

## Waterspanningsmetingen in Twentekanaal bij scheepspassages



# Waterspanningsmetingen in Twentekanaal bij scheepspassages

**Auteur(s)**

Hans Landwehr

## Waterspanningsmetingen in Twentekanaal bij scheepspassages

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud Gebouw Westraven
<b>Contactpersoon</b>	de heer R. van de Kamp
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	02-09-2024
<b>Projectnummer</b>	11210303-010
<b>Document ID</b>	11210303-010-GEO-0010
<b>Pagina's</b>	33
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Hans Landwehr	

# Samenvatting

Deltares is een strategische kennispartner voor de taken van IenW/RWS voor bodem, water en infrastructuur. Aan Deltares is op grond van de Subsidieregeling Instituten voor Toegepast Onderzoek programmasubsidie verleend voor de uitvoering van werkzaamheden binnen afgesproken thema's. Onder het Thema Infrastructuur is in 2023 het SITO PS Aanlegvraagstukken uitgevoerd, in 2024 voortgezet onder Aanlegvraagstukken Geotechniek en Geohydrologie (project INF01).

Deltares voert binnen dit project onderzoeken uit die oplossingen aandragen voor vraagstukken die optreden binnen de primaire processen rondom de aanleg van nieuwe infrastructuur en/of instandhouding van infrastructuur.

Om de responsie van stijghoogteverlagingen in de grond rondom een damwandconstructie als gevolg van een verlaging van het open water niveau, in deze situatie door scheepspassages, vast te stellen, is op de locatie Depot de Bree aan de Kanaalweg langs Twentekanaal Zutphen-Enschede een meetprogramma uitgevoerd.

Voor de metingen van de stijghoogte zijn waterspanningsmeters in het kanaalwater en op diverse dieptes in het grondprofiel aan de water- en landzijde van de damwandconstructie geplaatst. De diepste waterspanningsmeters staan rondom het niveau onderkant damwand.

De metingen zijn uitgevoerd gedurende de periode 26 april 2023 t/m 22 mei 2023.

De meetdata is opgeslagen in een dataopslagsysteem. Het vooraf vereiste meetinterval van 1 maal per seconde was niet goed ingesteld. Bij uitleveren bleek dat met een interval van 1 maal per 10 seconden de waterspanning is gemeten. Ook is gebleken dat de tijdsregistratie voor de diverse waterspanningsmeters niet geheel synchroniek liep en er tot 58 seconden afwijkingen zijn opgetreden. Hierdoor is er een grote kans op missen van maximale verlagingen en het moment waarop een verlaging ingezet wordt.

Uit de verzamelde gegevens kan het volgende worden afgeleid, met een voorbehoud van de beperkingen qua meetfrequentie en synchronisatie:

- In het open water is een gemiddelde stijghoogte van NAP + 9,99 m gemeten, dit komt overeen met het streefpeil van het kanaal op NAP + 10 m.
- De maximale variaties in stijghoogte in het kanaal waren + 0,22 m tot - 0,48 m, van de grootste variaties wordt verondersteld dat ze zijn veroorzaakt door scheepspassages.
- De ondergrond bestaat uit voornamelijk zandig materiaal, waardoor verwacht wordt dat over de diepte een statisch verloop van de waterdruk aanwezig zal zijn en de stijghoogte constant is. Echter in de diepere waterspanningsmeters zijn zowel hogere als lagere stijghoogtes gemeten. Dit kan veroorzaakt zijn door geohydrologische omstandigheden of door een plaatsingsdiepte die anders is geweest dan vooraf gedacht.
- Een lineaire fit door 3<sup>e</sup> kwartiel waarden van de relatieve stijghoogteverlaging uitgezet tegen de stromingslengte, laat een overall beeld zien van afnemende waarden wat een beeld is dat bij grondwaterstroming past. Echter de waarden bij 2 van de waterspanningsmeters waren fors lager dan deze overall trend, en dat betreffen juist WSM-05 en 07 waarvan een twijfelachtige betrouwbaarheid is geconstateerd.
- Gezien de meetfrequentie van 10 seconden was het niet mogelijk te bepalen welke vertraging optreedt tussen het tijdstip dat de waterstand van het openwater veranderd en de het tijdstip de op diepte geconstateerde stijghoogte verlagingen optreden. De met de huidige interval van metingen bepaalde vertragingen duiden op een bijna directe reactie.

De meetcampagne heeft inzicht gegeven in hoe de stijghoogte op diepte in zandgrond reageert op een verlaging van het open water. De tekortkomingen in de meetsampling (resolutie en uiteenlopen van sampling momenten) zorgt er voor dat het vooralsnog niet mogelijk is om conclusies te trekken die bruikbaar zijn voor de ontwerppraktijk.

Het is daarom aan te bevelen de meetcampagne nog eens te herhalen met een meetfrequentie van 1 meting per seconde en op de meetdata de beoogde gedetailleerde analyse uit te voeren. Het wordt ook geadviseerd daarnaast dezelfde analyse uit te voeren zoals uitgevoerd in de voorliggende rapportage. Daarmee wordt inzicht verkregen over de representativiteit/waarde van de voorliggende analyse resultaten.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	SITO PS Aanlegvraagstukken Geotechniek/geohydrologie	7
1.2	Doelstelling Meten aan Constructies - Waterspanningsmetingen	7
1.3	Onderzoeksvragen	8
<b>2</b>	<b>Meetlocatie en inrichting meetsysteem</b>	<b>9</b>
2.1	Meetlocatie	9
2.2	Monitoringsysteem	10
2.3	Grondopbouw	11
<b>3</b>	<b>Waarnemingen</b>	<b>14</b>
3.1	Algemeen	14
3.2	Gemiddelde en variatie waterhoogte en stijghoogtes	15
3.3	Conclusies op waarnemingen	15
3.4	Opmerkingen bij de waarnemingen	17
<b>4</b>	<b>Analyse</b>	<b>18</b>
4.1	Inleiding	18
4.2	Respons stijghoogtes op open water variaties door passage van schepen	18
4.2.1	Detectie moment van passage van schepen	18
4.2.2	Bepaling kenmerkende getallen van het niveau van open water	19
4.2.3	Bepaling kenmerkende getallen waterspanningsmeters	19
4.3	Resultaten metingen	19
4.3.1	Gemiddelde stijghoogte verloop over de diepte	19
4.3.2	Gedetecteerde stijghoogte verlagingen	19
4.3.3	Demping en vertraging in stijghoogte verlaging	22
4.3.4	Voorbeelden van demping en vertraging	24
<b>5</b>	<b>Resultaten</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>31</b>
<b>A</b>	<b>Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de Kanaalweg te Markelo (Socotec)</b>	<b>32</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 SITO PS Aanlegvraagstukken Geotechniek/geohydrologie

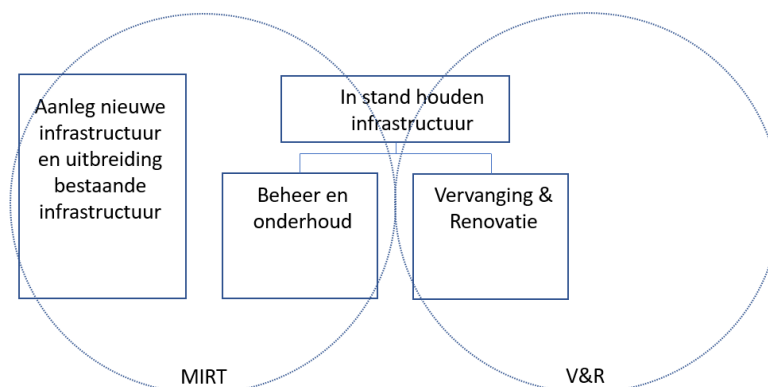
Deltares is een strategische kennispartner voor de taken van IenW/RWS voor bodem, water en infrastructuur. Aan Deltares is op grond van de Subsidieregeling Instituten voor Toegepast Onderzoek programmasubsidie verleend voor de uitvoering van werkzaamheden binnen afgesproken thema's. Onder het Thema Infrastructuur is in 2023 het SITO PS Aanlegvraagstukken uitgevoerd, in 2024 voortgezet onder Aanlegvraagstukken Geotechniek en Geohydrologie (project INF01).

Deltares voert binnen dit project onderzoeken uit die oplossingen moeten aandragen voor vraagstukken die optreden binnen de primaire processen rondom de aanleg van nieuwe infrastructuur en/of instandhouding van infrastructuur. De vraagstukken zijn niet uniek voor één project, maar hebben betrekking hebben op een cluster van werken of zelfs op de gehele infrastructuur.

Het doel van Aanlegvraagstukken is:

- Identificatie van kennisleemtes, risico's en kansen bij het begin van een uitvoeringsproject.
- Interactie met uitvoeringsprojecten ten behoeve van leerpunten en ondersteuning.
- Ontwikkeling van generieke kennis en instrumenten.

De op te leveren producten hebben als doel op korte termijn toepasbaar te zijn voor uitvoeringsprojecten van RWS met betrekking tot aanleg en onderhoud (Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport of MIRT) en Vervanging & Renovatie. Vervanging betreft bestaande infrastructuur vervangen door iets nieuws waarbij de levenscyclus weer opnieuw begint terwijl renovatie zich erop richt de levensduur van het bestaande object te verlengen.



De huidige rapportage is een product binnen het deelproject Meten aan constructies.

## 1.2 Doelstelling Meten aan Constructies - Waterspanningsmetingen

Doel van dit deelproject is bestaande grote onzekerheden weg te nemen door het uitvoeren van metingen aan bestaande constructies en het uitvoeren van analyses. In het kader van V&R en restlevensduur-studies worden door diverse beheerders en projecten metingen uitgevoerd aan bestaande geotechnische constructies, zoals corrosiemetingen of beproeving van bestaande ankers. Om landelijk gebruik te kunnen maken van deze metingen en om de meetmethodes te verbeteren en te uniformeren, zijn analyses nodig van de resultaten, die

belangrijke input vormen voor een betrouwbare bepaling van de actuele sterkte en restlevensduur van constructie.

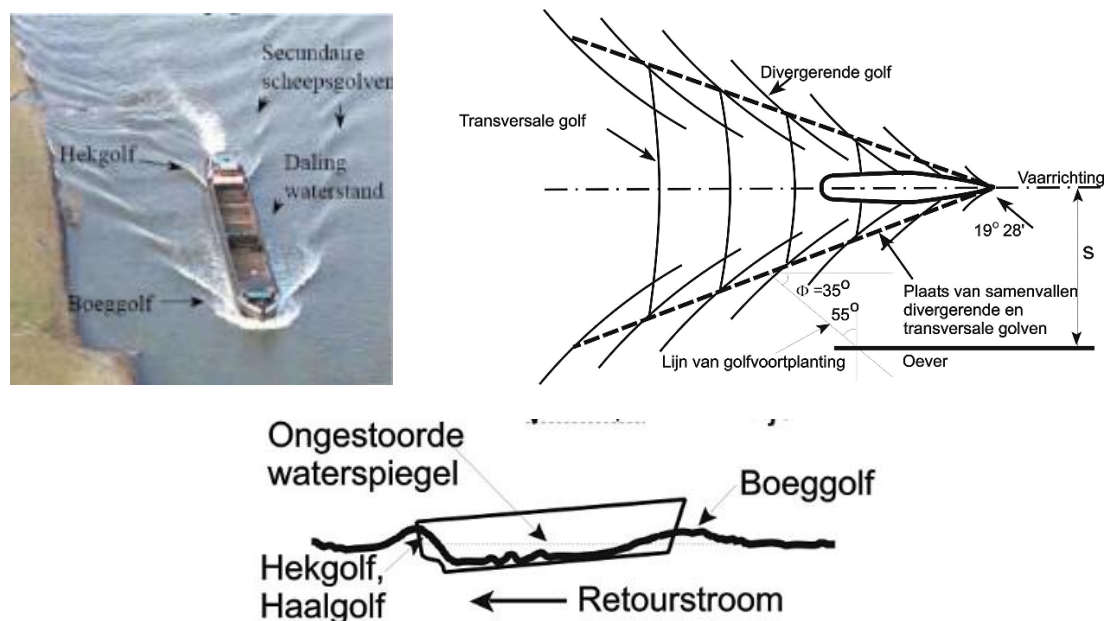
In 2023 ligt de focus onder andere op de uitvoering van waterspanningsmetingen langs een damwandconstructie in een kanaal. Doel is vast te stellen hoe de reactie van het (grond)water is op passages van scheepsverkeer voor en achter de damwand. De verkregen informatie levert een bijdrage in het beter vaststellen van uitgangspunten met betrekking tot de in rekening te brengen waterdrukken. Uiteindelijk kan deze informatie leiden tot een aanscherping van de toetsregels zoals opgenomen in de CUR166 "Damwandconstructies", in 2024 voortgezet onder CROW.

### 1.3 Onderzoeksvragen

Voorafgaand aan het onderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Welke verlagingen van het open water peil worden bij de damwandconstructie veroorzaakt door passages van schepen?
2. Hoe reageert de waterspanning in de grond voor de damwand en achter de damwand op de door scheepspassages veroorzaakte waterpeil veranderingen?
3. Is de reactie van de grondwaterspanning anders in een goed waterdoorlatende grondlaag dan in een slecht waterdoorlatende grondlaag.

