

Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord



Auteur: Acacia Water en Vrije Universiteit

**Achtergrondrapport van de Verkenning water Groot Mijdrecht Noord
September 2008**

Voorwoord

Het voorliggende rapport maakt deel uit van een serie (water)technische onderzoeksrapporten bij het rapport "Verkenning water Groot Mijdrecht Noord tweede fase". Deze rapporten zijn gemaakt voor het project Verkenning Groot Mijdrecht Noord dat is getrokken door de provincie Utrecht en is uitgevoerd samen met het Hoogheemraadschap Amstel Gooi en Vecht en de gemeente De Ronde Venen.

De achtergrondrapporten zijn door onderzoeksbureaus opgesteld in opdracht van waterschap en provincie. Alle beschikbare technische achtergrondrapporten die gemaakt zijn voor de het project Groot-Mijdrecht Noord zijn:

Titel rapport:	Auteur:
<i>Voorverkenning Wateropgave De Ronde Venen</i>	<i>Provincie Utrecht en AGV</i>
Grondwateronderzoek Voorverkenning Wateropgave De Ronde Venen Maaiveld daling in de veenpolders van De Ronde Venen	WL Delft hydraulics TNO Bouw en ondergrond
<i>Verkenning Water Groot-Mijdrecht Noord</i>	<i>Provincie Utrecht en AGV</i>
Grondwateronderzoek Verkenning Water Groot Mijdrecht Noord Bouwstenen voor strategieën voor polder Groot Mijdrecht Noord Effect kwelschem Groot Mijdrecht op bodemdaling Functiecombinatie natuur en water Groot Mijdrecht Noord	WL Delft hydraulics Grontmij TNO Bouw en ondergrond Witteveen en Bos, B-ware, Universiteit Utrecht, Instituut voor milieuvraagstukken GeoDelft TNO Bouw en ondergrond
Invloed peilverhoging op waterkeringen rondom Groot Mijdrecht Stabiliteit water- en landbodems in Groot Mijdrecht	
<i>Aanvullingen Verkenning Water Groot-Mijdrecht Noord</i>	
Beschrijving grondwatermodel Groot Mijdrecht Kwaliteitscontrole grondwatermodel Water- en stoffenbalansen van de droogmakerijen in De Ronde Venen Waterkwaliteitsgegevens in de De Ronde Venen	WL Delft hydraulics TNO Bouw en ondergrond Provincie Utrecht en AGV Provincie Utrecht en AGV
<i>Verkenning Water Groot-Mijdrecht Noord tweede fase</i>	
Beschrijving aangepast grondwatermodel Groot-Mijdrecht	Royal Haskoning, WL Delft hydraulics, Acacia Water
Grondwateronderzoek Verkenning Water Groot Mijdrecht Noord tweede fase	Royal Haskoning, WL Delft hydraulics, Acacia Water
Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord Maaiveld daling en drooglegging in Groot Mijdrecht nu en in de toekomst	Acacia Water Alterra

Colofon

Titel	Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord
Auteur:	Jouke Velstra, Remko van Diepen, Merel Hoogmoed, Koos Groen, Michel Groen.
Datum:	September 2008
Rapportnummer:	282

Documenttitel	Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht
Status	Definitief rapport
Datum	25/9/2008
Projectnaam	Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht
Projectnummer	282
Opdrachtgever	Provincie Utrecht
Referentie	-



Auteur(s) Jouke Velstra, Remko van Diepen, Merel
Hoogmoed, Koos Groen, Michel Groen

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
2 Verloop van dichtheid van het grondwater met de diepte.....	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Methodologie.....	2
2.2.1 VES metingen.....	2
2.2.2 Meetmethoden gebruikt voor verificatie, aanvulling en verbetering verdeling zoutgehalte grondwater op basis van VES metingen	3
2.3 Uitwerking en interpretatie van de resultaten	8
2.3.1 Eerste beeld van de grensvlakken op basis van VES metingen	8
2.3.2 Verificatie, aanvulling en verbetering verdeling zoutgehalte grondwater 10	
2.4 Verloop van de zoutgehalten en de ligging van de grensvlakken	19
2.5 Conclusies	20
3 Aanvullende metingen op perceelsniveau (wellen en sloten)	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Meetmethoden	21
3.3 Uitwerking en interpretatie resultaten.....	24
3.3.1 Locatie 4/5 (zoute wel).....	24
3.3.2 Locatie 7 (zoete wel)	27
3.3.3 Locatie 6 (zoete sloot)	30
3.4 Conclusies	32
4 Locaties van de wellen.....	33
4.1 Inleiding	33
4.2 Meetmethoden en aanpak.....	33
4.2.1 Lokaliseren wellen d.m.v. thermografische luchtfoto's	33
4.2.2 Chloride concentratie van het oppervlaktewater.....	34
4.3 Resultaten	35
4.3.1 Lokaliseren wellen met thermografische luchtfoto's	35
4.3.2 Chloride concentraties van het oppervlaktewater	36
4.4 Uitwerking en interpretatie resultaten.....	39
4.5 Betekenis voor de wellenregel in het grondwatermodel.....	43
4.6 Conclusies en aanbevelingen	45
4.6.1 Conclusies.....	45
4.6.2 Aanbevelingen.....	46

