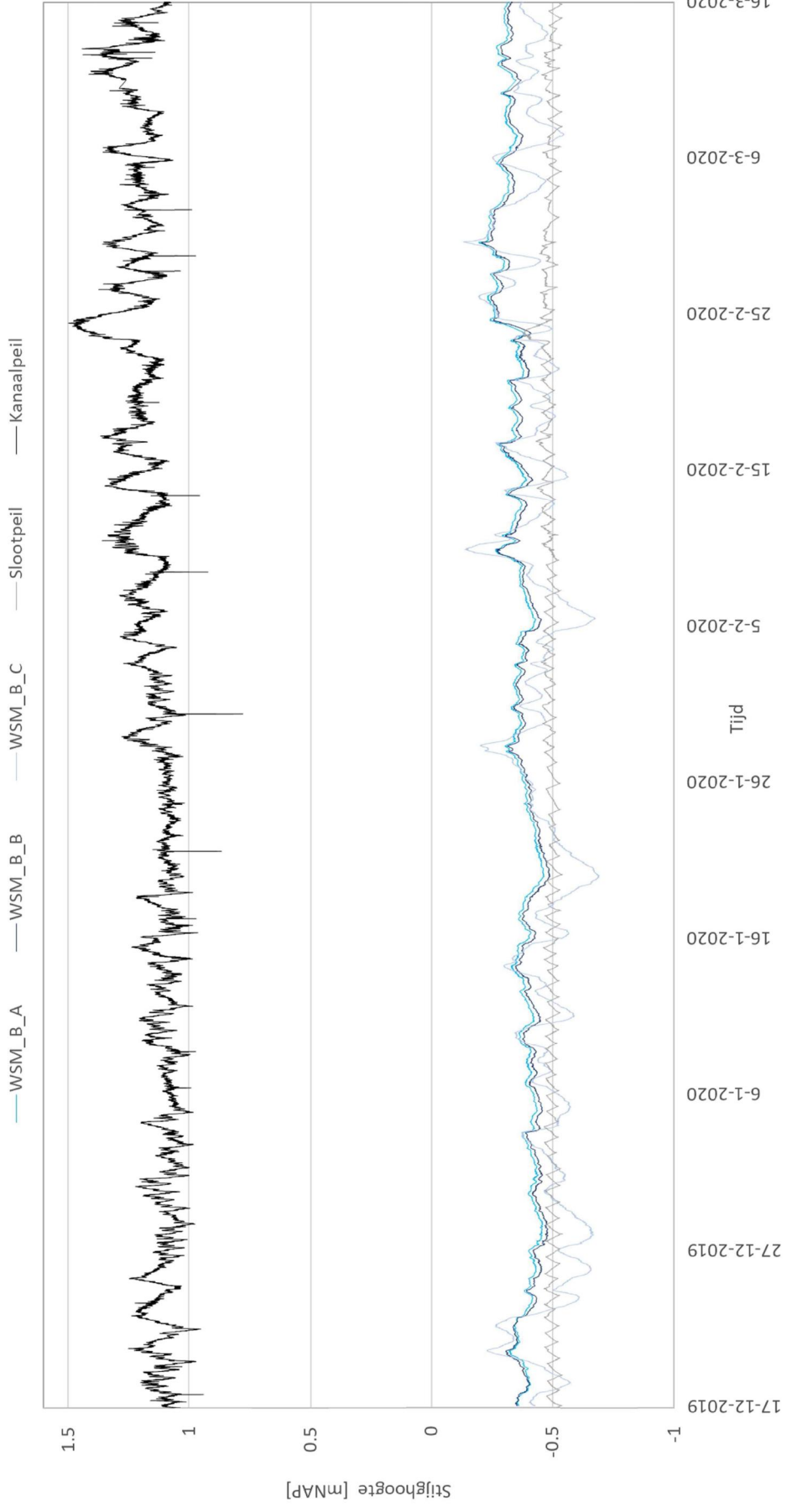
Cluster B: Waterspanning vs. Temperatuur



A.2.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster B: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

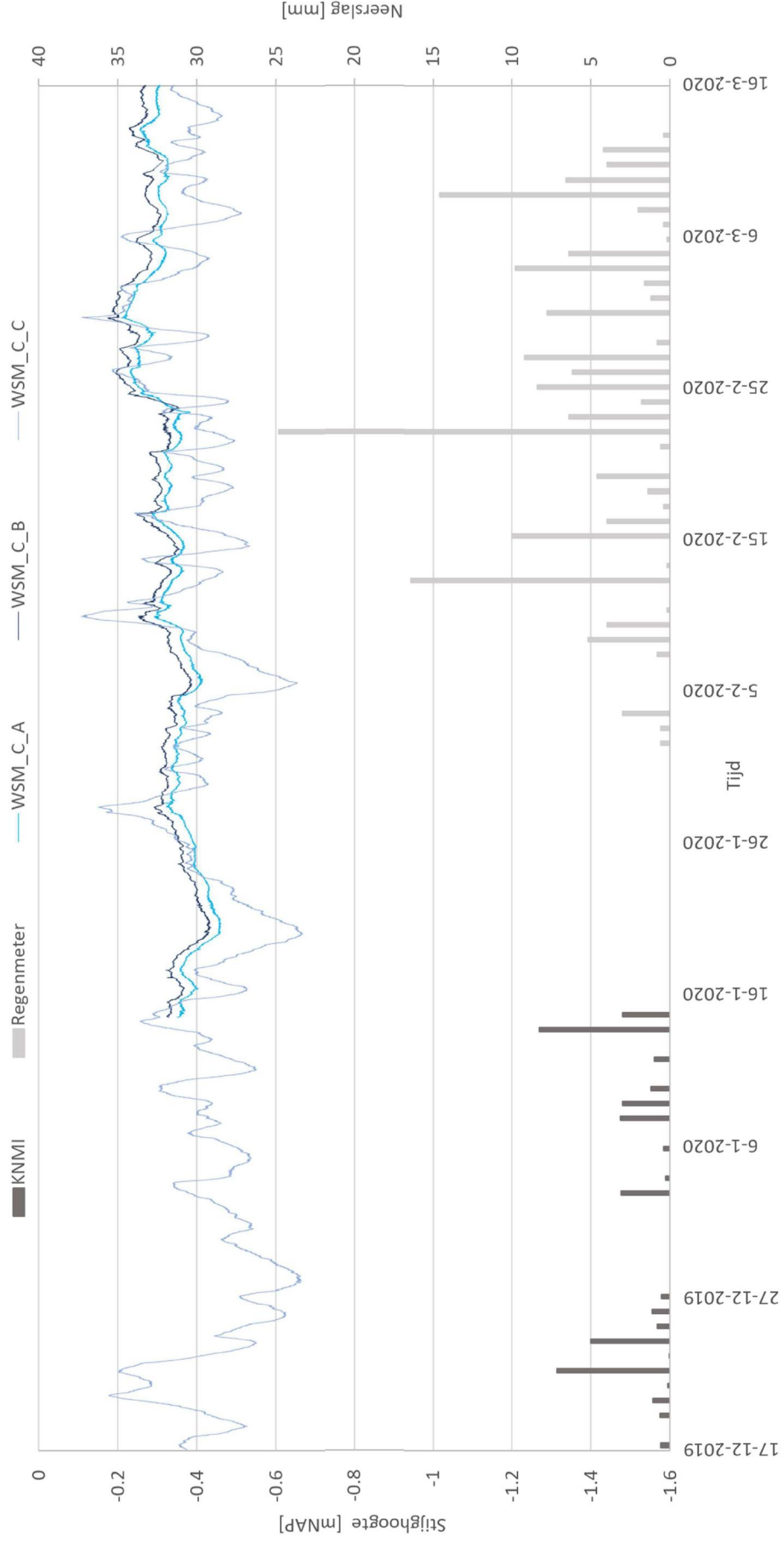


B.3 WSM cluster C

B.3.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

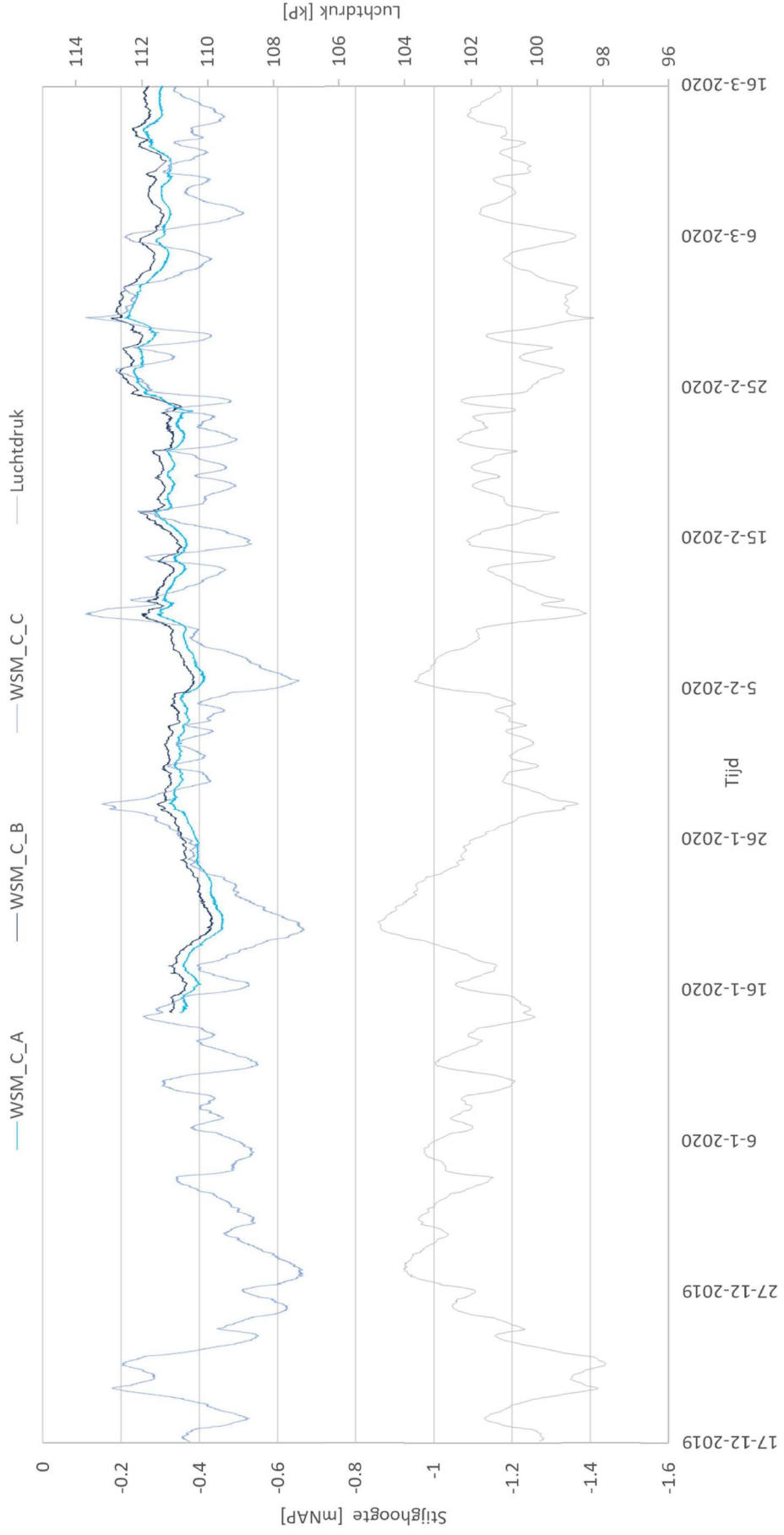
Cluster C: Waterspanning vs. Neerslag



B.3.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Biff. De waterspanningsmeters WSM_C_A en WSM_C_B zijn op 4-12-2019 kapot gegaan, op 14-1-2020 zijn de waterspanningsmeters gemaakt.

Cluster C: Waterspanning vs. luchtdruk

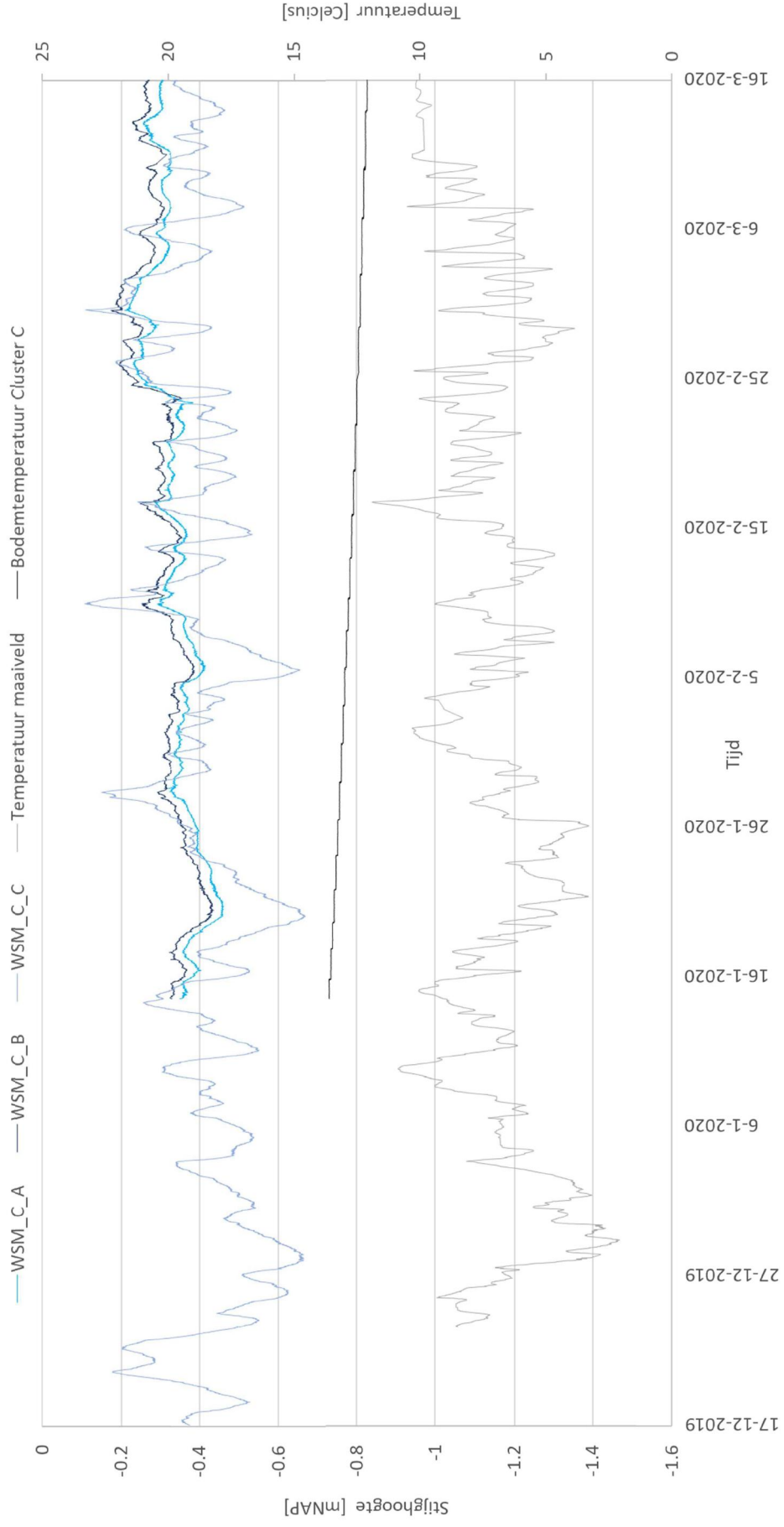




B.3.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster C en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, maar is op 23-12-2020 weer gemaakt waardoor die voor de rest van kwartaal 3 een goede meetreeks laat zien. De waterspanningsmeters WSM_C_B en WSM_C_C zijn op 4-12-2019 kapot gegaan, op 14-1-2020 zijn de waterspanningsmeters gemaakt, vanaf dit moment heeft ook de ingebouwde temperatuur sensor bij WSM_C_A de bodemtemperatuur weer gemeten.

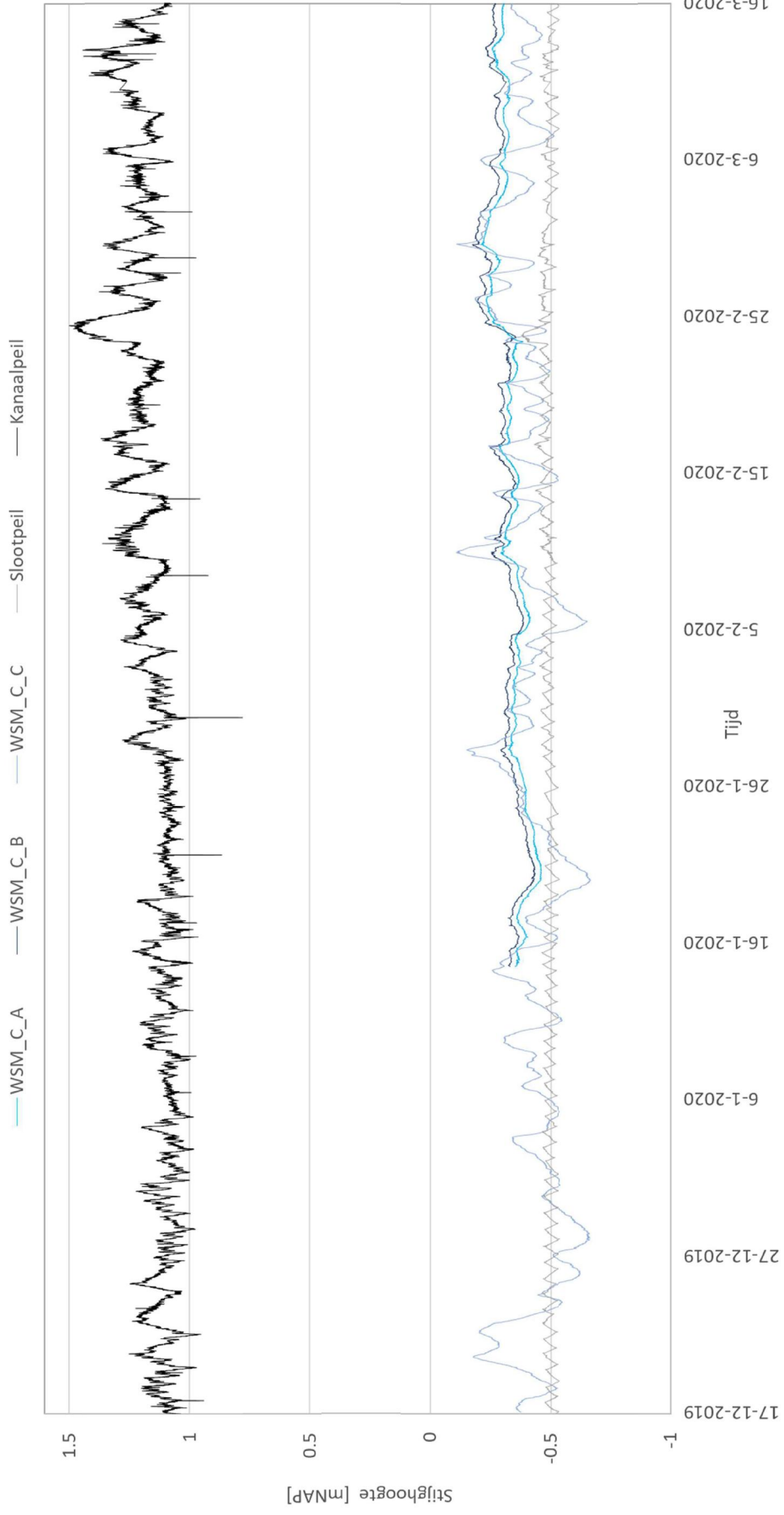
Cluster C: Waterspanning vs. Temperatuur



B.3.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot. De waterspanningsmeters WSM_C_B en WSM_C_C zijn op 4-12-2019 kapot gegaan, op 14-1-2020 zijn de waterspanningsmeters gemaakt, vanaf dit moment heeft ook de ingebouwde temperatuur sensor bij WSM_C_A de bodemtemperatuur weer gemeten.

Cluster C: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

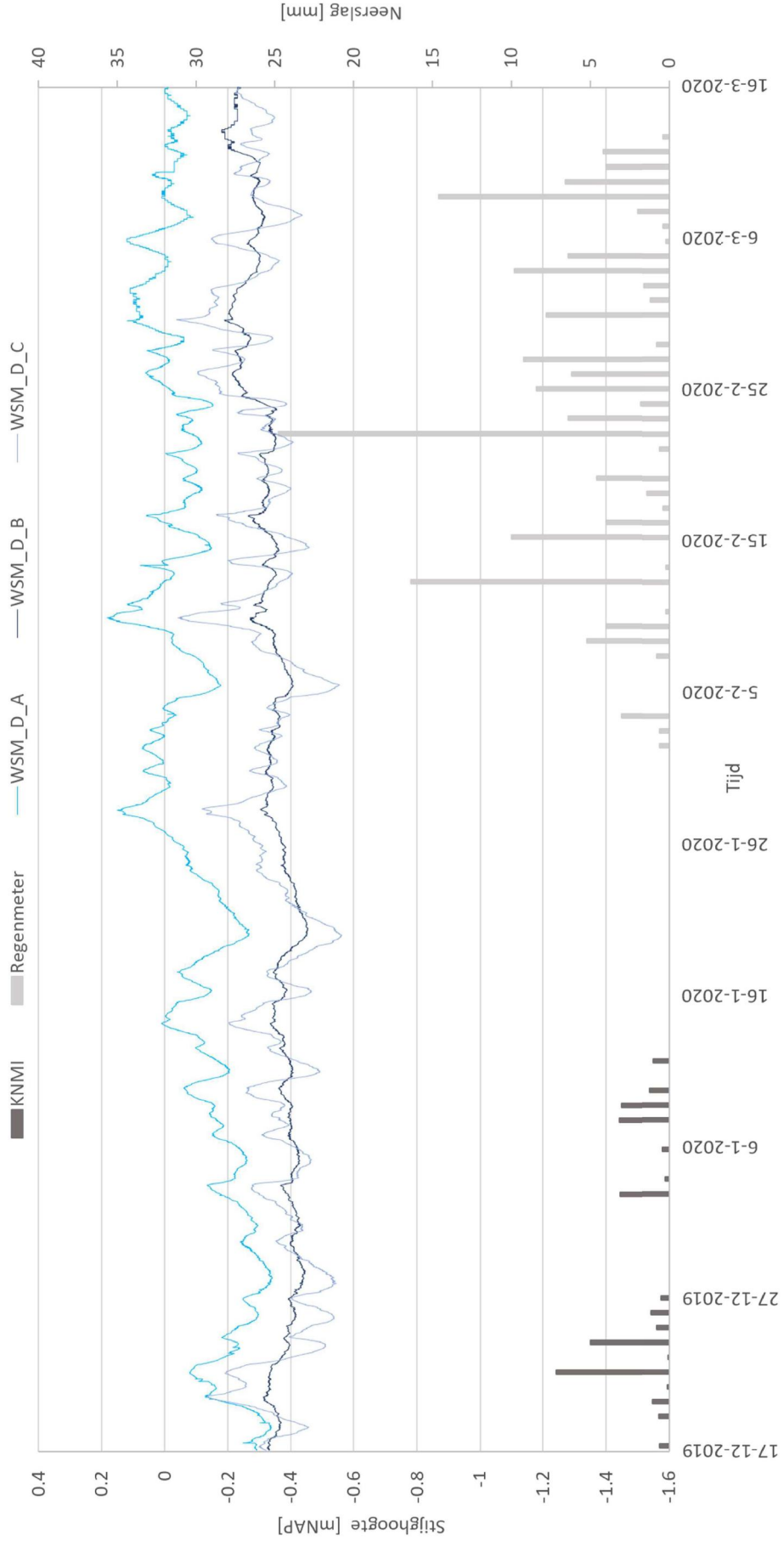


B.4 Cluster D

B.4.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm. De neerslag is berekent aan de hand van de data verkregen van de regenmeter.

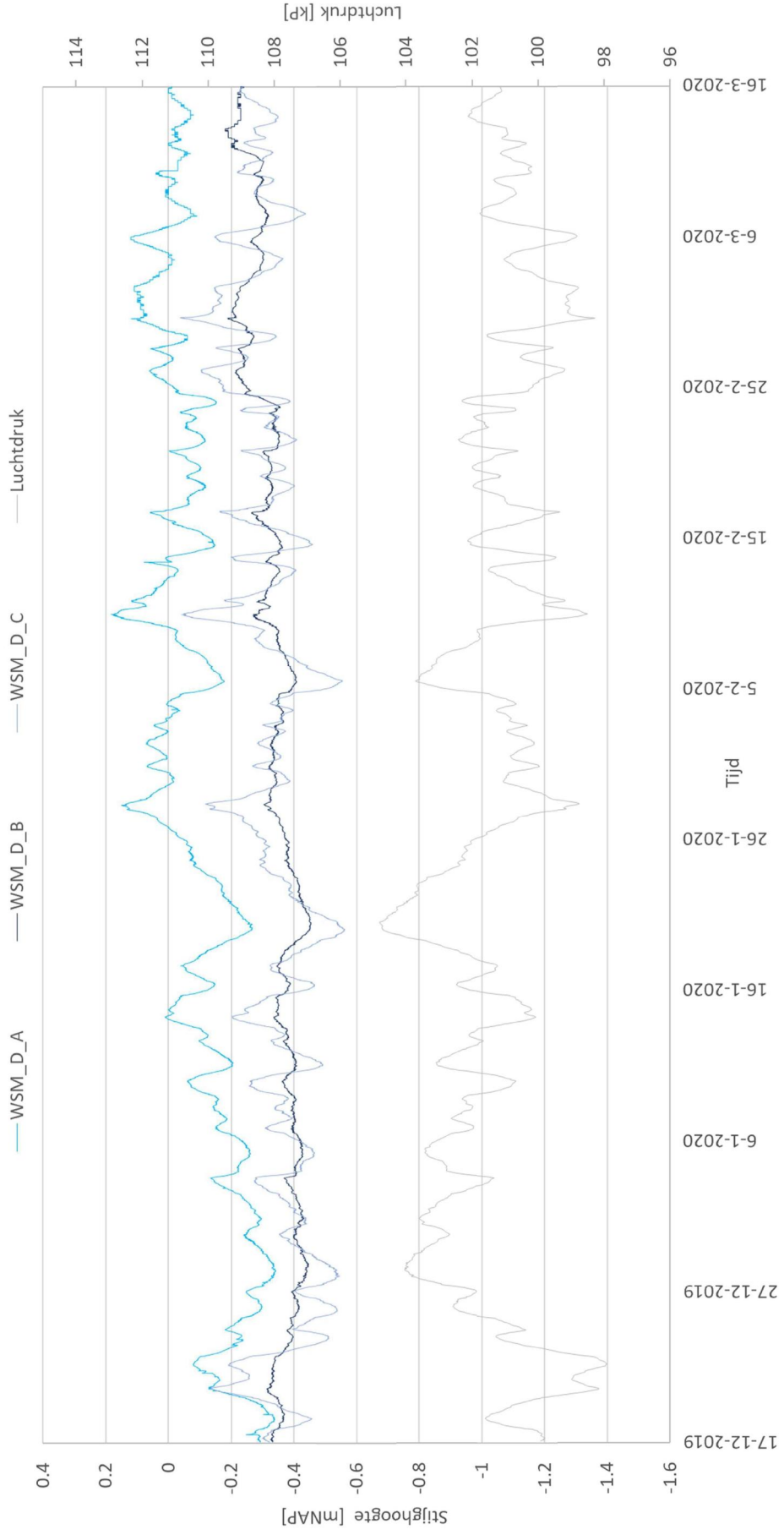
Cluster D: Waterspanning vs. Neerslag



B.4.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Bift.

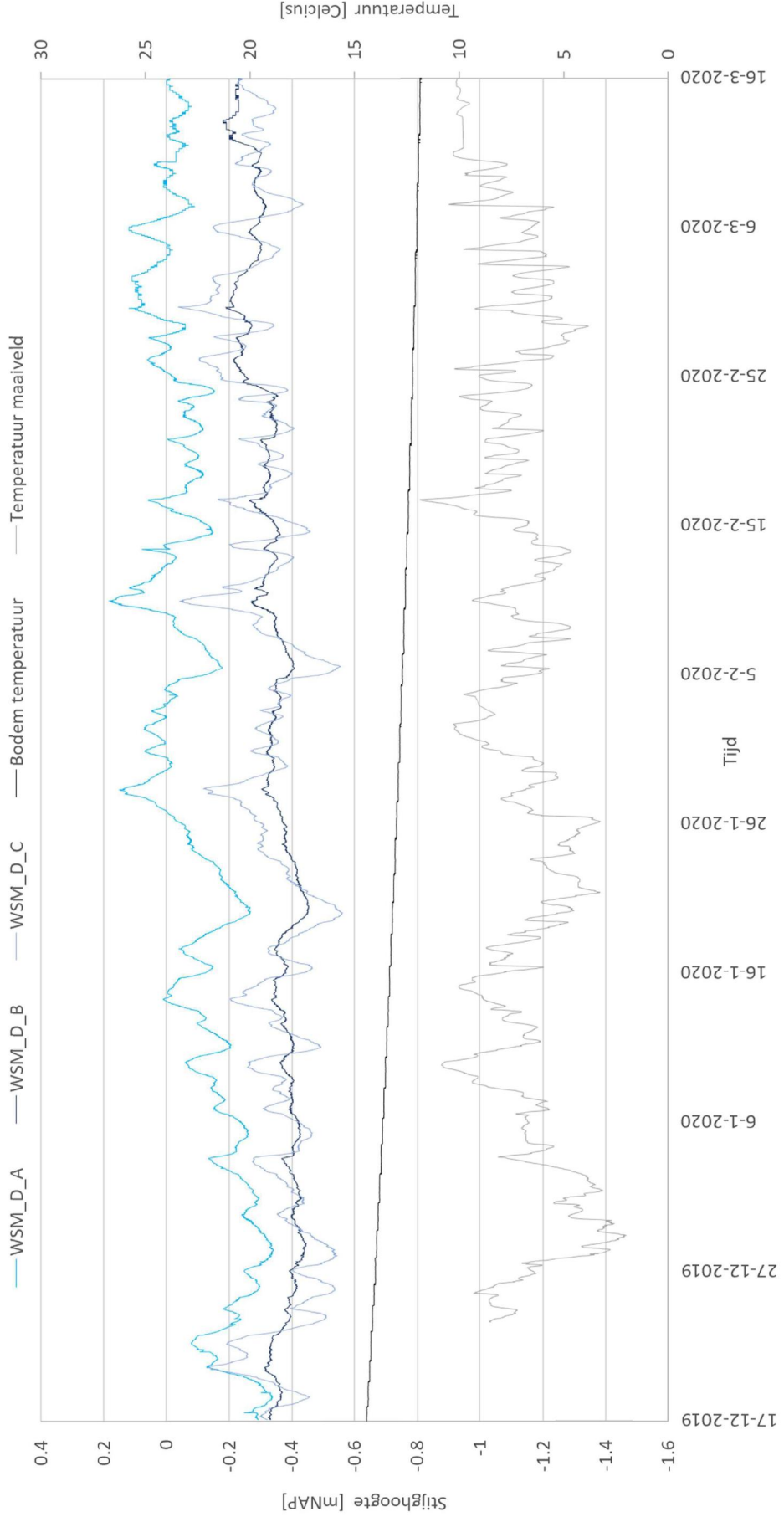
Cluster D: Waterspanning vs. luchtdruk



B.4.3 Waterspanning vs. Temperatuur

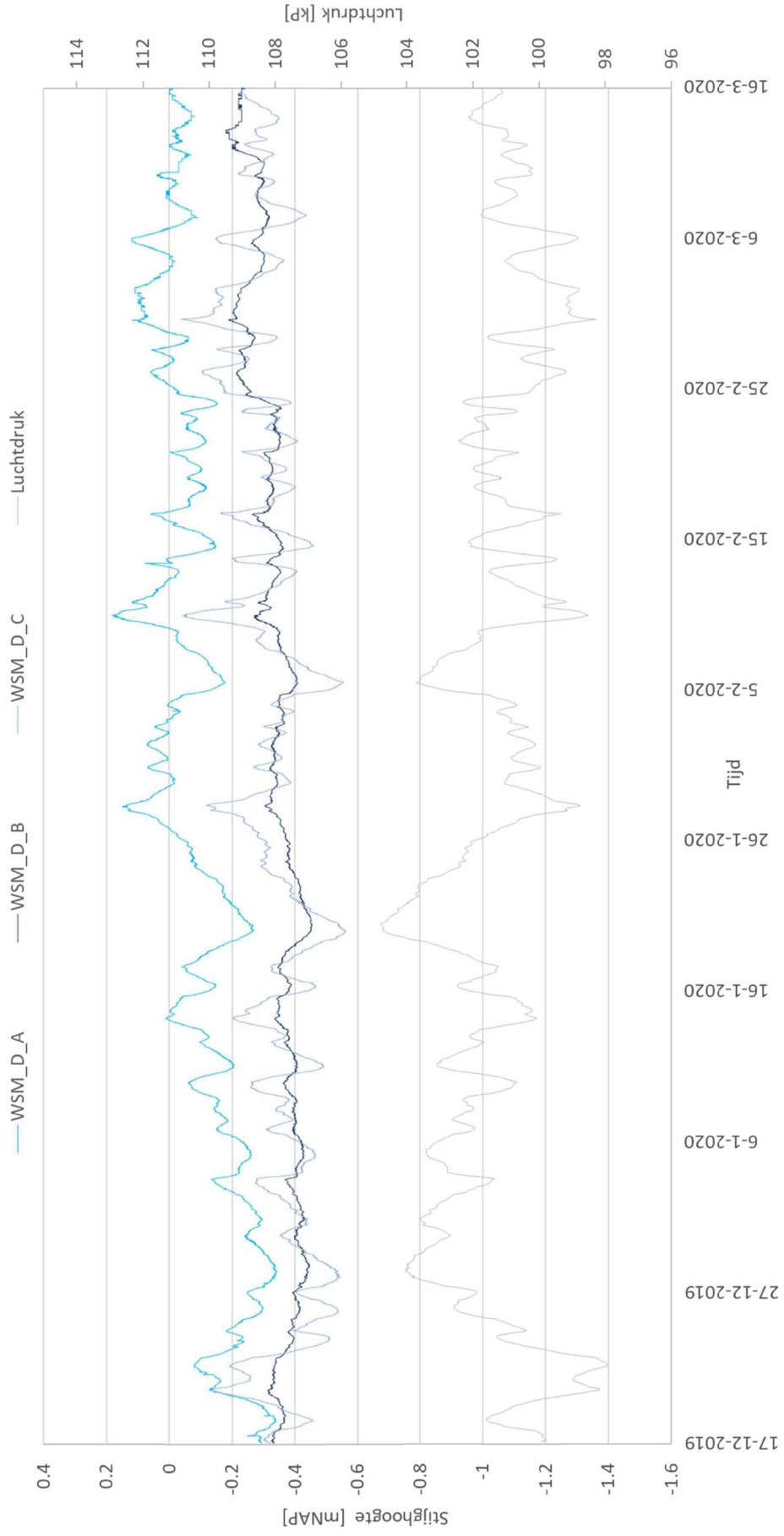
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster D en de temperatuur van het maaiveld. De temperatuur sensor van het maaiveld was op 6-11-2019 kapot gegaan, maar is op 23-12-2020 weer gemaakt waardoor die voor de rest van kwartaal 3 een goede meetreeks laat zien.