Een schip zal bij het varen aan de voorzijde een boeggolf veroorzaken waardoor het water omhoog komt (golftop). Na de scheepspassage komt aan de achterzijde van het schip het water terug naar het oude niveau en veroorzaakt een hekgolf (die begint als golfdal). Als gevolg van de door schip veroorzaakte waterstroom (retourstroom) zal het water naast het schip verlagen. Als gevolg van de scheepsbeweging ontstaat er een golfpatroon dat zich tot achter het schip uitstrekt. In Figuur 1.1 is dit weergegeven.



Figuur 1.1 Scheepsgolven [bron wikipedia en [www.binnenvaartkennis.nl](http://www.binnenvaartkennis.nl)].

Op basis van observaties van schepen worden passagetijden van 20-40 seconden verwacht. Een meetresolutie van 1 seconde is daarom nodig om voldoende nauwkeurigheid in de data te verkrijgen.



## 2 Meetlocatie en inrichting meetsysteem

Socotec heeft in opdracht een monitoringssysteem ingericht, metingen verricht en een geotechnisch onderzoek op de meetlocatie uitgevoerd. De meetdata is geleverd in csv/excel format. De resultaten van de metingen zijn door Socotec verwerkt in rapportage [1] welke als Bijlage A is opgenomen.

### 2.1 Meetlocatie

In overleg met RWS en lokale stakeholders is gekozen voor een bereikbare locatie nabij depot de Bree aan de kanaalweg langs Twentekanaal Zutphen-Enschede. Op deze locatie is een kade aanwezig met colloïdaal beton op de waterbodem. De meetlocatie is gelegen net oostelijk van de kade zoals aangegeven in Figuur 2.1 en bevindt zich circa 38 m vanaf de knik in het damwandtracé.



Figuur 2.1 Meetlocatie kanaalweg Markelo.

Op de waterbodem lagen stortstenen die voorafgaand aan het plaatsen van de waterspanningsmeters apart zijn verwijderd. Na de meetperiode is de steenbestorting weer hersteld. Gegevens van de steenbestorting zijn niet bekend.

Rijkswaterstaat heeft informatie over de damwand beschikbaar gesteld. De eerste 31 m vanaf de knik in het damwandtracé richting de kade zijn de planken Larssen 22 met 8 m planklengte (bovenkant op NAP + 10,6 m, dus punt op NAP + 2,6 m). Daarna zijn de planken type HAZ-704-5 met 6,75 m planklengte (punt op NAP + 3,85 m). Zowel de Larssen 22 als HAZ-704-5 zijn verankerd met klpankers.

## 2.2 Monitoringsysteem

Het beheerpeil van het kanaal op deze locatie bedraagt NAP + 10,0 m. Bovenkant damwand ligt op circa NAP + 10,6 m. De waterbodem van het kanaal ligt op ca. NAP + 6 m. Nabij de damwand ligt de bodem op circa NAP + 7 à 7,5 m.

Door middel van waterspanningsmeters wordt de waterspanning op verschillende locaties en dieptes worden vastgesteld. Voor de bepaling van de diepte onder kanaalbodem wordt aangehouden dat de bodem bij de waterspanningsmeters op NAP + 7 m ligt. Verder is tijdens de meting de stortsteen weggehaald, de laagdikte hiervan is geschat op 0,2 m.

De waterspanning van het open water (OPW-09) wordt gemeten met een waterspanning op een diepte van 1 m onder het kanaalpeil, zie Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Waterspanningsmeter open water.

Waterspanningsmeter	Diepte [m t.o.v. NAP]	Opmerkingen
OPW-09	+9	1 m onder kanaalpeil

De waterspanning in de grond voor de damwand (waterzijde) wordt hier op 5 dieptes gemeten, zie Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Waterspanningsmeters in de grond voor de damwand (waterzijde).

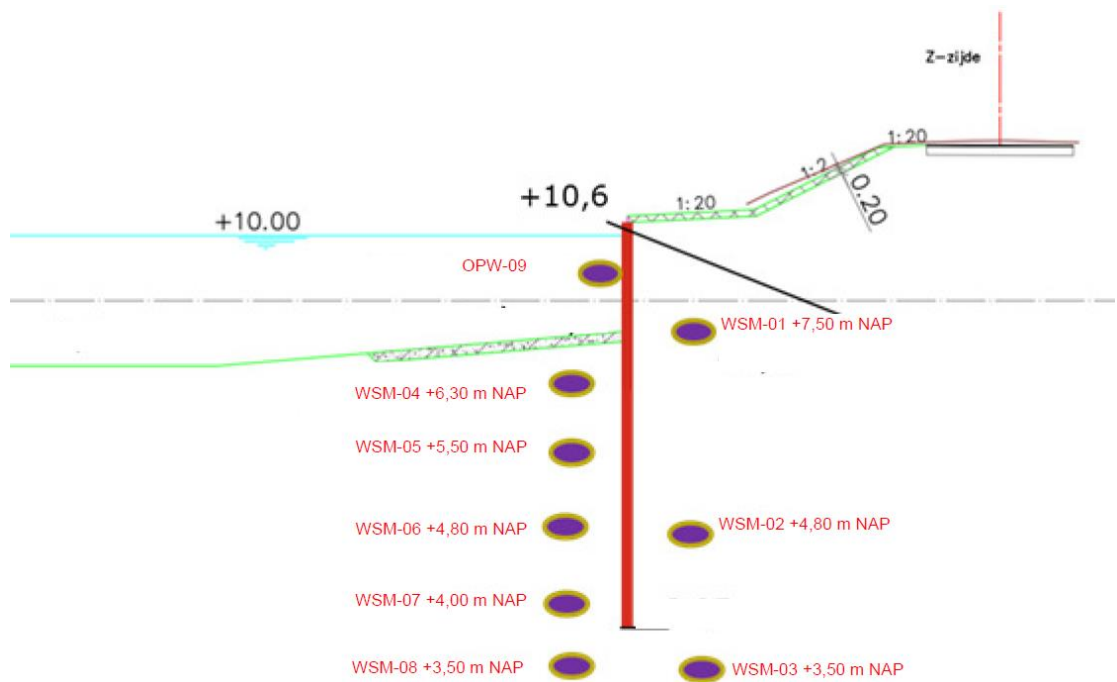
Waterspanningsmeter	Diepte [m t.o.v. NAP]	Diepte [m t.o.v. waterbodem]	Opmerkingen
WSM-04	+6,3	0,5	
WSM-05	+5,5	1,3	
WSM-06	+4,8	2	
WSM-07	+4,0	2,8	
WSM-08	+3,5	3,3	Onder punt damwand

De waterspanning in de grond voor de damwand (waterzijde) wordt hier op 5 dieptes gemeten, zie Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Waterspanningsmeters in de grond achter de damwand (landzijde).

Waterspanningsmeter	Diepte [m t.o.v. NAP]	Diepte [m t.o.v. maaiveld landzijde]	Opmerkingen
WSM-01	+7,5	3,1	
WSM-02	+4,8	5,8	
WSM-03	+3,5	7,1	Onder punt damwand

In Figuur 2.2 zijn de waterspanningslocaties grafisch weergegeven.



Figuur 2.2 Meetlocaties waterspanningsmeters in dwarsdoorsnede.

De waterspanningsmeters zijn geplaatst op 25 en 26 april 2023. De metingen zijn uitgevoerd gedurende de periode 26 april 2023 t/m 22 mei 2023.

Alle waterspanningsmeters zijn verbonden met een datalogger. De meetdata is opgeslagen in een dataopslagsysteem. Het vereiste meetinterval van 1 maal per seconde bleek niet gehaald. Bij uitleveren van de meetdata bleek dat met een interval van 1 maal per 10 seconden de waterspanning is gemeten.

## 2.3 Grondopbouw

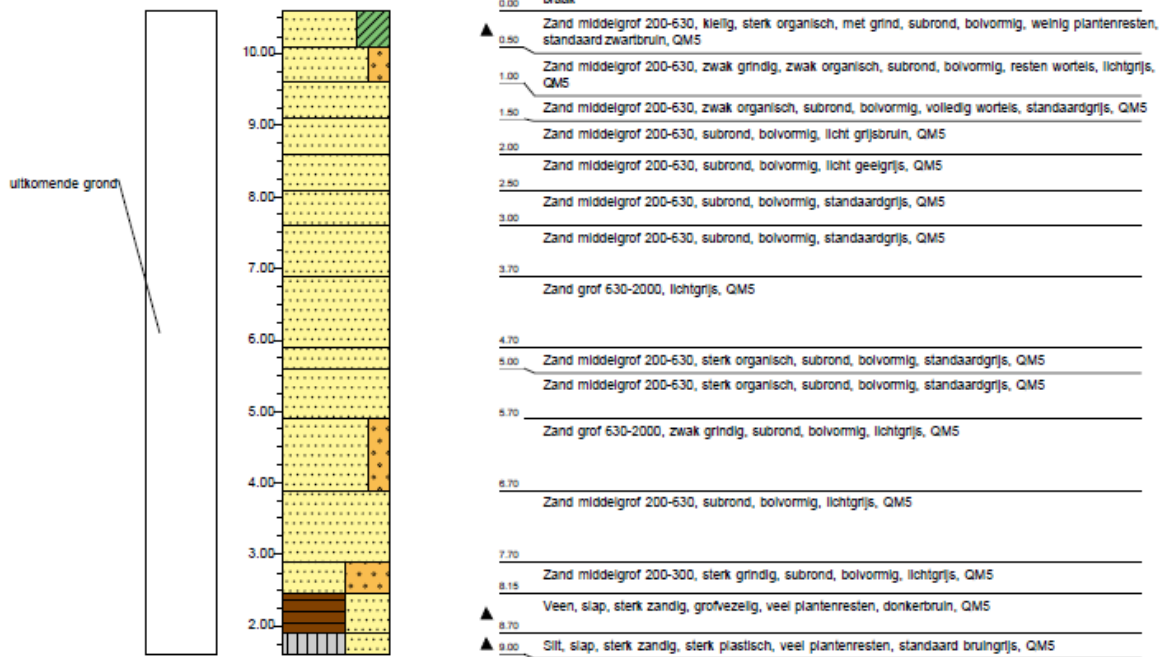
Voorafgaand aan de plaatsing van de waterspanningsmeters is een boring uitgevoerd om de grondopbouw ter plaatse vast te stellen. De boorbeschrijving is in Figuur 2.3 weergegeven.

Boring: B001  
 Uitvoering op: 24-4-2023  
 Uitvoering door: dwz

Boornorm: NEN-EN-ISO 22475-1

Identificatie conform NEN-EN-ISO 14688-1

x-coördinaat [m RD]: 238949,55  
 y-coördinaat [m RD]: 472062,55  
 Referentiehoogte [m]: 10,8 . N.A.P.  
 Reden boring gestopt: Einddoel

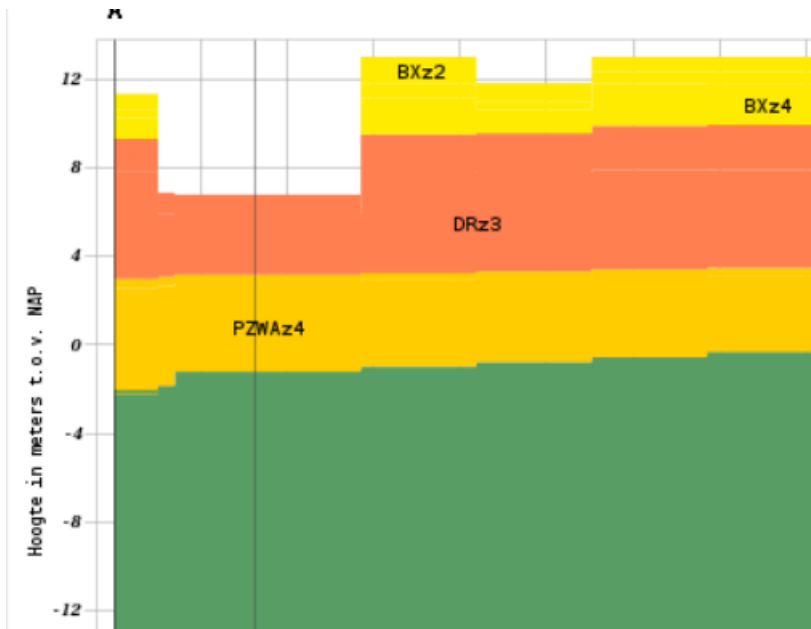


Figuur 2.3 Grondopbouw op basis van de uitgevoerde boring B001.

Uit Figuur 2.3 wordt afgeleid dat over de gehele diepte bereik van de waterspanningsmeters zand wordt aangetroffen dat middelgrof tot grof is.

Aan maaiveld is het zand kleilig. Op sommige dieptes wordt ook zand, zwak grindig of zand, sterk grindig aangetroffen.

Op de meetlocatie is geen GeoTop model (BRO loket) beschikbaar. Wel is het Regis model beschikbaar, waaruit de geologische opbouw in Figuur 2.4 volgt.



Figuur 2.4 Verwachte geologische opbouw meetlocatie (REGIS) [BRO].