5 Aard en grootte van de (k)welstromen	47
5.1 Inleiding	47
5.2 Meetmethode en aanpak.....	47
5.3 Resultaten	52
5.4 Discussie resultaten	56
5.5 Hypthese over de aard en grootte van de (k)welstromen	60
5.6 Betekenis voor de wellenregel in het grondwatermodel.....	63
5.7 Conclusies en aanbevelingen	65
5.7.1 Conclusies.....	65
5.7.2 Aanbevelingen.....	65
6 Freatische grondwaterstanden en stijghoogten in en onder het Holocene pakket	67
6.1 Inleiding	67
6.2 Ruimtelijke variatie van freatische grondwaterstanden	67
6.2.1 Aanpak.....	67
6.2.2 Resultaten	68
6.2.3 Interpretatie.....	69
6.3 Verloop van de stijghoogten in en onder het Holocene pakket	70
6.3.1 Aanpak.....	70
6.3.2 Interpretatie resultaten	72
7 Referenties	74

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

Polder Groot Mijdrecht is een diepe droogmakerij ten westen van de Vinkeveense Plassen. De polder ligt in de provincie Utrecht in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) en in de gemeente de Ronde Venen. De polder kent een aantal waterproblemen. Deze problemen betreffen de zoute kwel, bodemstabiliteit (o.a. wellen), bodemdaling en het tekort aan waterbergend vermogen. De provincie Utrecht is, samen met Waternet, in het gebied van Groot Mijdrecht al enige jaren bezig een verkenning uit te voeren naar de toekomst van deze droogmakerij. In het kader van deze verkenning zijn een aantal strategieën opgesteld en uitgewerkt. Voor de vergelijking van de strategieën is onder meer een grondwatermodel opgesteld waarmee effecten van de strategieën op het grondwatersysteem van Polder Groot Mijdrecht en omgeving inzichtelijk zijn gemaakt.

In 2007 is besloten een onafhankelijke commissie in te stellen ("commissie Remkes") om de juistheid en de volledigheid van de tot dan toe verrichte studies te onderzoeken. De commissie heeft eind januari 2008 haar verslag aan de provincie aangeboden en aan de plaatselijke bevolking gepresenteerd. De Commissie geeft als aanbevelingen:

1. Opstellen van een beter grondwatermodel dat beter aansluit bij de praktijk en die ook rekening houden met de dichtheidsverschillen van zoet en brak water.
2. Nader onderzoek van de (lokalisering van) wellen in relatie tot stabiliteit van de bodem en optreden van hoge kwelfluxen.
3. Alles afwegend komt de Commissie tot de slotsom dat de implementatie van strategieën die niet sterk afwijken van de huidige situatie redelijk met het huidige grondwatermodel kunnen worden berekend

In april 2008 is een consortium van Royal Haskoning, Deltares en Acacia Water van start gegaan met het project "Grondwateronderzoek polder Groot Mijdrecht". Doelstelling van het project is het eerdere modelonderzoek op de door de commissie Remkes eerste twee voorgenoemde punten te verbeteren. Een deel van deze verbeteringen dient aan de hand van veldwaarnemingen te worden verwezenlijkt. De provincie Utrecht heeft Acacia Water opdracht gegeven voor het uitvoeren van het "Aanvullend veldonderzoek in Groot Mijdrecht". Het veldonderzoek is uitgevoerd parallel aan het "Grondwateronderzoek polder Groot Mijdrecht".