Cluster D: Waterspanning vs. Temperatuur



B.4.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster D: Waterspanning vs. luchtdruk





H. Kwartaalrapportage Q4 eerste veldtest – Fugro

4^e Kwartaalrapportage
POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3

Document Nr.: 1417-0042-141.R05

Versie: 1.0

Datum: 18 september 2020



4^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3



Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
Beleidsafdeling Water en Dijken
Postbus 599
4000 AN TIEL

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 31 70700

Projectleider A.D. Pool
Consultant Waterbouw

C. Voorbij-De Groot
Senior Projectleider Geomonitoring

Versiebeheer

1.0	Definitieve versie	AVK	FNH	CVO	24-09-2020
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	2
1. INLEIDING	3
1.1 Doelstelling	4
1.2 Scope	4
2. PROJECTOMSCHRIJVING	5
3. MUTATIE TESTVELD	7
3.1 WSMS	7
3.2 Neerslag	7
3.3 Kanaalpeil	7
4. SENSOROVERZICHT	8
5. MEETRESULTATEN EN ANALYSE	9
5.1 Meetresultaten	9
BIJLAGEN	
A. MEETRESULTATEN	
A.1 Cluster A	
A.1.1 Waterspanning vs. Neerslag	
A.1.2 Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.1.3 Waterspanning vs. Temperatuur	
A.1.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	
A.2 Cluster B	
A.2.1 Waterspanning vs. Neerslag	
A.2.2 Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.2.3 Waterspanning vs. Temperatuur	
A.2.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	
A.3 Cluster C	
A.3.1 Waterspanning vs. Neerslag	
A.3.2 Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.3.3 Waterspanning vs. Temperatuur	
A.3.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	
A.4 Cluster D	
A.4.1 Waterspanning vs. Neerslag	
A.4.2 Waterspanning vs. Luchtdruk	
A.4.3 Waterspanning vs. Temperatuur	
A.4.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil	



1. INLEIDING

Waterspanningsmeters (hierna WSM's) worden toegepast om waterdrukken in de waterverzadigde bodem te meten. Waterspanningsmeters kunnen dat veel nauwkeuriger en vooral veel sneller dan peilbuizen, en al helemaal in slecht doorlatend cohesief en plastisch materiaal zoals klei en veen. In de risicobeheersing van grondwerk is waterspanning de enige indicator die het mogelijk maakt om in te grijpen voordat grondvervormingen en schade optreden (diverse publicaties Timo Sweickendiek). Ze worden daarom op grote schaal toegepast in dijkenbouw en grondophogingen, ondanks dat het interpreteren van waterspanningsmeterdata niet altijd zo eenvoudig is als peilbuisdata. De praktijk laat zien dat na verloop van de tijd tot soms wel een kwart van de geïnstalleerde instrumenten niet alleen de waterspanning registreert maar daarbovenop ook allerlei andere fenomenen. Een belangrijke oorzaak van verstoringen van waterspanningsmeetdata is gasvorming door bacteriële afbraak van organisch materiaal. Zolang de gemeten druk zich daadwerkelijk voordoet is die in principe geotechnisch relevant, maar dat geldt niet zodra de druk zich alleen voordoet in een instrument of als het instrument de oorzaak is van drukopbouw.

Om antwoord te geven op de belangrijkste vragen en het bieden van oplossingen is vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen. Dit onderzoek is gegund aan het consortium tussen Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **WSM+NL**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Het beoogde resultaat van de ontwikkelingsfase is het bouwen van een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters.

In de Onderzoeksfase zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht:

- I. Laboratoriumonderzoek door Deltares waarbij het inzicht in de drijvende processen achter de gasvorming is verbeterd;
- II. Onderzoek door Fugro naar de werking van een gasfilter om gas uit een waterspanningsmeter te kunnen afvoeren door middel van een veldtest.

Het onderzoek van Fugro heeft geleid tot een aangepast gasfiltermateriaal dat naar verwachting het maatgevende gasdebiet kan afvoeren zonder actieve gasdrukverlaging in het filter. De rapportages over deze eerdere projectfasen bevatten veel aanvullende informatie.



1.1 Doelstelling

In de veldtest is een groot aantal instrumenten geplaatst op een locatie waarvan bekend is dat gasbelvorming daar verstoringen veroorzaakt. De resultaten van die veldtestperiode worden in deze rapportages behandeld. Het doel van de veldtest is het vergelijken van prestaties van verschillende waterspanningsmeters in een duurttest. Hiervoor worden de Fugro FWS2 hogesterktevariant waterspanningsmeter van Fugro toegepast, uitgevoerd met en zonder gasfilter. Daarnaast wordt het meest gebruikte instrument ingezet dat wordt geleverd door Geopoint. Deze instrumenten en dataloggers worden geplaatst en beheerd door Wiertsema & Partners. Andere waterspanningsmeter leveranciers passen vergelijkbare materialen en voorgevingen toe. Deze zijn daarom niet opgenomen in deze veldtest.

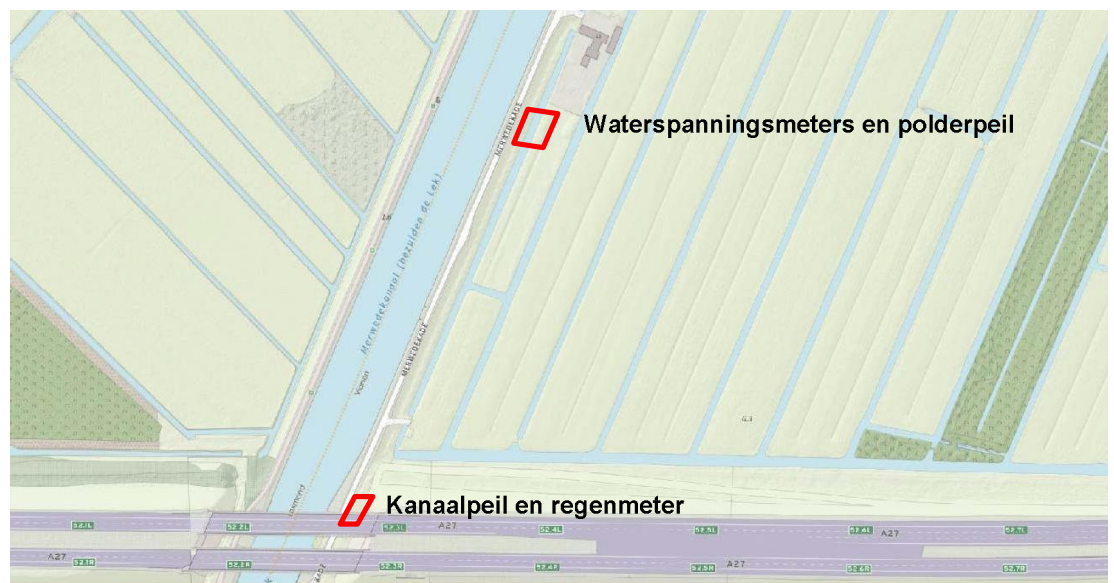
1.2 Scope

Dit document betreft de 4^e kwartaalrapportage van de eerste veldtestlocatie Merwedekanaaloever. Hierin worden de meetresultaten beschreven afkomstig van alle sensoren. De kwartaalrapportages omvatten de volgende perioden:

1	17 juni 2019 tot 16 september 2019	1417-0042-141.R02_Kwartaal 1.pdf
2	17 september 2019 tot 16 december 2019	1417-0042-141.R03_Kwartaal 2.pdf
3	17 december 2019 tot 16 maart 2020	1417-0042-141.R04_Kwartaal 3.pdf
4	17 maart 2020 tot 16 juni 2020	1417-0042-141.R05_Kwartaal 4.pdf

2. PROJECTOMSCHRIJVING

In de nabije omgeving van Merwedekade 18 te Vianen vinden veldtesten plaats ten behoeve van de ontwikkeling van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeter. Naast waterspanningsmeters is op locatie ondersteunende meetapparatuur geplaatst zoals 2 openwaterpunten en 1 regenmeter om de invloeden op gasvorming in kaart te brengen. Eén openwatermeetpunt is in het kanaal geplaatst en één openwatermeetpunt is geplaatst in de nabijgelegen sloot. Tot slot is er een regenmeter geplaatst nabij de projectlocatie. In onderstaande figuur is de situering van de projectlocatie weergegeven.



Figuur 2-1: Situering projectlocatie nabij Merwedekade 18 te Vianen (Bron: OpenTopo).



Figuur 2-2: Overzicht meetopstelling met beschermkokers en afrastering.



Figuur 2-3: Testveld waterspanningsmeters.



Figuur 2-4: Openwatermeetpunt kanaal en regenmeter

4^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3



3. MUTATIE TESTVELD

3.1 WSMS

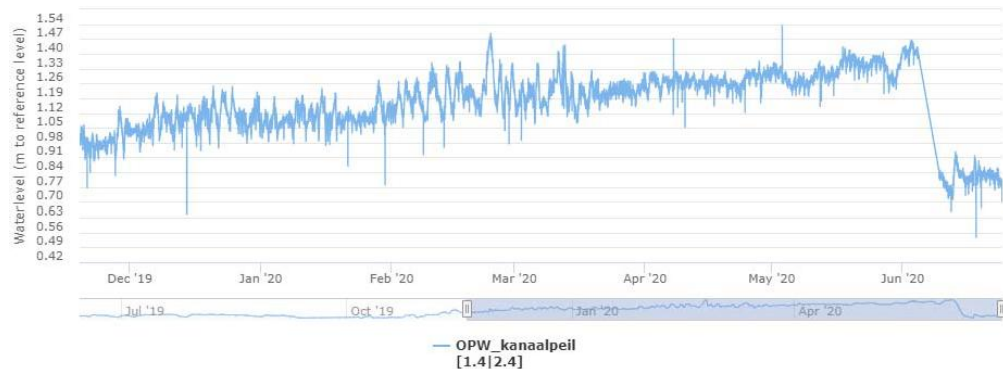
De wsms hebben allemaal gedurende de gehele periode 4 meetgegevens geleverd.

3.2 Neerslag

De neerslagmeter op de meetlocatie heeft gedurende de gehele meetperiode in het vierde kwartaal regen geregistreerd.

3.3 Kanaalpeil

Het kanaalpeil loopt gedurende het derde en vierde kwartaal gestaag op tot boven NAP+1 m (Figuur 3.2). De sensor lijkt een aanzienlijke drift te vertonen terwijl het een nieuwe hoogwaardige druksensor betreft. De sensor kan pas na afronding van het werk worden gecontroleerd. Om toch kanaalpeilmetingen beschikbaar te krijgen is de datastroom na 9 juni geleverd door een nieuwe sensor.



Figuur 3.2, Kanaalpeil in meter tov NAP gedurende het derde en vierde "kwartaal".

4^E KWARTAAL RAPPORTAGE

POVM - Ontwikkelen WSM - fase 3



4. SENSOROVERZICHT

In tabel 4-1 staan gegevens vermeld over de geplaatste sensoren langs het Merwedekanaal.

Tabel 4-1: Overzicht sensoren

Locatie	Sensornaam	Sensor type	Coördinaten (RD)		mv	Sensorniveau	Start
			X [m]	Y [m]	[m NAP]	[m NAP]	[d-m-j]
Cluster-A	WSM_A-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.79	441071.04	1.01	-1.87	17-6-2019
	WSM_A-B	Fugro WSM standaard	132295.81	441071.34	1.09	-1.84	17-6-2019
	WSM_A-A-2	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.67	441070.97	1.02	-2.00	17-8-2019
Cluster-B	WSM_B-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132296.14	441071.89	1.02	-1.76	17-6-2019
	WSM_B-B	Fugro WSM standaard	132296.18	441072.13	1.10	-1.69	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132294.96	441071.34	1.38	-1.63	17-6-2019
	WSM_C-B	Fugro WSM standaard	132294.98	441071.67	1.40	-1.62	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-A	Fugro WSM gasfilter+thermistor	132295.25	441072.14	1.42	-1.64	17-6-2019
	WSM_D-B	Fugro WSM standaard	132295.33	441072.5	1.42	-1.58	17-6-2019
Cluster-A	WSM_A-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.967	441071.113	0.85	-1.95	17-6-2019
Cluster-B	WSM_B-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132296.349	441071.881	0.86	-1.74	17-6-2019
Cluster-C	WSM_C-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.184	441071.445	1.25	-1.65	17-6-2019
Cluster-D	WSM_D-C	Geopoint WSM (operated by W+P)	132295.444	441072.163	1.35	-1.45	17-6-2019
Sloot	PB_Slootpeil	OWP	132303.52	441067.35	-0.25 tot 0.75	-0.18	17-6-2019
Kanaal	PB_Kanaal	OWP	132209.55	440896.31	0.60-1.60	-1.22	17-6-2019
open water meetpunt	LK070 MWVK	Regenmeter	132213	440896	n.v.t.	2.24	17-6-2019
Cluster B	Temperatuursensor maaiveld	Temperatuursensor	132296.38	441072.33	1.10	1.10	12-9-2019



5. MEETRESULTATEN EN ANALYSE

5.1 Meetresultaten

In Figuur 5-1 zijn de meetresultaten uit kwartaal 4 weergegeven van alle waterspanningsmeters tesamen. Daarbij zijn de gangbare naamcodes gebruikt: “groep/cluster” – “type”.

4 clusters / groepen: A, B, C en D en 3 types:

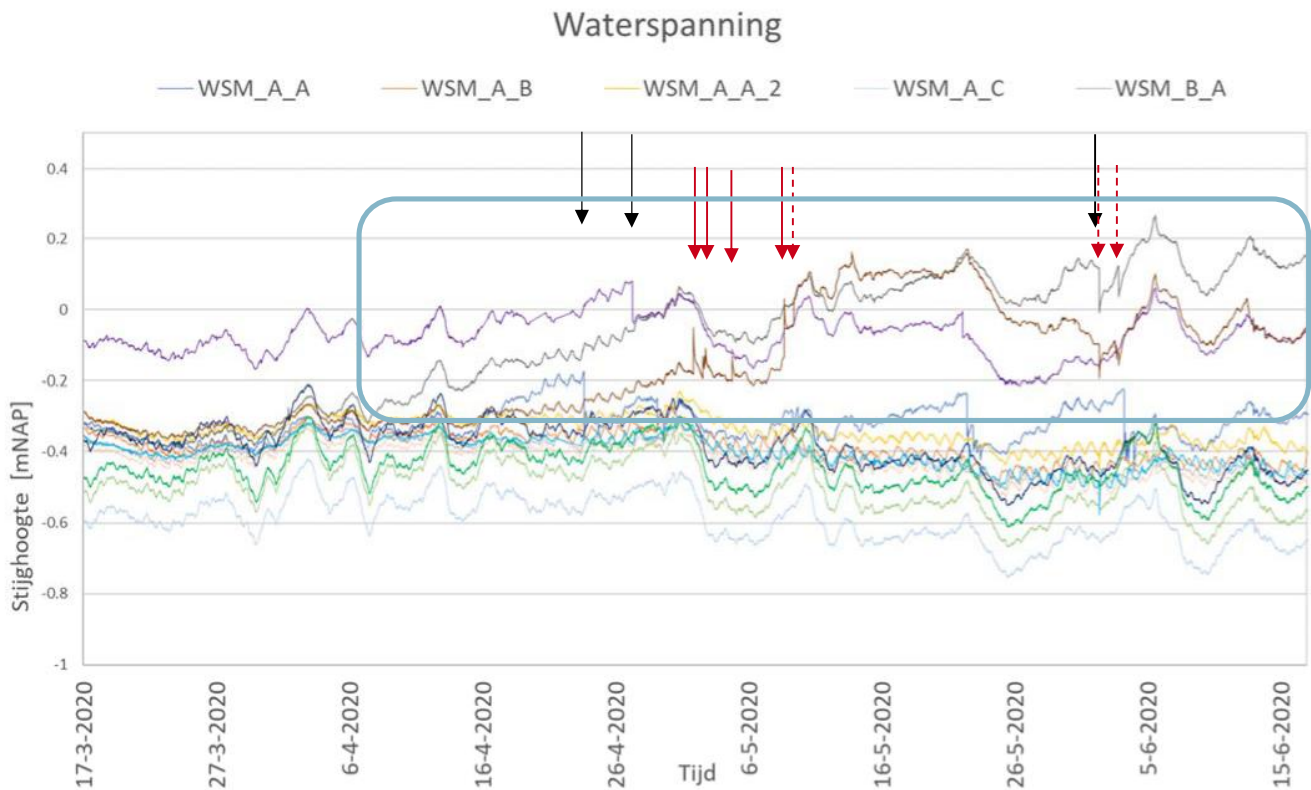
A - Fugro FWS2 sensoren zonder gasfilter

B - Fugro FWS2 sensoren met gasfilter

C - Geopoint WSMs geplaatst en beheerd door Wiertsema & Partners.

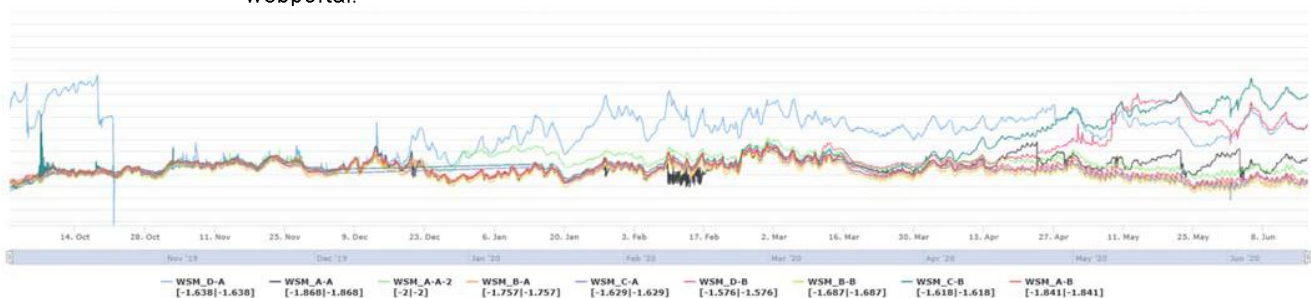
Uit het overzicht blijkt dat alle sensoren data geleverd hebben en dat de reeksen in twee groepen uiteenvallen. Een aanzienlijk deel van de sensoren laat drukverhogingen zien en onregelmatigheden terwijl de anderen geen opvallend ander beeld laat zien. Gezien het feit dat de sensoren op zeer korte afstand van elkaar in de bodem zitten in dezelfde bodemlaag, moeten de verschillen nader worden bestudeerd. De kwartaalrapportage 2 en 3 beschrijven de soorten variaties uitgebreid en in deze rapportage waarin de zomer zich aandient worden alleen de opmerkelijke gebeurtenissen aangewezen. In bijlage A worden de waterspanningen in detail weergegeven per cluster. Binnen elke cluster is de waterspanning uitgezet tegen achtereenvolgens neerslag, luchtdruk, temperatuur en het waterpeil in de sloot en het kanaal.

De bijlagen lijken een compleet beeld te geven van de reeksen maar wij raden iedereen aan om de data te bekijken in het daarvoor beschikbare webportal Gaia Insight. De figuren die worden getoond in de toelichting per gebeurtenis (ook in de eerdere kwartaalrapportages) zijn opgebouwd met de Gaia Insight grafiekgenerator waarmee aanzienlijk dieper kan worden ingezoomd. De veranderingen in variabiliteit bieden een weelde aan inzichten over wat er zich afspeelt in de ondiepe bodem, zelfs als alleen waterspanning wordt bekeken.



Figuur 5-1: Waterspanning in alle wsm sensoren uitgedrukt als Stijghoogte in m tov NAP gedurende de meetperiode 17 maart tot 17 juni 2020.

De variaties en trends in enkele sensoren is in onderstaande figuur in een breder perspectief geplaatst. Deze grafiek is voor iedereen in detail te bekijken via de eerder genoemde Gaia Insight webportal.



Figuur 5-2: Waterspanning in alle wsm sensoren uitgedrukt als Stijghoogte gedurende de meetperiode oktober 2019 - juni 2020.

Het algemene beeld van de meetlocatie en de factoren neerslag, oppervlaktewater en topografie is dat er weinig grote of trendmatige verschillen tussen waterspanningsreeksen kunnen ontstaan, en als die zich wel voordoen is daarvoor echt een nadere analyse nodig. Deze analyse is de kern van de eerdere drie kwartaalrapportages.

- Alle sensoren vrijwel permanent data leveren met uitzondering van sensoren C-A en C-B die tot half december geen data leverden. Dit lag aan de telemetrie.;



- Het kanaalpeil loopt gestaag op tot boven NAP+1 m, en het polderpeil wordt half oktober met 10 cm verlaagd naar NAP -0.5 m;
- De bodemtemperatuur bereikt in deze periode haar dieptepunt rond 12°C en begint te stijgen naar 13 °C. Het algemene beeld is dat daarmee nog geen verandering in druk of variatie ontstaat;
- De luchttemperatuur op maaiveld neemt wel behoorlijk toe van rond 5°C (etmaalvariatie ook ongeveer 5°C) en begint te stijgen naar dagen met gemiddeld 20 °C. Het algemene beeld is dat de meerdaagse maaiveldtemperatuur een positief verband vertoont (amplitude ruwweg 1 kPa) met druk in reeksen C (Geopoint). Opvallend is dat daarentegen juist een klein (amplitude 0.5kPa) negatief verband bestaat tussen de etmaalvariatie van luchttemperatuur en druk in reeksen A en B (Fugro). De meerdaagse correlatie die zichtbaar is in reeksen C komt niet duidelijk terug in de sensoren van Fugro.
- De neerslag in het betreffende kwartaal was beperkt en lijkt nauwelijks van invloed op waterspanning;
- Alle meetreeksen van Geopoint wsms vertonen nog een negatief verband met luchtdrukverschillen. De reeksen van Fugro WSMs vertonen dit verband eerder wel zichtbare relatie tussen luchtdruk en waterspanning in Fugro WSMs is in deze periode maar zeer beperkt zichtbaar.

In figuur 5-1 zijn drie opmerkelijke zaken gemarkeerd.

1. De blauwgrijze kader markeert de trendmatige verhoging in sensoren A-A , D-A, C-B en D-B;
2. Dezelfde reeksen met trendmatige verhoging vertonen soms tegelijk en soms op een ander moment een abrupte drukdaling (zwarte pijlen); Ook reeksen die lage drukken blijven registreren vertonen abrupte drukdalingen, maar in mindere mate.
3. Enkele reeksen vertonen abrupte drukstijgingen (rode stippelpijlen) en daarbij valt vooral reeks D-B op, die aanvankelijk drukstijgingen vertoont en daarna blijft doorstijgen en abrupte drukdalingen laat zien.

Deze opmerkelijke verschillen zijn in eerdere kwartaalrapportages allemaal eerder waargenomen en vooralsnog allemaal toegeschreven aan de invloed van het ontgassen van grondwater in warme perioden. De gasbellen die daarbij ontstaan kunnen daarbij soms niet ontsnappen aan de ruimte die de bodemmatrix biedt, totdat in sommige gevallen een weg wordt geforceerd. Daarbij zal soms de luchtintredewaarde van een capillaire opening moeten worden overschreden waarna die weerstand voor de daaropvolgende bel soms lager ligt. Ook kan het wijzen op een mechanische weerstand die het gevolg is van de toevalligheid van de cellulaire en vezelige structuur van veen.

De permanente hoge druk wijst erop dat de bel gestaag steeds meer water wegdrukt maar zelf niet kan ontsnappen. Als eenmaal een bel ontsnapt is het lang niet altijd genoeg om de hele overdruksituatie te herstellen tot de waarden die normaal worden verondersteld voor die locatie (de onveranderlijke sensoren vlakbij). Hoe groot het gasbelvolume moet zijn om dat te ondersteunen is niet nader onderzocht. Er is geen monsternamen uitgevoerd gericht op het vaststellen van het volume gas.



De abrupte drukstijgingen komen minder vaak voor dan drukdalingen. Deze zijn eerder hypothetisch verklaard als een signaal dat onder druk van dieper gelegen gasbelreservoirs een ontsnapping heeft plaatsgevonden naar het ruimtelijke domein waarbinnen de betreffende wsm staat te meten. De druktoename wordt geregistreerd door een WSM die voor de ontsnapping “normale waarden” produceerde en die overdruk herstelt zich vaak weer in een beperkt aantal meetintervallen (vaak binnen een uur). In deze periode is in 1 reeks sprake van opvallende drukstijgingen en daarna een overgang naar de vaker voorkomende “abrupte drukdalingen” die zoals eerder benadrukt hypothetisch wordt toegeschreven aan het ontsnappen van gasbellen.

De eigenaardigheid dat de drukopbouw niet in alle wsms wordt waargenomen terwijl ze op minder dan 50 cm afstand van elkaar staan in dezelfde bodemlaag, wijst erop dat de drukopbouw zeer lokaal lijkt te zijn. Dat ventielen en capillairen lokaal hun uitwerking hebben op de druk in gasbellen is niet onverwacht maar dat een groot aandeel van de wsms (4 tot 6 in deze periode) drukvariaties laat zien wijst erop dat het een algemeen voorkomend fenomeen is en vooralsnog niet aan de instrumenten kan worden toegeschreven. De drukk niveaus kunnen oplopen tot in deze meetperiode ruim 5 kPa. Dergelijke reeksen vertonen soms maar zelden een drukafname of toename waardoor de interpretatie en diagnose van drukreeksen van instrumenten die enkelvoudig in een meetopstelling staan ongemerkt aanzienlijke gasbeldrukcomponenten kunnen bevatten. Het ontbreken van zaagtandachtige drukveranderingen is dus geen garantie dat de gemeten druk zich over een groot deel van de bodem voordoet, en ook is de verhouding gasdruk/waterdruk niet zonder meer te bepalen.

Na deze periode wordt ook in de nog warmere zomermaanden doorgemeten. Daar bij wordt van een aantal instrumenten de meetinterval lengte verkort van 10 minuten naar 2 minuten.



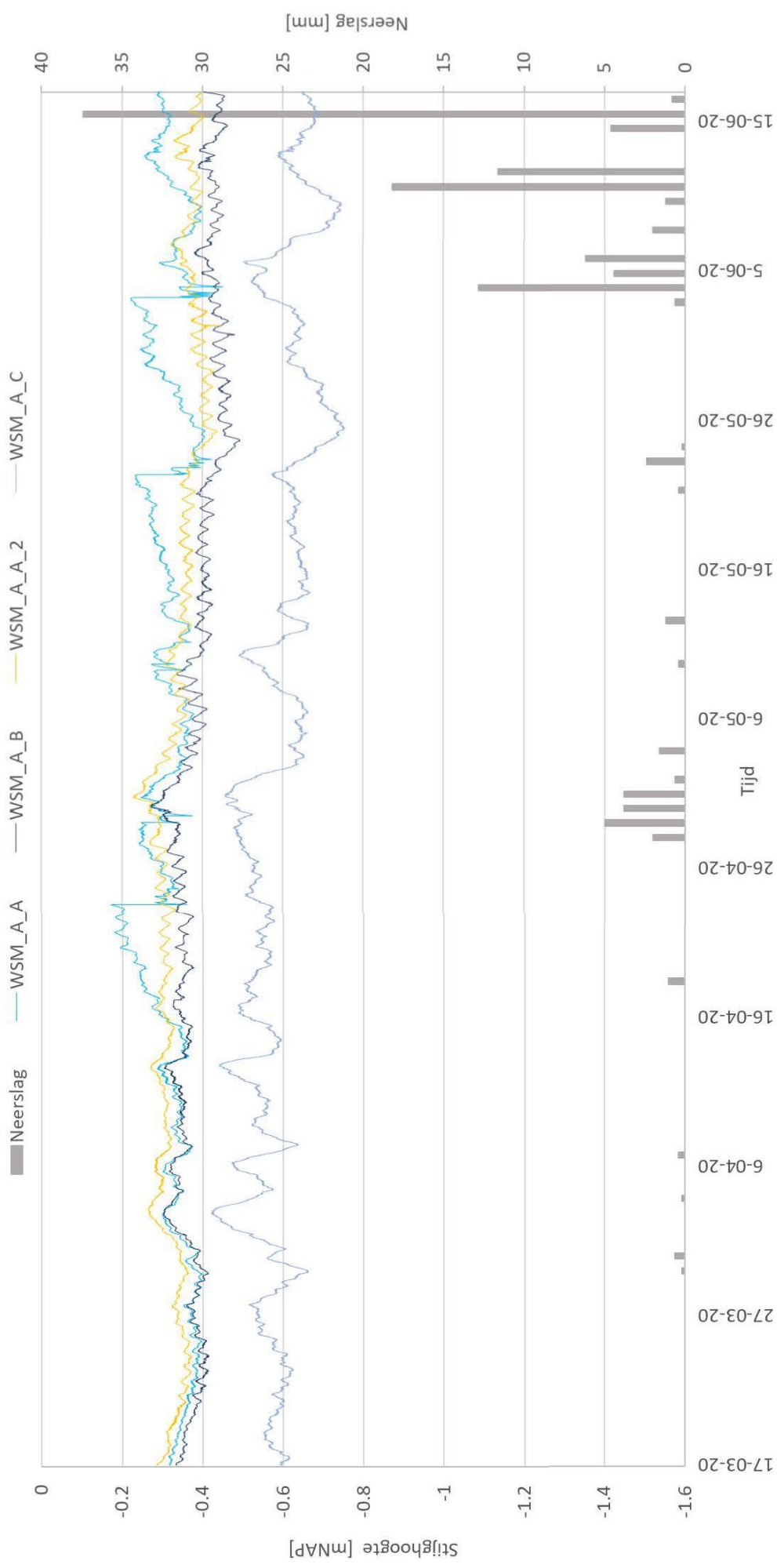
Bijlagen

A.1 Cluster A

A.1.1 Waterspanning vs. Neerslag

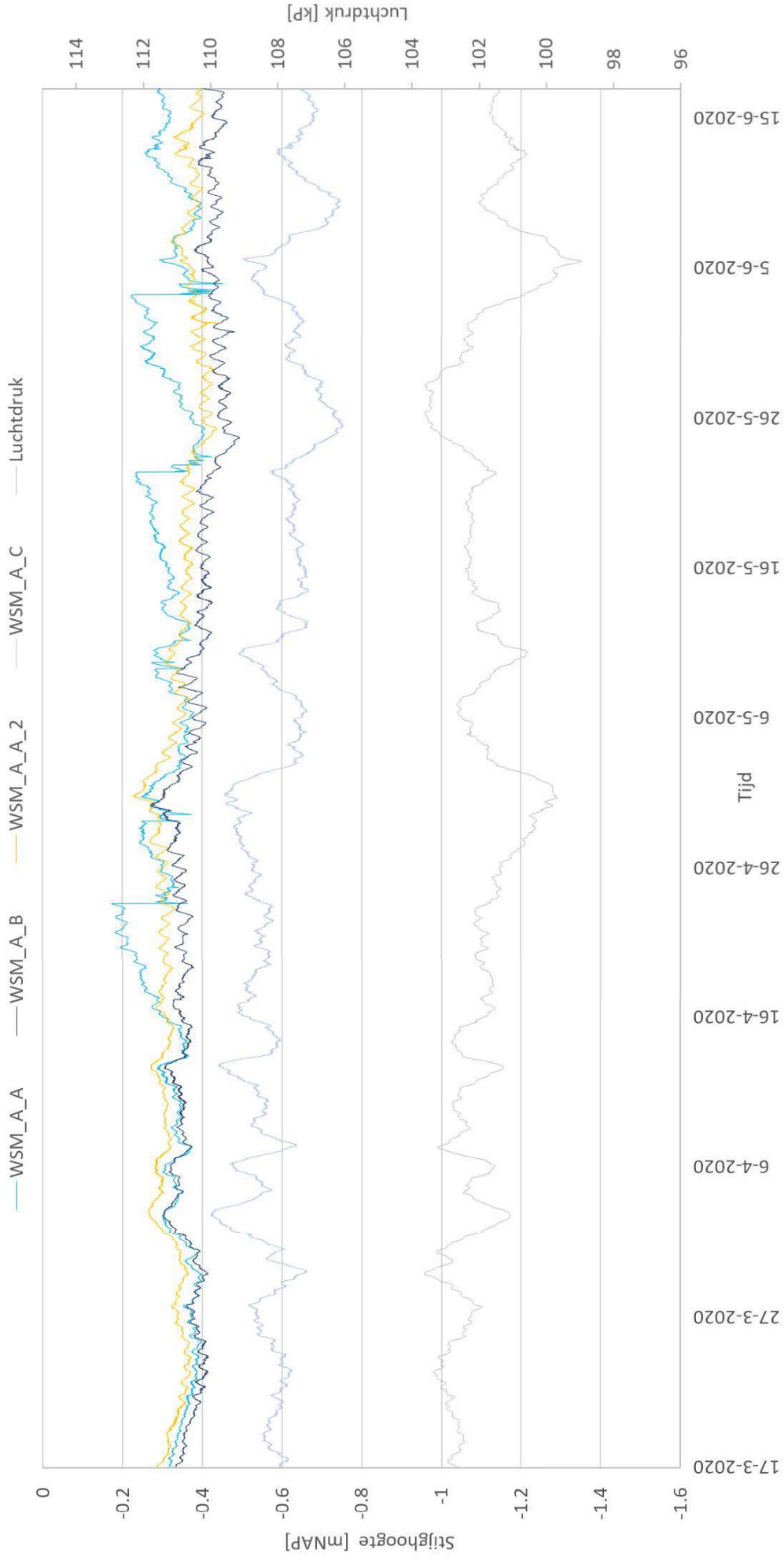
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm.

Cluster A: Waterspanning vs. Temperatuur



A.1.2 Waterspanning vs. Luchtdruk
De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Bit.