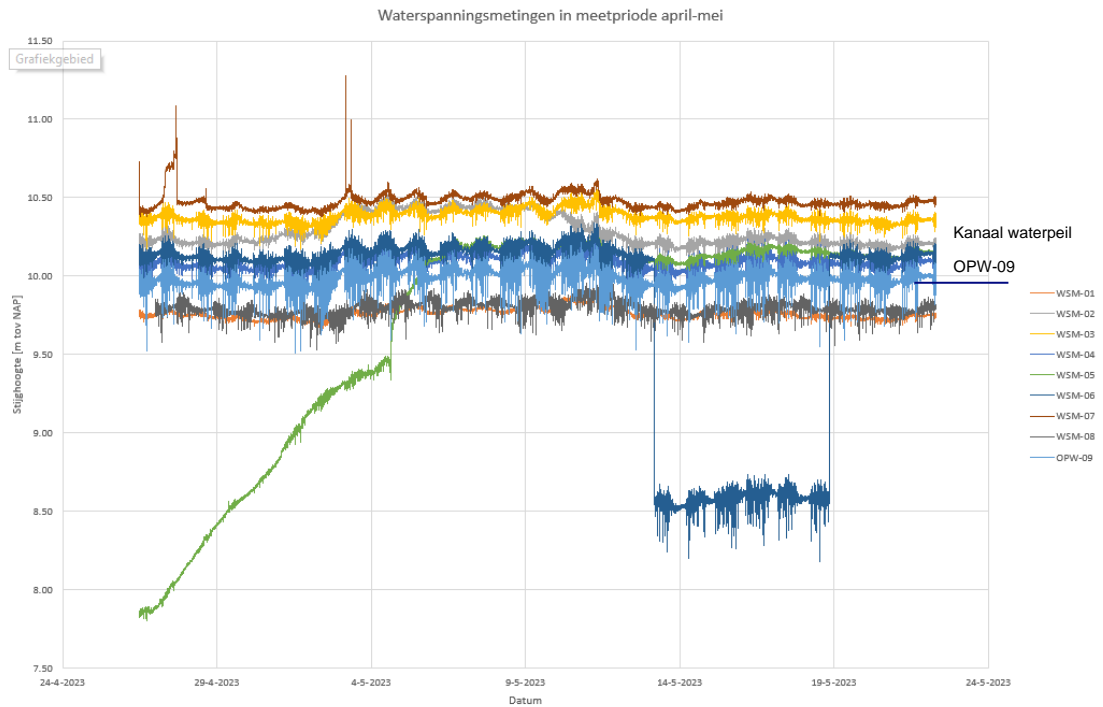
Op basis van Figuur 2.4 wordt verwacht dat het aangetroffen zand op de dieptes van de waterspanningsmeters (tot een maximale diepte van NAP + 3,5 m) voornamelijk tot de Formatie van Drenthe (glaciale zanden) behoort. Naast zand en grind kan de formatie van Peize/Waalre ook veen, siltig en kleilig materiaal bevatten. Dit werd echter niet bij de uitgevoerde boring aangetroffen op de dieptes van de waterspanningsmetingen.

Er zijn geen grondwatermonitoring locaties gevonden nabij de meetlocatie. Verwacht wordt dat de grondwaterstand zich achter de damwand rond het kanaalpeil bevindt.

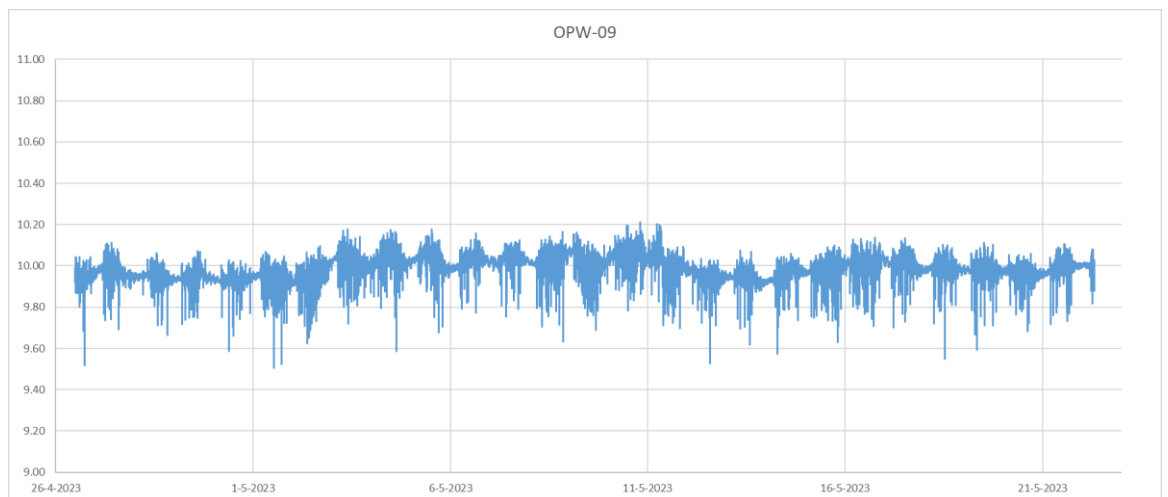
# 3 Waarnemingen

## 3.1 Algemeen

De gedurende de meetperiode van 26 april t/m 22 mei 2023 gemeten (grond)waterdrukken zijn weergegeven in Figuur 3.1. Ter referentie is de meting van het open water (OPW-09) specifiek aangegeven (lichtblauwe lijn) en apart vermeld in Figuur 3.2.



Figuur 3.1 Alle waarnemingen in meetperiode april – mei 2023.



Figuur 3.2 Waarnemingen open water (OPW-09) in meetperiode april – mei 2023.

In Figuur 3.2 zijn de dag cycli duidelijk zichtbaar. Overdag zijn duidelijke waterstandsverlagingen (en verhogingen) zichtbaar, in de nacht is het vrij rustig en zijn er nauwelijks wisselingen in de waterstand.

### 3.2 Gemiddelde en variatie waterhoogte en stijghoogtes

Wanneer de meetdata tussen 29 april t/m 19 mei worden geanalyseerd (waarbij de eerste en laatste 2 dagen zijn weggelaten, vanwege aanpassingen effecten en problemen met enkele opnemers aan het eind van de meetperiode) kan uit de data zoals gepresenteerd in Figuur 3.1, de in Tabel 3.1 en Tabel 3.2 vermelde kentallen worden afgeleid. Het gaat hierbij om de gemiddelden van alle waarnemingen en de maximale en minimale waarde in deze meetperiode. Het beheerde streefpeil ligt in dit deel van het kanaal op NAP + 10 m.

Tabel 3.1 Kentallen waarnemingen in meetperiode buitenzijde damwand.

Opnemer	Gemiddelde stijghoogte per week [m t.o.v. NAP]			Totale periode 29/4-19/5		
	wk1 29/4-5/5	wk2 6/5-12/5	wk3 13/5-19/5	Gemiddelde stijghoogte [m NAP]	Maximale stijghoogte [m NAP]	Minimale stijghoogte [m NAP]
OPW	9,98	10,02	9,98	9,99	10,21	9,51
4	10,09	10,12	10,08	10,10	10,31	9,65
5	8,92	9,54	10,17	9,54	10,28	8,41
6	10,13	10,17	8,87	9,73	10,34	8,18
7	10,46	10,50	10,46	10,48	11,28	10,38
8	9,79	9,83	9,79	9,80	9,97	9,53

Tabel 3.2 Kentallen waarnemingen in meetperiode binnenzijde damwand

Opnemer	Gemiddelde stijghoogte per week [m t.o.v. NAP]			Totale periode 29/4-19/5		
	wk1 29/4-5/5	wk2 6/5-12/5	wk3 13/5-19/5	Gemiddelde stijghoogte [m NAP]	Maximale stijghoogte [m NAP]	Minimale stijghoogte [m NAP]
OPW	9,98	10,02	9,98	9,99	10,21	9,51
1	9,75	9,80	9,75	9,77	9,90	9,66
2	10,33	10,37	10,22	10,31	10,53	10,02
3	10,37	10,42	10,37	10,39	10,55	10,17

### 3.3 Conclusies op waarnemingen

Op basis van de waarnemingen in Figuur 3.1 en kentallen in Tabel 3.1 en Tabel 3.2 kunnen een aantal conclusies getrokken worden met betrekking tot zaken die opvallen:

1. De meeste lijnen laten een overeenkomstig patroon zien als zichtbaar in de waarneming van het open water.
2. De hoogte van de waarneming is voor de diverse opnemers niet exact gelijk aan die van het open water. De getallen laten zien dat de stijghoogte niet exact een statische verdeling over de diepte laten zien maar sommige waarden iets hoger en sommige iets lager liggen. De reden hiervoor is onduidelijk. Mogelijk komt dit door geohydrologische omstandigheden of door een andere plaatsingsdiepte dan de bedoeling was.

3. De gemeten waterdrukken bij de verschillende waterspanningsmeters variëren (met uitzondering van de lokale uitschieters) tussen circa NAP + 9,75 m en NAP + 10,50 m. Het open water heeft een gemiddelde waterstand van NAP + 10 m.
4. De hoogste waterspanningsmeter WSM-01 aan de binnenzijde ligt lager dan het open water peil, nl. gemiddeld NAP + 9,77 m. Deze waarde moet ongeveer overeenkomen met de freatische grondwaterstand achter de damwand.
5. De grijze lijn WSM-02 ligt in de periode tot 3 mei en de periode na 10 mei ruim 10 cm onder de gele lijn WSM-03; daartussen ligt de lijn WSM-02 ongeveer op WSM-03.
6. De groene lijn WSM-05 is bij de start van de metingen enkele meters waterdruk lager en neemt gedurende de helft van de meetperiode toe tot waarden die meer lijken te gaan passen bij de overige metingen; het is onduidelijk waar dit door wordt veroorzaakt. De metingen t/m 6 à 7 mei zijn hierdoor compleet niet bruikbaar. De betrouwbaarheid van deze waterspanningsmeter wordt als twijfelachtig beoordeeld.
7. De donkerblauwe lijn WSM-06 laat van 13 mei t/m 18 mei plotseling consistent circa 1,5 m lagere waarden zien met exact hetzelfde type variaties als in de periode ervoor en erna. De betrouwbaarheid van deze waterspanningsmeter wordt als twijfelachtig beoordeeld vanwege de sprong van 1,5 m. De waarnemingen in deze periode zijn daarom qua absolute waarde van de waarnemingen niet bruikbaar echter, voor analyse van snelle stijghoogteveranderingen zijn de metingen uit deze periode mogelijk wel bruikbaar. Ze zouden mogelijk worden gebruikt als bevestiging van een trend die is waargenomen van andere metingen waarvan niet wordt getwijfeld over de betrouwbaarheid.
8. De bruine lijn van WSM-07 (op een na diepste wsm aan de waterzijde) ligt het hoogst van alle lijnen. Tevens zijn op een aantal momenten uitschieters naar hogere waterspanningen zichtbaar (bijvoorbeeld 29 april en 03 mei) maar ook komt het voor dat deze afwijking langdurig is zoals omstreeks 27 april. De rest van de lijn lijkt de trends te volgen die bij de andere waterspanningsmeters worden gezien; maar de grootte van de amplitude van de wisselingen lijkt niet overal op dezelfde manier de trends te volgen. Het is onduidelijk waar dit hele afwijkende inconsistente gedrag door wordt veroorzaakt. Vanwege de geconstateerde afwijkingen wordt de betrouwbaarheid van deze waterspanningsmeter als twijfelachtig beoordeeld.
9. Het gemiddelde van WSM-08 (de diepste waterspanningsmeter) aan de waterzijde heeft een gemiddelde waarneming van NAP + 9,80 m. De diepste waterspanningsmeter WSM-03 aan de binnenzijde heeft een gemiddelde waarneming van NAP +10,39 m en ligt daarmee beduidend hoger dan de diepste waterspanningsmeter aan de buitenzijde. Het is onduidelijk waarom de waarnemingen zo ver uiteen liggen.
10. In de periode 3 mei t/m 10 mei liggen alle waarnemingen iets hoger dan buiten deze periode.

Specifiek voor het open water in Figuur 3.2 valt het volgende op:

11. De gemiddelde waterdruk in de meetperiode ligt op NAP + 9,99 m waterhoogte wat overeenkomt met het streefpeil in het kanaalpand van circa NAP + 10 m. in de periode voor 3 mei is de waterdruk circa 0,05 m lager, na 10 mei is de gemiddelde waarde ook iets lager. Dit heeft vermoedelijk te maken met peilaanpassingen in het kanaal om te compenseren voor regenval/droogte. Rondom de doorgaande gemiddelde hoogtes zit een variatie die het gevolg is van kleinere golfjes in het kanaalpand als gevolg van wind en schepen. Deze variatie is enkele cm's.
12. De maximale waarnemingen in de meetperiode ligt circa 0,22 m hoger dan het gemiddelde en wordt veroorzaakt door alle hiervoor genoemde oorzaken. De minimale waarneming ligt circa 0,48 m lager dan het gemiddeld. Verwacht wordt dat dit het gevolg is van scheepspassages, die duidelijke verlagingen veroorzaakt.



### 3.4 Opmerkingen bij de waarnemingen

De lijnen in Figuur 3.1 zijn gebaseerd op de door Socotec geleverde csv/excel databestanden van de waterspanningsmeters [1]. Bij de analyse van deze data zijn een aantal zaken opgevallen waarmee rekening moet worden gehouden in de analyse:

13. De datalogger heeft één waarneming gedaan per 10 seconden. Dit is het gevolg van een verkeerde instelling in de datalogger. Dit is helaas pas geconstateerd nadat de metingen waren uitgevoerd. Hierdoor is de detail informatierondom de vorm van de waterniveau verlaging in de tijd en de absolute verlaging verloren gegaan. Met name rondom de absolute verlaging is de onzekerheid rondom het registeren ervan groot.
14. De datalogger heeft niet voor alle waterspanningsmeters op dezelfde tijd een waarneming gedaan. In de databestanden zijn afwijkingen tot 58 seconden ten opzichte van het sampling moment van het open water geconstateerd. Dit wordt veroorzaakt door een vertraging in registratie of door het uitvallen van een sampling moment.
15. In het databestand van WSM-05 worden heel veel rijen met tijdsregistratie van 1 mei 19:12:16 en gelijke waterspanning aangetroffen.