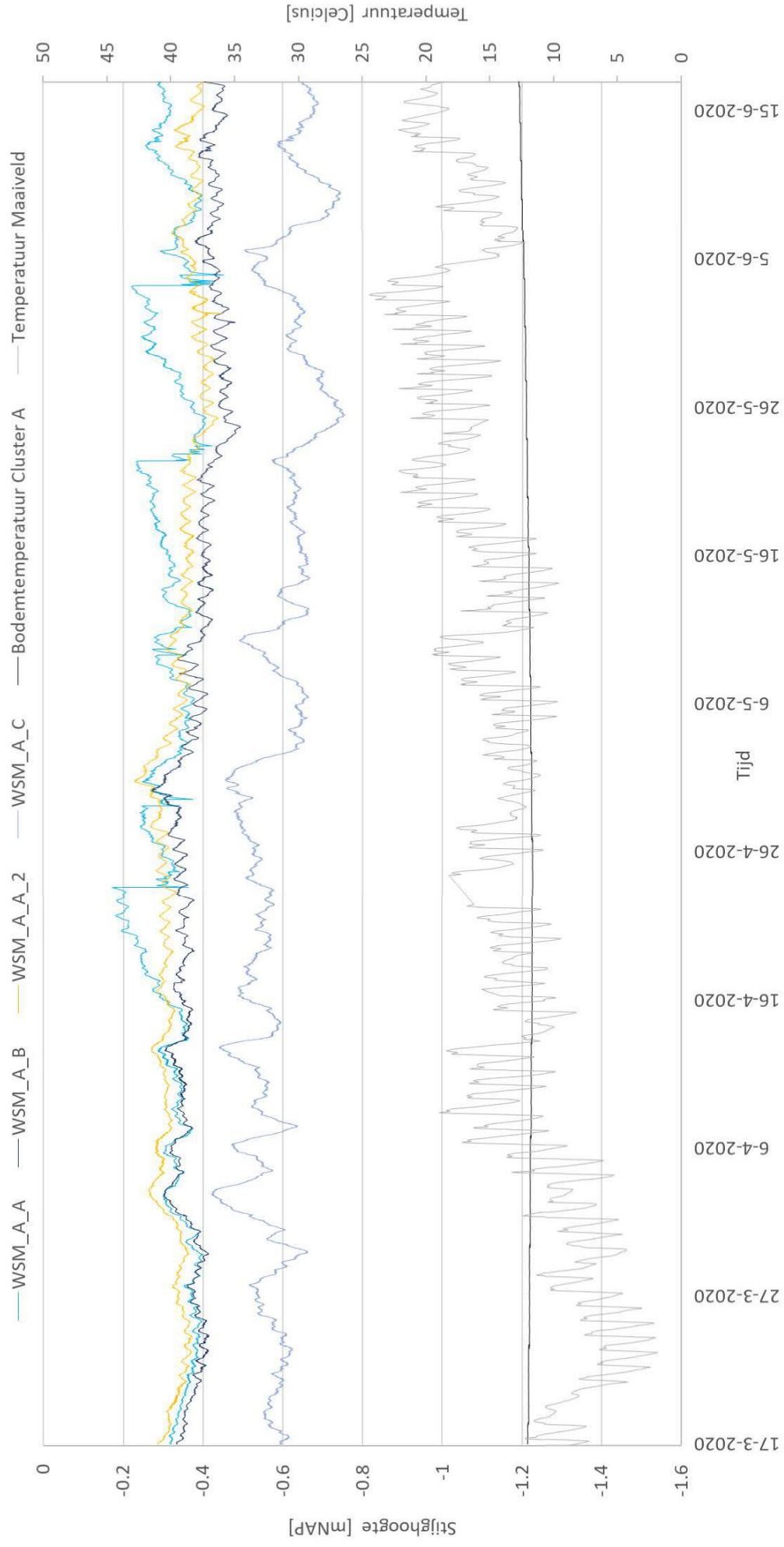
Cluster A: Waterspanning vs. luchtdruk



A.1.4 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster A en de temperatuur van het maaiveld.

Cluster A: Waterspanning vs. Temperatuur

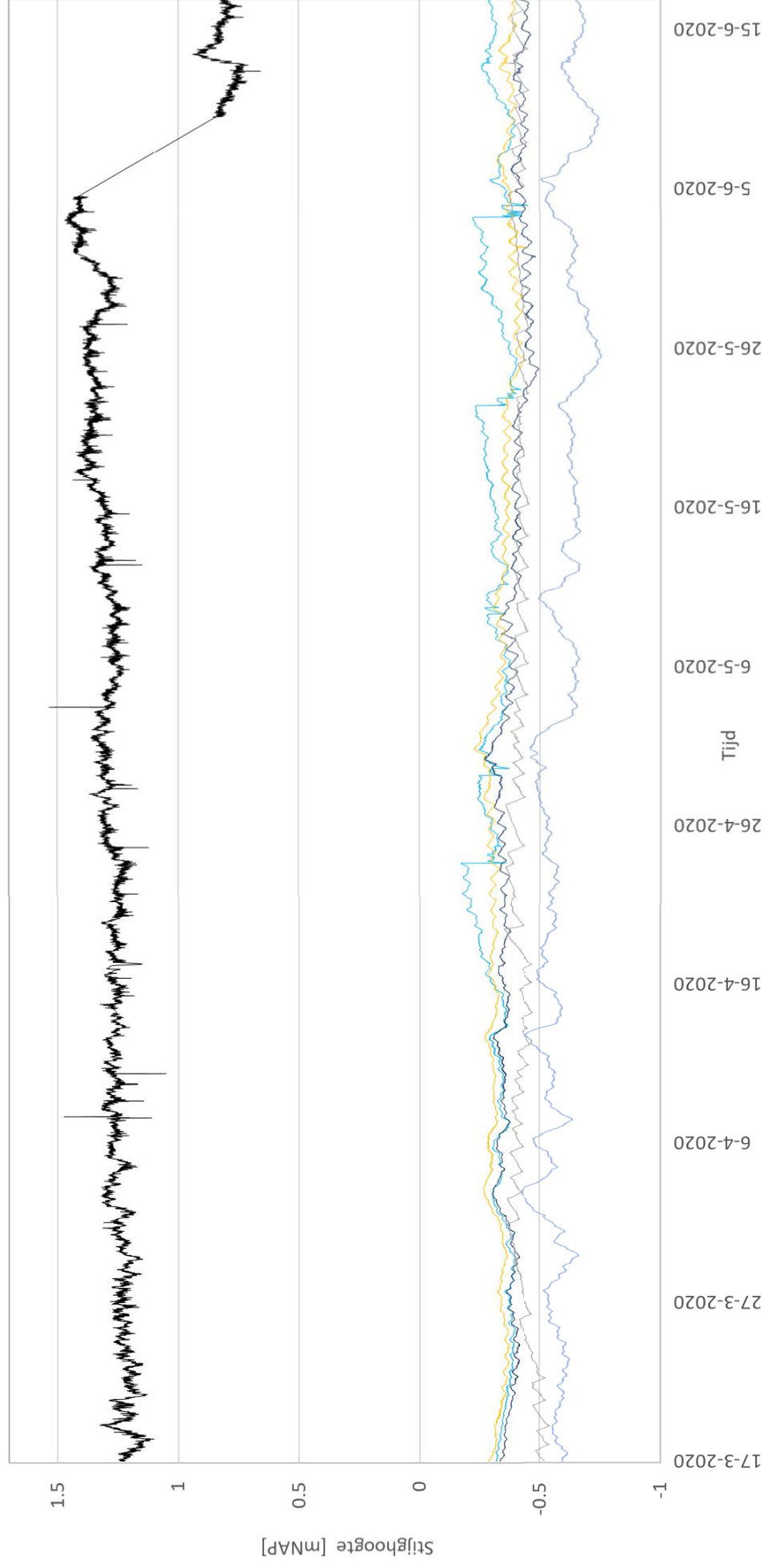


A.1.5 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster A: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

— WSM_A_A — WSM_A_B — WSM_A_A_2 — WSM_A_C — Slootpeil — Kanaalpeil

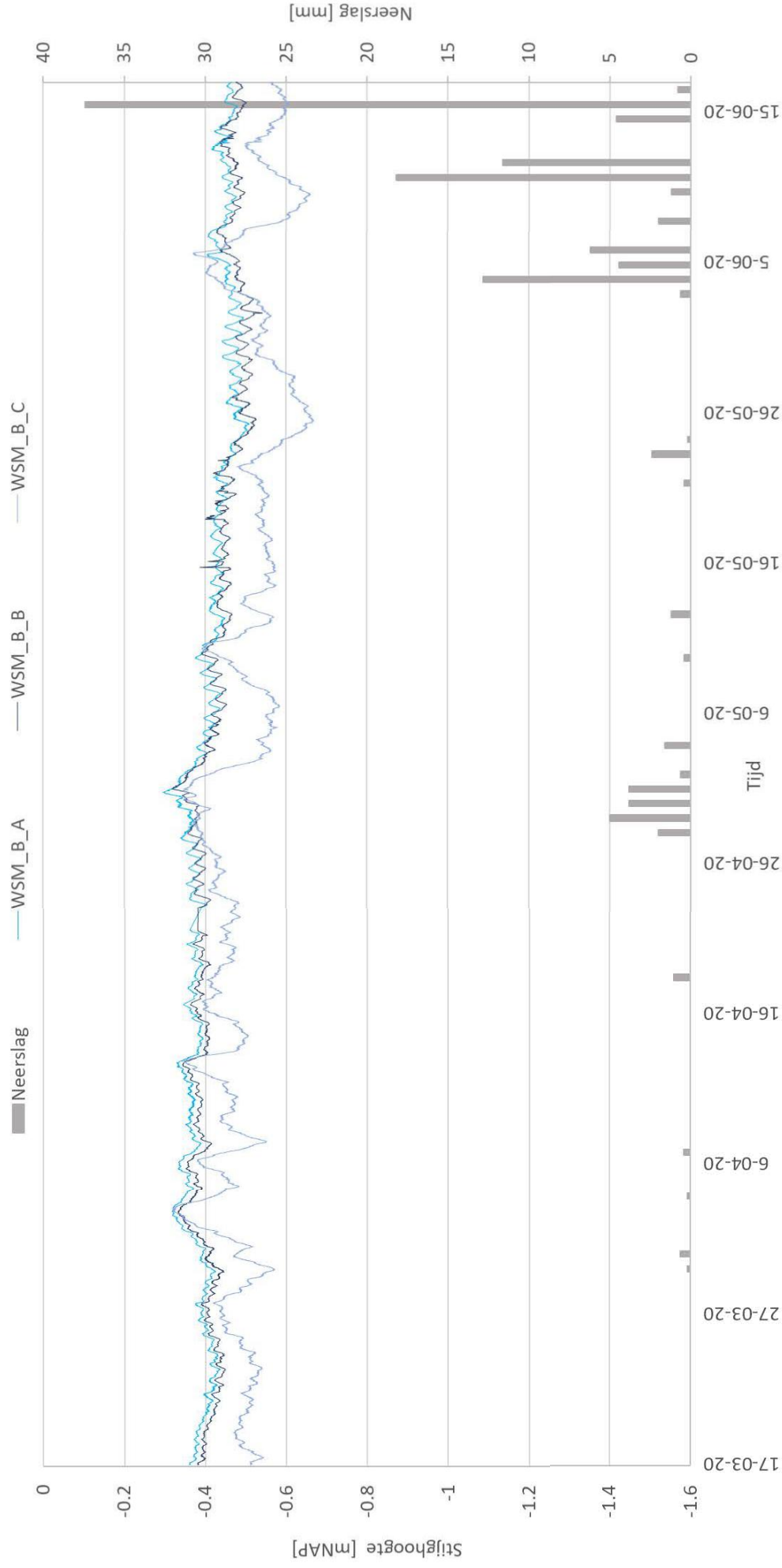


A.2 Cluster B

A.2.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm.

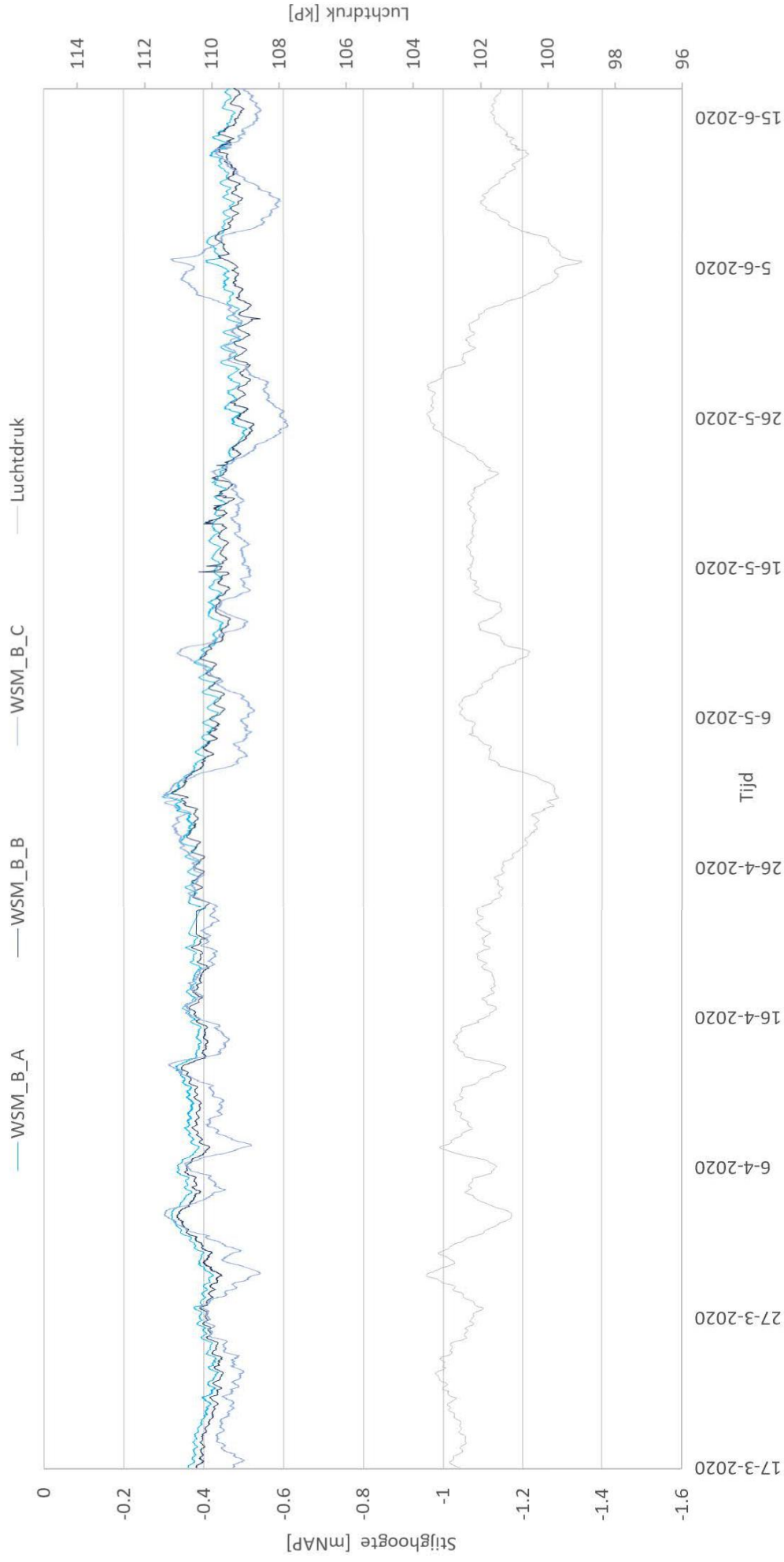
Cluster B: Waterspanning vs. Temperatuur



A.2.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

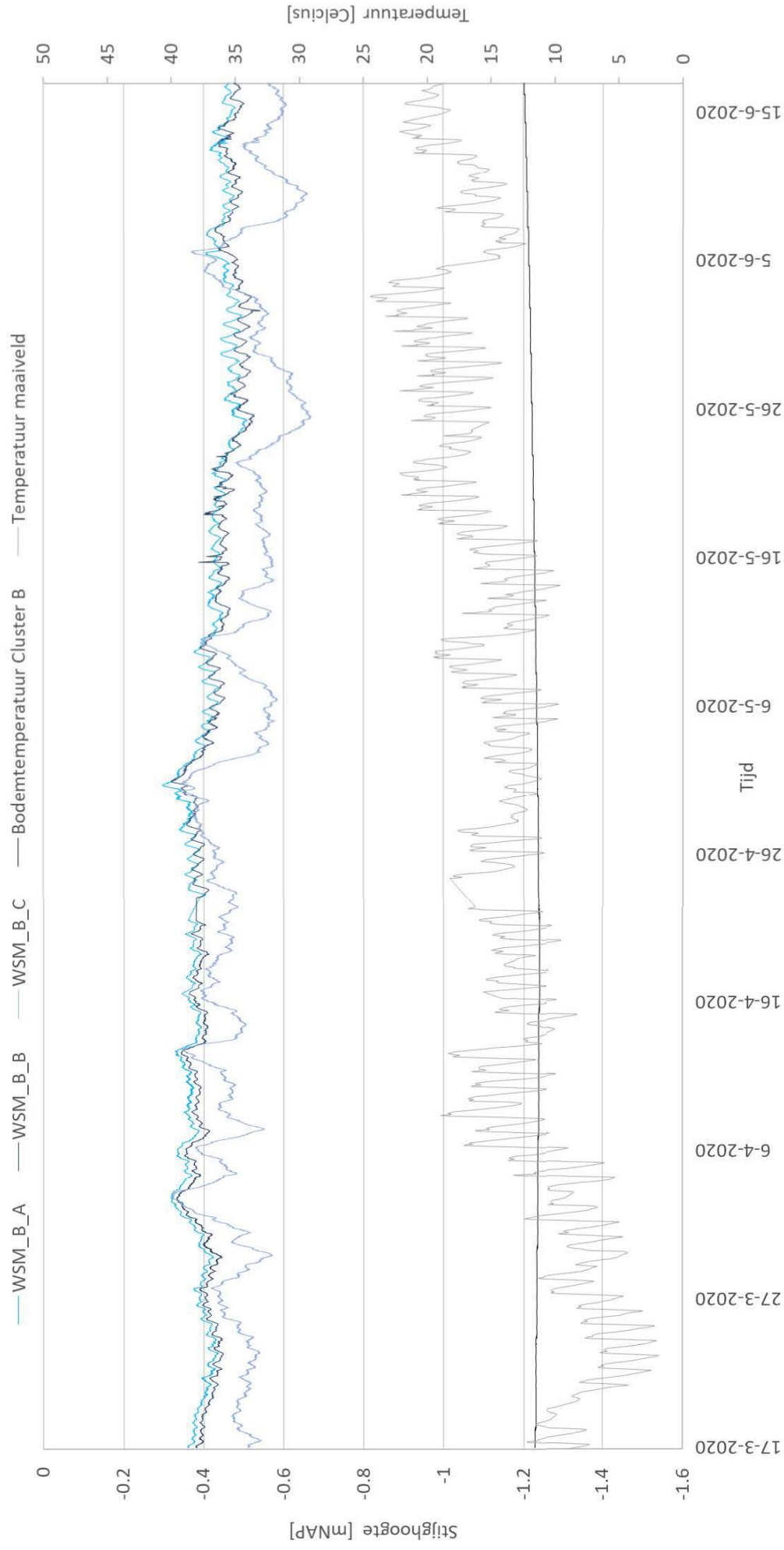
Cluster B: Waterspanning vs. luchtdruk



A.2.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster B en de temperatuur van het maaiveld.

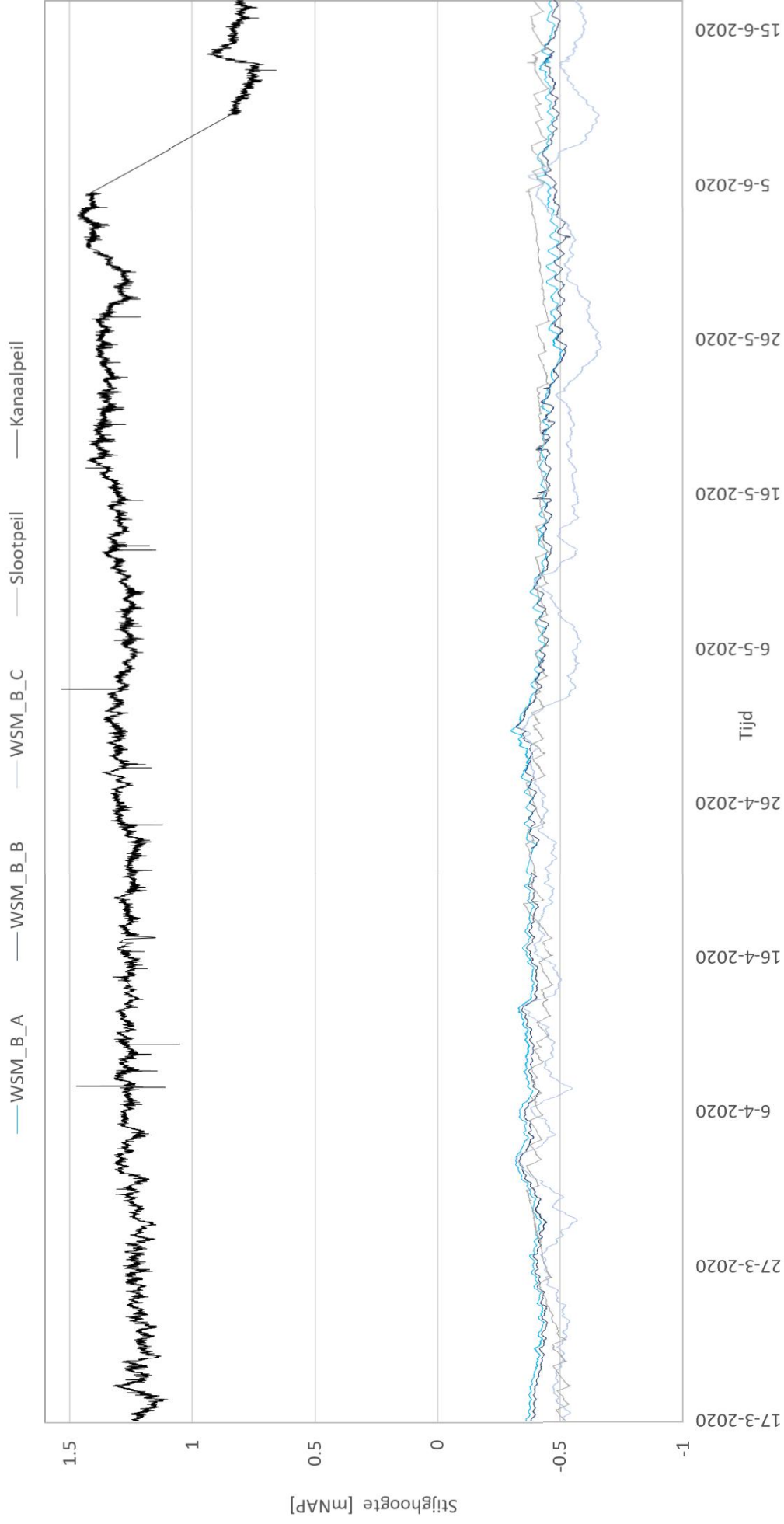
Cluster B: Waterspanning vs. Temperatuur



A.2.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster B: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

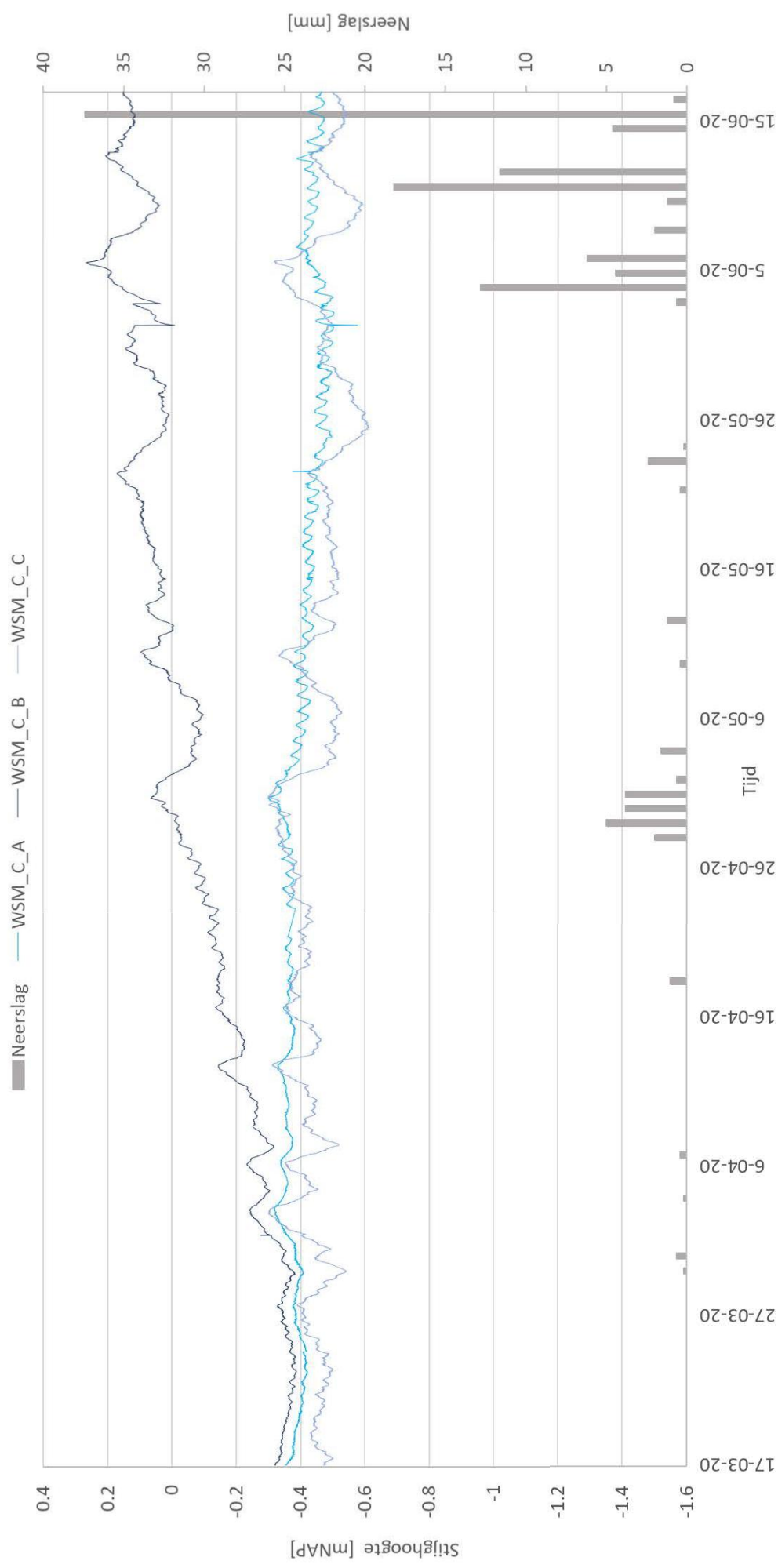


B.3 WSM cluster C

B.3.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm.

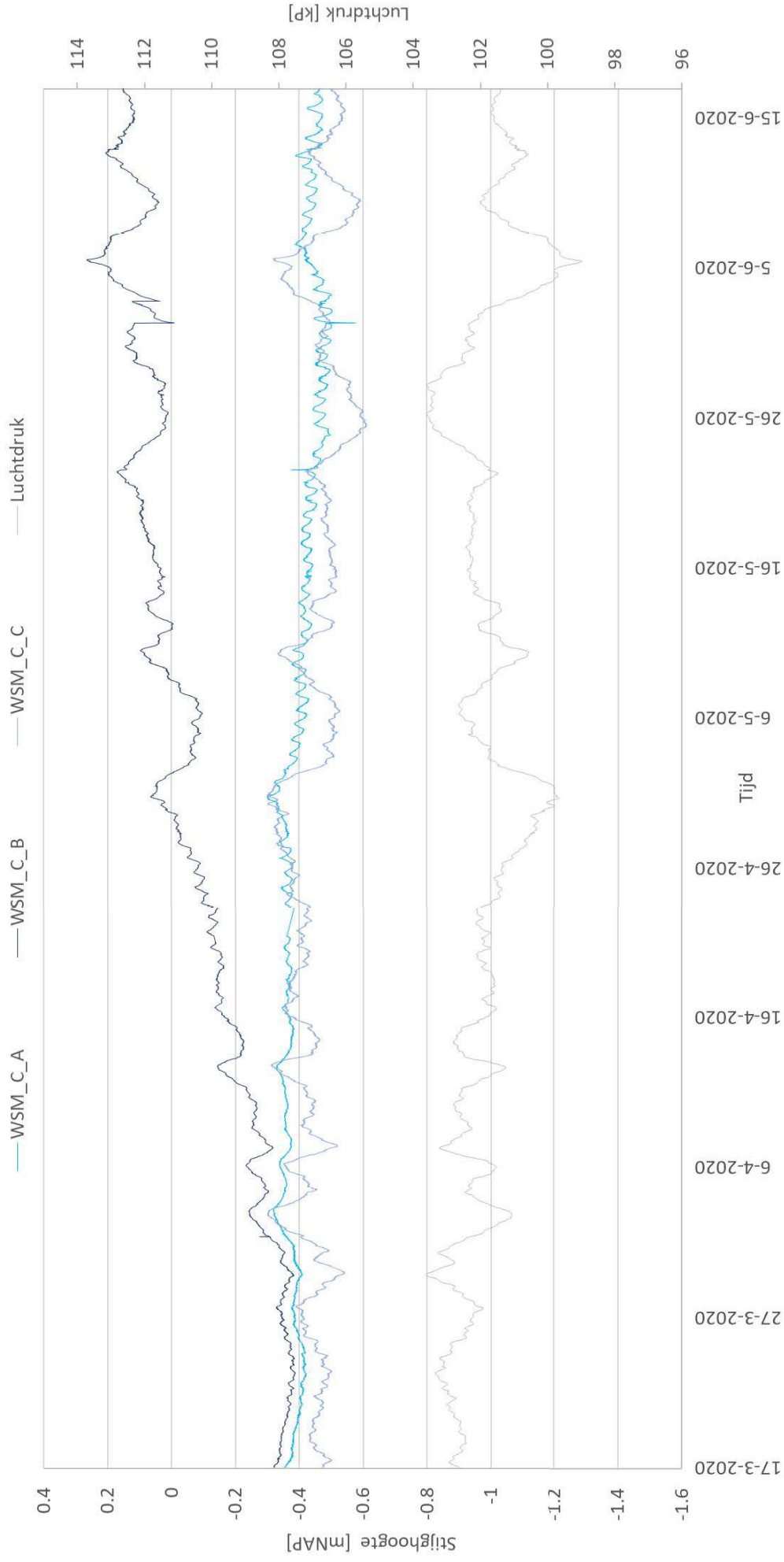
Cluster C: Waterspanning vs. Temperatuur



B.3.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

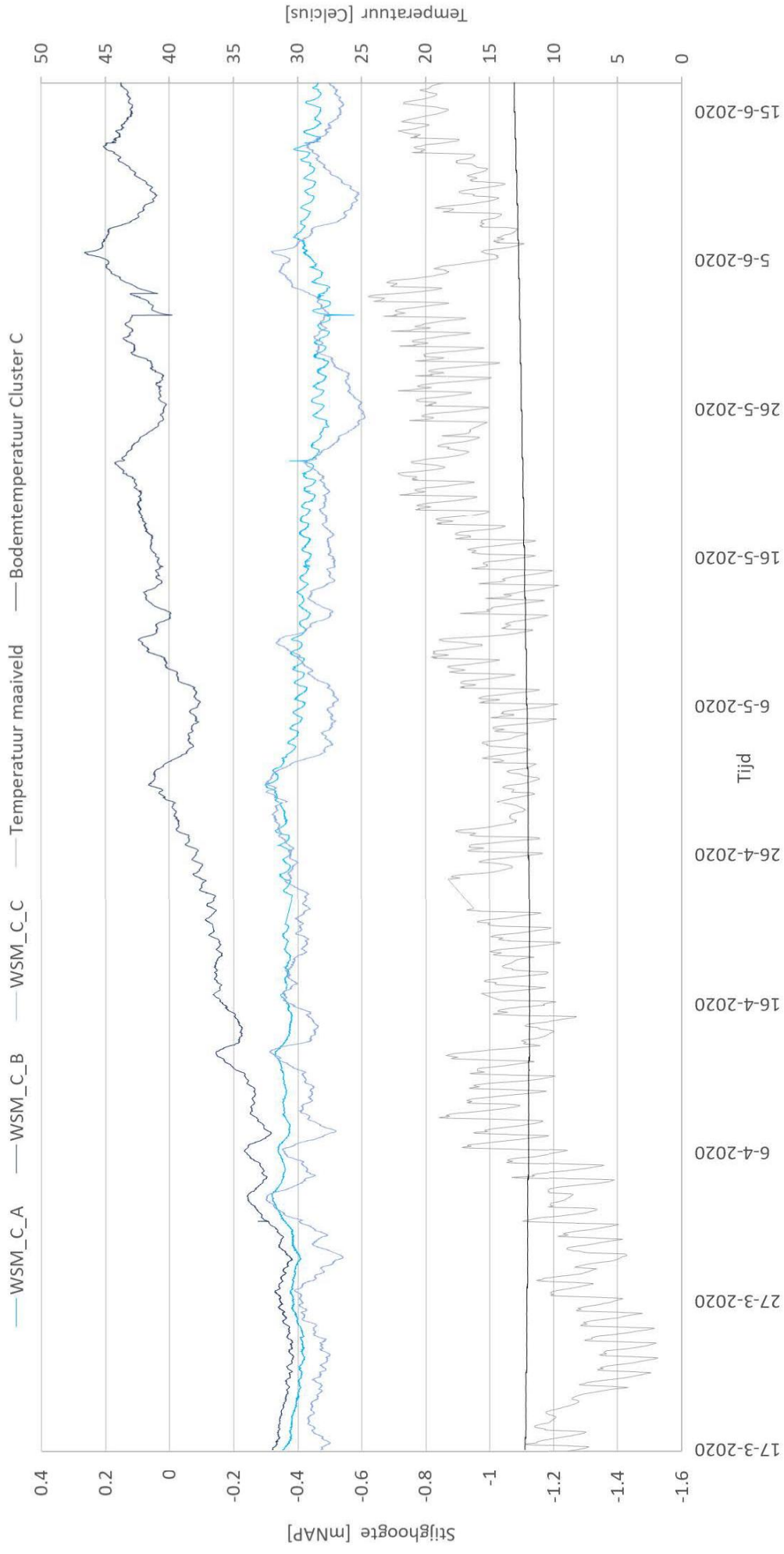
Cluster C: Waterspanning vs. luchtdruk



B.3.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster C en de temperatuur van het maaiveld.

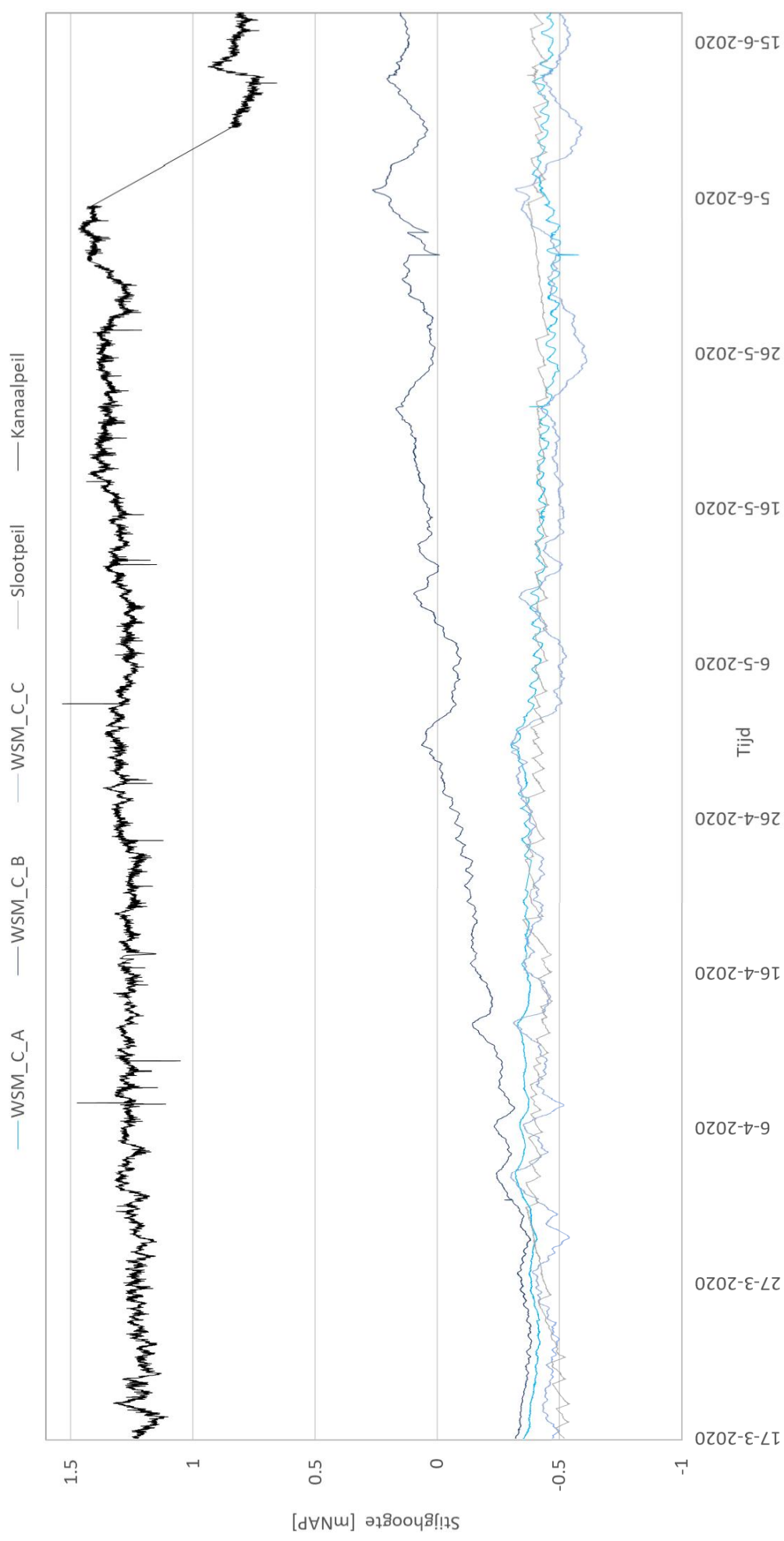
Cluster C: Waterspanning vs. Temperatuur



B.3.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster C: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

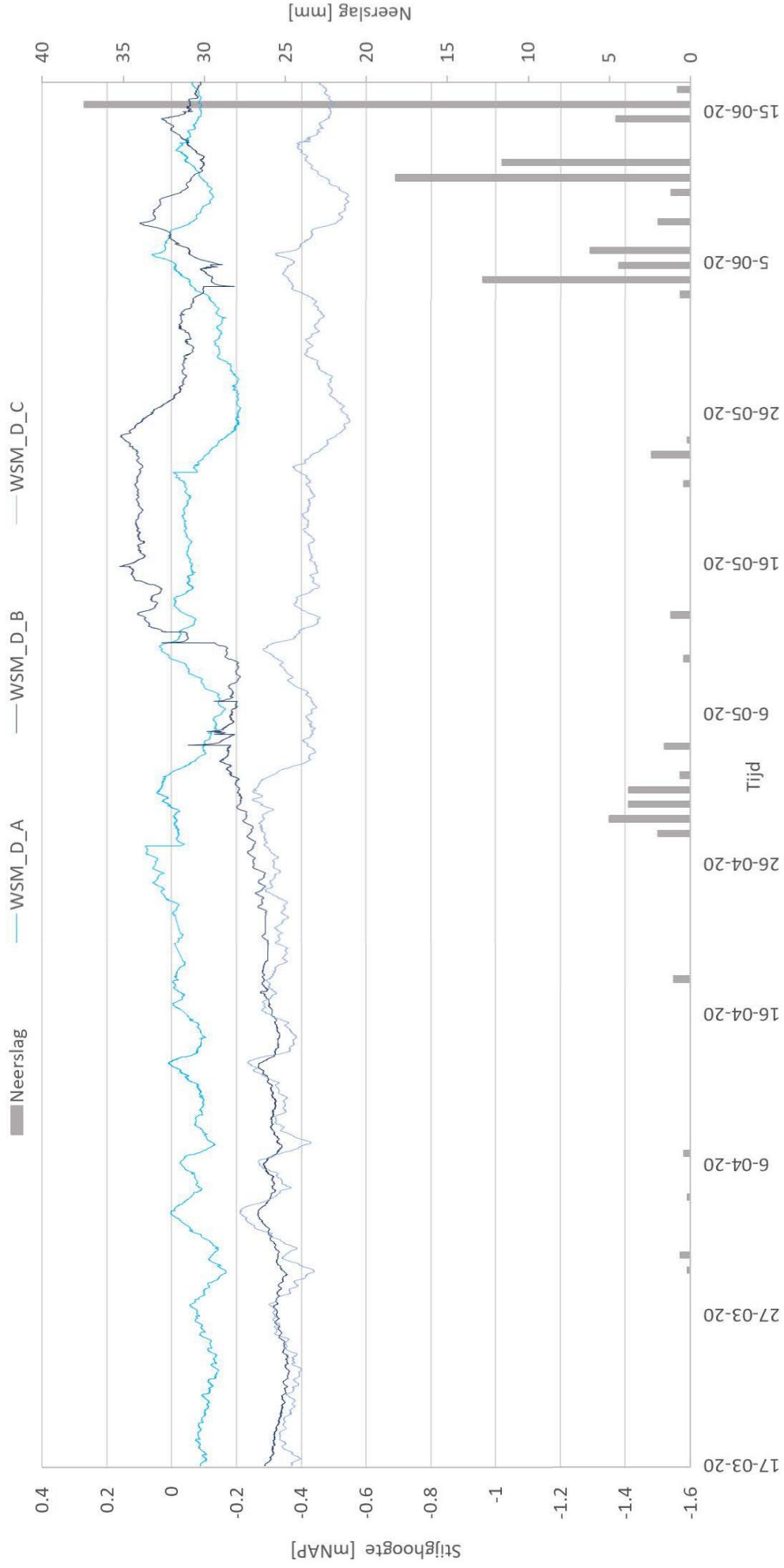


B.4 Cluster D

B.4.1 Waterspanning vs. Neerslag

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de neerslag. De neerslag is berekent per dag als totale hoeveelheid regen in mm.

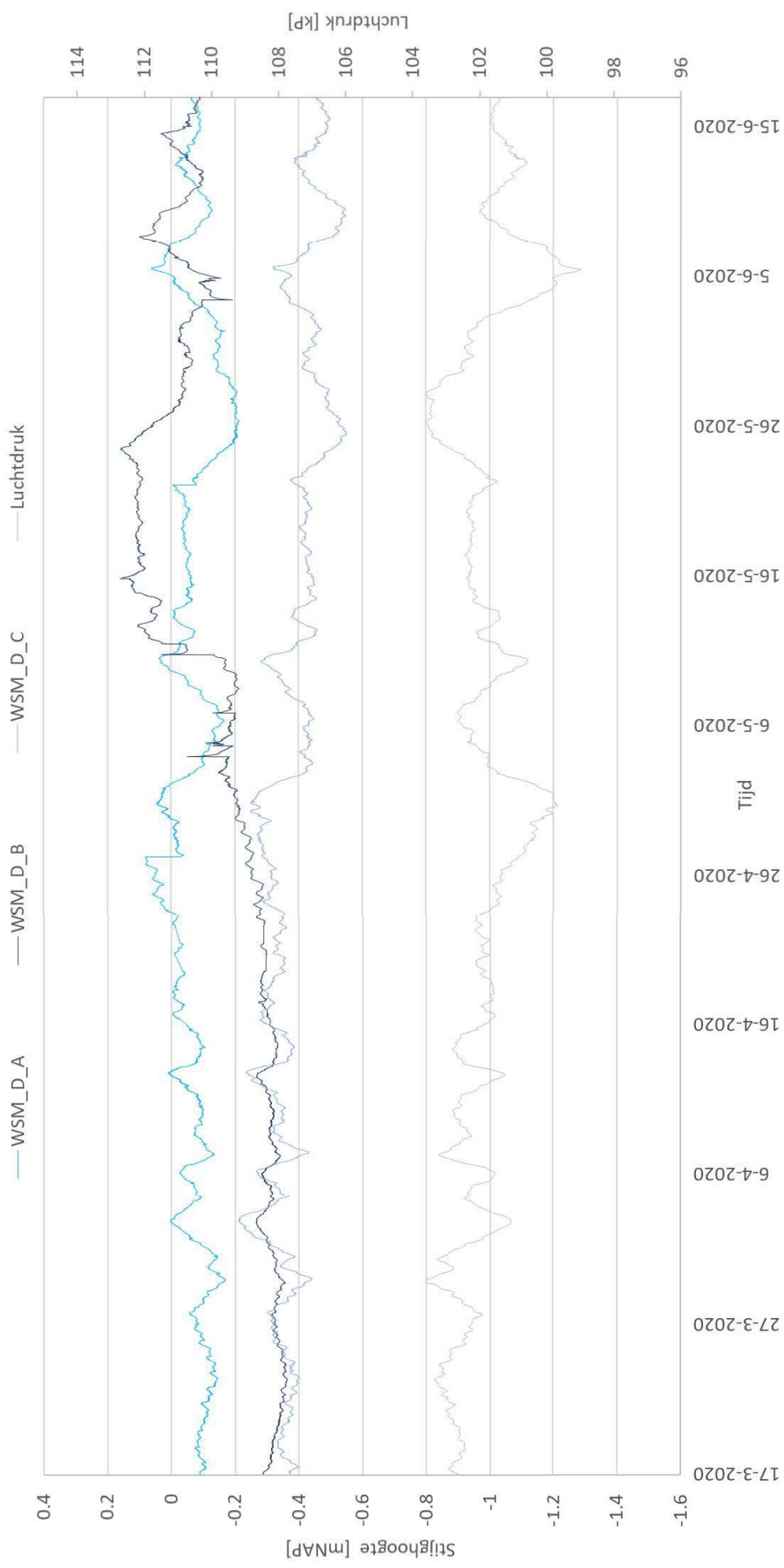
Cluster D: Waterspanning vs. Temperatuur



B.4.2 Waterspanning vs. Luchtdruk

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de Luchtdruk (weergegeven in kPa). De luchtdruk data is verkregen van de KNMI website met als locatie de Blit.

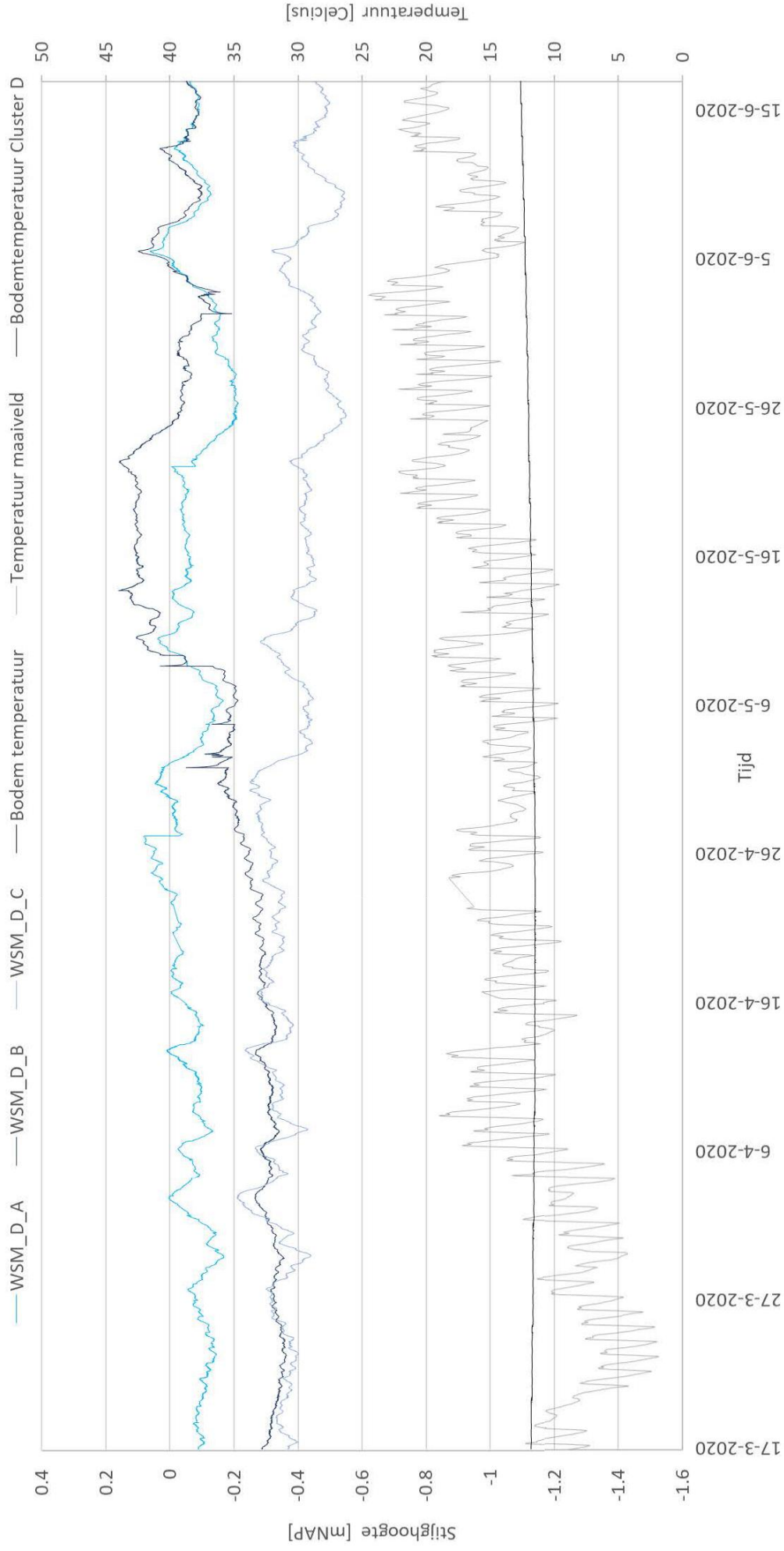
Cluster D: Waterspanning vs. luchtdruk



B.4.3 Waterspanning vs. Temperatuur

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de bodemtemperatuur in cluster D en de temperatuur van het maaiveld.

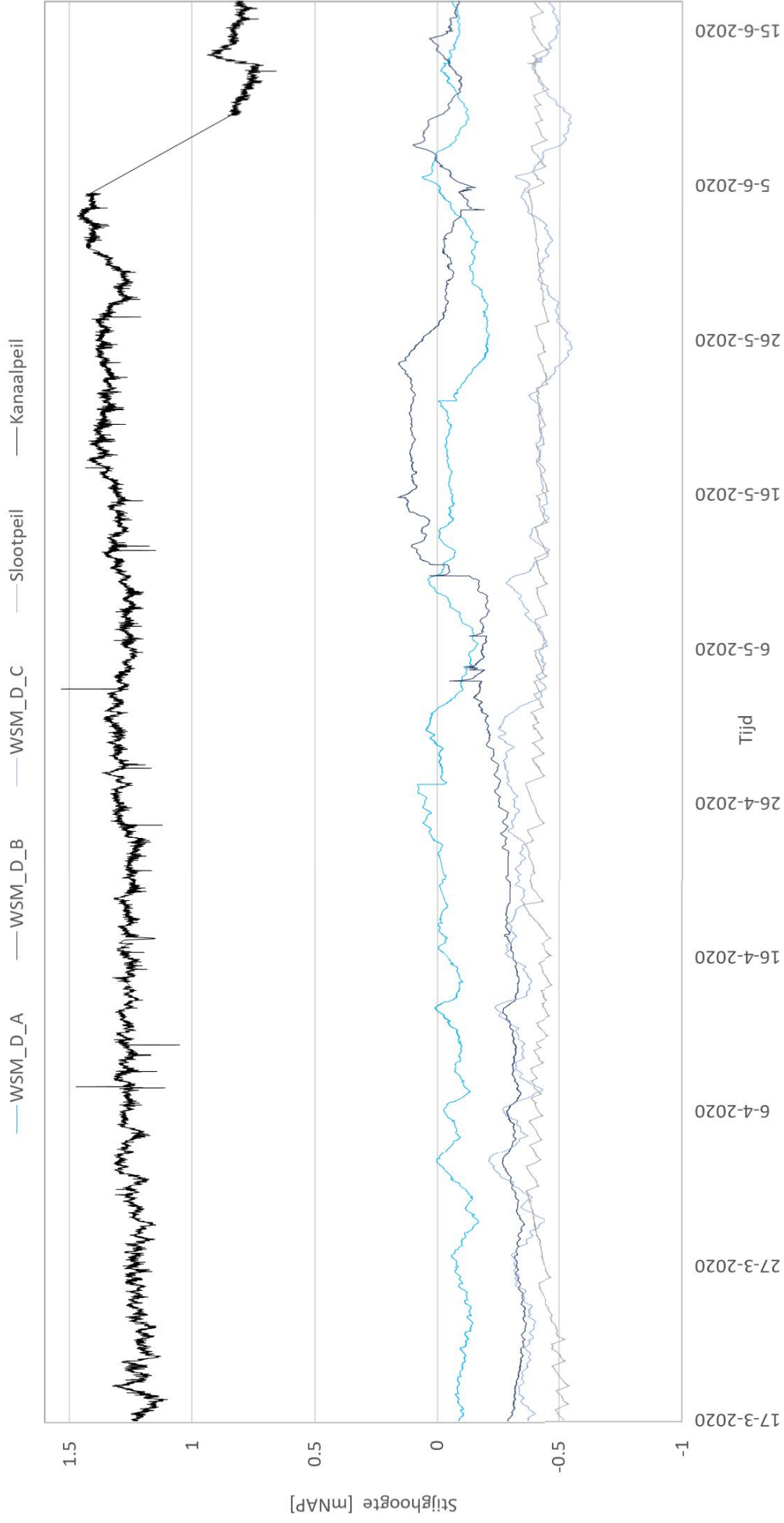
Cluster D: Waterspanning vs. Temperatuur



B.4.4 Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil

De waterspanning is in onderstaande grafiek uitgezet tegenover de stijghoogte in mNAP gemeten in het kanaal en de sloot.

Cluster D: Waterspanning vs. Sloot- en Kanaalpeil



I. Startrapportage extra veldtest Spijk – Fugro



Rapportage start veldtest Spijk

Rapportage | POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – aanvullende veldtest

1417-0042-143 | 25-06-2020

Versie 1.0

Waterschap Rivierenland



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Rapportage start veldtest Spijk
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	1417-0042-143
Fugro-documentnr.	1417-0042-143.R01
Versienummer	
Versiestatus	Versie 1.0
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Waterschap Rivierenland
Adres klant	Beleidsafdeling Water en Dijken, Postbus 599, 4000 AN TIEL
Contactpersoon klant	mr. A. Colijn

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	25-6-2020	Definitief	Rapportage	JDO	MBO	CVO

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
CVO	C. Voorbij-De Groot	Senior projectmanager Monitoring
JDO	J. Donker	Project engineer Monitoring

Inhoudsopgave

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
Inhoudsopgave	i
1. Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Scope	1
2. Opzet veldtest	2
2.1 Projectbeschrijving	2
2.2 Situatiebeschrijving	2
3. Factory Acceptance test (FAT)	4
3.1 Doel	4
3.2 Systeembeschrijving	4
4. Installatie Testveld	5
4.1 Uitvoeringsmethode	5
4.2 Aansluiten van sensor kabels en opstarten van datalevering	7
4.3 Site Acceptance Test (SAT)	8
4.4 Presentatie van de data via monitoringswebsite GeoRiskPortal	9
4.5 Nauwkeurigheid van de WSM	9
Bijlagen	0
A. Sonderingen	1
B. Kallibratie formulieren	3
C. Plaatsingsformulieren	7

1. Inleiding

Waterspanningsmeters worden toegepast om de waterdruk in een grondlaag of grondlichaam te meten. Een mogelijke oorzaak voor het uitvallen van de instrumenten is gasvorming. Waterspanningsmeters zijn een cruciale informatiebron voor risicobeheersing en projectbeheersing bij dijk gerelateerde werkzaamheden, zoals: dijkversterkingen. Hierdoor is er vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen.

Het consortium is samengesteld uit de volgende bedrijven: Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V.. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **"WSM+NL"**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Tijdens de ontwikkelingsfase is een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters gebouwd. Vervolgens is deze tijdens een veldtest in Vianen voor een periode van één jaar gemonitord.

Om een beter beeld te krijgen van de werking van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeters is besloten twee aanvullende veldtesten uit te voeren gedurende de zomer van 2020. Eén van deze veldtesten vindt plaats in Spijk, waarbij twee grondwatergasbestendige waterspanningsmeters zijn geplaatst bij twee standaard FWS2 waterspanningsmeters die al op locatie aanwezig waren voor een bestaand project. Voor de andere veldtest is een proefveld opgezet bij het voormalige project KIIK in Ouderkerk aan de IJssel, een locatie waar in het verleden veel problemen met gasvorming zijn opgetreden.

1.1 Doelstelling

Het doel van de aanvullende veldtest is het testen of het verbeterde gasfilterontwerp uit de onderzoeksfase in een nieuwe test omgeving zal werken. De nieuwe veldtest vindt hierom plaats gedurende de zomerperiode, omdat dit de periode is van de grootste opwarming en hiermee gepaard ook de meeste gasproductie. De grondwatergasbestendige waterspanningsmeters zullen worden vergeleken met de Fugro FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter.

1.2 Scope

Dit rapport betreft het plaatsingsrapport van de aanvullende veldtest te Spijk. Hierin wordt de locatie, installatie, FAT en SAT en dataoplevering van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeters van Fugro beschreven.

2. Opzet veldtest

2.1 Projectbeschrijving

De aanvullende veldtesten zijn ontwikkeld om te testen hoe de grondwatergasbestendige waterspanningsmeters werken in een nieuwe test omgeving. Ten behoeve van de testveld zijn de waterspanningsmeters geplaatst in een ondiepe veenlaag. Wanneer gasproductie in veenlagen plaatsvindt, zal het gas zich omhoog bewegen, waardoor de grootste kans om gasbeldruk te meten bovenin de veenlaag is. De waterspanningsmeters zullen gedurende de zomerperiode worden gemonitord, omdat dit de periode is van de grootste opwarming en hiermee gepaard ook de meeste gasproductie. Het belangrijkste doel van de aanvullende veldtest is om de oplossing met de gasfilter in meerdere praktijkomstandigheden te testen.

Voor de aanvullende veldtest zijn twee grondwatergasbestendige waterspanningsmeters bij een bestaand project van Fugro geplaatst. De twee grondwatergasbestendige waterspanningsmeters zijn daarbij bovenin een veenlaag geplaatst. De referentie waterspanningsmeters staan net onder deze veenlaag.

2.2 Situatiebeschrijving

Voor de aanvullende veldtest is een locatie in Spijk uitgekozen. In onderstaande figuur is een luchtfoto met de locaties van de waterspanningsmeters weergegeven.



Figuur 1: Luchtfoto Spijksteeg 1, Spijk

Op locatie WSM2 is in het verleden een waterspanningssensor geïnstalleerd op -3.37 m NAP, 3.39 m beneden maaiveld. WSM6 gelijktijdig met POVM6 geplaatst op -2.92m NAP, 2.63m beneden maaiveld. Beide waterspanningsmeters bevinden zich net onder een veenlaag. De waterspanningsmeters die voor POVM zijn bijgeplaatst bevinden zich bovenin de veenlaag. POVM2 is op -1.99 m NAP, met een maaiveld hoogte van 0.08 m NAP en POVM6 is op -0.91 m NAP geplaatst, met een maaiveld hoogte van -0.29 m NAP. In Bijlage A 'sonderingen' zijn de sonderingen van bovengenoemde waterspanningsmeters weergegeven.

De meetperiode is gestart op 3 juni 2020, de waterspanningsmeters zullen drie maanden meten gedurende de zomer.

3. Factory Acceptance test (FAT)

Een FAT is een formeel test- en inspectieproces dat wordt uitgevoerd door de fabrikant (Fugro) wanneer het systeem of de faciliteit volledig is gefabriceerd en geassembleerd, voorafgaand aan de plaatsing. Een FAT kan uit verschillende inspectiepunten en tests bestaan, op basis van vereisten en unieke apparatuur specificaties. De FAT wordt gebruikt om te verifiëren of conform contract is geproduceerd en of de apparatuur voldoet aan de specificaties. In de context van dit protocol worden hiermee de testen die Fugro uitvoert voor mobilisatie bedoeld.

3.1 Doel

De FAT wordt uitgevoerd in de werkplaats van de afdeling Geomonitoring te Leidschendam om de correcte werking van de sensoren en dataloggers en de bijbehorende componenten te bekijken, inclusief gegevensoverdracht voor verdere berekening en presentatie op monitoringswebsite.

De FAT-procedure is gericht op:

- Controle van de juiste werking van de dataloggers;
- Controle van de juiste functie van het meten van de aangesloten sensoren;
- Controle van de gegevensoverdracht naar de aangewezen ftp-server.

De bovengenoemde aspecten zijn voor installatie op kantoor in Leidschendam uitgevoerd en in goed orde bevonden.

3.2 Systeembeschrijving

Bij de aanvullende veldtest in Spijk is het volgende equipment ingezet: Er zijn 2 stuks van grondwatergasbestendige waterspanningsmeters voorzien van temperatuursensoren geïnstalleerd. Deze zijn bij 2 stuks conventionele waterspanningsmeters geplaatst. Een overzicht van de meetapparatuur is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht meetapparatuur

Aantal	Omschrijving	Type	Meetbereik	Serienummer	Check
2	Loggerbox	Fugro Logger Box	4-20mA	LB1218 LB1085	Ja
2	Grondwatergasbestendig Waterspanningsmeter	Geassembleerd door Fugro	0.9-3.5 Bar	1061967 1061854	Ja
2	Waterspanningsmeter standaard	Geassembleerd door Fugro	0.9-3.5 Bar		Ja

De drukopnemers en de temperatuursensoren zijn voor de start veldtest gekalibreerd. De kalibratieformulieren zijn in Bijlage B te vinden.

4. Installatie Testveld

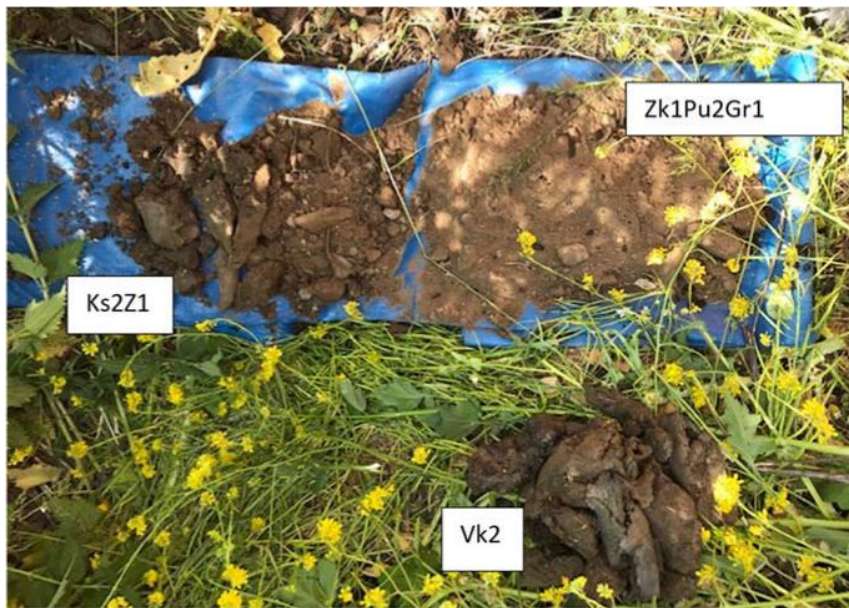
Hieronder is beknopt de werkwijze van het aanbrengen en aansluiten van de waterspanningsmeters beschreven. Meetinstrumenten dienen altijd zo geplaatst en bevestigd te worden dat derden geen gevaar lopen. Er moeten verder passende maatregelen worden genomen om risico's bijvoorbeeld als gevolg van verontreiniging, overstroming, verkeer of bevriezing te voorkomen. Maatregelen om de installatie tijdens de verwachte meetperiode te beschermen, moeten worden uitgevoerd. De installatie van waterspanningsmeters is conform *Protocol voor de selectie en installatie van waterspanningsmeters, VN-67440-1 / 1417-0042-000 dd19-01-2019* uitgevoerd. Op deze locatie is er gekozen om na installatie de waterspanningsmeters bovengronds met een PVC buis af te werken. De waterspanningsmeter is goed beschermd en bereikbaar voor inspectiedoeleinden. In de PVC buis is voldoende ruimte voor een modemlogger.

Voorafgaand aan het installeren is in het veld de vloeistofkamer en het grondfilter volledig verzadigd met water. Na volledige verzadiging van het grondfilter en de vloeistofkamer is het grondfilter, terwijl het nog ondergedompeld was in de vloeistof, afgesloten met een elastisch membraan (condoom). Dit is om te voorkomen dat lucht in het grondfilter en de vloeistofkamer kan indringen.

4.1 Uitvoeringsmethode

De waterspanningsmeters zijn op 3 juni 2020 handmatig geplaatst. Vooraf is bij POVM2 tot ongeveer 1.5 m beneden maaiveld en bij POVM6 tot 1 m beneden maaiveld geboord. (grondboor Ø100 mm). De laatste 0.2 m is gegutst (gutsboor Ø 20 mm) om zeker te zijn dat de sensor in de veenlaag werd geïnstalleerd (sensor circa Ø 40 mm). De boorbeschrijvingen van POVM2 is weergegeven in Figuur 2 en Tabel 2, de boorbeschrijving van POVM6 is weergegeven in Figuur 3 en Tabel 3.

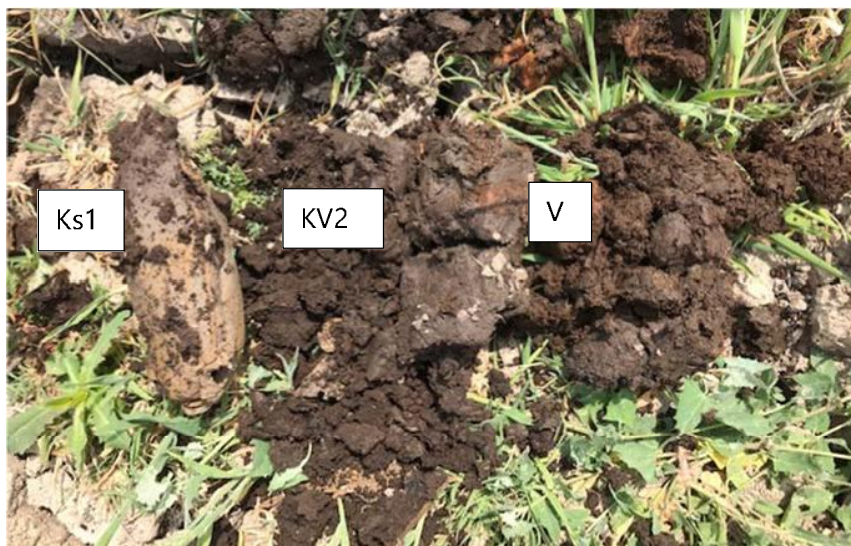
Vlak voor het plaatsen van de waterspanningsmeters zijn aan de waterspanningsmeter gasbuizen bevestigd. Op de gasbuis is de installatiediepte vanaf maaiveld met een markering aangegeven. Vervolgens is de sensor rustig in het nauwe gat, grondverdringend in de veenlaag geïnstalleerd. De sensor is het laatste stuk het veen in gedrukt om zo op de juiste diepte te komen. Het gat dat is ontstaan door de handboring is vervolgens gevuld met zwelklei (mikoliet). De plaatsingsformulieren van de geïnstalleerde meetapparatuur zijn in Bijlage C gepresenteerd.



Figuur 2: Handboring POVM2

Tabel 2: Boorbeschrijving POVM2

Diepte -MV [cm]	Boor-beschrijving	Kleur
0-70	Zk1Pu2Gr1	donkerbruin
70-150	Ks2Z1	grijsbruin
150-170	Vk2	grijsbruin



Figuur 3: Handboring POVM6

Tabel 3: Boorbeschrijving POVM6

Diepte -MV [cm]	Boor-beschrijving	Kleur
0-60	Ks1	grijs bruin
60-80	KV2	donker bruin
>80	V	bruin

De waterspanningsmeters zijn direct na plaatsing ingemeten met een GPS+RTK. De inmeetgegevens zijn terug te zien in Tabel 4.