## 4 Analyse

### 4.1 Inleiding

De voor dit onderzoek beoogde gedetailleerde analyse van de meetdata vereist een sampling frequentie van 1 seconde. De 10x te lage meetfrequentie maakt dat de meetdata ongeschikt is voor het de benodigde gedetailleerde analyse naar de respons van de waterspanningen in de diverse waterspanningsmetingen als functie van de tijd voor verschillende type passages. In de navolgende analyse is gekeken of het mogelijk is om op een ander manier toch nog enige relevante informatie te onttrekken uit de meetdata.

Het primaire doel van het onderzoek is een relatie te leggen tussen de verandering van de waterdrukverandering in het kanaal en die van het grondwaterdruk. Voor het ontwerp van damwanden zijn natuurlijk de grootste drukveranderingen van belang. Dus windgolven en kleine drukveranderingen door de passage van kleine schepen zijn niet van belang voor het onderzoek.

Gekozen is voor een aanpak waarbij geautomatiseerd gaat worden gezocht naar circa 200 scheepspassages met een significant grote spiegeldaling van circa 0,15 m of meer zodat de kans groter is dat daaruit relevante data kan worden afgeleid. Voor het vinden van de scheepspassages zal in de meetdata worden gezocht naar relatief snelle significante veranderingen van de waterdruk van de waterspanningsmeter. Vervolgens wordt er, om de invloed van de lage meetfrequentie te minimaliseren, binnen een ruim gekozen tijdvak rondom de scheepspassage de extreme waarde van de waterspanningsverandering bepaald van alle waterspanningsmeters. Vervolgens wordt er gekeken of systematische patronen kunnen worden herkend in de waargenomen grondwaterspanningsveranderingen.

### 4.2 Respons stijghoogtes op open water variaties door passage van schepen

#### 4.2.1 Detectie moment van passage van schepen

Een passage wordt gedetecteerd door een "snelle" verlaging van de waterspiegel van het open water boven een drempelwaarde vast te stellen. De drempelwaarde wordt gebruikt om een daadwerkelijke passage te waarnemen. Beneden de drempelwaarde wordt verondersteld ook de verlagingen door windgolven of reflecties van golven aanwezig te zijn. Deze zijn niet van belang voor de analyse.

De procedure voor de detectie is als volgt:

- Voor  $T=x$  wordt een gemiddelde van de waarnemingen over 30 seconden t/m  $T=x$  bepaald (= 4 waarnemingen).
- Vervolgens wordt de waarneming van 10 seconden na  $T=x$  bepaald.
- Indien  $T=x+10$  meer dan de drempelwaarde daalt betreft het een scheepspassage.
- De drempelwaarde is 0,05 m.

De automatische detectie leidt soms tot een meervoudige detectie van een zelfde passage. De lijst is handmatig gereduceerd tot een lijst met unieke passages door alle detecties binnen 1 minuut na de initiële detectie te verwijderen.

Het resultaat van de procedure is de detectie van 278 unieke passages met een significante waterspiegeldaling want de laagste waterspiegeldaling van de met de procedure gevonden passages was 0,15 m.

#### 4.2.2 Bepaling kenmerkende getallen van het niveau van open water

Aangenomen wordt dat de stijghoogte van waterspanningsmeter OPW-09 overeen komt met het waterniveau van het open water in het kanaal boven de opnemer.

Na het detectie moment worden enkele kenmerkende getallen van het open water vastgesteld.

- De eindtijd van de verlagingsgolf, het tijdstip binnen 1 minuut na  $T=x$  waar het open water een maximum verlaging bereikt. Hiermee wordt ook de lengte van de verlagingsgolf bepaald.
- De minimum waarde van de stijghoogte binnen  $T=x$  en  $T=x+1$  minuut.
- Het tijdstip na  $T=x$  waarop de minimum waarde van de stijghoogte wordt bereikt.

#### 4.2.3 Bepaling kenmerkende getallen waterspanningsmeters

Na het detectie moment worden ook enkele kenmerkende getallen van de waterspanningsmeters in de grond vastgesteld.

- De begintijd na  $T=x$  van de verlaging voor de WSM.
- De vertraging tussen start verlaging van het open water en de WSM.
- De minimum waarde van de stijghoogte van de WSM binnen  $T=x$  en  $T=x+1$  minuut.
- Het tijdstip na  $T=x$  waarop de minimum waarde wordt bereikt.
- De relatieve verlaging in procent van de WSM t.o.v. het open water.

### 4.3 Resultaten metingen

#### 4.3.1 Gemiddelde stijghoogte verloop over de diepte

Wanneer alle gemiddelden van de waarnemingen, zoals weergegeven in Tabel 3.1 en Tabel 3.2, worden omgezet in relatieve waarden t.o.v. het gemiddelde open water peil volgen de resultaten zoals gegeven in Tabel 4.1. De getallen laten zien dat de stijghoogte niet exact een statische verdeling over de diepte laten zien maar sommige waarden iets hoger en sommige iets lager liggen. De reden hiervoor is onduidelijk (zie conclusie 2 in H3.3).

Tabel 4.1 Verdeling gemiddelde stijghoogte in de meetperiode over de diepte (relatief t.o.v. open water).

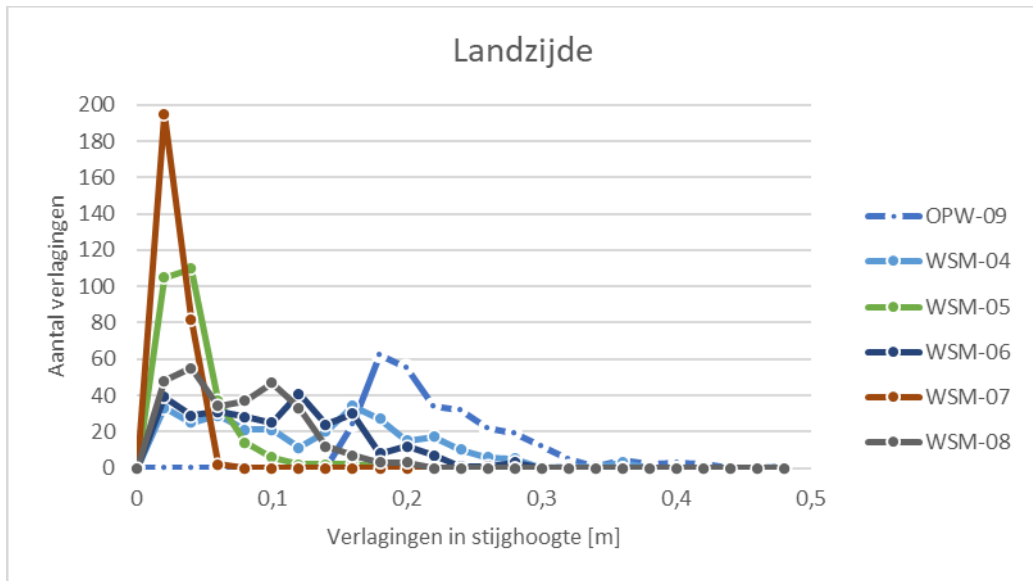
Diepte [m t.o.v. NAP]	Waterzijde		Landzijde	
	opnemer	Gemiddelde waarneming t.o.v. open water [m]	Gemiddelde waarneming t.o.v. open water [m]	opnemer
OPW		0 (NAP+9,99m)		
7,5			-0,23	WSM-01
6,3	WSM-04	+0,10		
5,5	WSM-05	-0,45 *		
4,8	WSM-06	-0,27 *	+0,31	WSM-02
4	WSM-07	+0,48 *		
3,5	WSM-08	-0,19	+0,40	WSM-03

\* Getalwaarden niet bruikbaar, verstoord door periode met onverklaarbaar lage en hoge waarnemingen / WSM hebben twijfelachtige betrouwbaarheid.

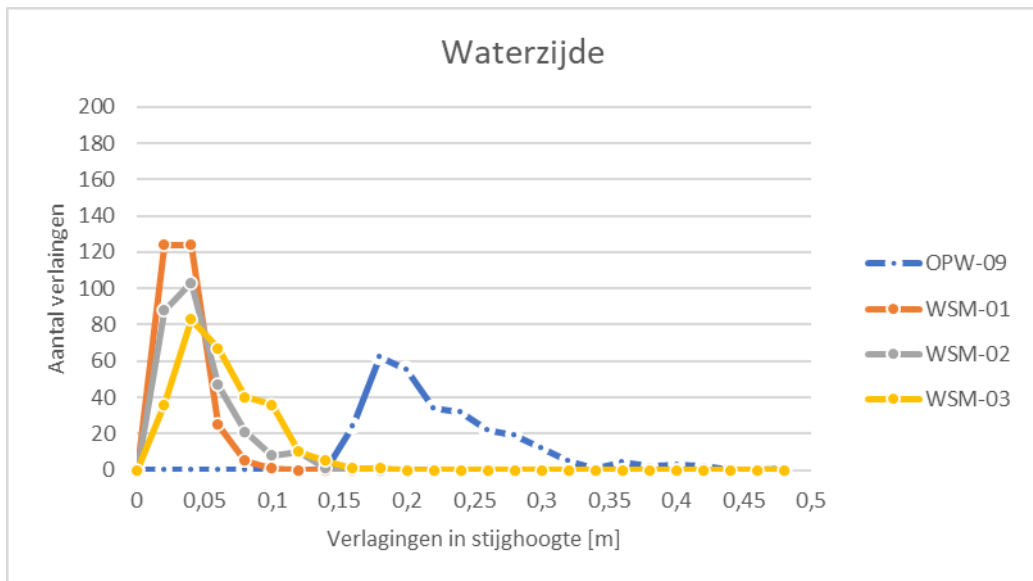
#### 4.3.2 Gedetecteerde stijghoogte verlagingen

In de data zijn 278 unieke passages gedetecteerd met de methode uit paragraaf 4.2. Voor ieder van de waterspanningsmeters is een frequentie tabel opgesteld met 0,025 m klassebreedte. Dit leidt tot een frequentieverdeling van de grootte van de verlagingen in het open water en de waargenomen respons in de diepere waterspanningsmeters.

In de volgende figuren is de verdeling van aantal en grootte van de verlagingen grafisch weergegeven<sup>1</sup>. In Figuur 4.1 zijn de frequentieverdelingen voor de waterspanningsmeters aan de waterzijde weergegeven, en in Figuur 4.2 voor de waterspanningsmeters aan de landzijde. Verder is in Figuur 4.3 is voor iedere waterspanningsmeter een boxplot van de gemeten maximale stijghoogte verlaging per scheepspassage weergegeven.

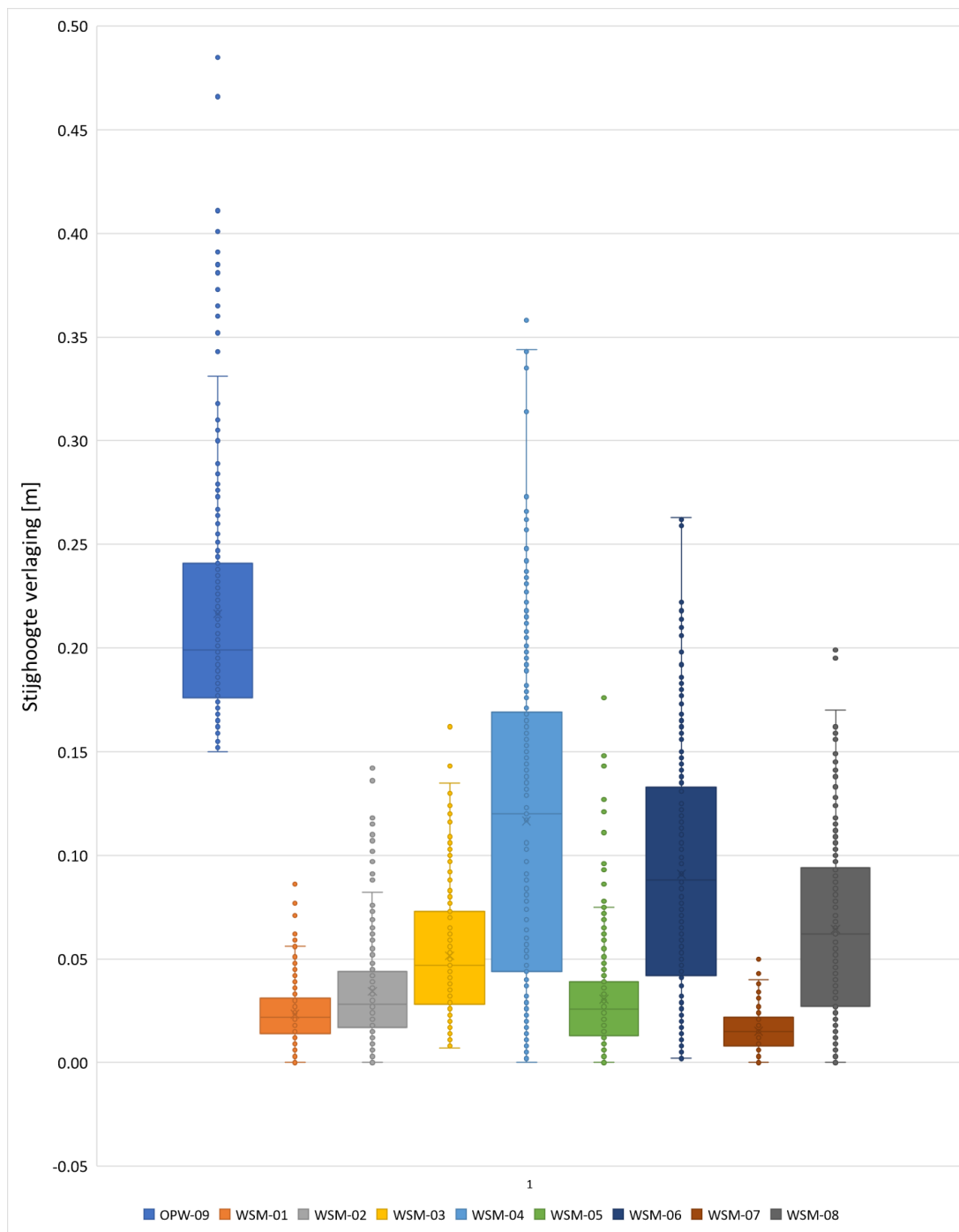


Figuur 4.1 Verdeling van grootte van gemiddelde stijghoogte verlagingen aan waterzijde.



Figuur 4.2 Verdeling van grootte van gemiddelde stijghoogte verlagingen aan landzijde.

<sup>1</sup> , Vanuit oogpunt van overzicht is voor een lijngrafiek gekozen in plaats van de gebruikelijke staafdiagram weergave van een histogram.



Figuur 4.3 Boxplot van de maximale stijghoogteverlagingen tijdens de 278 scheepspassages.

Uit Figuur 4.1, Figuur 4.2 en Figuur 4.3 blijkt dat bij de waterspanningsmeters in de grond (WSM) gemiddeld gezien lagere stijghoogte verlagingen zijn gemeten dan in het open water (OPW). Er is dus gemiddeld gezien sprake van enige tot significante demping van de maximale verlaging. Hierbij moet worden opgemerkt dat slechts een frequentie van 1x per 10 seconden is gemeten. Hierdoor is het goed mogelijk dat bij een specifieke scheepspassage de maximale verlaging niet is waargenomen, dat geldt natuurlijk voor zowel de meting in het openwater als in de grond.

### 4.3.3 Demping en vertraging in stijghoogte verlaging

In Tabel 4.2 zijn daarom per waterspanningsmeter zowel de gemiddelde stijghoogte verlaging als de maximale percentages van de verlaging per scheepspassage weergegeven relatief tot van de open water stijghoogte verlaging.

Tabel 4.2 Gemiddelde en maximale stijghoogte verlaging van alle gedetecteerde passage als percentage van de in het open water gemeten verlaging.

Diepte [m NAP]	Gemiddelde en maximum percentage van de relatieve van stijghoogte verlagingen per scheepspassage ten opzichte van die van openwater (in percentage van die OPW-1 meting)					
	Waterzijde			Landzijde		
	Opnemer	Gemiddelde [%]	Maximum [%]	Gemiddelde [%]	Maximum [%]	Opnemer
7,5				11	34	WSM-01
6,3	WSM-04	55	131			
5,5	WSM-05 *	15	71			
4,8	WSM-06	43	100	16	53	WSM-02
4	WSM-07 *	7	18			
3,5	WSM-09	30	75	24	55	WSM-03

\* Getalwaarden minder betrouwbaar, WSM hebben twijfelachtige betrouwbaarheid.

Uit Tabel 4.2 blijkt dat er enige demping aanwezig kan zijn. De getallen blijven indicaties in verband met de gebruikte lage meetfrequente van de waarnemingen hetgeen ook blijkt uit het feit dat het percentage verlaging ook groter dan 100% kan zijn. Daarnaast zijn ook op basis van de mediaan, 1e en 3e kwartiel waarden van de stijghoogte verlagingen zoals weergegeven in Figuur 4.3, de betreffende relatieve stijghoogte verlaging ten opzichte van die in openwater bepaald als percentage van de openwater verlaging, zie Tabel 4.3.

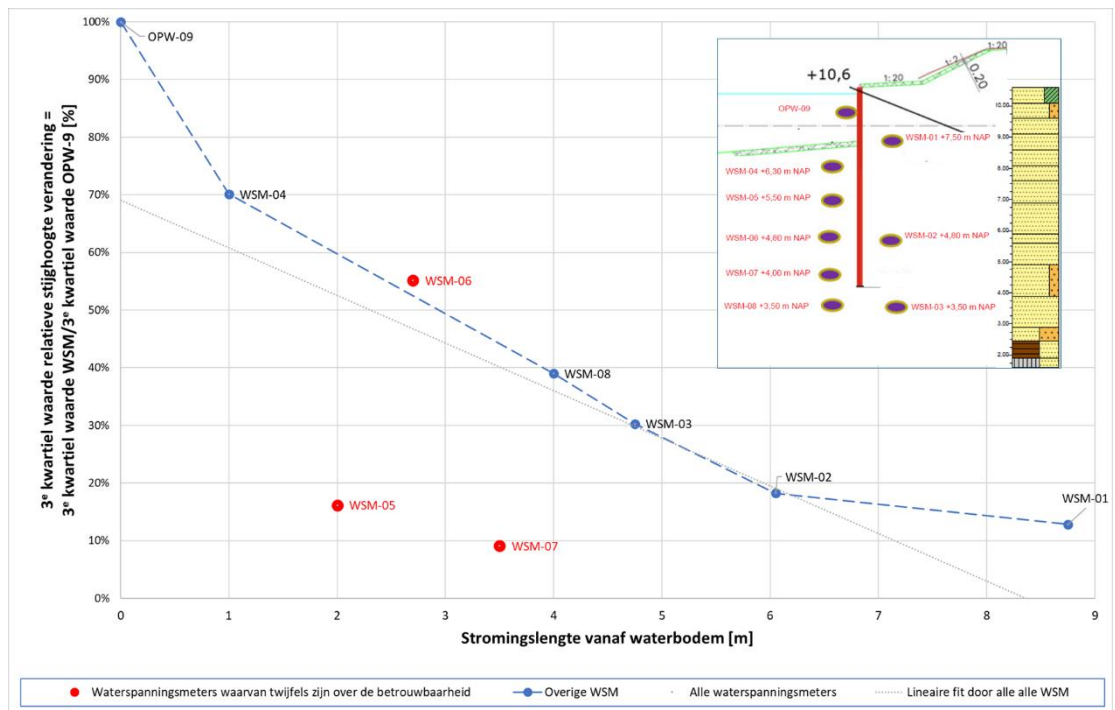
Tabel 4.3 Mediaan, 1e en 3e kwartiel waarden van de relatieve stijghoogte verlaging ten opzichte van die openwater van individuele scheepspassages.

Diepte [m NAP]	Relatieve stijghoogte verlaging van de mediaan, 1 <sup>e</sup> en 3 <sup>e</sup> kwartiele waarden van de stijghoogte verlaging ten opzichte respectievelijke 1 <sup>e</sup> en 3 <sup>e</sup> kwartiele waarden van die openwater (in percentage van de openwater verlaging)							
	Waterzijde				Landzijde			
	Opnemer	1 <sup>e</sup> kwartiel [%]	Mediaan [%]	3 <sup>e</sup> kwartiel [%]	1 <sup>e</sup> kwartiel [%]	Mediaan [%]	3 <sup>e</sup> kwartiel [%]	Opnemer
7,5					8	11	13	WSM-01
6,3	WSM-04	25	60	70				
5,5	WSM-05*	7	13	16				
4,8	WSM-06	24	44	55	10	14	18	WSM-02
4	WSM-07*	5	8	9				
3,5	WSM-08	15	31	39	16	24	30	WSM-03

\* Getalwaarden minder betrouwbaar, WSM hebben twijfelachtige betrouwbaarheid.

De kans op het verkrijgen van inzicht wordt het grootste geacht bij de 3<sup>e</sup> kwartiel waarden in Tabel 4.3, dit zijn de waarden met de grootste stijghoogte veranderingen. Omdat mogelijk de stroming een belangrijke rol kan spelen zijn in Figuur 1.1 de 3<sup>e</sup> kwartiel waarden van de

relatieve stijghoogte verlagingen uitgezet tegen de stromingslengte<sup>2</sup> vanaf de waterbodem. Vervolgens is een lineaire fit gemaakt door deze waarden. De lineaire fit laat een met de stromingslengte afnemende trend zien. De waarden van de 2 waterspanningsmeters met een twijfelachtige betrouwbaarheid (WSM-05 en 07) liggen fors beneden deze trend. De waarde van de derde waterspanningsmeter (WSM-6) waar twijfels zijn over de betrouwbaarheid omdat deze gedurende enige dagen een offset had ligt iets boven de trendlijn. Ter illustratie zijn de waarden van de overige waterspanningsmeters zonder twijfelachtige betrouwbaarheid met een stippellijn met elkaar verbonden. Het is speculatief, maar het overalbeeld dat nu ontstaat zou die kunnen zijn van een grondwaterstroming waarbij er enige indringingsweerstand is bij de waterbodem en enige extra stijghoogte verlaging bij WSM-01 door het iets naar voren komen van de damwand. De waarde van WSM-06 past in de trend van de van de waterspanningsmeters waar geen twijfels zijn over de betrouwbaarheid, het lijkt erop dat WSM-06 snelle stijghoogte wisselingen betrouwbaar meet en de waargenomen trend bevestigt.



Figuur 4.4 Relatieve stijghoogte verlaging van de 3<sup>e</sup> kwartiel metingen als functie van de stromingslengte vanaf de waterbodem.

Daarnaast is bepaald hoeveel later een verlaging van de stijghoogte bij een waterspanningsmeter start ten opzichte van de die van het open water. Dit is een vertraging in de responsie. Hier moet ook worden gerealiseerd dat met een resolutie van 1 meting per 10 seconden is gesampled en de gevonden waarden slechts indicatief van aard zijn. Daarom zijn in Tabel 4.4 de gemiddelde en minimale vertraging in seconden weergegeven.

<sup>2</sup> De stromingslengte wordt gezien als de afstand van het open water tot de waterspanningsmeters op een bepaalde diepte. De damwand wordt gezien als ondoorlatend waardoor de waterspanningsmeters aan de landzijde van de damwand op een grotere stromingslengte staan.

Tabel 4.4 Minimale en gemiddelde vertraging in stijghoogte verlaging van alle gedetecteerde passage t.o.v. de open water verlaging.

Diepte [m NAP]	Tijdsverschil tussen moment van waarneming maximale stijghoogte verlaging in de grond (WSM) en in open water (OPW-1)					
	Waterzijde			Landzijde		
	Opnemer	Minimaal [s]	gemiddelde [s]	Minimaal [s]	gemiddelde [s]	Opnemer
7,5				0	1	WSM-01
6,3	WSM-04	0	3			
5,5	WSM-05 *	0	3			
4,8	WSM-06	0	3	0	3	WSM-02
4	WSM-07*	0	2			
3,5	WSM-08	0	12	0	7	WSM-03

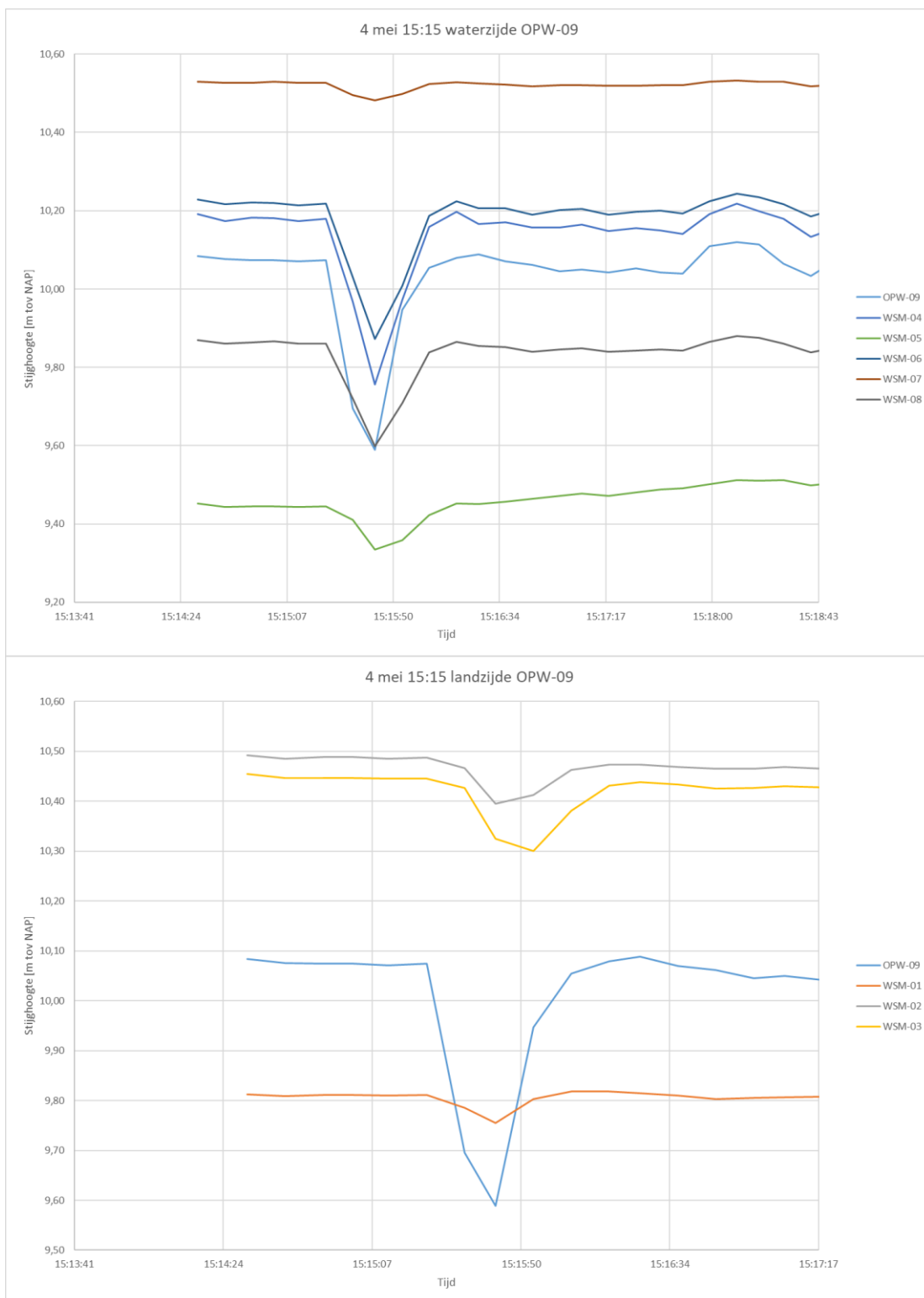
\* WSM hebben twijfelachtige betrouwbaarheid

Uit Tabel 4.4 blijkt dat de vertraging in reactie zeer klein kan zijn. Bij de gemiddelde waarden ligt de vertraging slechts enkele seconden hoger. Daarbij moet rekening worden gehouden met de onnauwkeurigheid in de dataset zoals vermeld in H 3.4.