Tabel 4: Coördinaten WSM locaties

Sensornaam	X- Coördinaat (RD)	Y- Coördinaat (RD)	MV [m NAP]	Bk buis t.o.v. + mv [m]	Totale lengte [m]	Sensorniveau [m NAP]
WSM_2	129199.458	428318.551	0.02	1.87	5.26	-3.37
POVM2	129199.537	428318.102	0.08	1.20	3.27	-1.99
WSM_6	129855.715	428246.090	-0.25	1.52	4.15	-2.92
POVM6	129855.112	428245.976	-0.29	1.37	2.28	-1.18

4.2 Aansluiten van sensorkabels en opstarten van datalevering

Per locatie zijn er op 3 juni 2020 3 waterspanningsmeters aangesloten, waarbij de grondwatergasbestendige waterspanningsmeter POVM_2 zijn aangesloten op de loggerbox van de al aanwezige waterspanningsmeter WSM_2. De loggers meten met een frequentie van 10 minuten en versturen de data één keer per uur. De loggerboxen zijn in een waterdichte koker gemonteerd.



Figuur 4: Op de linker foto is POVM 2 weergegeven naast WSM2, op de rechter afbeelding is POVM6 naast WSM6 weergegeven.

4.3 Site Acceptance Test (SAT)

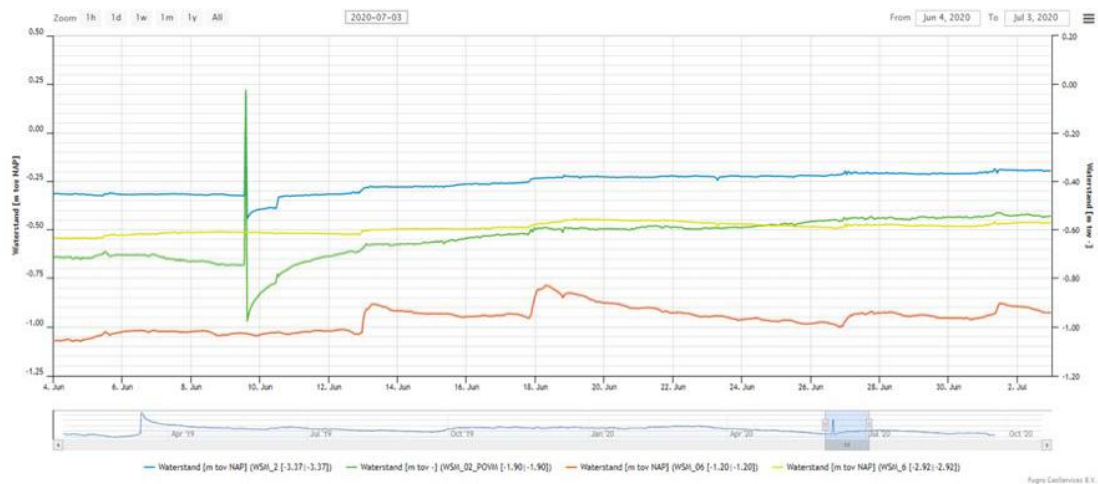
Bij de SAT is gecontroleerd of de meetwaarden van de handmatige meting overeenkwamen met de meting van de loggers en of de data verstuurd werd. Er is een verschil in meetwaarden waargenomen. Dit verschil ontstaat door een aantal factoren. De nauwkeurigheid van het uitleesapparaat en het verschil tussen de handwaarneming en de data in het portal. Door grondverdringend wegdrücken van de waterspanningsmeters is er direct na het plaatsen is een dergelijk verschil goed te verklaren en is er geen reden om aan werking van de sensoren te twijfelen. In Tabel 5 is een overzicht van de waterspanningsmeterscontrole weergegeven.

Tabel 5: Resultaten SAT-waterspanningsmeters

Meetpunt	WSM2	POVM2	WSM6	POVM6
Sensor-nummer	1033329	1061967	877791	1061854
Datalogger	1240	1240	1218	1218
Poortnr.	A	B	B	A
Datum meting in veld	21-01-2019 14:39	03/06/2020 11:45	03-06-2020 15:08	03/06/2020 15:10
Tijdstip Meting monitorings-portal	21-01-2019 15:02	03-06-2020 23:02	03-06-2020 15:13	03-06-2020 15:13
ENG Waarde monitorings- portal na aansluiten [mA]	301.089	116.332	326.516	18.426
Cal. Offset	248.382287 1	247.983009 406409	251.174410 0	247.563203 614041
Cal. coef.	162.494039 6	162.453592 122726	162.381445 4	162.450893 442625
Meting voor plaatsen [mA]	4.83	4.703	4.632	4.641
Waterspanning handmeting (voor aansluiten) [mA]	6.67	5.884	6.823	4.810
Waarde monitorings- portal na aansluiten [mA]	6.609	5.364	6.649	4.777
Vershil handwaarneming t.o.v portal [mA]	0.06	0.52	0.17	0.03

4.4 Presentatie van de data via monitoringswebsite GeoRiskPortal

De data wordt 1x per 10 minuten gemeten en elk uur doorgestuurd naar Fugro's Monitoring ftp-server. De verschillende data bestanden worden zichtbaar op Fugro GeoRiskportal (Persoonlijke inloggegevens zijn bij projectleider verkrijgbaar). Op deze Fugro database worden ruwe waarden van de waterspanningen omgerekend naar engineered values, en gepresenteerd in grafieken. De grafieken kunnen in volgende eenheden geplot worden: Druk in *mBar*, *kPa* en *m ten opzichte van NAP*. In Figuur 5 staat de presentatie van de waterspanningsmetingen in m NAP van 3 juni t/m 3 juli 2020.



Figuur 5 Data waterspanningsmeter mH₂O t.o.v. NAP zichtbaar in GeoRiskPortal.

4.5 Nauwkeurigheid van de WSM

De Nauwkeurigheid van een waterspanningsmeting betreft de bandbreedte van afwijkingen van de meetresultaten in vergelijking met de werkelijkheid, met daarin alle bijdragen van het meetsysteem en de plaatsing van instrumenten. In onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op de onderdelen die van toepassing zijn.

Nauwkeurigheid WSM sensor

Binnen het meetsysteem hebben de sensoren een absolute fabrieksnauwkeurigheid van 0.1% over het gehele meetbereik, wat neer komt op 2.6 cmH₂O. De nauwkeurigheid van elke sensor gebruikt in dit onderzoek is berekend aan de hand van de kalibraties die in het lab zijn gedaan (Bijlage B). De afwijking tijdens kallibratie wordt vergeleken met de werkelijk gemeten waarden. In Tabel 6 staan maximaal gemeten afwijkingen gemeten tijdens het kalibratieproces per sensor.

Tabel 6: Afwijking waterspanningssensoren gemeten tijdens kalibraties

Meetpunt	Sensornummer	Max afwijking cmH2O
WSM_2	1033329	-1.23 bij 20.115 [mA]
POVM2	1061967	0.84 bij 16.906 [mA]
WSM_6	877791	-0.63 bij 20.168 [mA]
POVM6	1061854	-0.08 bij 17.048 [mA]

Nauwkeurigheid geplaatste hoogte van instrumenten

De hoogte van de geplaatste instrumenten wordt gemeten door lengte van de oplengstangen in te meten en de hoogte van de bovenkant van de oplengstangen in te meten ten opzichte van NAP. Het opmeten van de lengte van de oplengstangen wordt uitgevoerd door twee personen met een meetband. De afwijking bij deze wijze van opmeten is circa 1 cm.

De positie van de waterspanningsmeters t.o.v. RD+NAP zijn met GPS+RTK ingemeten. Globaal is de nauwkeurigheid van dit meetsysteem ± 3 cm t.o.v. NAP. Deze spreiding geldt niet voor de hoogte van de meetpunten onderling. Als de meetpunten op het zelfde moment zijn gemeten is het verschil kleiner dan ± 0.5 cm t.o.v. NAP. Nauwkeurigheid X en Y t.o.v. RD stelsel is < 1 cm.

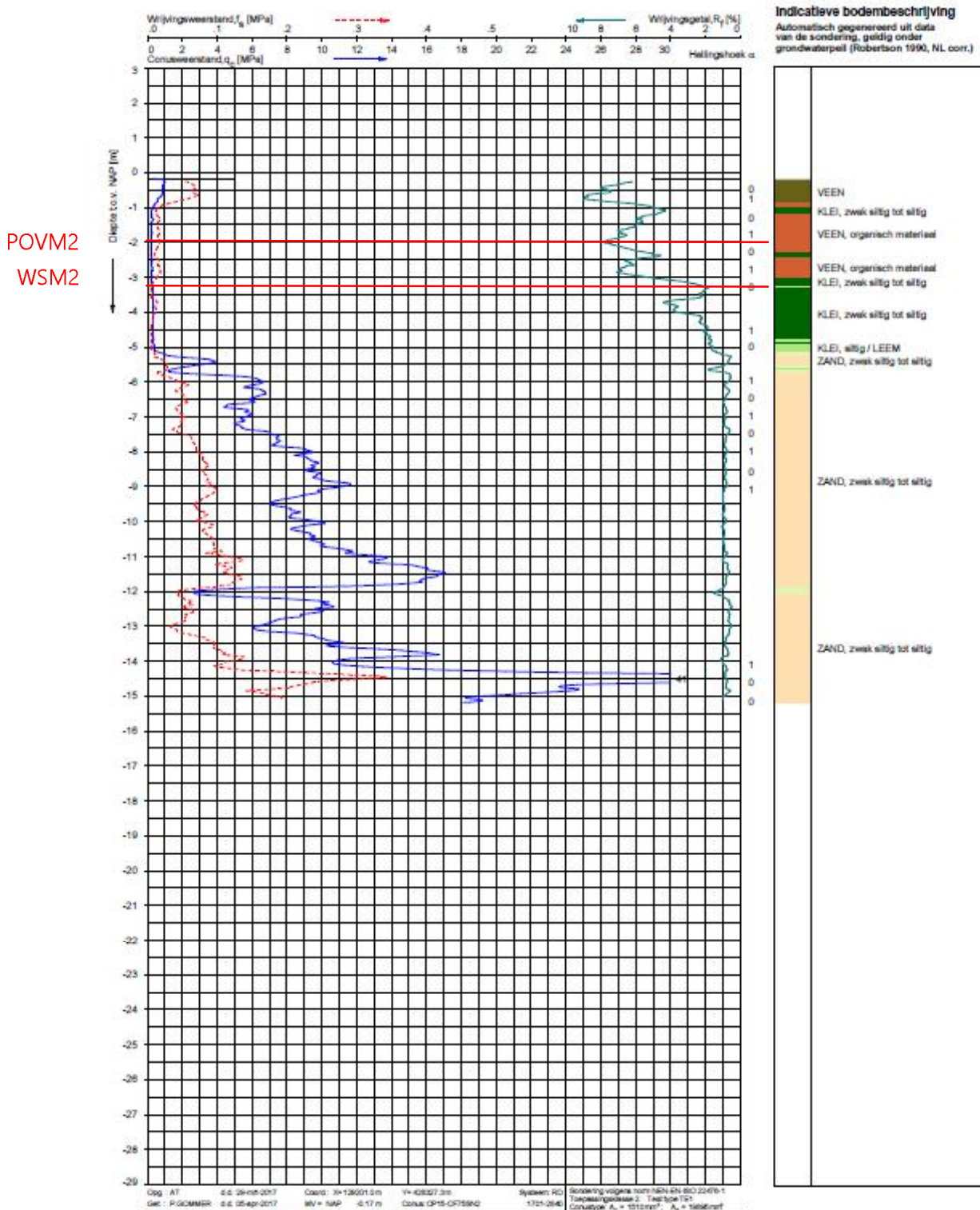
Luchtdrukcompensatie

Waterspanningsmeters meten de absolute druk, welke bestaat uit waterdruk en luchtdruk. Om de waterdruk te betekenen dient de luchtdruk van de absolute druk gehaald te worden. De luchtdruk wordt doorgaans bepaald middels een lokaal geplaatste barometer of met behulp van de luchtdrukgegevens van een nabijgelegen KNMI-station. In deze meting zijn gegevens van KNMI station Herwijnen gebruik, welke zich op een afstand van minder dan 12 km van de daadwerkelijke meetlocatie bevindt.

Bijlagen



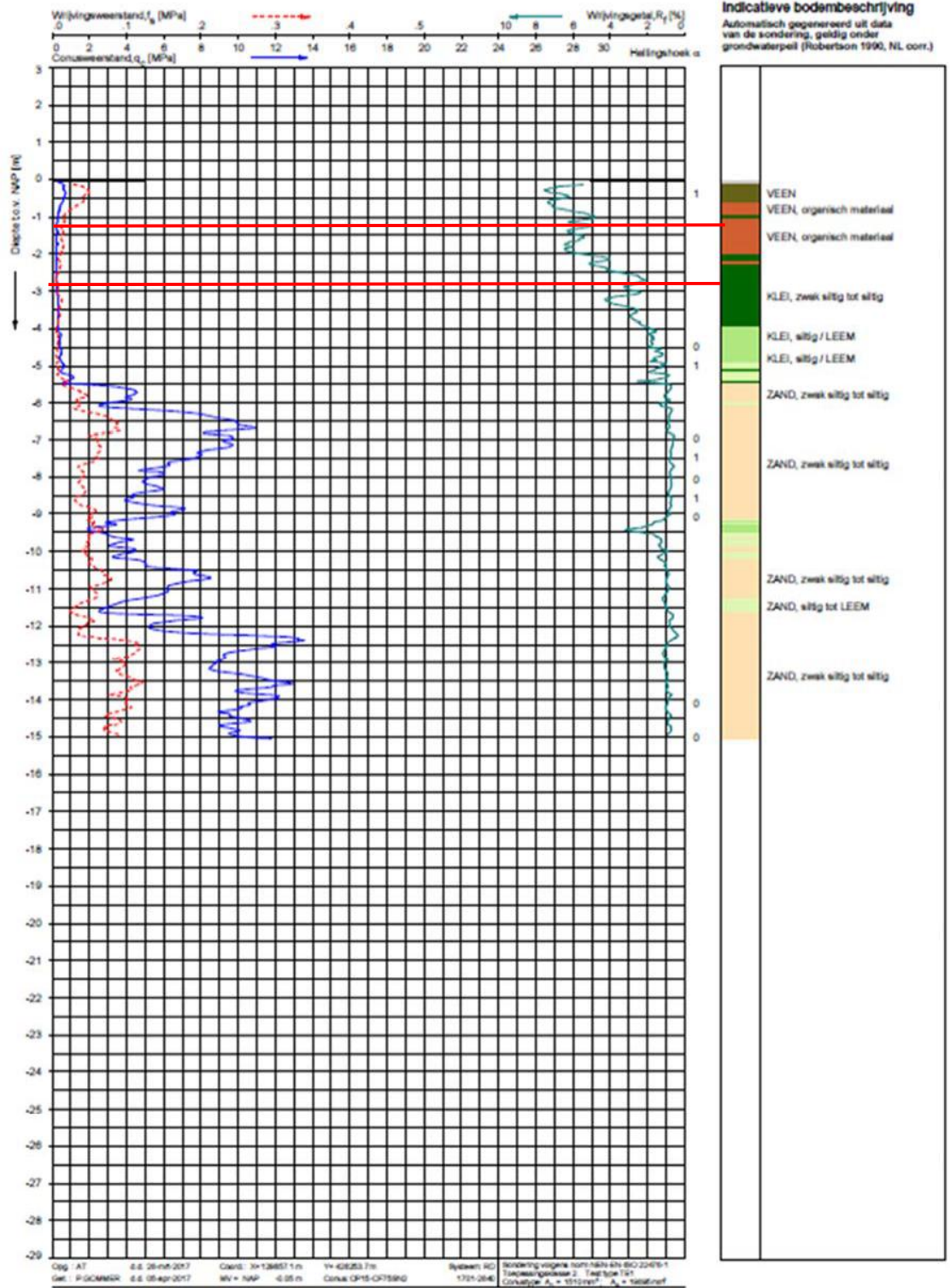
A. Sonderingen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 Opdr. 1016-0944-210
 Sond. DKM22

GELIJDWAL THE DUTCH HAARWEG TE SPLUK - GRONDONDERZOEK

POVM6
WSM6



B. Kallibratie formulieren

Sensor 1061967

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DP1615_V3.00.00	01550860	1061967	28/05/2019	12:59	21.4 C	12	0.9999998039467953

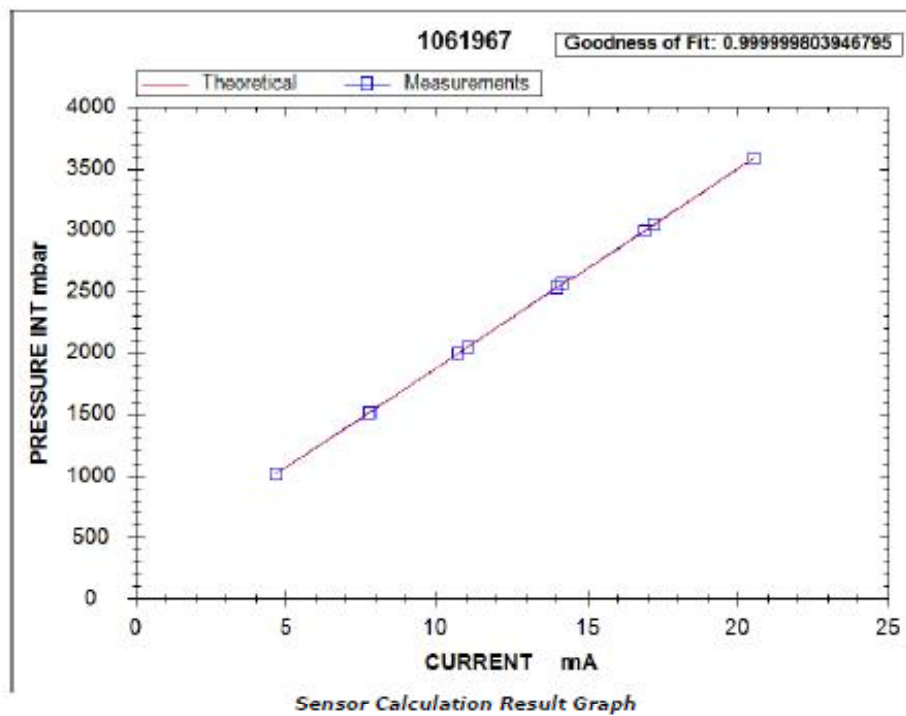
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.453592122726 offset=247.983009406409

Calculated Calibration Parameters

	Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
▶	4.834	1008.7	28/05/2019	13:00:58	1008.9156349092558	0.021563490925575479
	7.8	1515.1	28/05/2019	13:01:20	1515.1210279636604	0.002102796366852399
	11.099	2050.8	28/05/2019	13:01:41	2051.09542837654	0.025542837653983903
	14.022	2525.4	28/05/2019	13:02:00	2525.9072781912668	0.050727819126674611
	17.215	3044.5	28/05/2019	13:02:21	3044.6215977391296	0.002155773912972262
	20.531	3583.7	28/05/2019	13:02:46	3583.317705278087	0.038229072191279558
	20.529	3583.5	28/05/2019	13:02:46	3582.992802933419	0.020719730615812596
	16.906	2893.5	28/05/2019	13:03:24	2894.4234378332071	0.082343783320720829
	14.245	2562.2	28/05/2019	13:03:47	2562.1344291946343	0.00695708053654962
	10.738	1992.5	28/05/2019	13:04:13	1992.4086816202309	0.0090318379764084966
	7.763	1509.6	28/05/2019	13:04:31	1509.1182458651275	0.048975494487340275
	4.682	1008.9	28/05/2019	13:04:37	1008.5907277250104	0.038527227498955288

Sensor Calibration Measurements



Sensor 1061854

Device	Serial No	Name	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
CP1616 V2.01.01	61550860	1061854	28/05/2019	13:48	22.0 C	12	0.9999998183010623

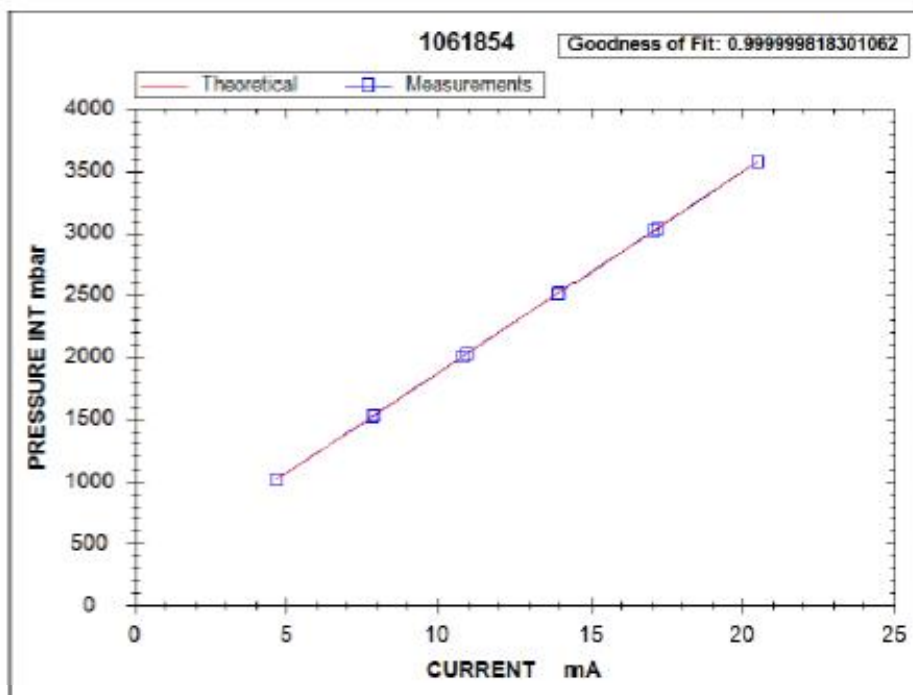
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.450893442625 offset=247.563203614041

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.63	1009.2	28/05/2019	13:48:40	1009.4978938999036	0.025789389999308315
7.512	1533.1	28/05/2019	13:48:54	1532.8746725325923	0.022532746790761848
10.921	2059.7	28/05/2019	13:49:08	2059.4443210966894	0.025967844331967135
13.992	2519.8	28/05/2019	13:49:28	2520.5761046632547	0.077610466328450031
17.204	3042.6	28/05/2019	13:49:48	3042.3683744009672	0.023162559903266811
20.409	3576.2	28/05/2019	13:50:10	3576.0195993099915	0.01804406400832805
20.406	3575.7	28/05/2019	13:50:12	3575.5322056796624	0.016779332833638538
17.048	3017.1	28/05/2019	13:50:40	3017.0260390238173	0.0073964976082606885
13.958	2514.3	28/05/2019	13:51:01	2515.0527742862095	0.075277428620529468
10.975	2030.7	28/05/2019	13:51:22	2030.4617991468536	0.023824085314640798
7.838	1521.2	28/05/2019	13:51:43	1520.853306417338	0.034669358266205562
4.688	1009.2	28/05/2019	13:51:49	1009.1329520730682	0.0067067926531864862

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 877791

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No. of points	Goodness of fit
DR1615.V3.00.00	61550660	877791	18-05-2020	08:23	19.1 C	11	0.99999877384022

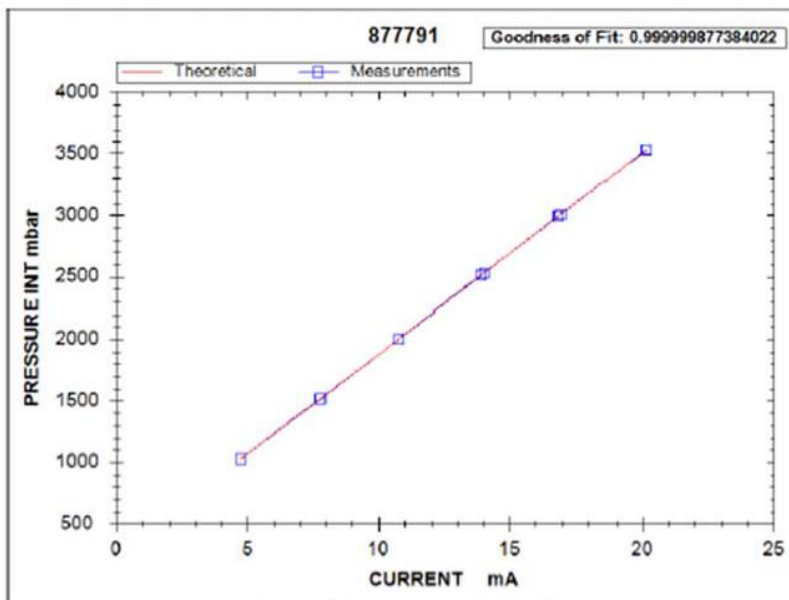
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.381445425427 offset=251.174410008134

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.746	1022	18-05-2020	00:23:40	1021.0367499972096	0.01632500279039159
7.79	1514.2	18-05-2020	00:26:20	1516.1258690720086	0.00741301277914772
10.787	2032.4	18-05-2020	00:29:09	2002.7030618122125	0.038206181221241703
14.024	2528.1	18-05-2020	00:30:29	2528.411800543185	0.03110095431863115
16.946	3002.6	18-05-2020	00:32:32	3002.8993841874157	0.029038418741583801
20.168	3626.7	18-05-2020	00:34:05	3526.0034013481403	0.04165986518504764
16.878	2991.9	18-05-2020	00:35:12	2991.0484459364867	0.005155410151337432
13.906	2508.1	18-05-2020	00:36:18	2509.2567900941182	0.015079009411829247
10.904	2005.4	18-05-2020	00:37:59	2005.5435483644447	0.01425483544445214
7.783	1515.2	18-05-2020	00:39:25	1514.9815997542304	0.02103024578363296
4.746	1022	18-05-2020	00:39:54	1021.0367499972096	0.01632500279039159

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

Sensor 1033329

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
OPR15.V0.00.00	61550040	1033329	20/11/2018	10:33	15.7 C	11	0.999999943296548

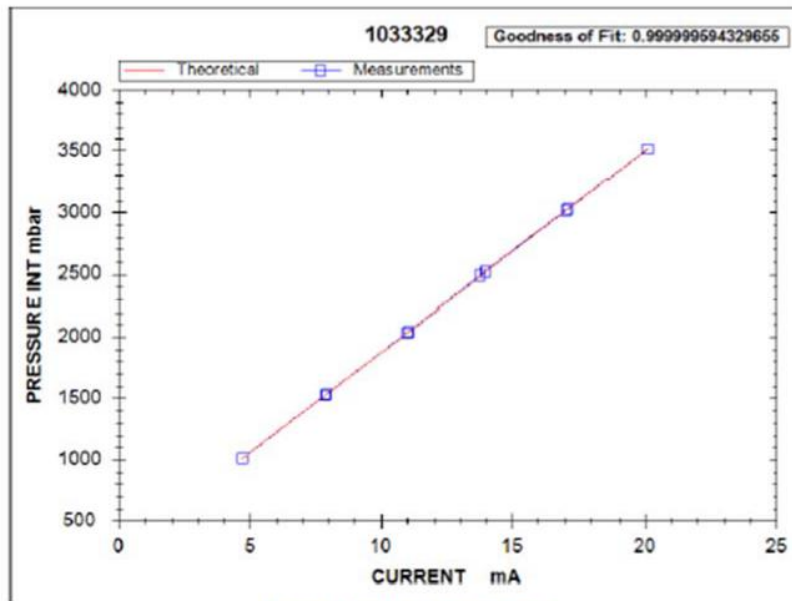
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.462528321111 offset=244.563598607437

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.712	1010.1	20/11/2018	10:36:31	1010.0070320565125	0.000516717723950097123
7.935	1533.7	20/11/2018	10:38:32	1533.7037600354533	0.00015043341812997823
10.998	2031.6	20/11/2018	10:40:18	2031.3264850830162	0.010940896679347436
14.002	2518.7	20/11/2018	10:41:16	2519.363201596343	0.026556806385378877
17.054	3014.7	20/11/2018	10:43:12	3015.199566956649	0.019902263826609048
20.115	3513.7	20/11/2018	10:45:13	3512.497857865836	0.048105768536578382
17.153	3031	20/11/2018	10:45:40	3031.203346889455	0.011333875978198193
13.794	2483.3	20/11/2018	10:47:02	2483.947088885632	0.025803559425274143
11.059	2041.4	20/11/2018	10:47:35	2041.2368893100041	0.00653202795750404024
7.899	1528	20/11/2018	10:48:28	1527.851088158835	0.0057958073842617409
4.709	1009.9	20/11/2018	10:50:47	1009.5996444715493	0.012014221130028915

Sensor Calibration Measurements



Sensor Calculation Result Graph

C. Plaatsingsformulieren



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	povm2
Plaats:	spijk	Filter naam:	
Straat + nr.:	spijksesteeg 1	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

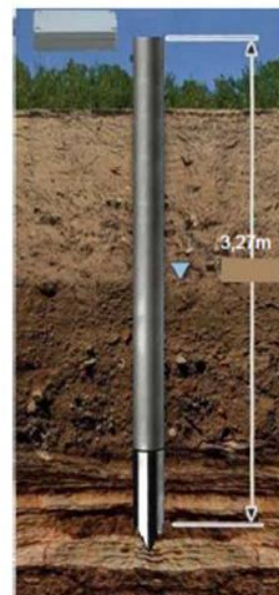
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.703
Voor plaatsen	Datum / tijd	03/06/2020 11:27
Bk buis t.o.v.	m	1,20m
Totale lengte	m	3,27m
Aantal gasbuis		3
Handwaarneming	ma	6.090
Na plaatsen	Datum / tijd	03/06/2020 11:43

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1240
Poort		b
Sensor	Nr.	1061967
Handwaarneming	ma	5.884
Voor aansluiten	Datum / tijd	03/06/2020 11:45
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	mikoliet 00	2
	koker (zwart)	1



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	povm2
Plaats:	spijk	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer



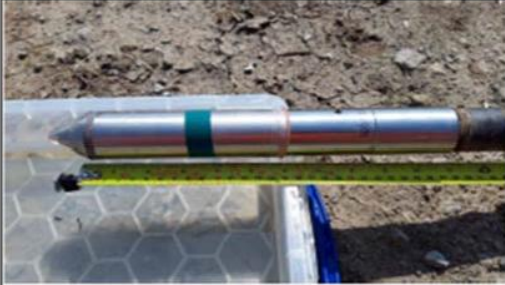
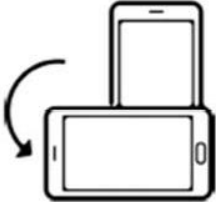
Detail FLB/kast nummer



**WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER**

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	povm2
Plaats:	spijk	Filter naam:	

Foto's wijzigingen


Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
 A photograph showing a cylindrical sensor with a blue band, lying horizontally in a clear plastic container. A yellow measuring tape is placed below the sensor to indicate its length. The background is a sandy or gravelly surface.	 A line drawing of a smartphone. A curved arrow points from the top of the phone to the bottom, indicating a rotation or a specific orientation.



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1016-0944-141	Locatie naam:	WSM2
Plaats:	Spijk	Filter naam:	
Straat + nr:		Datum:	21/01/2019
Werkzaamheden:	plaatsen	Uitgevoerd door:	JMM/NZ
Opdracht:	Plaatsen WSM		

Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		
51.8430691, 5.0104046		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.83
Voor plaatsen	tijd	14:22
Bk stang / buis t.o.v. + mv	m	1,87m
Totale lengte	m	5,26m
Handwaarneming	ma	6.67
Na plaatsen	tijd	14:39



Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	nr	1240
Poort		a
Sensor	nr	1033329
Meetbereik	bar	0.8 tot 2.5
Start/stop equipment	tijd	14:46

Verandering		
	nr	
Poort		
Sensor	nr	
Meetbereik	bar	
	m	
Start verandering	tijd	

Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	sondeerstang	5
	koker (zwart)	1



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1016-0944-141	Locatie naam:	WSM2
Plaats:	Spijk	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	povm6
Plaats:	spijk	Filter naam:	
Straat + nr.:	spijksesteeg 1	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

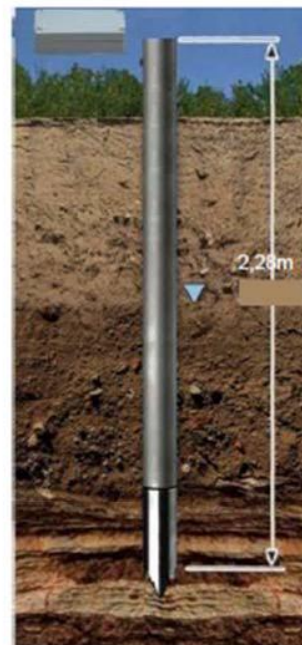
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.641
Voor plaatsen	Datum / tijd	03/06/2020 14:24
Bk buis t.o.v. + mv	m	1,37m
Totale lengte	m	2,28m
Aantal gasbuis		2
Handwaarneming	ma	5.320
Na plaatsen	Datum / tijd	03/06/2020 15:02

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1218
Poort		a
Sensor	Nr.	1061854
Handwaarneming	ma	4.810
Voor aansluiten	Datum / tijd	03/06/2020 15:10
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	mikoliet 00	.2
	gasbuis	2
	koker (zwart)	1



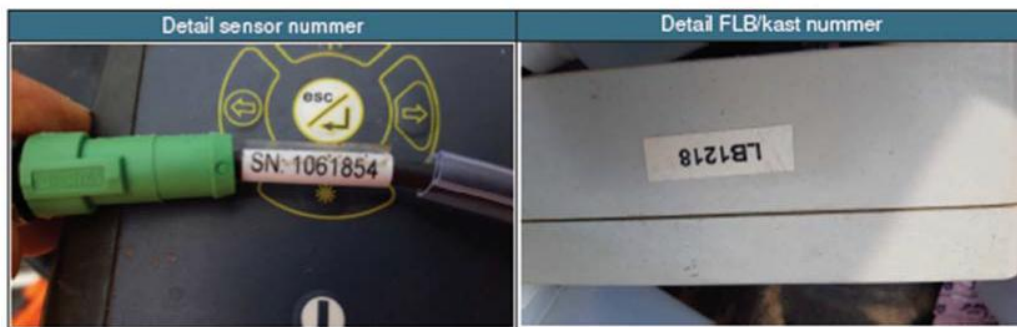
WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	povm6
Plaats:	spijk	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1


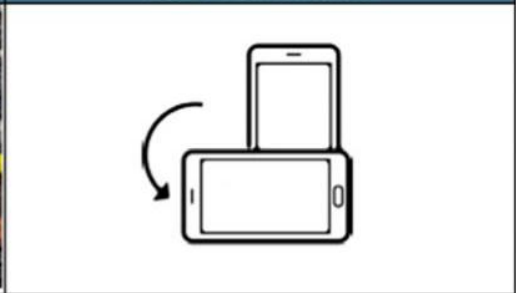




WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	povm6
Plaats:	spijk	Filter naam:	

Foto's wijzigingen

Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1016-0944-141	Locatie naam:	WSM6
Plaats:	spijk	Filter naam:	
Straat + nr.:	spijksesteeg 1	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

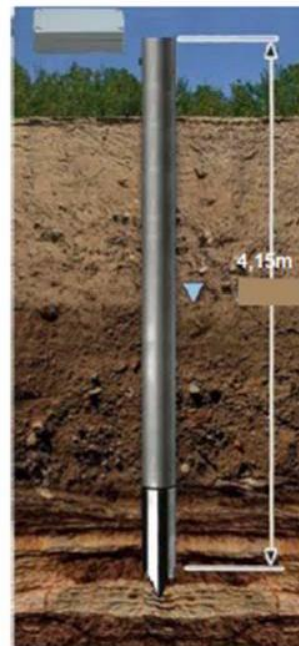
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming Voor plaatsen	ma	4.632
	Datum / tijd	03/06/2020 14:42
Bk buis t.o.v. + mv	m	1,52m
Totale lengte	m	4,15m
Aantal gasbuis		4
Handwaarneming Na plaatsen	ma	6.960
	Datum / tijd	03/06/2020 15:04

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1218
Poort		b
Sensor	Nr.	877791
Handwaarneming Voor aansluiten	ma	6.823
	Datum / tijd	03/06/2020 15:08
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	mikoliet 00	.2
	gasbuis	4
	koker (zwart)	1



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1016-0944-141	Locatie naam:	WSM6
Plaats:	spijk	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1


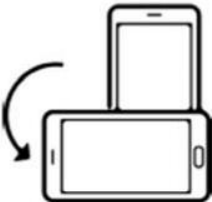
Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1016-0944-141	Locatie naam:	WSM6
Plaats:	spijk	Filter naam:	

Foto's wijzigingen

Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
	

J. Eindrapportage extra veldtest Spijk – Fugro



Eindrapportage veldtest Spijk

Eindrapportage | POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – aanvullende veldtest

1417-0042-143 | 23-11-2020

Versie 1.0

Waterschap Rivierenland



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – aanvullende veldtest Spijk
Documentnaam	Eindrapportage
Fugro-projectnr.	1417-0042-143
Fugro-documentnr.	1417-0042-143.R03
Versienummer	[1.0]
Versiestatus	Versie 1.0
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Waterschap Rivierenland
Adres klant	Beleidsafdeling Water en Dijken, Postbus 599, 4000 AN TIEL
Contactpersoon klant	mr. A. Colijn

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	23-11-2020	Definitief	Rapportage	JDO	CVO	CVO

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
CVO	C. Voorbij-De Groot	Senior projectmanager Monitoring
JDO	J. Donker	Project engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Scope	2
2. Opzet veldtest	3
2.1 Projectbeschrijving	3
2.2 Situatiebeschrijving	3
3. Meetresultaten	5
3.1 Monitoringswebsite GeoRiskPortal	5
3.2 Toelichting meetresultaten WSM2 en POVM02	5
3.3 Toelichting meetresultaten WSM6 en POVM06	7
Bijlage	
A. Data Waterspanningsmeters	

1. Inleiding

Waterspanningsmeters worden toegepast om de waterdruk in een grondlaag of grondlichaam te meten. Een mogelijke oorzaak voor het uitvallen van de instrumenten is gasvorming. Waterspanningsmeters zijn een cruciale informatiebron voor risicobeheersing en projectbeheersing bij dijk gerelateerde werkzaamheden, zoals: dijkversterkingen. Hierdoor is er vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen.