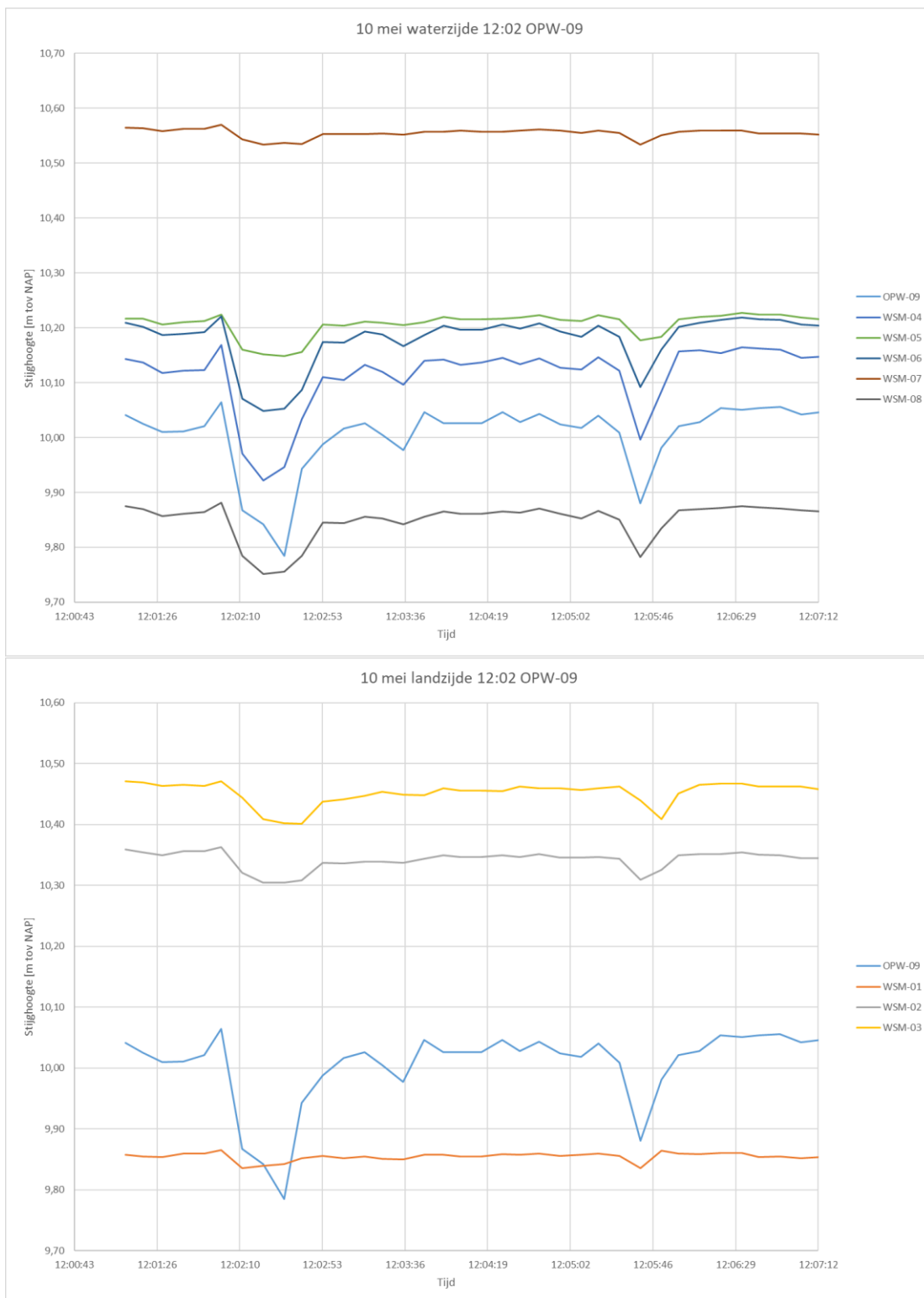
#### 4.3.4 Voorbeelden van demping en vertraging

Uit de hele dataset zijn vier voorbeelden gehaald die laten zien hoe de verschillende waterspanningsmeters reageren op een verlaging van het open water. In de diverse figuren is het verloop van stijghoogte verlagingen aan de waterzijde en aan de landzijde weergegeven. Het betreft een gedetecteerde stijghoogte verlaging met een lengte van circa 0,5 minuut voor de verlaging tot circa 3 minuten na de verlaging.

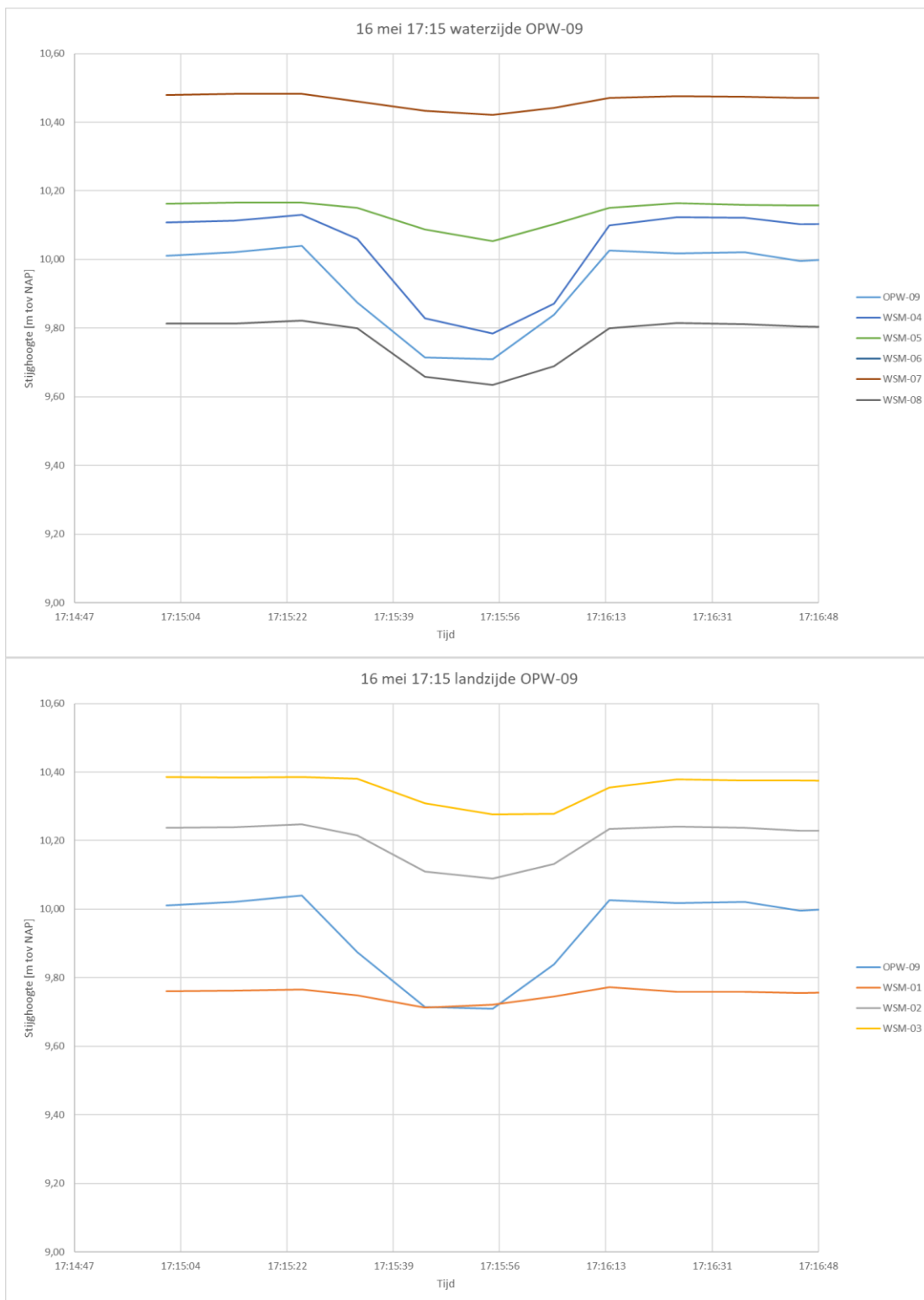




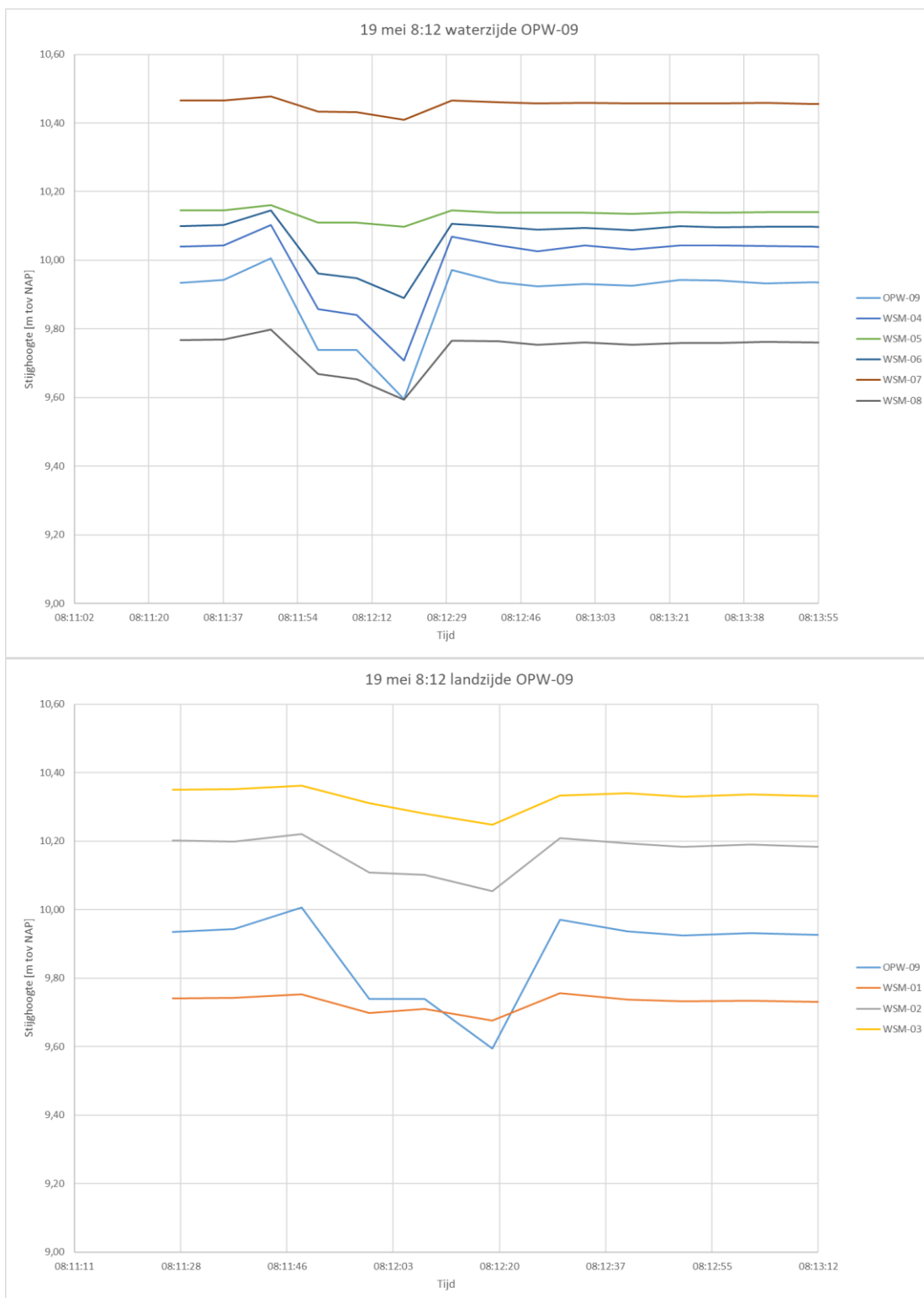
Figuur 4.5 Voorbeeld scheepspassage op 4 mei om 15:15, verlaging van het open water met 0,48 m.