Het consortium is samengesteld uit de volgende bedrijven: Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V.. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **“WSM+NL”**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Tijdens de ontwikkelingsfase is een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters gebouwd. Vervolgens is deze tijdens een veldtest in Vianen voor een periode van één jaar gemonitord.

Om een beter beeld te krijgen van de werking van de zelfontgassende waterspanningsmeters is besloten twee aanvullende veldtesten uit te voeren gedurende de zomer van 2020. De aanvullende veldtesten betreffen het bijplaatsen van zelfontgassende waterspanningsmeters op locaties waar op basis van de grondopbouw ingeschat wordt dat de kans op gasbelvorming aanwezig is. Eén van deze veldtesten vindt plaats in Spijk, waarbij twee zelfontgassende waterspanningsmeters zijn geplaatst bij twee waterspanningsmeters die al op locatie aanwezig waren voor een bestaand project. Voor de andere veldtest is een compleet proefveld opgezet bij het voormalige project KIJK in Ouderkerk aan de IJssel, een locatie waar in het verleden veel gasbelproblematiek is opgetreden, aangezien geen lopende projecten met kans op gasbelvorming voorhanden waren.

1.1 Doelstelling

Het doel van de aanvullende veldtest is het testen of het verbeterde gasfilterontwerp uit de onderzoeksfase in een nieuwe testomgeving zal werken. De nieuwe veldtest vindt hierom plaats gedurende de zomerperiode, omdat dit de periode is van de grootste opwarming en hiermee gepaard ook de meeste gas productie. De zelfontgassende waterspanningsmeters zullen worden vergeleken met de Fugro FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter.

1.2 Scope

Dit rapport betreft het eindrapport van de aanvullende veldtest te Spijk. Hierin wordt de locatie, de meetresultaten en analyse van de meetresultaten van de zelfontgassende waterspanningsmeters van Fugro beschreven.

2. Opzet veldtest

2.1 Projectbeschrijving

De aanvullende veldtesten zijn ontwikkeld om te testen hoe de zelfontgassende waterspanningsmeters werken in een nieuwe test omgeving. Voor het testveld zijn de waterspanningsmeters geplaatst in een ondiepe veenlaag <2 m beneden maaiveld. Wanneer gasproductie in veenlagen plaatsvindt, zal het gas zich omhoog bewegen, waardoor de grootste kans om gasbeldruk te meten bovenin de veenlaag is. De waterspanningsmeters gedurende de zomerperiode van 3 juni tot 13 oktober 2020 gemonitord, omdat dit de periode is van de grootste opwarming en hiermee gepaard ook de meeste gasproductie. Het belangrijkste doel van de aanvullende veldtest is om de oplossing met de gasfilter in meerdere praktijkomstandigheden te testen.

Voor de aanvullende veldtest zijn twee zelfontgassende waterspanningsmeters bij een bestaand project van Fugro geplaatst. De twee zelfontgassende waterspanningsmeters zijn daarbij bovenin een veenlaag geplaatst <2 m -MV, de Fugro WSM's die al aanwezig waren op de project locatie staan net onder deze veenlaag.

2.2 Situatiebeschrijving

Voor de aanvullende veldtest is een locatie in Spijk uitgekozen. In onderstaande figuur is een luchtfoto met de locaties van de waterspanningsmeters weergegeven.



Figuur 1: Luchtfoto Spijksteeg 1, Spijk

Op locatie WSM2 werd in het verleden een waterspanningssensor geïnstalleerd op -3.37 m NAP, 2.72 m beneden maaiveld. WSM6 was geplaatst op -2.8 m NAP, 2.4 m beneden maaiveld. Beide waterspanningsmeters bevinden zich net onder een veenlaag. De waterspanningsmeters die voor POVM zijn bijgeplaatst zijn bovenin de veenlaag geplaatst. POVM2 is op -1.99 m NAP, met een maaiveld hoogte van 0.08 m NAP en POVM6 is op -1.20 m NAP geplaatst, met een maaiveld hoogte van -0.29 m NAP. In Fugro rapport; 1417-0042-143.R01_StartVeldtest_Spijk d.d. 25-09-2020. Is de installatie van de waterspanningsmeters beschreven.

3. Meetresultaten

In de periode van 3 juni tot 13 oktober is data verzameld van alle aangebrachte waterspanningsmeters

3.1 Monitoringswebsite GeoRiskPortal

De data wordt 1x per 10 minuten gemeten en elk uur doorgestuurd naar Fugro's Monitoring ftp-server. De verschillende data bestanden waren zichtbaar op Fugro GeoRiskportal. Op deze Fugro database worden ruwe waarden van de waterspanningen omgerekend naar engineered values, en gepresenteerd in grafieken. De grafieken kunnen in volgende eenheden geplott worden: WSM in *mBar*, *kPa* en *m ten opzichte van NAP*. In Figuur 2 en in Bijlage A staat de presentatie van de waterspanningsmetingen in m NAP van 3 juni t/m 13 oktober 2020.



Figuur 2 Data waterspanningsmeters zichtbaar in GeoRiskPortal.

3.2 Toelichting meetresultaten WSM2 en POVM02

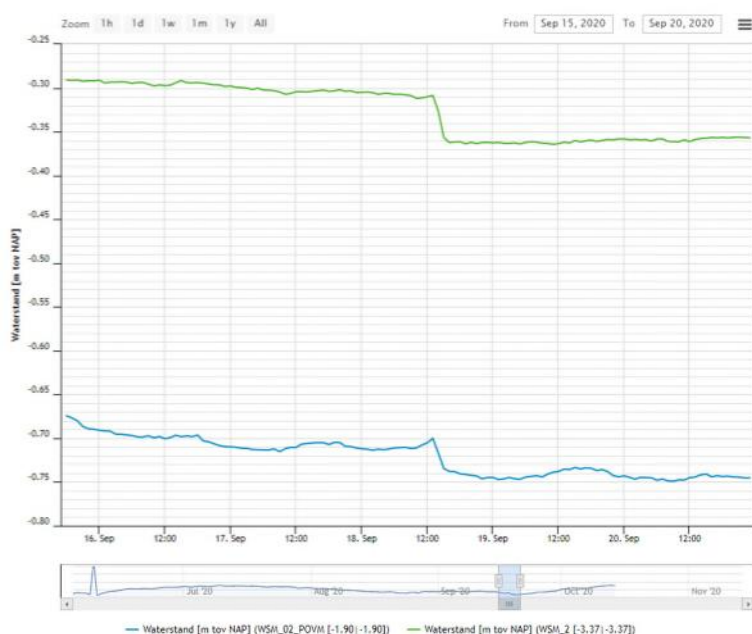
Gedurende de gehele meetperiode zijn er metingen uitgevoerd. Er zijn een aantal momenten waar een plotselinge verandering in waterspanning is waargenomen.

09-06-2020 14:02uur; (Figuur 3) WSM2 en POVM02 laten gelijktijdig een piek van respectievelijk 0.20 m NAP en -0.02 m NAP zien en direct daarna een daling van -0.44 m NAP en -0.98 m NAP. Beide sensoren regeren direct en gelijktijdig. Vervolgens hersteld de waterdruk zich langzaam. Mogelijk word deze drukverandering veroorzaakt door werkzaamheden in de directe omgeving van de beide waterspanningsmeters.



Figuur 3 Piek WSM2 en POVM02 op 09-06-2020 14:02uur

18-09-2020 13:02uur; (Figuur 4) WSM2 en POVM02 laten gelijktijdig een daling zien van respectievelijk -0.31 naar -0.36 m NAP en -0.70 naar -0.74 m NAP. Beide verandering zijn direct en gelijktijdig geregistreerd. Dit event wordt mogelijk veroorzaakt door werkzaamheden in de direct omgeving van de waterspanningsmeters.

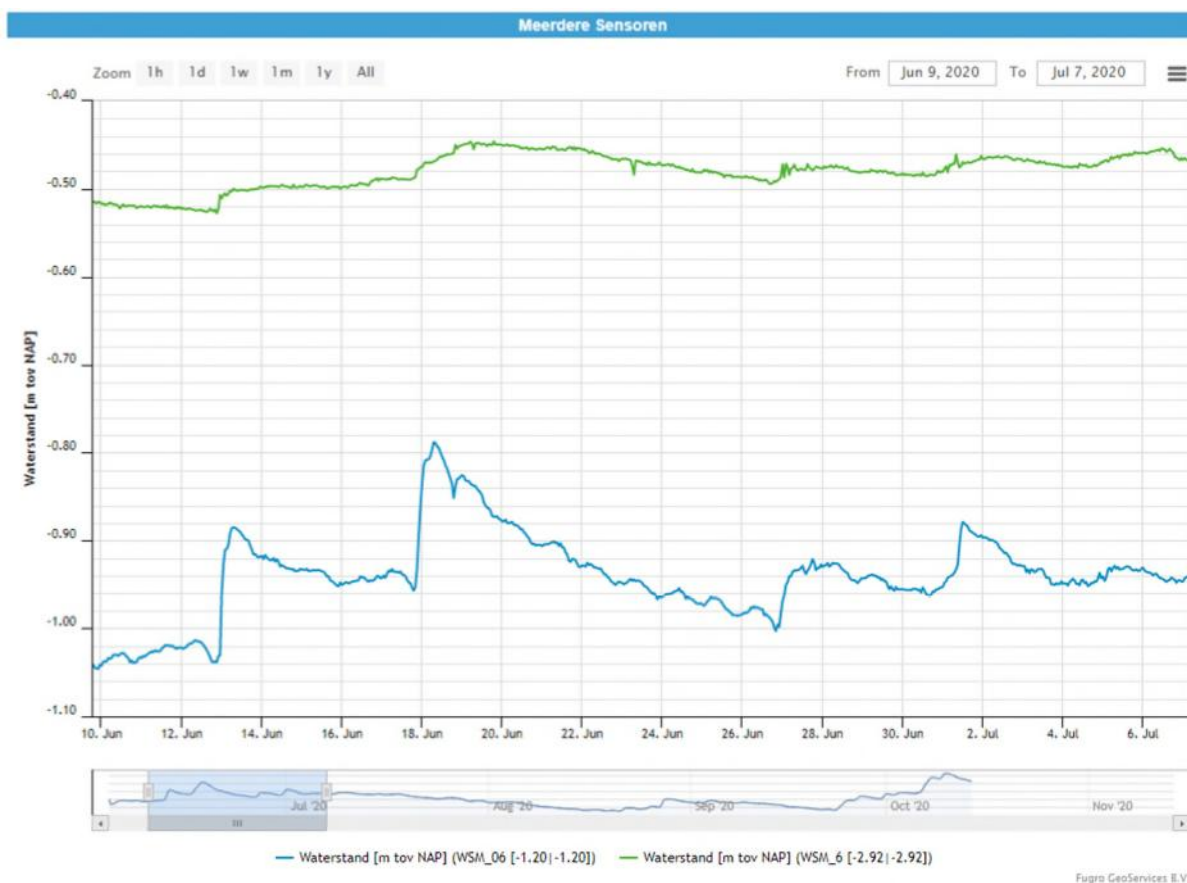


Figuur 4 Piek WSM2 en POVM02 op 09-06-2020 14:02uur

3.3 Toelichting meetresultaten WSM6 en POVM06

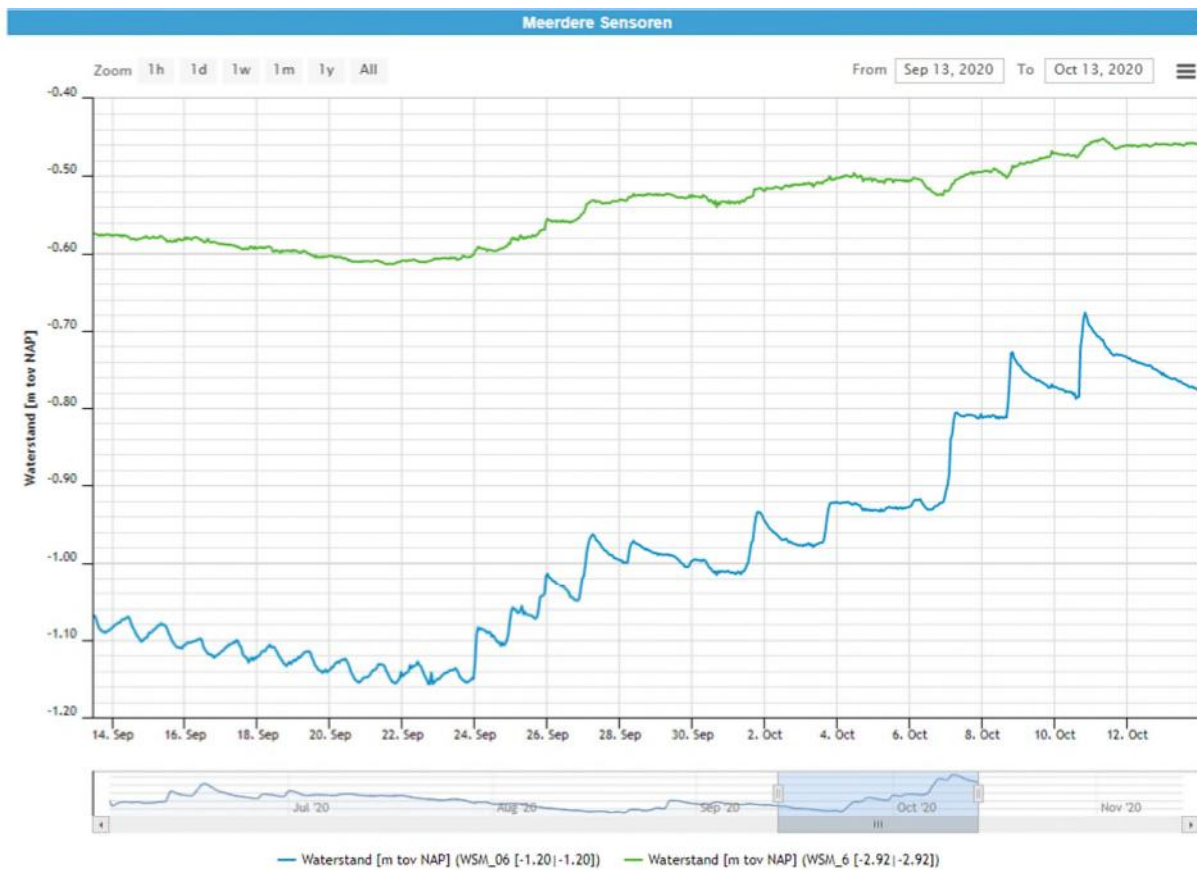
Gedurende de gehele meetperiode zijn er metingen uitgevoerd. Er zijn een aantal momenten waar een plotselinge verandering in waterspanning is waargenomen.

12-06-2020 t/m 01-07-2020 POVM06 laat een aantal plotselinge drukverhogingen zien. WSM 6 laat dit op de zelfde momenten in veel mindere mate zien.



Figuur 5 12-06-2020 t/m 01-07-2020 Piek WSM6 Groene lijn en POVM06 Blauwe lijn

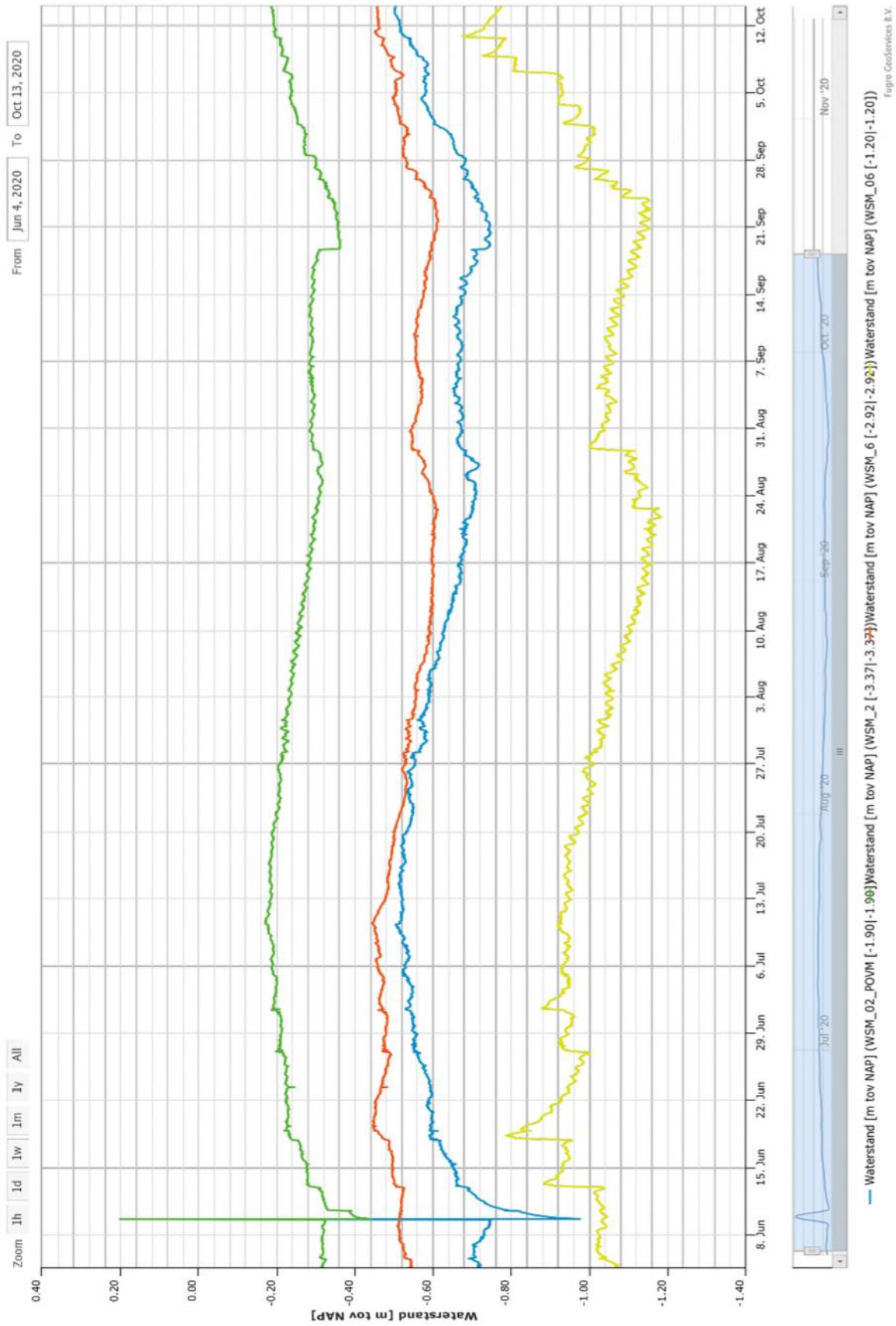
24-09-2020 t/m 11-10-2020 POVM06 laat een aantal plotselinge drukverhogingen zien. WSM 6 laat dit op de zelfde momenten in veel mindere mate zien.



Figuur 6 Piek 24 09-2020 t/m 11-10-2020 WSM6 Groene lijn en POVM06 Blauwe lijn

Bijlage

A. Data Waterspanningsmeters



K. Startrapportage extra veldtest Ouderkerk – Fugro



Rapportage start veldtest Ouderkerk aan den IJssel

Rapportage | POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – aanvullende veldtesten

1417-0042-143 | 25-09-2020

Versie 1.0

Waterschap Rivierenland



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Rapportage start veldtest Ouderkerk aan den IJssel
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	1417-0042-143
Fugro-documentnr.	1417-0042-143.R02
Versienummer	[1.0]
Versiestatus	Versie 1.0
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Waterschap Rivierenland
Adres klant	Beleidsafdeling Water en Dijken, Postbus 599, 4000 AN TIEL
Contactpersoon klant	mr. A. Colijn

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	25-9-2020	Definitief	Rapportage	JDO	MBO	CVO

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
CVO	C. Voorbij-De Groot	Senior projectmanager Monitoring
JDO	J. Donker	Project engineer Monitoring

Inhoudsopgave

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
Inhoudsopgave	i
1. Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Scope	1
2. Opzet veldtest	2
2.1 Projectbeschrijving	2
2.2 Situatiebeschrijving	2
3. Factory Acceptance test (FAT)	4
3.1 Doel	4
3.2 Systeembeschrijving	4
4. Installatie Testveld	5
4.1 Uitvoeringsmethode	5
4.2 Aansluiten van sensorkabels en opstarten van datalevering	7
4.3 Site Acceptance Test (SAT)	8
4.4 Presentatie van de data via monitoringswebsite GAIA Insight	9
4.5 Nauwkeurigheid van de WSM	9
Bijlagen	0
A. Sonderingen	1
B. Kallibratie certificaten	3
C. Installatieformulieren	8

1. Inleiding

Waterspanningsmeters worden toegepast om de waterdruk in een grondlaag of grondlichaam te meten. Een mogelijke oorzaak voor het uitvallen van de instrumenten is gasvorming. Waterspanningsmeters zijn een cruciale informatiebron voor risicobeheersing en projectbeheersing bij dijk gerelateerde werkzaamheden, zoals: dijkversterkingen. Hierdoor is er vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieleit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen.

Het consortium is samengesteld uit de volgende bedrijven: Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V.. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: "**WSM+NL**".

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Tijdens de ontwikkelingsfase is een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters gebouwd. Vervolgens is deze tijdens een veldtest in Vianen voor een periode van één jaar gemonitord.

Om een beter beeld te krijgen van de werking van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeters is besloten twee aanvullende veldtesten uit te voeren gedurende de zomer van 2020. Eén van deze veldtesten vindt plaats in Spijk en een tweede in Ouderkerk aan de IJssel welke wordt beschreven in deze rapportage. Op deze locatie zijn vier waterspanningsmeters geplaatst, twee grondwatergasbestendige waterspanningsmeters en twee Fugro standaard FWS2 waterspanningsmeters. Op dezelfde locatie zijn in het verleden waterspanningsmetingen uitgevoerd waarbij veel problemen met gasvorming zijn opgetreden.

1.1 Doelstelling

Het doel van de aanvullende veldtest is het testen of het verbeterde gasfilterontwerp uit de onderzoeksfase in een nieuwe testomgeving zal werken. Deze veldtest vindt plaats gedurende de zomerperiode, omdat in deze periode de grootste opwarming van de bodem plaatsvindt en hiermee gepaard ook de meeste gasproductie. De grondwatergasbestendige waterspanningsmeters zullen worden vergeleken met de Fugro standaard FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter.

1.2 Scope

Dit rapport betreft het plaatsingsrapport van de aanvullende veldtest te Ouderkerk aan den IJssel. Hierin wordt de locatie, installatie, FAT en SAT en dataoplevering van de grondwatergasbestendige waterspanningsmeters van Fugro beschreven.

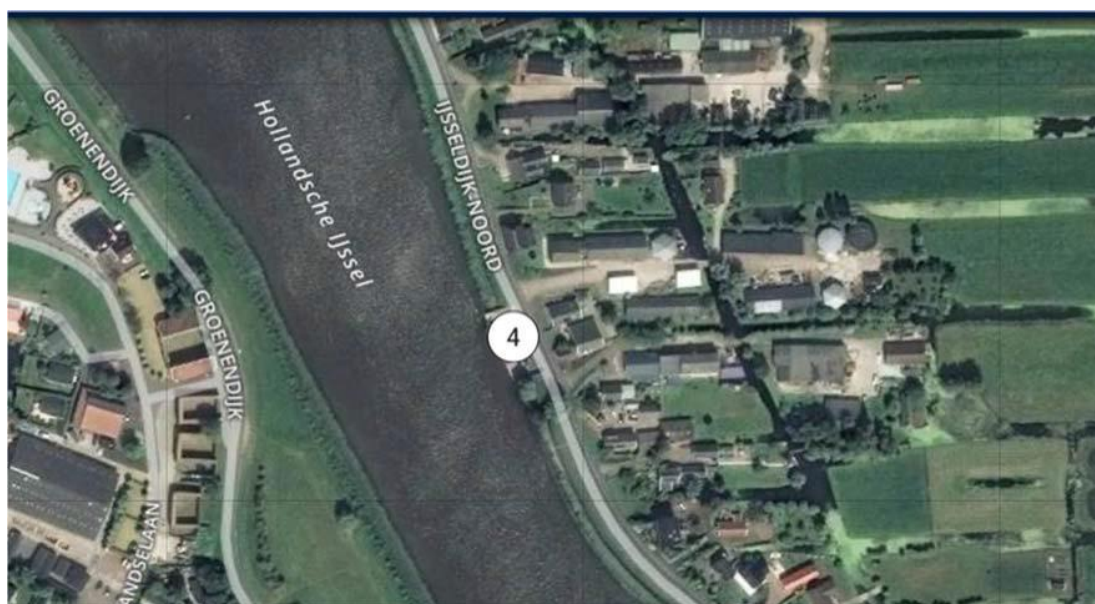
2. Opzet veldtest

2.1 Projectbeschrijving

De aanvullende veldtesten zijn ontwikkeld om te testen hoe de grondwatergasbestendige waterspanningsmeters werken in een nieuwe testomgeving. Hiervoor is een locatie aan de IJsseldijk-Noord in Ouderkerk aan den IJssel gekozen. In het verleden zijn hier ook waterspanningsmetingen uitgevoerd voor het project KIJK. Er is gekozen om de waterspanningsmeter op dezelfde locatie en op dezelfde diepte te plaatsen als destijds. Op deze locatie zijn de waterspanningsmeters geplaatst op 3.48m beneden maaiveld. De waterspanningsmeters worden gedurende de zomerperiode gemonitord, omdat dit de periode is van de grootste opwarming en hiermee gepaard ook de meeste gasproductie. Het belangrijkste doel van de aanvullende veldtest is om de oplossing met het gasfilter in meerdere praktijkomstandigheden te testen.

2.2 Situatiebeschrijving

Voor de aanvullende veldtest is een locatie in Ouderkerk aan den IJssel uitgekozen. In onderstaande figuur is een luchtfoto met de locaties van de waterspanningsmeters weergegeven.



Figuur 1: Luchtfoto IJsseldijk-Noord Ouderkerk aan den IJssel

Op bovenstaande locatie werd in het verleden een waterspanningssensor WSM_B4-KR_BAT3 geïnstalleerd op -0.59 m NAP, 3.37m beneden maaiveld. Deze monitoringswerkzaamheden waren onderdeel van project KIIK (Fugro projectnummer 1315-0297-140)

De waterspanningsmeters die voor POVM zijn aangebracht zijn geplaatst op ca. -0.70 m NAP, met een maaiveld hoogte van 2.78 m NAP. In Bijlage A 'sonderingen' zijn de sonderingen ter plaatse van bovengenoemde waterspanningsmeters weergegeven.

De meetperiode is begonnen op 12 juni 2020, de waterspanningsmeters zullen drie maanden meten gedurende de zomer.

3. Factory Acceptance test (FAT)

Een FAT is een formeel test- en inspectieproces dat wordt uitgevoerd door de fabrikant (Fugro) wanneer het systeem of de faciliteit volledig is gefabriceerd en geassembleerd, voorafgaand aan de plaatsing. Een FAT kan uit verschillende inspectiepunten en tests bestaan, op basis van vereisten en unieke apparatuur specificaties. De FAT wordt gebruikt om te verifiëren of conform contract is geproduceerd en of de apparatuur voldoet aan de specificaties. In de context van dit protocol worden hiermee de testen die Fugro uitvoert voor mobilisatie bedoeld.

3.1 Doel

De FAT wordt uitgevoerd in de werkplaats van de afdeling Monitoring te Leidschendam om de correcte werking van de sensoren en dataloggers en de bijbehorende componenten te controleren, inclusief gegevensoverdracht voor verdere berekening en presentatie op monitoringswebsite.

De FAT-procedure is gericht op:

- Controle van de juiste werking van de dataloggers;
- Controle van de juiste functie van het meten van de aangesloten sensoren;
- Controle van de gegevensoverdracht naar de aangewezen ftp-server.

De bovengenoemde aspecten zijn voor installatie op kantoor in Leidschendam uitgevoerd en in goed orde bevonden.

3.2 Systeembeschrijving

Bij de aanvullende veldtest in Ouderkerk aan den IJssel is het volgende equipment neergezet: Er zijn 2 stuks grondwatergasbestendige waterspanningsmeters voorzien van temperatuursensoren geïnstalleerd. Deze zijn nabij 2 conventionele waterspanningsmeters geplaatst. Daarnaast is een luchtdruksensor geïnstalleerd om de lokale luchtdruk te meten. Een overzicht van de meetapparatuur is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht meetapparatuur

Aantal	Omschrijving	Type	Meetbereik	Serienummer	Check
2	Loggerbox	Fugro Logger Box	4-20mA	LB1361 LB1339	Ja
2	Grondwatergasbestendig Waterspanningsmeter	Geassembleerd door Fugro	0.9-3.5 Bar	1061961 1061966	Ja
2	Waterspanningsmeter standaard	Geassembleerd door Fugro	0.9-3.5 Bar	1061931 1146103	Ja
1	Luchtdruksensor		0.9-1.1 Bar	728981	Ja

De drukopnemers en de temperatuursensoren zijn voor de start veldtest gekalibreerd. De kalibratieformulieren zijn in Bijlage B te vinden.

4. Installatie Testveld

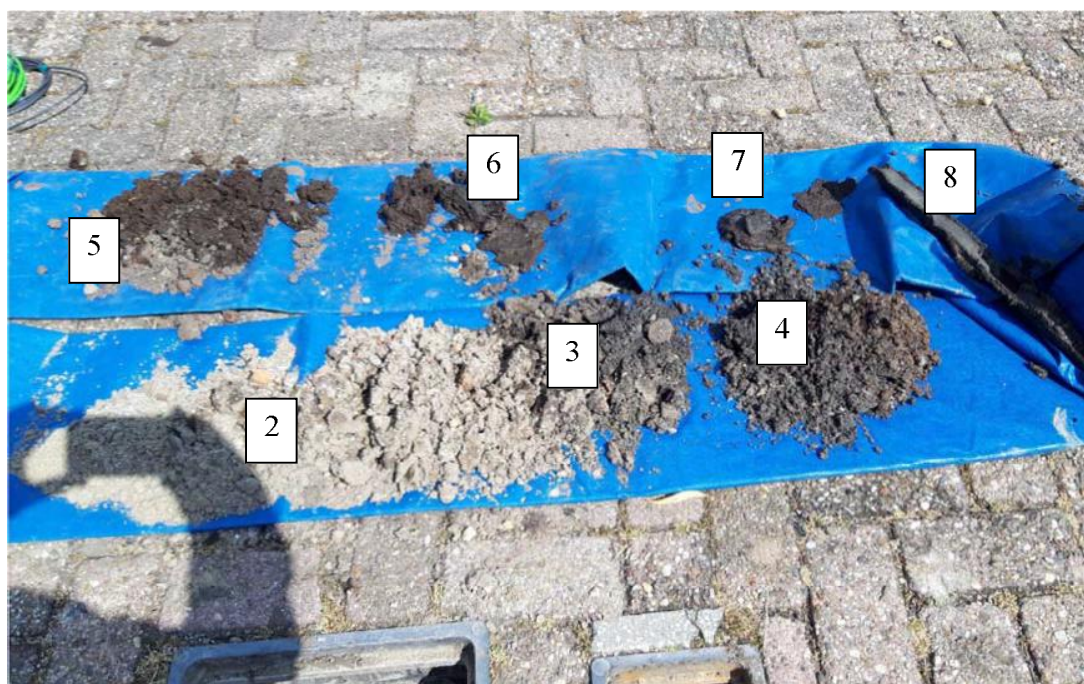
Hieronder is beknopt de werkwijze van het aanbrengen en aansluiten van de waterspanningsmeters beschreven. Meetinstrumenten dienen altijd zo geplaatst en bevestigd te worden dat derden geen gevaar lopen. Er moeten verder passende maatregelen worden genomen om risico's bijvoorbeeld als gevolg van verontreiniging, overstroming, verkeer of bevriezing te voorkomen. Maatregelen om de installatie tijdens de verwachte meetperiode te beschermen, moeten worden uitgevoerd. De installatie van waterspanningsmeters is conform *Protocol voor de selectie en installatie van waterspanningsmeters, VN-67440-1 / 1417-0042-000 d.d. 19-01-2019* uitgevoerd. Op deze locatie is er gekozen om na installatie de waterspanningsmeters met een straatput af te werken. De waterspanningsmeter is goed beschermd en bereikbaar voor inspectiedoeleinden. In de straatput is voldoende ruimte voor een modemlogger.

Voorafgaand aan het installeren is in het veld de vloeistofkamer en het grondfilter volledig verzadigd met water. Na volledige verzadiging van het grondfilter en de vloeistofkamer is het grondfilter, terwijl het nog ondergedompeld was in de vloeistof, afgesloten met een elastisch membraan (condoom). Dit is om te voorkomen dat lucht in het grondfilter en de vloeistofkamer kan indringen.

4.1 Uitvoeringsmethode

De waterspanningsmeters zijn op 12 juni 2020 handmatig geplaatst. Vooraf is tot ongeveer 2.9 m beneden maaiveld geboord. (grondboor Ø100 mm). De laatste 0.3 m is gegutst (gutsboor Ø 20 mm). De boorbeschrijvingen is weergegeven in Figuur 2 en Tabel 2.

Vlak voor het plaatsen van de waterspanningsmeters zijn aan de waterspanningsmeter gasbuizen bevestigd. Op de gasbuis is de installatiediepte vanaf maaiveld met een markering aangegeven. Vervolgens is de sensor rustig in het nauwe gat, grondverdringend in de veenlaag geïnstalleerd, waarbij het laatste stuk is gedrukt om zo op de juiste diepte te komen. Het gat dat is ontstaan door de handboring is vervolgens gevuld met zwelklei (mikoliet). De plaatsingsformulieren van de geïnstalleerde meetapparatuur zijn in Bijlage C gepresenteerd.



Figuur 2: Handboring

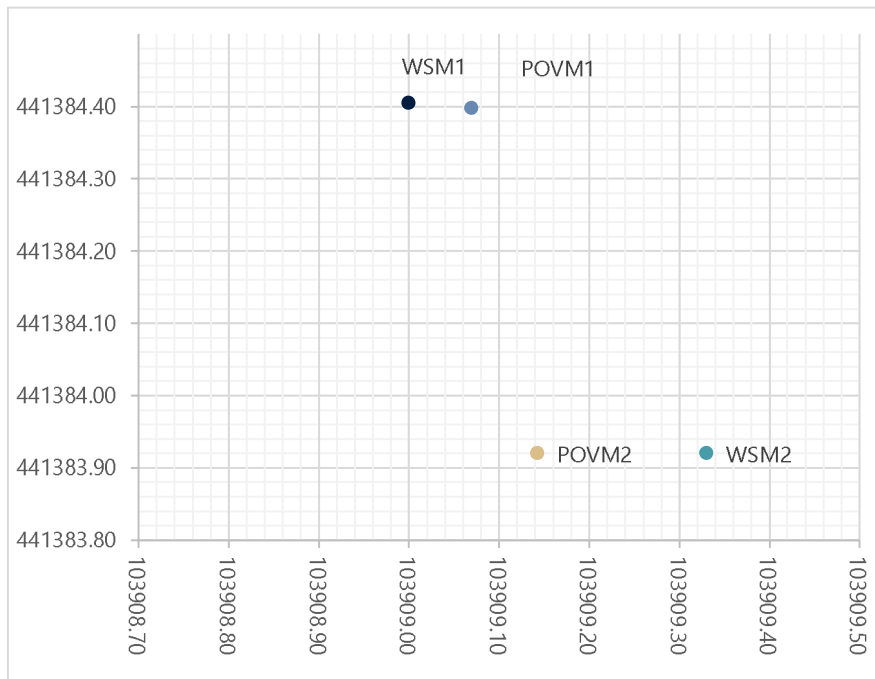
Tabel 2: Boorbeschrijving

Nr.	Diepte -MV [cm]	Boor- beschrijving	Toevoeging	Kleur	Opmerking
1	0.00-0.07	klinker			
2	0.07-0.40	z3s1		negr	
3	0.40-0.80	z3s1	pu3gr1	grro	
4	0.80-1.40	z3s1	ko2pu2	drgr	
5	1.40-1.90	z3s1h2	pu1ko1	drbr	
6	1.90-2.40	kz2s1	pu1	drbr	
7	2.40-2.90	z3s2v2		drbr	Zeer Slap
8	2.90-3.20	Ks1		ne,gr	Guts

De bovenkant van de gasbuis is direct na plaatsing ingemeten t.o.v. NAP/RD met een GPS+RTK. De inmeetgegevens zijn weergegeven in Tabel 3 en Figuur 3.

Tabel 3: Coördinaten WSM locaties

Sensorn aam	X- Coördinaat (RD)	Y- Coördinaat (RD)	MV [m NAP]	Bk buis t.o.v. + mv [m]	Totale Lengte [m]	Sensorniveau [m NAP]
WSM_1	103908.999	441384.405	2.79	-0.13	3.29	-0.68
POVM_1	103909.330	441383.921	2.79	-0.20	3.28	-0.72
WSM_2	103909.069	441384.398	2.79	-0.26	3.23	-0.74
POVM_2	103909.142	441383.921	2.79	-0.16	3.28	-0.67



Figuur 3: Positie waterspanningsmeters.

4.2 Aansluiten van sensorkabels en opstarten van datalevering

Per locatie zijn er op 12 juni 2020 4 waterspanningsmeters op twee loggers aangesloten. De modemloggers meten met een frequentie van 10 minuten en versturen de data één keer per uur. Op locatie wordt ook de luchtdruk gemeten. De luchtdruksensor heeft dezelfde meetfrequentie en is aangesloten op logger FLB1339.



Figuur 4: Op foto is locatie van de waterspanningsmeters weergegeven.

4.3 Site Acceptance Test (SAT)

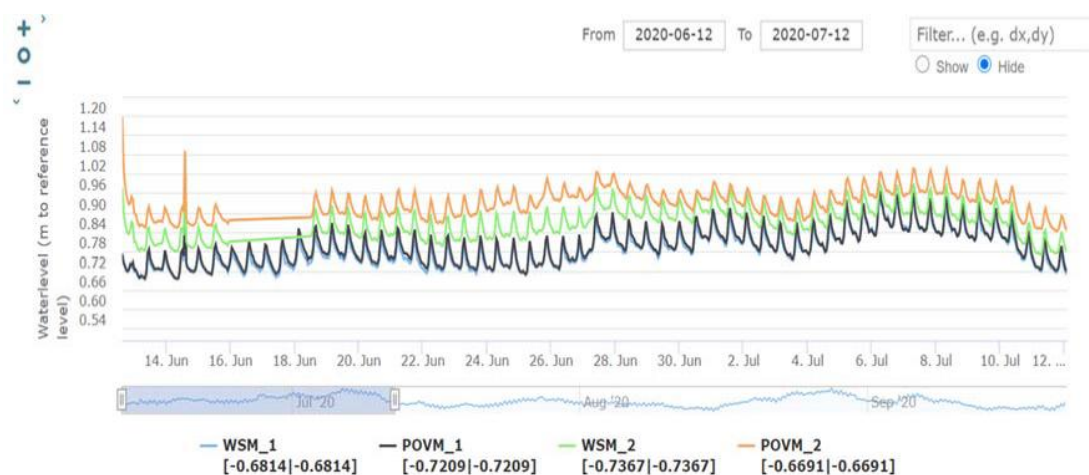
Bij de SAT is gecontroleerd of de meetwaarden van de handmatige meting overeenkwamen met de meting van de loggers en of de data verstuurd werd. Er is een verschil in meetwaarden waargenomen. Dit verschil ontstaat door een aantal factoren. De nauwkeurigheid van het uitleesapparaat en het verschil tussen de handwaarneming en de data in het portal. Door grondverdringend wegdrücken van de waterspanningsmeters is er direct na het plaatsen is een dergelijk verschil goed te verklaren en is er geen reden om aan werking van de sensoren te twijfelen. In Tabel 4 is een overzicht van de SAT weergegeven.

Tabel 4: Resultaten SAT-waterspanningsmeters

Meetpunt	WSM_1	POVM1	WSM_2	POVM2
Sensor-nummer	1061931	1061961	1146103	1061966
Datalogger	1361	1361	1339	1339
Poortnr.	A	B	A	B
Datum meting in veld	12-6-2020 12:15	12-6-2020 11:54	12-6-2020 14:02	12-6-2020 12:01
ENG Waarde monitorings- portal na aansluiten [mBar]	142.71	146.16	168.27	183.19
Tijdstip Meting monitorings- portal	12-6-2020 15:02	12-6-2020 15:02	12-6-2020 15:02	12-6-2020 15:02
Cal. Offset	249.6655017 95649	249.9448484 42646	248.6711017 27657	248.7767859 22083
Cal. coef.	162.4748349 70993	162.4577191 21919	162.3687284 63347	162.3491509 24662
Meting voor plaatsen [mA]	4.661	4.668	4.648	x
Waterspanning handmeting (voor aansluiten) [mA]	5.955	6.288	6.117	5.758
Waarde monitorings- portal na aansluiten [mA]	5.497	5.518	5.621	5.654
Vershil handwaarneming t.o.v portal [mA]	0.46	0.77	0.50	0.10

4.4 Presentatie van de data via monitoringswebsite GAIA Insight

De data wordt 1x per 10 minuten gemeten en elk uur doorgestuurd naar Fugro's Monitoring ftp-server. De verschillende data bestanden worden zichtbaar op GAIA Insight (Persoonlijke inloggegevens zijn bij projectleider verkrijgbaar). Op deze Fugro database worden de ruwe waarden van de waterspanningen omgerekend naar engineered values, en gepresenteerd in grafieken. De grafieken kunnen in de volgende eenheden worden geplot: Druk in *mBar*, *kPa* en *m ten opzichte van NAP*. In Figuur 5 staat de presentatie van de waterspanningsmetingen in m NAP van 12 juni t/m 12 juli 2020.



Figuur 5 Data waterspanningsmeter mH₂O t.o.v. NAP zichtbaar in GAIA Insight.

4.5 Nauwkeurigheid van de WSM

De nauwkeurigheid van een waterspanningsmeting betreft de bandbreedte van afwijkingen van de meetresultaten in vergelijking met de werkelijkheid, met daarin alle bijdragen van het meetsysteem en de plaatsing van instrumenten. In onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op de onderdelen die van toepassing zijn.

Nauwkeurigheid WSM sensor

Binnen het meetsysteem hebben de sensoren een absolute fabrieksnauwkeurigheid van 0.1% over het gehele meetbereik, wat neer komt op 2.6 cm H₂O. De nauwkeurigheid van elke sensor gebruikt in dit onderzoek is berekend aan de hand van de kalibraties die in het lab zijn gedaan (*Bijlage B*). De afwijking tijdens kalibratie wordt vergeleken met de werkelijk gemeten waarden. In Tabel 6 staan maximaal gemeten afwijkingen tijdens het kalibratieproces per sensor.

Tabel 3: Afwijking waterspanningssensoren gemeten tijdens kalibraties

Meetpunt	Sensornummer	Max afwijking cmH2O
WSM1	1061931	0.71 bij 10.853 [mA]
WSM2	1146103	0.38 bij 10.991 [mA]
POVM1	1061961	0.64 bij 17.365 [mA]
POVM2	1061966	0.43 bij 16.997 [mA]

Nauwkeurigheid geplaatste hoogte van instrumenten

De hoogte van de geplaatste instrumenten wordt gemeten door lengte van de oplengstangen in te meten en de hoogte van de bovenkant van de oplengstangen in te meten ten opzichte van NAP. Het opmeten van de lengte van de oplengstangen wordt uitgevoerd door twee personen met een meetband. De afwijking bij deze wijze van opmeten is circa 1 cm.

De positie van de waterspanningsmeters t.o.v. RD+NAP zijn met GPS+RTK ingemeten. Globaal is de nauwkeurigheid van dit meetsysteem ± 3 cm t.o.v. NAP. Deze spreiding geldt niet voor de hoogte van de meetpunten onderling. Als de meetpunten op hetzelfde moment zijn gemeten is het verschil kleiner dan ± 0.5 cm t.o.v. NAP. Nauwkeurigheid X en Y t.o.v. RD stelsel is < 1 cm.

Luchtdrukcompensatie

Waterspanningsmeters meten de absolute druk, welke bestaat uit waterdruk en luchtdruk. Om de waterdruk te betekenen dient de luchtdruk van de absolute druk gehaald te worden. De luchtdruk wordt bepaald middels een lokaal geplaatste barometer. Deze sensor heeft een absolute fabrieksnauwkeurigheid van 0.1% over het gehele meetbereik, wat neer komt op 1.2 cm H₂O. De nauwkeurigheid van elke sensor gebruikt in dit onderzoek is berekend aan de hand van de kalibraties die in het lab zijn gedaan (*Bijlage B*). De afwijking tijdens kallibratie wordt vergeleken met de werkelijk gemeten waarden. Uit de kalibraties blijkt dat de sensor een afwijking heeft van maximaal 0.26 cm H₂O.

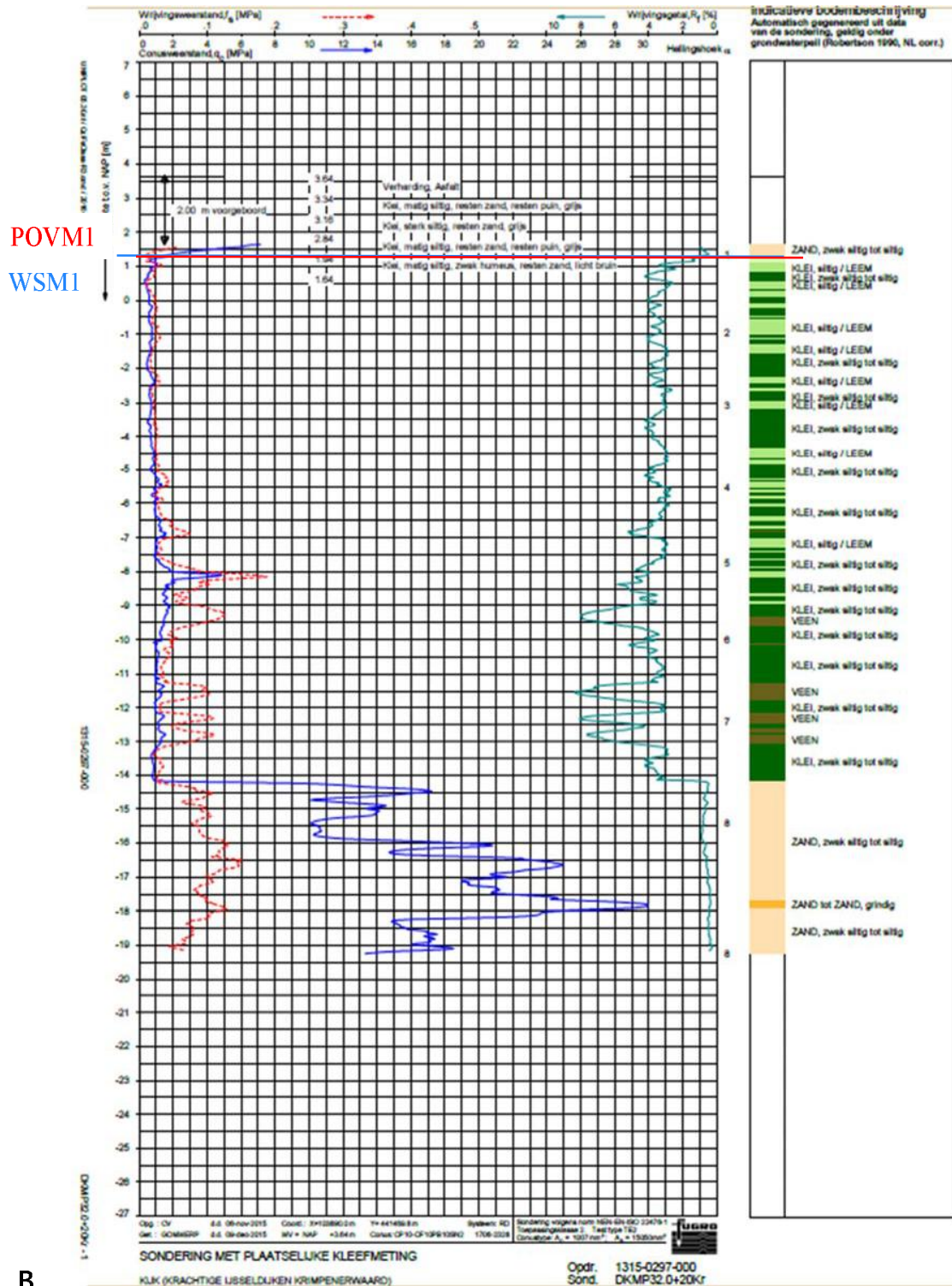
Tabel 7: Afwijking waterspanningssensoren gemeten tijdens kalibraties

Meetpunt	Sensornummer	Max afwijking cm H2O
Baro	728981	0.26 bij 8.044 [mA]

Bijlagen

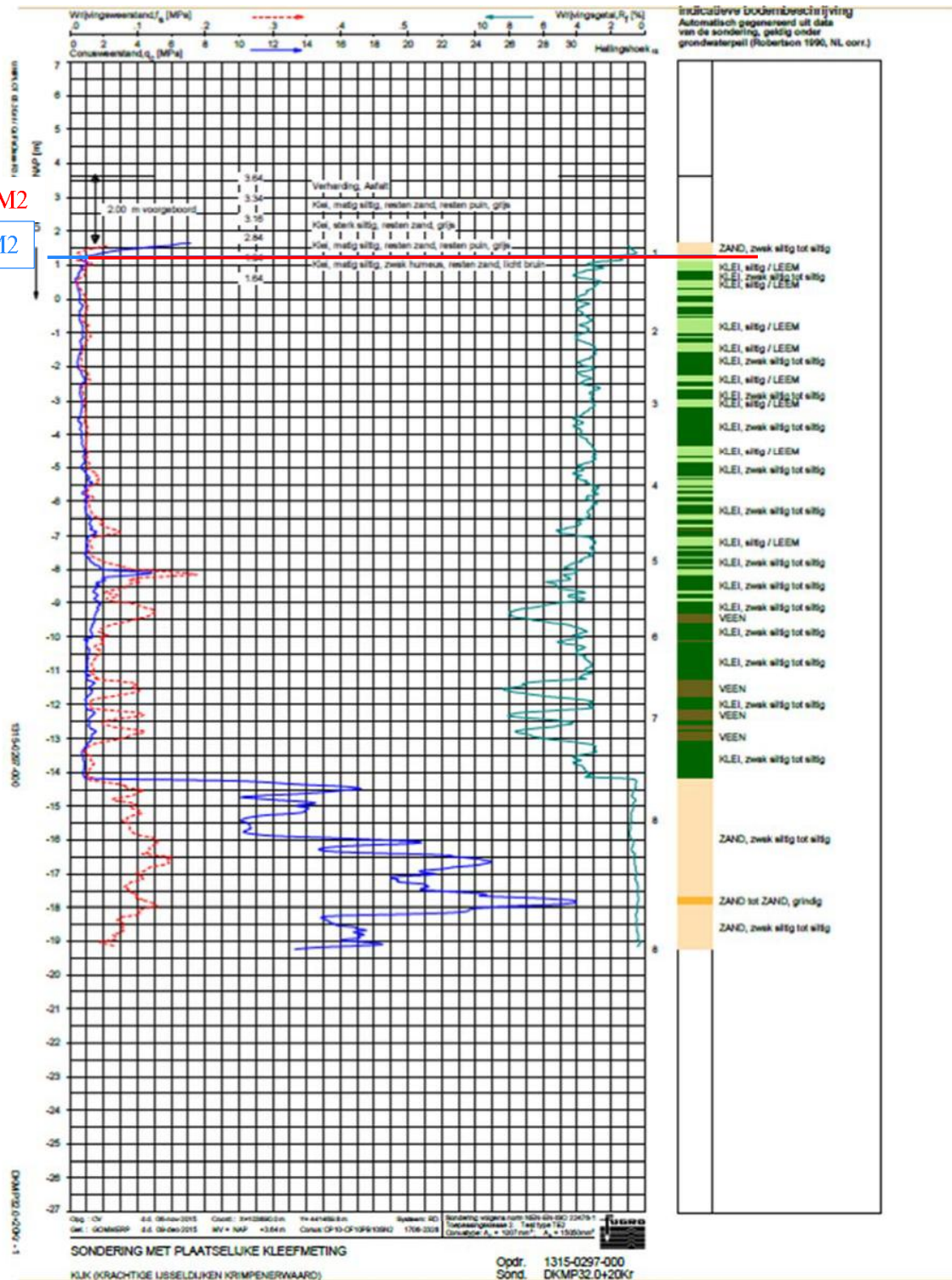


A. Sonderingen



B.

POVM2
WSM2



B. Kallibratie certificaten

Sensor 728981

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
091815 V0 0000	01558640	728981	23-09-2019	14:12	22.2 C	15	0.99999562054382973

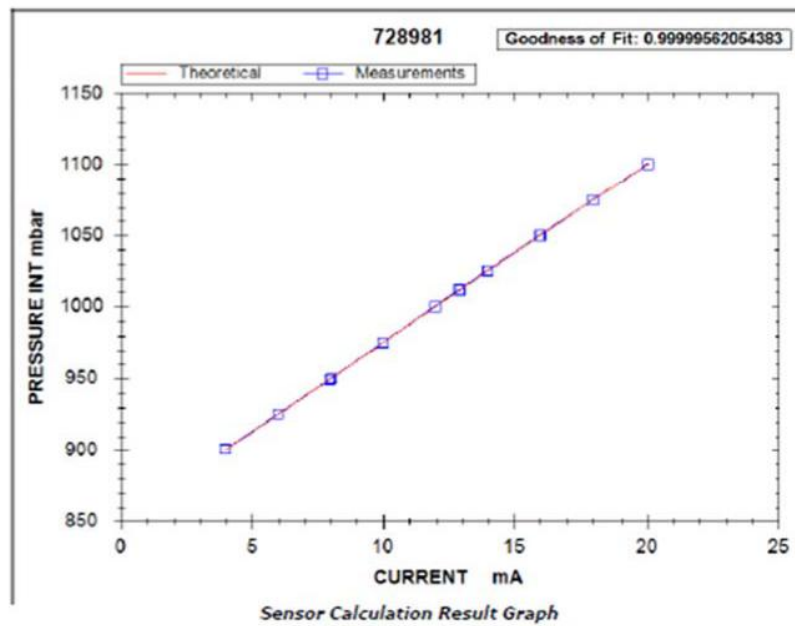
Sensorinformatie

coëfficiënt=12.502654773053 offset=850.079992657936

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
12.927	1011.6	23-09-2019	14:13:42	1011.7018105091916	0.0025008801197903732
12.915	1011.6	23-09-2019	14:16:59	1011.551779051915	0.0013777413739894035
12.915	1011.7	23-09-2019	14:17:50	1011.551779051915	0.00423489423100155
7.374	949.3	23-09-2019	14:19:09	949.77616181826022	0.0035382337639930485
3.999	900	23-09-2019	14:20:17	900.97010909527454	0.0022316804392726672
0	925.1	23-09-2019	14:21:23	925.99592129625355	0.00011653438275635589
8.044	950.4	23-09-2019	14:22:05	950.65134765207394	0.0071013614963990146
9.995	975.1	23-09-2019	14:22:38	975.044802711460023	0.0015992262971379492
11.99	1000	23-09-2019	14:23:16	999.908823088841	0.000237647466168501913
13.99	1025	23-09-2019	14:24:00	1024.992132932947	0.00022477334437990762
15.996	1050.1	23-09-2019	14:25:02	1050.0724584870913	0.00079693263738800633
18.013	1075.2	23-09-2019	14:25:38	1075.2901130849383	0.0025003730554064405
20.034	1100.4	23-09-2019	14:26:15	1100.5581783812793	0.004519382322624422
15.964	1048.8	23-09-2019	14:27:06	1049.6723734549537	0.00364647271560788
12.917	1011.7	23-09-2019	14:27:14	1011.5767843814611	0.003520446815297398

Sensor Calibration Measurements



Sensor 1061931

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
09615V10000	01550940	1061931	08-01-2020	16:52	21.0 C	11	0.99999973765077221

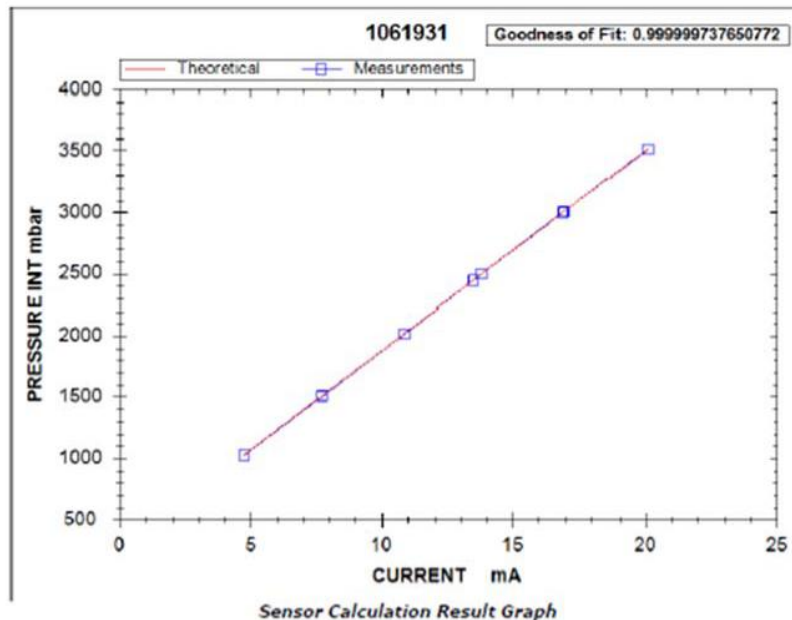
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.474834970993 offset=249.665501795649

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.747	1029.4	08-01-2020	16:52:15	1020.5335434029549	0.0152440297227283806
7.713	1902.3	08-01-2020	16:53:23	1902.8339029269213	0.015254397912037479
10.879	2017.2	08-01-2020	16:56:15	2017.22923144508843	0.00883518414532871411
13.827	2495.7	08-01-2020	16:56:56	2496.2050449359751	0.014429855416437931
16.949	3003.5	08-01-2020	16:58:02	3003.4514797190168	0.0013062937423774772
20.117	3618.1	08-01-2020	16:59:02	3518.1717609071238	0.0020501973462979083
16.918	2998.7	08-01-2020	16:59:51	2998.4147508349155	0.0081497190024182956
13.51	2444.5	08-01-2020	17:00:41	2444.70652225377	0.0057292072506723416
10.853	2013.7	08-01-2020	17:02:22	2013.0048857359406	0.019860407547412251
7.722	1904.6	08-01-2020	17:03:15	1904.2961774416803	0.008830644523987471
4.741	1025.5	08-01-2020	17:03:30	1019.9586943821288	0.015460587448203484

Sensor Calibration Measurements



Sensor 1061966

Device	Serial No.	Filename	Date	Time	Temperature	No. of points	Goodness of fit
DRS1LV3.00.00	01550960	1061966	29-08-2019	12:43	23.0 C	11	0.99999987218784969

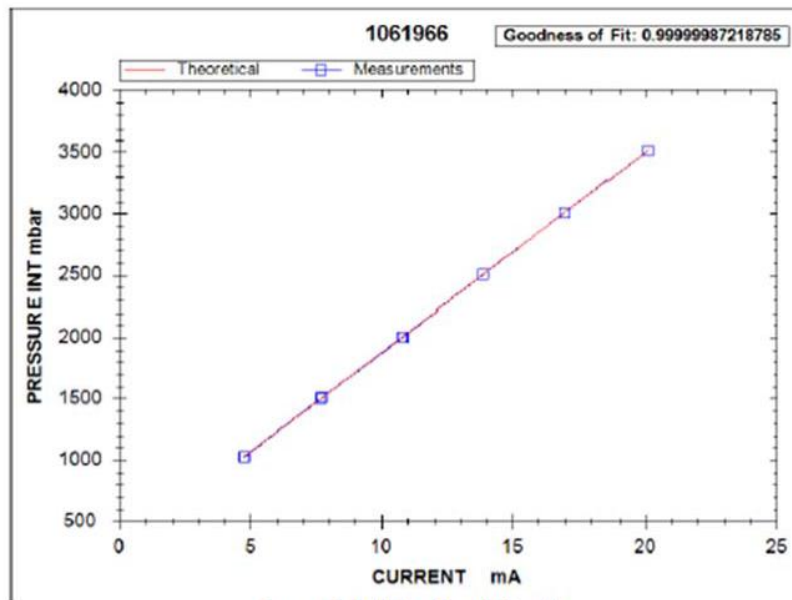
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.349150924662 offset=248.776785922083

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.793	1022.8	29-08-2019	12:43:04	1023.01988668179793	0.021888668179733394
7.69	1497.3	29-08-2019	12:43:36	1497.2417565327342	0.0058043467263794618
10.821	2025.2	29-08-2019	12:44:36	2025.5565400778538	0.013604807785375815
13.901	2505.2	29-08-2019	12:45:14	2505.5923329258139	0.039233292581411658
16.997	3007.8	29-08-2019	12:45:48	3009.2253041889648	0.04253041889605889
20.126	3516.6	29-08-2019	12:46:34	3516.2157974318375	0.038420256816243635
16.986	3006.5	29-08-2019	12:47:04	3006.4334635283975	0.0060536471602517946
13.902	2506.9	29-08-2019	12:47:48	2505.7546820767384	0.014531792326170094
10.806	2003.5	29-08-2019	12:48:48	2003.1217108129838	0.0378289138611621811
7.783	1504.4	29-08-2019	12:49:32	1504.2227700224964	0.0177229977503653722
4.796	1021.1	29-08-2019	12:50:05	1020.9032477197766	0.019005229022338943

Sensor Calibration Measurements



Sensor 1146103

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
DRS15.V1.00.00	61550040	1146103	20-05-2020	12:43	21.5 C	12	0.99999990132009176

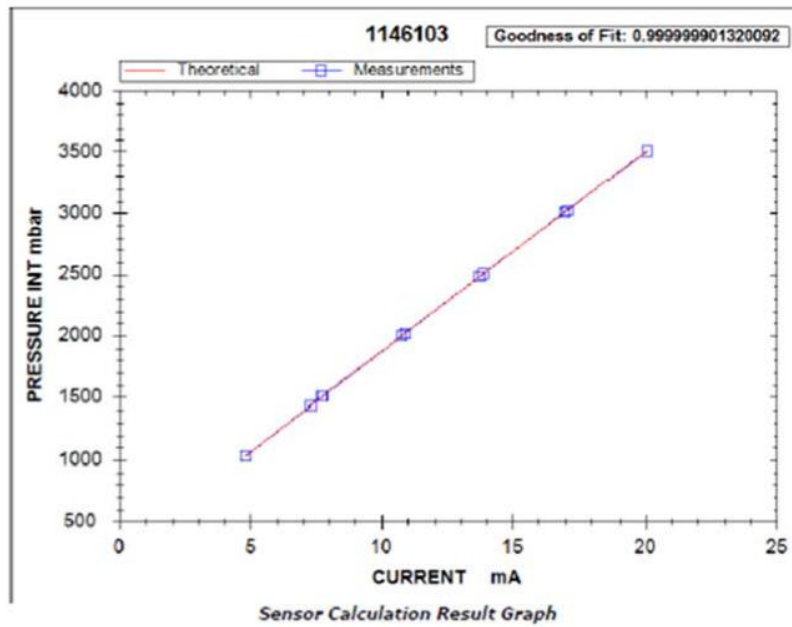
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.368728463347 offset=248.671101727657

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.03	1033.1	20-05-2020	12:43:46	1032.9120602056232	0.0053697004107625411
7.729	1503.8	20-05-2020	12:44:50	1503.61900402006644	0.0051713136890289401
10.778	1998.4	20-05-2020	12:45:59	1998.6812671056116	0.00803591730318650
13.874	2501.1	20-05-2020	12:47:04	2501.3748404281341	0.00785250360097740
16.993	3007.7	20-05-2020	12:49:04	3007.9029040050121	0.0029401297222369695
20.084	3510.2	20-05-2020	12:49:56	3509.6846441850191	0.014704451842306695
17.088	3023.3	20-05-2020	12:50:23	3023.2279337093319	0.0026990368762376395
13.722	2476.5	20-05-2020	12:51:50	2476.6947507017053	0.005665543344309612
10.911	2019.9	20-05-2020	12:52:35	2020.2742979912340	0.010751371178191351
7.762	1509	20-05-2020	12:54:13	1508.9771720601548	0.0085222685266235207
7.306	1435.3	20-05-2020	12:55:05	1435.2617693377972	0.0010323046343642045
4.828	1032.8	20-05-2020	12:55:21	1032.5973227486946	0.0046764302843821623

Sensor Calibration Measurements



Sensor 1061961

Device	Serial No	Filename	Date	Time	Temperature	No of points	Goodness of fit
OPR15.V0.00.00	61550660	1061961	28-05-2019	12:41	21.1 C	12	0.9999979551620055