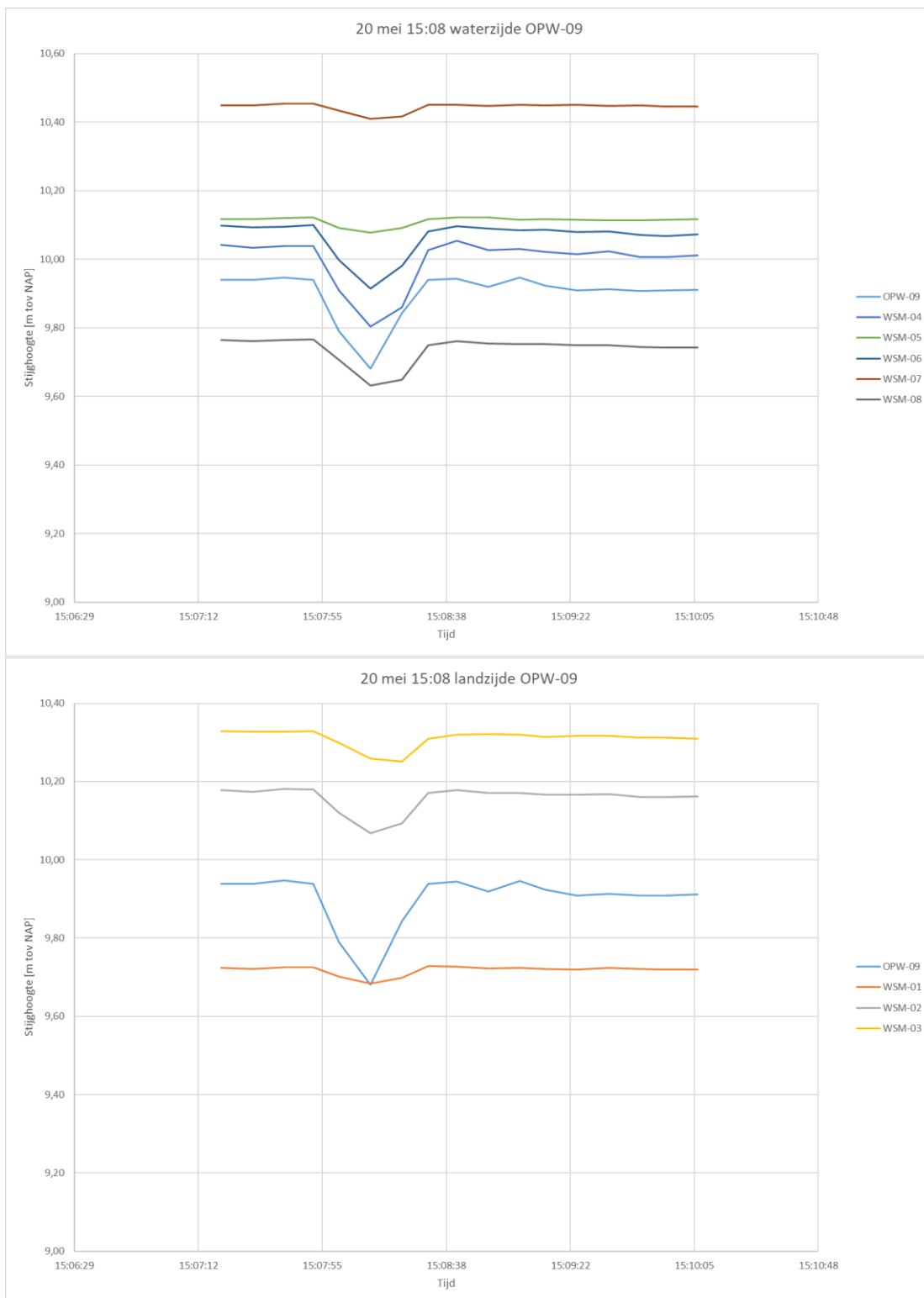
Figur 4.6 Voorbeeld scheepspassage op 10 mei om 12:02, verlaging van het open water met 0,28 m.



Figuur 4.7 Voorbeeld scheepspassage op 16 mei om 17:15, verlaging van het open water met 0,33 m.



Figuur 4.8 Voorbeeld scheepspassage op 19 mei om 8:12, verlaging van het open water met 0,41 m.



Figuur 4.9 Voorbeeld scheepspassage op 20 mei om 15:08, verlaging van het open water met 0,27 m.

## 5 Resultaten

Om de responsie van stijghoogteverlagingen in de grond rondom een damwandconstructie als gevolg van een verlaging van het open water niveau, in deze situatie door scheepspassages, vast te stellen, is op de locatie Depot de Bree aan de Kanaalweg langs Twentekanaal Zutphen-Enschede een meetprogramma uitgevoerd.

Voor de metingen van de stijghoogte zijn waterspanningsmeters in het kanaalwater en op diverse dieptes in het grondprofiel aan de water- en landzijde van de damwandconstructie geplaatst. De diepste waterspanningsmeters staan rondom het niveau onderkant damwand.

De metingen zijn uitgevoerd gedurende de periode 26 april 2023 t/m 22 mei 2023.

De meetdata is opgeslagen in een dataopslagsysteem. Het vooraf vereiste meetinterval van 1 maal per seconde was niet goed ingesteld. Bij uitleveren bleek dat met een interval van 1 maal per 10 seconden de waterspanning is gemeten. Ook is gebleken dat de tijdsregistratie voor de diverse waterspanningsmeters niet geheel synchroniek liep en er tot 58 seconden afwijkingen zijn opgetreden. Hierdoor is er een grote kans op missen van maximale verlagingen en het moment waarop een verlaging ingezet wordt.

Uit de verzamelde gegevens resultaten kan het volgende worden afgeleid, met een voorbehoud van de beperkingen qua meetfrequentie en synchronisatie.

- In het open water is een gemiddelde stijghoogte van NAP + 9,99 m gemeten, dit komt overeen met het streefpeil van het kanaal op NAP + 10 m.
- De maximale variaties in stijghoogte in het kanaal waren + 0,22 m tot – 0,48 m, van de grootste variaties wordt verondersteld dat ze zijn veroorzaakt door scheepspassages.
- De ondergrond bestaat uit voornamelijk zandig materiaal, waardoor verwacht wordt dat over de diepte een statisch verloop van de waterdruk aanwezig zal zijn en de stijghoogte constant is. Echter in de diepere waterspanningsmeters zijn zowel hogere als lagere stijghoogtes gemeten. Dit kan veroorzaakt zijn door geohydrologische omstandigheden of door een plaatsingsdiepte die anders is geweest dan vooraf gepland.
- Een lineaire fit door 3<sup>e</sup> kwartiel waarden van de relatieve stijghoogteverlaging uitgezet tegen de stromingslengte laat een overall beeld zien van afnemende waarden. Dit is een beeld dat bij grondwaterstroming past. Echter de waarden bij 2 van de waterspanningsmeters waren fors lager dan deze overall trend, en dat betreffen juist WSM-05 en 07 waarvan een twijfelachtige betrouwbaarheid is geconstateerd.
- Gezien de meetfrequentie van 10 seconden was het niet mogelijk te bepalen welke vertraging optreedt tussen het tijdstip dat de waterstand van het openwater veranderd en de het tijdstip de op diepte geconstateerde stijghoogte verlagingen optreden. De met de huidige interval van metingen bepaalde vertragingen duiden op een bijna directe reactie.

De meetcampagne heeft inzicht gegeven in hoe de stijghoogte op diepte in zandgrond reageert op een verlaging van het open water. De tekortkomingen in de meetsampling (resolutie en uiteenlopen van sampling momenten) zorgt voor dat het vooralsnog niet mogelijk is om conclusies te trekken die bruikbaar zijn voor de ontwerp praktijk.

Het is daarom aan te bevelen de meetcampagne nog eens te herhalen met een meetfrequentie van 1 meting per seconde en op de meetdata de beoogde gedetailleerde analyse uit te voeren. Het wordt ook geadviseerd daarnaast dezelfde analyse uit te voeren zoals uitgevoerd in de voorliggende rapportage. Daarmee wordt inzicht verkregen over de representativiteit/waarde van de voorliggende analyse resultaten.

## 6 Referenties

- [1] Socotec, "Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de Kanaalweg te Markelo", kenmerk 23ZP0166-RG-01, versie 1, 26 juni 2023.

# A Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de Kanaalweg te Markelo (Socotec)





# Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de Kanaalweg te Markelo

**Documentnummer: 23ZP0166-RG-01**

# Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de Kanaalweg te Markelo

Opdrachtnummer: 23ZP0166

**Rapport betreffende**  
Rapportage installatie meetsysteem

**Documentnummer**  
23ZP0166-RG-01

**Versie**  
1.0

**Datum rapport**  
26 juni 2023

**Opdrachtgever**  
Deltares  
Postbus 177  
2600 MH Delft

**Belanghebbende**  
Rijkswaterstaat  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht

**Opgesteld door:**  
Ing. H.A.M. Bardeel



## INHOUDSOPGAVE

<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>1</b>
<b>2. WERKZAAMHEDEN</b> .....	<b>1</b>
2.1 Machinale boring .....	1
2.2 Installeren waterspanningsmeters.....	1
2.3 Metingen oppervlaktewater .....	1

**BIJLAGEN:**

- A Situatietekening
- B Installatietekening
- C Fotobijlage
  - o Ontluchten waterspanningsmeters
  - o Installatie meetsysteem
- D Boorstaat
- E Revisie meetsysteem
- F Verklaring codering

**VERSIE**

1.0 Rapportage

**VERZENDLIJST:**

- Per mail aan Deltares te Delft t.a.v. Dhr. H. Landwehr (hans.landwehr@deltares.nl)
- Per mail aan Rijkswaterstaat t.a.v. Dhr. R. van de Kamp (renger.vande.kamp@rws.nl)

## **1. INLEIDING**

Ten behoeve van het project “Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de Kanaalweg te Markelo” is door ons bureau op verzoek van Deltares uit Delft een geotechnisch onderzoek verricht, is een monitoringssysteem geïnstalleerd en zijn waterspanning- en oppervlaktewaterstand metingen uitgevoerd.

Voorliggend rapport bevat een beschrijving van het onderzoek, de meetresultaten worden separaat in CSV formaat verstrekt. De locatie van het uitgevoerde onderzoek is weergegeven onder bijlage A.

## **2. WERKZAAMHEDEN**

### **2.1 Machinale boring**

Ter plaatse van de projectlocatie is als eerste een machinale boring uitgevoerd waarna de boorbeschrijving direct is doorgestuurd naar de opdrachtgever om de definitieve dieptes van de aan te brengen waterspanningsmeters te bepalen.

Voor het profiel van de boring wordt verwezen naar bijlage D. Voor een verklaring van de op de tekening en de boorprofiel gebruikte tekens wordt verwezen naar de “Verklaring Codering” die onder bijlage F aan dit rapport is toegevoegd.

### **2.2 Installeren waterspanningsmeters**

Op 25 en 26 april 2023 zijn door ons bureau een 8-tal waterspanningsmeters aangebracht. Drie waterspanningsmeter zijn geplaatst aan de landzijde van de damwand en aan de waterzijde van de damwand zijn een 5-tal waterspanningsmeters aangebracht. De waterspanningsmeters zijn machinaal op diepte gedrukt met behulp van een geoprobe boorstelling tot op een door de opdrachtgever aangegeven installatiediepte. Voor installatie zijn de waterspanningsmeters gecontroleerd op een juiste werking en ontlucht (zie foto's onder bijlage C). Onder bijlage B is een installatietekening opgenomen waarin de meetopzet is gevisualiseerd. Alle sensoren zijn verbonden met een datalogger waarmee gedurende de periode 26-04 t/m 22-05-2023 met een meetinterval van 1 maal per 10 seconden de waterspanning is gemeten. Tijdens de metingen konden de meetdata real-time online worden gevolgd.

### **2.3 Metingen oppervlaktewater**

Om de waterstand in het kanaal te kunnen meten is een druksensor aan de damwand ca. 1 m onder het waterpeil bevestigd.

Onder bijlage E is de revisietabel opgenomen van het geïnstalleerde meetsysteem.