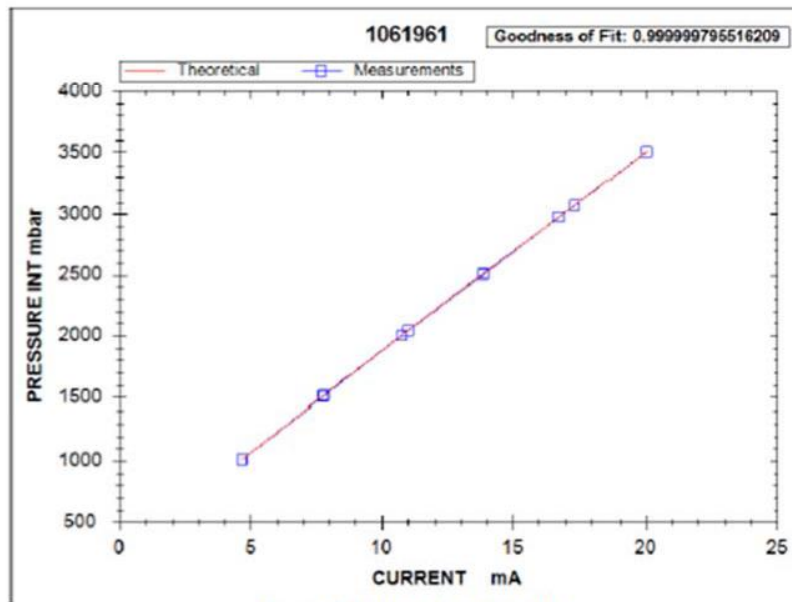
Sensorinformatie

coëfficiënt=162.457719121919 offset=249.944848442646

Calculated Calibration Parameters

Current	Pressure	Date	Time	Calculated	Difference %
4.673	1009.1	28-05-2019	12:42:59	1009.1097698993727	0.0006769899372713653
7.804	1518.3	28-05-2019	12:43:10	1517.76488947610407	0.053511152969926813
11.014	2039.5	28-05-2019	12:43:29	2039.2541668514598	0.024583314054021411
13.965	2508.4	28-05-2019	12:43:55	2508.9194308329272	0.051543283292712292
17.365	3079.4	28-05-2019	12:44:20	3071.02140994796	0.062214099479599007
20.055	3508.4	28-05-2019	12:44:41	3508.0344054327279	0.0368599456727218276
20.054	3508.3	28-05-2019	12:44:42	3507.871947719006	0.042895229619417693
16.763	2973.3	28-05-2019	12:45:00	2973.2235940633716	0.0076405916620973319
13.879	2504	28-05-2019	12:45:42	2504.5330744166354	0.05330744166353725
10.788	2002.6	28-05-2019	12:46:06	2002.5387223298045	0.00812777670089431878
7.752	1509.6	28-05-2019	12:46:33	1509.3170870757608	0.02829125042390991
4.673	1008.8	28-05-2019	12:46:38	1009.1097698993727	0.030976989937278175

Sensor Calibration Measurements



C. Installatieformulieren



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	WSM_1
Plaats:	oude kerk ad ijssel	Filter naam:	
Straat + nr.:	ijseldijk noord 241	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

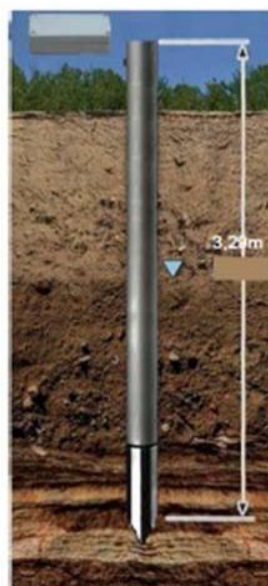
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.661
Voor plaatsen	Datum / tijd	12/06/2020 11:09
Bk buis t.o.v. - mv	m	.13
Totale lengte	m	3,29m
Aantal gasbuis		3
Handwaarneming	ma	8.847
Na plaatsen	Datum / tijd	12/06/2020 11:15

Equipment (Installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1361
Poort		a
Sensor	Nr.	1081931
Handwaarneming	ma	5.955
Voor aansluiten	Datum / tijd	12/06/2020 12:15
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
0-0,07 klinker	omschrijving	aantal
0,07-0,40 z3s1 negr	mikoliet 00	.25
0,40-0,80 z3s1 pu3gr1 grro	straatput	1
0,80-1,40 z3s1 ko2pu2 drgr		
1,40-1,90 z3s1h2 pu1ko1 drbr		
1,90- 2,40 KV2Z1pu1 drbr		
2,40-2,90 Z3S2V2 drbr (zeer slap); 2,90-3,20 Ks1 negr		



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	WSM_1
Plaats:	oude kerk ad ijssel	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer



Detail FLB/kast nummer





WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	WSM_1
Plaats:	oude kerk ad ijssel	Filter naam:	

Foto's wijzigingen





WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	POVM1
Plaats:	ouderkerk ad ijssel	Filter naam:	
Straat + nr.:	ijseldijk noord 241	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.668
Voor plaatsen	Datum / tijd	12/06/2020 12:05
Bk buis t.o.v. - mv	m	.20
Totale lengte	m	3,28m
Aantal gasbuis		3
Handwaarneming	ma	7.90
Na plaatsen	Datum /tijd	12/06/2020 12:09

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1361
Poort		b
Sensor	Nr.	1061961
Handwaarneming	ma	6.288
Voor aansluiten	Datum / tijd	12/06/2020 11:54
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	mikoliet 00	.25



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	POVM1
Plaats:	ouderkerk ad ijssel	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer



Detail FLB/kast nummer


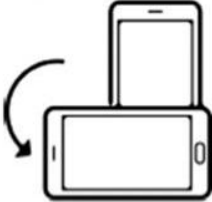




WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	POVM1
Plaats:	ouderkerk ad ijssel	Filter naam:	

Foto's wijzigingen

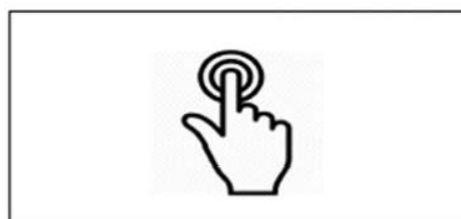
Detail sensor nummer	Detail FLB/kast nummer
 A photograph showing a horizontal metal pipe or sensor casing. A yellow measuring tape is stretched across the pipe to indicate its length. The pipe has a blue band and some markings. The background is a rough, gravelly surface.	 A diagram showing two mobile devices: a smartphone and a tablet. A curved arrow indicates a rotation or transition between the two devices, suggesting that the data or image can be viewed on either screen size.



WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	WSM_2
Plaats:	ouderkerk ad i jssel	Filter naam:	
Straat + nr.:	ijseldijk noord 241	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

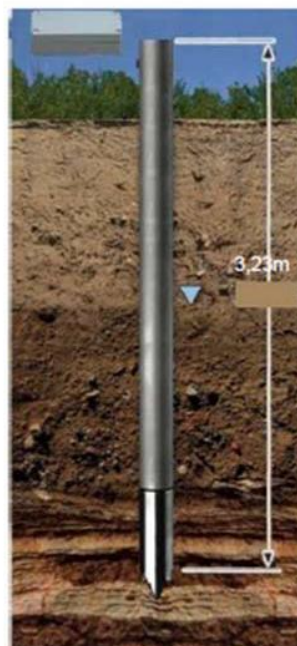
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming	ma	4.648
Voor plaatsen	Datum / tijd	12/06/2020 13:43
Bk buis t.o.v. - mv	m	.26
Totale lengte	m	3,23m
Aantal gasbuis		3
Handwaarneming	ma	9.350
Na plaatsen	Datum / tijd	12/06/2020 13:55

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1339
Poort		a
Sensor	Nr.	1146103
Handwaarneming	ma	6.117
Voor aansluiten	Datum / tijd	12/06/2020 14:02
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
C: barometer 728981	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	mikoliet 00	.25



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	WSM_2
Plaats:	ouderkerk ad i jssel	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer



Detail FLB/kast nummer

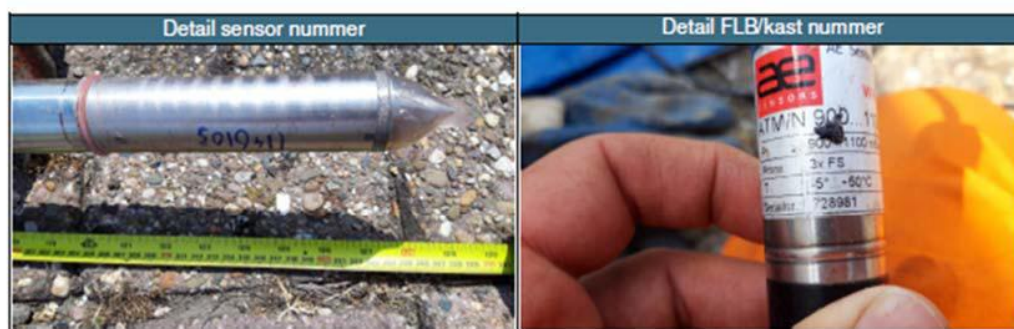




WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	WSM_2
Plaats:	ouderkerk ad i jssel	Filter naam:	

Foto's wijzigingen





WATERSpanNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	POVM2
Plaats:	ouderkerk ad ijsseL	Filter naam:	
Straat + nr.:	ijseldijk noord 241	Uitgevoerd door:	AKT
Werkzaamheden:	plaatsen		
Opdracht:			

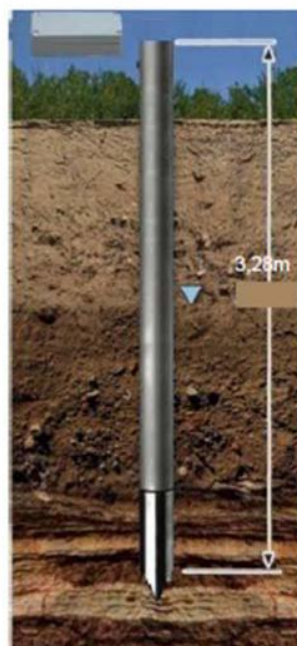
Coördinaten		
X coördinaat		
Y coördinaat		
Z-nap hoogte		
Google coördinaat		



Veldmetingen		
Handwaarneming Voor plaatsen	ma	
	Datum / tijd	
Bk buis t.o.v. - mv	m	.16
Totale lengte	m	3,28m
Aantal gasbuis		3
Handwaarneming Na plaatsen	ma	8.255
	Datum / tijd	12/06/2020 13:19

Equipment (installatie / oude situatie)		
Loggerbox	Nr.	1339
Poort		b
Sensor	Nr.	1061966
Handwaarneming Voor aansluiten	ma	5.758
	Datum / tijd	12/06/2020 14:01
Verloren plaatsing		

Verandering		
	Nr.	
Poort		
Sensor	Nr.	
	m	
Start verandering	Datum / tijd	
Verloren plaatsing		



Opmerkingen	Verbruik materialen	
	omschrijving	aantal
	gasbuis	3
	mikoliet 00	.25
	straatput	1



WATERSPANNING TELEMETRISCH FORMULIER

Projectnummer:	1417-0042-143	Locatie naam:	POVM2
Plaats:	ouderkerk ad ijssel	Filter naam:	

Foto 1



Opmerking foto 1

Detail sensor nummer



Detail FLB/kast nummer



L. Eindrapportage extra veldtest Ouderkerk – Fugro



Eindrapportage veldtest Ouderkerk aan den IJssel

Eindrapportage | POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – aanvullende veldtesten

1417-0042-143 | 23-11-2020

Versie 1.0

Waterschap Rivierenland



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	POVM – Ontwikkelen WSM – fase 3 – aanvullende veldtest Ouderkerk aan den IJssel
Documentnaam	Eindrapportage
Fugro-projectnr.	1417-0042-143
Fugro-documentnr.	1417-0042-143.R04
Versienummer	[1.0]
Versiestatus	Versie 1.0
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Waterschap Rivierenland
Adres klant	Beleidsafdeling Water en Dijken, Postbus 599, 4000 AN TIEL
Contactpersoon klant	mr. A. Colijn

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	23-11-2020	Definitief	Rapportage	JDO	CVO	CVO

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
CVO	C. Voorbij-De Groot	Senior projectmanager Monitoring
JDO	J. Donker	Project engineer Monitoring

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Scope	2
2. Opzet veldtest	3
2.1 Projectbeschrijving	3
2.2 Situatiebeschrijving	3
3. Meetresultaten	5
3.1 Presentatie van de data via Fugro's monitoringswebsite	5
3.2 Toelichting op Meetresultaten WSM1 en POVM1	5
3.3 Toelichting op Meetresultaten WSM2 en POVM2	6
Bijlage	
A. Meetresultaten	

1. Inleiding

Waterspanningsmeters worden toegepast om de waterdruk in een grondlaag of grondlichaam te meten. Een mogelijke oorzaak voor het uitvallen van de instrumenten is gasvorming. Waterspanningsmeters zijn een cruciale informatiebron voor risicobeheersing en projectbeheersing bij dijk gerelateerde werkzaamheden, zoals: dijkversterkingen. Hierdoor is er vanuit de Project overstijgende Verkenning Macrostabieliteit (hierna: POVM) een aanbesteding gehouden om in een innovatiepartnerschap een verbeterde waterspanningsmeter te ontwikkelen.

Het consortium is samengesteld uit de volgende bedrijven: Stichting Deltares, Fugro NL Land B.V., Wiertsema & Partners B.V. en Syrinx Industrial Electronics B.V.. De bedrijven opereren in dit samenwerkingsverband onder de naam: **“WSM+NL”**.

De fasen van het ontwikkelingstraject zijn:

1. Mededingingsfase
2. Onderzoeksfase
3. Ontwikkelingsfase
4. Commerciële fase

Tijdens de ontwikkelingsfase is een prototype van de nieuwe grondwatergasbestendige waterspanningsmeters gebouwd. Vervolgens is deze tijdens een veldtest in Vianen voor een periode van één jaar gemonitord.

Om een beter beeld te krijgen van de werking van de zelfontgassende waterspanningsmeters is besloten twee aanvullende veldtesten uit te voeren gedurende de zomer van 2020. De aanvullende veldtesten betreffen het bijplaatsen van zelfontgassende waterspanningsmeters op locaties waar op basis van de grondopbouw ingeschat wordt dat de kans op gasbelvorming aanwezig is. Eén van deze veldtesten vindt plaats Spijk en een tweede in Ouderkerk aan de IJssel welke wordt beschreven in dit rapport. Deze locatie betreft een compleet testveld, omdat geen andere lopende projecten met kans op gasbelvorming voorhanden waren. Deze locatie is uitgekozen omdat bij eerder uitgevoerde waterspanningsmetingen veel gasbelproblematiek is opgetreden. Op deze locatie zijn vier waterspanningsmeters geplaatst. Twee zelfontgassende waterspanningsmeters en twee Fugro standaard waterspanningsmeters.

1.1 Doelstelling

Het doel van de aanvullende veldtest is het testen of het verbeterde gasfilterontwerp uit de onderzoeksfase in een nieuwe testomgeving zal werken. Deze veldtest vindt plaats gedurende de zomerperiode, omdat in deze periode de grootste opwarming van de bodem plaatsvindt en hiermee gepaard ook de meeste gas productie. De zelfontgassende waterspanningsmeters zullen worden vergeleken met de Fugro standaard FWS2 hoge-sterktevariant waterspanningsmeter.

1.2 Scope

Dit rapport betreft het eindrapport van de aanvullende veldtest te Ouderkerk aan den IJssel. Hierin wordt de dataoplevering van de zelfontgassende waterspanningsmeters van Fugro beschreven.

2. Opzet veldtest

2.1 Projectbeschrijving

De aanvullende veldtesten zijn ontwikkeld om te testen hoe de zelfontgassende waterspanningsmeters werken in een nieuwe testomgeving. Hiervoor is een locatie aan de IJsseldijk-Noord in Ouderkerk aan den IJssel gekozen. Hier zijn in het verleden ook waterspanningsmetingen uitgevoerd voor het project KIJK en daarbij was er sprake van gasbelproblematiek op deze locatie. Er is gekozen om de waterspanningsmeter op dezelfde locatie en op dezelfde diepte te plaatsen als waarop eerder is gemeten. Op deze locatie zijn de waterspanningsmeters geplaatst op 3,48m beneden maaiveld. De waterspanningsmeters zullen gedurende de zomerperiode worden gemonitord, omdat dit de periode is van de grootste opwarming en hiermee gepaard ook de meeste gasproductie. Het belangrijkste doel van de aanvullende veldtest is om de oplossing met het gasfilter in meerdere praktijkomstandigheden te testen.

2.2 Situatiebeschrijving

Voor de aanvullende veldtest is een locatie in Ouderkerk aan den IJssel uitgekozen. In onderstaande figuur is een luchtfoto met de locaties van de waterspanningsmeters weergegeven.



Figuur 1: Luchtfoto IJsseldijk-Noord Ouderkerk aan den IJssel

Op locatie deze locatie werd in het verleden een waterspanningssensor WSM_B4-KR_BAT3 geïnstalleerd op -0.59 m NAP, 3.37 m beneden maaiveld. Deze monitoringswerkzaamheden waren onderdeel van project KIIK

De waterspanningsmeters die voor POVM zijn bijgeplaatst zijn geplaatst op ca. -0.70 m NAP, met een maaiveld hoogte van 2.78 m NAP. In Fugro rapport; 1417-0042-143.R02_StartVeldtest_OadIJ d.d. Is de installatie van de waterspanningsmeters beschreven.

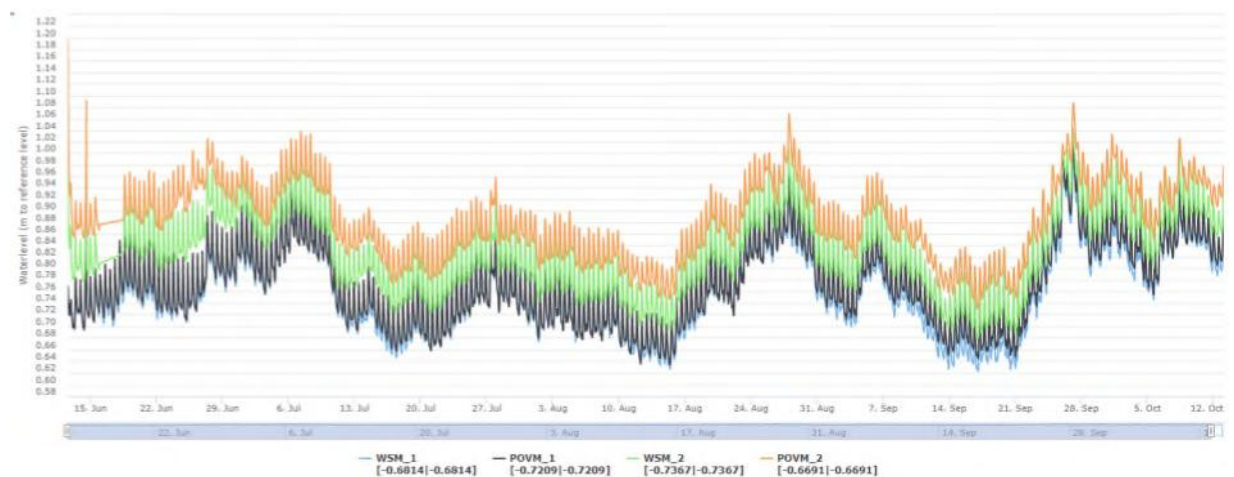
De meetperiode is begonnen op 12 juni 2020, op 12 oktober 2020 zijn de waterspanningsmeters weer verwijderd.

3. Meetresultaten

In de periode 12 juni tot 12 oktober is data verzameld van de alle aangebrachte waterspanningsmeter. Gedurende deze meetperiode laten meetresultaten laten geen gasvorming zien. Derhalve kan de werking van de zelfontgassende waterspanningsmeter niet aangetoond worden.

3.1 Presentatie van de data via Fugro's monitoringswebsite

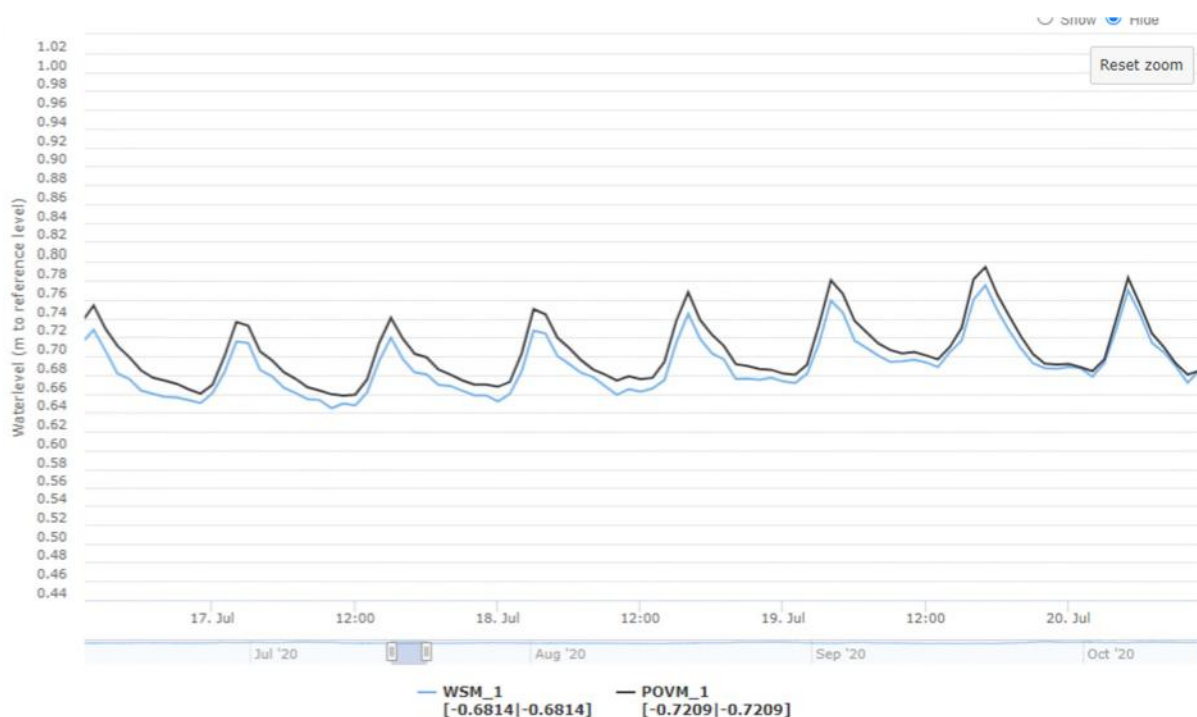
De data wordt 1x per 10 minuten gemeten en elk uur doorgestuurd naar Fugro's Monitoring ftp-server. De verschillende data bestanden worden zichtbaar op GAIA Insight (Persoonlijke inloggegevens zijn bij projectleider verkrijgbaar). Op deze Fugro database worden de ruwe waarden van de waterspanningen omgerekend naar engineered values, en gepresenteerd in grafieken. De grafieken kunnen in volgende eenheden geplot worden: WSM in mBar, kPa en m ten opzichte van NAP. In Figuur 2 staat de presentatie van de waterspanningsmetingen in m NAP van 12 juni t/m 12 oktober 2020.



Figuur 2 Data waterspanningsmeter mH₂O t.o.v. m NAP zichtbaar in GAIA Insight.

3.2 Toelichting op Meetresultaten WSM1 en POVM1

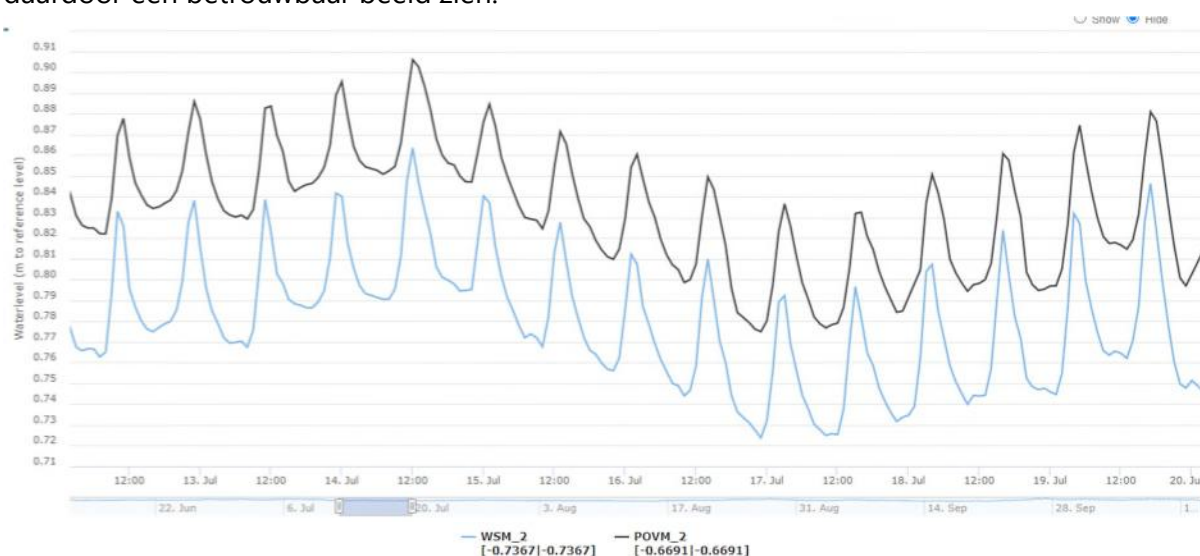
Alle waterspanningsmeters staan in de kade van de Hollandse IJssel. In de meetresultaten is duidelijk getijdenwerking zichtbaar. Beide waterspanningsmeters reageren gelijkmatig en laten daardoor een betrouwbaar beeld zien.



Figuur 3 Detail Meetresultaten periode 16-07-2020 t/m 20-07-2020 WSM1 en POVM1

3.3 Toelichting op Meetresultaten WSM2 en POVM2

Alle waterspanningsmeters staan in de kade van de Hollandse IJssel. In de meetresultaten is duidelijk getijdenwerking zichtbaar. Beide waterspanningsmeters reageren gelijkmatig en laten daardoor een betrouwbaar beeld zien.

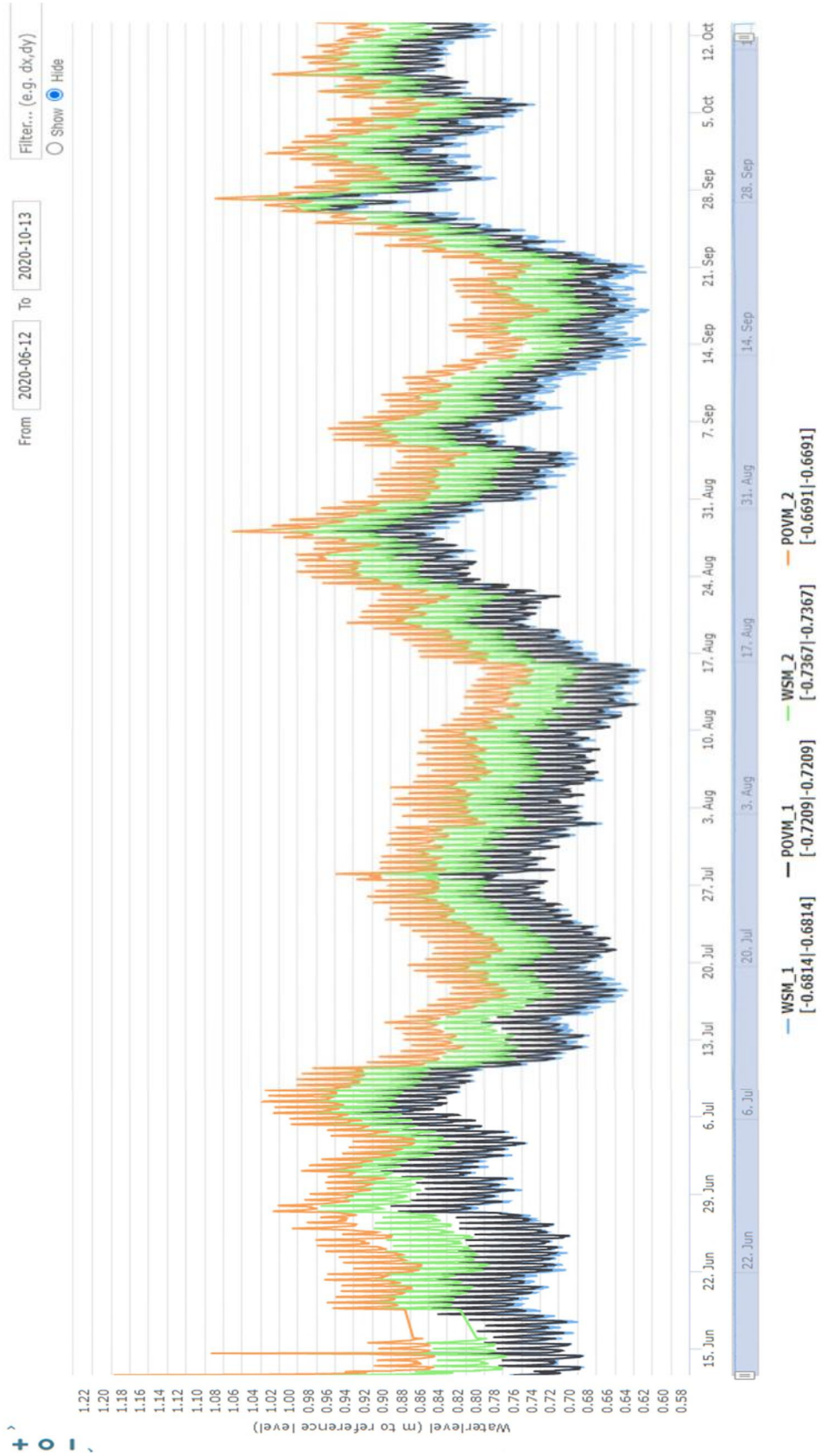


Figuur 4 Detail Meetresultaten periode 16-07-2020 t/m 20-07-2020 WSM2 en POVM2

In de periode van 15-06-2020 23:00uur tot 18-06-2020 12:00uur is door uitval van modemlogger geen data opgeslagen.

Bijlage

A.1 Meetresultaten





M. Beschrijving datasets POVM WSM-veldtesten

Beschrijving dataset POVM WSM-veldtesten

Naar: POVM-kernteam
CC: Gebruikers datasets
Van: ir. A.D. Pool
Datum: 7 december 2020
Ref nr.: 1417-0042-101.M03
Onderwerp: Beschrijving dataset veldtesten ontwikkelingsfase gasbestendige waterspanningsmeter (POV Macrostablieit)

Inleiding

Binnen de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Macrostablieit (POVM) heeft het consortium WSM+NL het project 'Ontwikkeling Waterspanningsmeter' (WSRL-projectnummer 110672) uitgevoerd. In fase 3 (ontwikkelingsfase) van dit innovatiepartnerschap heeft Fugro – als consortiumpartner van WSM+NL – een drietal veldtesten uitgevoerd.

De meetgegevens van de veldtesten zijn geanalyseerd en de resultaten zijn gerapporteerd in het eindrapport van de ontwikkelingsfase 3. De dataset van alle meetgegevens vormt een onderdeel van de eindlevering van de ontwikkelingsfase. Deze memo beschrijft de data en metadata van die dataset.

Doel

Het doel van deze memo is een duidelijke, ondubbelzinnige beschrijving te geven van de dataset.

Algemene zaken

- Als referentiestelsels zijn gebruikt:
 - Rijksdriehoekstelsel (RD-stelsel) voor x,y-coördinaten
 - NAP-stelsel voor hoogten.
- Kern van de veldtesten vormen de waterdrukmetingen (waterspanningsmetingen); de eenheid waarin deze meetwaarden opgenomen zijn in de dataset is [mH₂O t.o.v. NAP].
- Per sensor is -waar bekend – de meetnauwkeurigheid aangegeven;
- Naast waterdrukken zijn de volgende grootheden gemeten:
 - Luchtdruk, in [mBar];
 - Temperatuur, in [° C];
 - Open waterpeil, in [m NAP];
 - Neerslag, in [mm per tijdseenheid, meestal een dag/etmaal].

Beschrijving instrumenten / sensoren

Bij de veldtesten zijn drie typen waterspanningsmeters ingezet:

1. Fugro-waterspanningsmeter met gasfilter;
2. Standaard Fugro-waterspanningsmeter (type FWS2);
3. Geopoint-waterspanningsmeter.

Luchtdrukken zijn deels lokaal gemeten en deels overgenomen van meetwaarden van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI).

Bodemtemperatuur is gemeten in de Fugro-waterspanningsmeter met gasfilter (WSM-type 1); Maaiveldtemperatuur is gemeten in een van de Fugro-loggerboxen op de projectlocatie.

Neerslag is deels lokaal gemeten met een regenmeter en deels aangevuld met metingen van het KNMI.

Veldtest 1: Vianen

- 23 sensoren
 - 13 waterspanningsmeters in vier clusters (A t/m D);
 - 5 Fugro WSM met gasfilter
 - 4 Fugro WSM
 - 4 Geopoint WSM
 - 4 temperatuursensoren (in de Fugro-waterspanningsmeters met gasfilter, 1 per cluster);
 - 1 temperatuursensor voor maaiveldtemperatuur;
 - 1 sensor t.b.v. meting kanaalpeil;
 - 1 sensor t.b.v. meting slootpeil;
 - 1 regenmeter;
 - 1 gemiddelde neerslag KNMI;
 - 1 luchtdruk (KNMI)
- Meetperiode: 17-06-2019 t/m 17-09-2020
- Meetinterval:
 - 10 minuten (gehele meetperiode, met uitzondering van onderstaande periode)
 - 2 minuten (23-07-2020 t/m 13-09-2020) voor Fugro WSM's.
- Tijdsnotatie: UTC+1

Veldtest 2: Spijk

- 5 sensoren
 - 4 waterspanningsmeters
 - 2x Fugro WSM
 - 2x Fugro WSM met gasfilter
 - 1 luchtdruksensor
- Meetperiode: 04-06-2020 t/m 14-10-2020
- Meetinterval: 1 uur

- Tijdsnotatie: UTC

Veldtest 3: Ouderkerk

- 5 sensoren
 - 4 waterspanningsmeters
 - 2x Fugro WSM
 - 2x Fugro WSM met gasfilter
 - 1 luchtdruksensor
- Meetperiode: 12-06-2020 t/m 13-10-2020
- Meetinterval: 1 uur
- Tijdsnotatie: UTC+2

Beschrijving bestanden datasets

- Bestandstype: csv (comma separated value)
- Scheidingsteken: komma
- Totaal aantal databestanden: 33 (één per sensor)
- De eerste regel van elk databestand bevat een header
- Elk databestand bevat metingen van één sensor
- De eerste waarde op elke regel geeft altijd een datum en tijd ('datetime') van de meting aan.

Metadatabestand

- De complete metadata van de datasets is opgenomen in een metadatabestand;
- Bestandstype: JSON
- Naam: metadata.json