## **BIJLAGE A**



0 10 20 30 40 m



Opdrachtomschrijving / locatie:

**Meten waterspanningen in kanaalbodem aan de  
Kanaalweg te Markelo**



Bewerkt: MSS

Datum: 26 juni 2023

Omschrijving tekening:

**Situatietekening onderzoekslocatie**

Schaal: 1:1.500

Formaat: A4

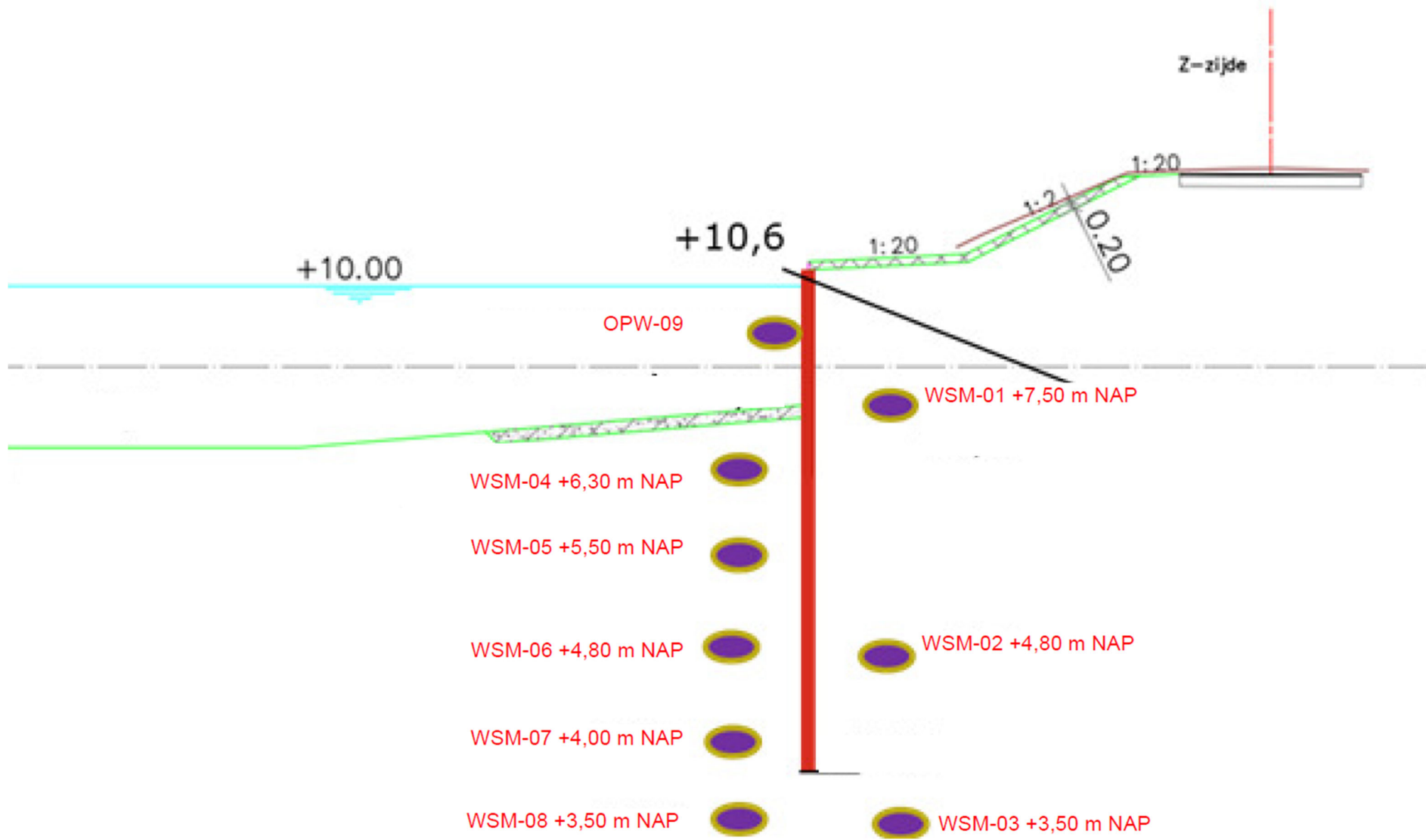
Opdrachtnummer: 23ZP0166

Bijlage: SIT-01



## **BIJLAGE B**

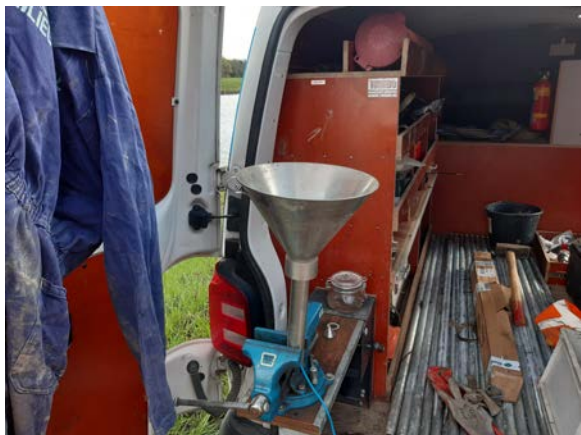






**SOCOTEC**

## **BIJLAGE C**



F001



F002



F003



F004



F005



F006



F007



F001; uitvoeren machinale boring



F002; installeren waterspanningsmeters



F003; installeren waterspanningsmeters



F004



F005; eindafwerking



F006; eindafwerking



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE D**

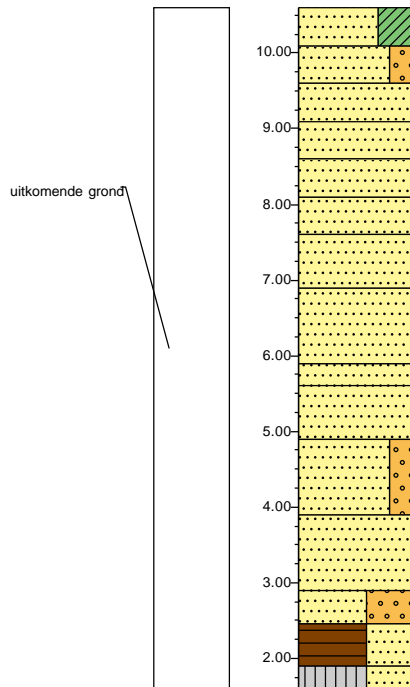


**Boring:** B001  
 Uitvoering op: 24-4-2023  
 Uitvoering door: dwz

**Boornorm:** NEN-EN-ISO 22475-1

**Identificatie conform NEN-EN-ISO 14688-1**

x-coördinaat [m RD]: 238949,55  
 y-coördinaat [m RD]: 472062,55  
 Referentiehoogte [m]: 10.6 . N.A.P.  
 Reden boring gestopt: Einddoel



0.00	braak
▲ 0.50	Zand middelgrof 200-630, kleiig, sterk organisch, met grind, subrond, bolvormig, weinig plantenresten, standaard zwartbruin, QM5
1.00	Zand middelgrof 200-630, zwak grindig, zwak organisch, subrond, bolvormig, resten wortels, lichtgrijs, QM5
1.50	Zand middelgrof 200-630, zwak organisch, subrond, bolvormig, volledig wortels, standaardgrijs, QM5
2.00	Zand middelgrof 200-630, subrond, bolvormig, licht grijsbruin, QM5
2.50	Zand middelgrof 200-630, subrond, bolvormig, licht geelgrijs, QM5
3.00	Zand middelgrof 200-630, subrond, bolvormig, standaardgrijs, QM5
3.70	Zand middelgrof 200-630, subrond, bolvormig, standaardgrijs, QM5
	Zand grof 630-2000, lichtgrijs, QM5
4.70	Zand middelgrof 200-630, sterk organisch, subrond, bolvormig, standaardgrijs, QM5
5.00	Zand middelgrof 200-630, sterk organisch, subrond, bolvormig, standaardgrijs, QM5
5.70	Zand grof 630-2000, zwak grindig, subrond, bolvormig, lichtgrijs, QM5
6.70	Zand middelgrof 200-630, subrond, bolvormig, lichtgrijs, QM5
7.70	Zand middelgrof 200-300, sterk grindig, subrond, bolvormig, lichtgrijs, QM5
▲ 8.15	Veen, slap, sterk zandig, grofvezelig, veel plantenresten, donkerbruin, QM5
▲ 8.70	
▲ 9.00	Silt, slap, sterk zandig, sterk plastisch, veel plantenresten, standaard bruingrijs, QM5



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE E**





## BIJLAGE F

## LEGENDA TEKENINGEN EN VERKLARING AFKORTINGEN

### SONDERING

▼	D	Sondering zonder kleefmeting
	DKM	Sondering met kleefmeting
	DKMP	Sondering met kleef- en waterspanningsmeting
	DM	Mechanische sondering
	DKMS	Seismische sondering met kleefmeting
	DKMPS	Seismische sondering met kleef- en waterspanningsmeting
	DMa	Magnetometer sondering
	Ma	Magnetometer (zonder conusweerstand)
	DB	Bolsondering
	DT	T-bar sondering
	FVT	Field vane test
	HPT	Hydraulic profiling tool
	DS	Slagsondering
	HM	Handsondering
	SPT	Standaard penetratie test
	DKM-EC	Geleidbaarheidssondering met kleefmeting
	DKMP-EC	Geleidbaarheidssondering met kleef- en waterspanningsmeting




▽ Niet uitgevoerd      ▼ fase 2      ▼ fase 3      ▼ fase 4

### BORING













●	HB	Handboring
	B	Mechanische boring

○ Niet uitgevoerd





### PEILBUIS

	Bpb	Mechanische boring met peilbuis
	HBpb	Handboring met peilbuis
	PB	Gedrukte peilbuis

### MONITORING

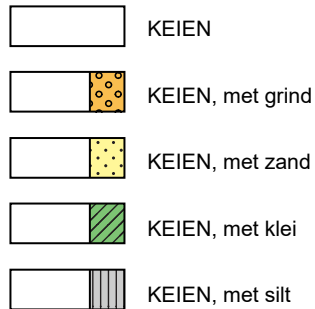
	WSM	Waterspanningsmeter
	IMB	Inclinometerbuis
	IMS	Inclinometer SAAF
	ZB	Zakbaak
	DFB	Deformatiebout
	SCM	Scheurmeter
	EXM	Extensometer
	TM	Tiltmeter
	TRM	Trillingmeter
	PDPs	Plaatdrukproef (statisch)
	PDPd	Plaatdrukproef (dynamisch)
	PP	Pompput
	PRP	Proefgat
	PRS	Proefsleuf

### ALGEMEEN

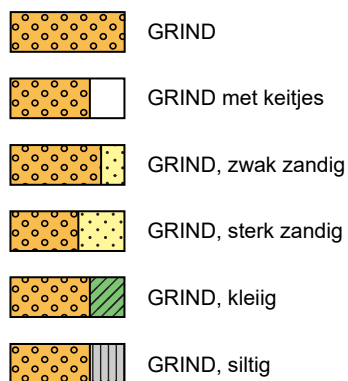
	Meetpunt: brug, dorpel, kolk, meetbout, put, weg, water
	Foto
	Bestaande bebouwing
	0-Punt lokaal assenstelsel

## LEGENDA BOORPROFIELEN (conform NEN-EN-ISO 14688-1)

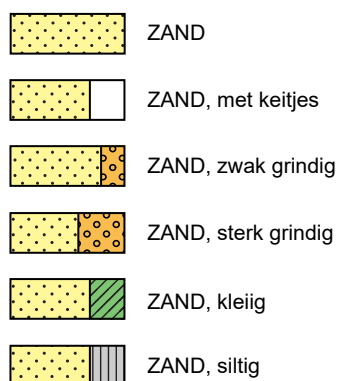
### KEIEN / KEITJES



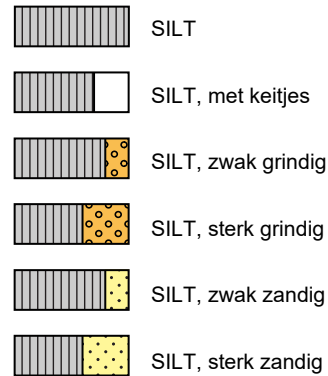
### GRIND



### ZAND



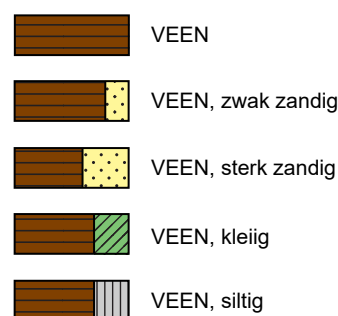
### SILT



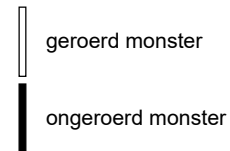
### KLEI



### VEEN / HUMUS / DETRITUS



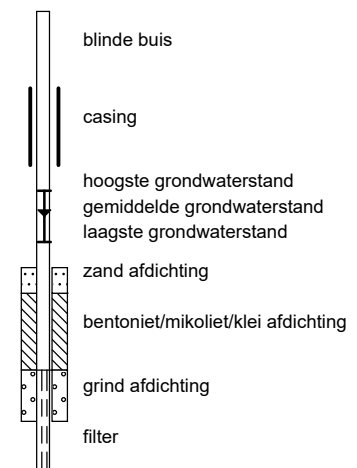
### MONSTERS



### KWALITEIT MONSTER

- M1 = ●geroerd monster is geheel Intact Inclusief spanningstoestand
- M2 = ●geroerd monster geheel Intact
- M3 = ●geroerd monster intact maar monsterverstoring zichtbaar
- M4 = ●monster is ernstig verstoerd
- M5 = ●monster is geroerd

### PEILBUIS



### OVERIG

- ▲ Bijzonder bestanddeel
- ◀ Gemiddeld hoogste grondwaterstand
- ≍ grondwaterstand
- ◆ Gemiddeld laagste grondwaterstand



Voor meer informatie zie: [www.socotec.nl](http://www.socotec.nl)

## **SOCOTEC NEDERLAND SPECIALIST IN:**

### **Geotechniek en milieu-expertise**

Grondonderzoek

Geotechnisch laboratoriumonderzoek

Geotechnisch- en geohydrologisch advies

Bouwplaats- en grondwater monitoring

Waterveiligheid

Uitvoeringsbegeleiding

Milieutechniek

### **Risicobeheer, verzekering en inspecties**

Claims

Controle van de omgeving

Risicoanalyses

Waardebepalingen

### **Gebouw veiligheid & duurzaamheid**

Binnenklimaat

Drinkwaterveiligheid

Gebouw- en techniekinspecties

Gebouwprestatie

Gebouwinformatie

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](http://www.deltares.nl)