Op basis van de aanbevelingen van de commissie Remkes en gewenste verbeterpunten ten aanzien van het grondwatermodel zijn binnen het veldonderzoek de volgende deelonderzoeken geformuleerd:

- Het verloop van dichtheid van het grondwater met de diepte
- Locaties van wellen
- Aard en grootte van de (k)welstromen (regionaal en lokaal)
- De freatische grondwaterstanden en stijghoogten in en onder het Holocene pakket

2 VERLOOP VAN DICHTHEID VAN HET GRONDWATER MET DE DIEPTE

2.1 Inleiding

Een van de aanbevelingen van de commissie Remkes betreft de invloed van de dichtheid van het grondwater op de stroming ervan. In het grondwatermodel dat wordt toegepast binnen "Grondwateronderzoek polder Groot Mijdrecht" wordt rekening gehouden met verschillende dichtheden van het grondwater en (mogelijke) veranderingen daarin. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een aangepaste versie MODFLOW, SWI-model (zie modelbeschrijving, Beschrijving aangepast grondwatermodel Groot-Mijdrecht (2008) voor een nadere uitleg).

De dichtheid van het grondwater in Groot Mijdrecht en omgeving is gerelateerd aan het zoutgehalte. Een hoger zoutgehalte geeft een hogere dichtheid van het grondwater. Het SWI-model maakt gebruik van grensvlakken, vlakken met hetzelfde zoutgehalte, en vertaald dit zelf naar een dichtheid van het grondwater. Voor het model is de initiële ligging van deze grensvlakken een belangrijke beginvoorwaarde voor de modelberekeningen en berekeningen van de strategieën.

Doel van het onderzoek is een zo goed mogelijk inzicht te krijgen in de huidige ligging van de grensvlakken en daarnaast in de zoet-zout (zoutgehalte) verdeling van het grondwater en het grondwatersysteem in de huidige situatie.

2.2 Methodologie

Om inzicht te krijgen in het verloop van de zoutgehalten en de ligging van de grensvlakken is zoveel mogelijk uitgegaan bestaande gegevens (o.a. geofysica metingen en waterkwaliteitsanalyses). Het eerste beeld dat hieruit is ontstaan is vervolgens met aanvullende veldmetingen (chloridemetingen, geofysica en sonderingen) aangevuld, geverifieerd en verbeterd. In de volgende paragrafen worden elk van de toegepaste meetmethoden kort toegelicht.

2.2.1 VES metingen

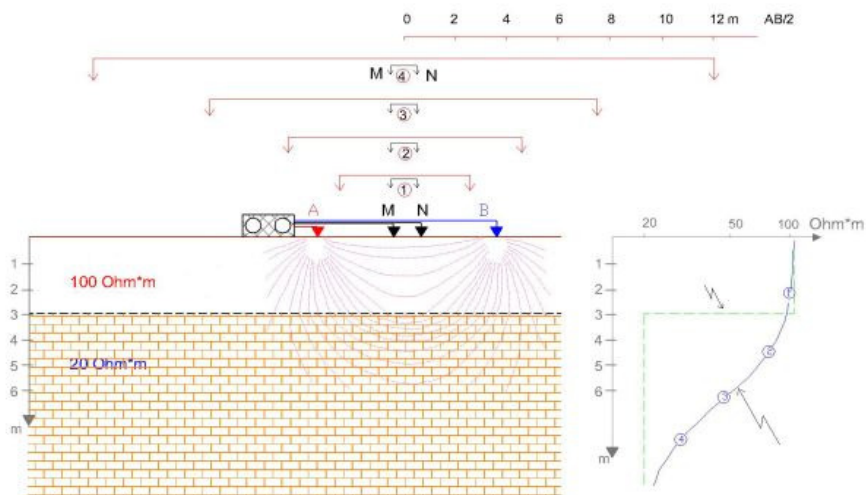
Voor het ontwikkelen van grensvlakken is gebruik gemaakt van bestaande VES metingen. Deze metingen vormen een belangrijke basis voor het ontwikkelde beeld van de grensvlakken en de meetmethode wordt om die reden hieronder kort toegelicht.

VES staat voor Vertical Electrical Sounding. Volgens deze methode wordt op 1 punt de schijnbare weerstanden berekend van de ondergrond bij toenemende onderlinge afstand van de stroomelektroden (zie figuur 2.1). De schijnbare weerstand is een soort bulk weerstand van de ondergrond. Bij het toenemen van de afstand geeft de schijnbare weerstand informatie over de weerstand op steeds grotere diepte. Deze meetparen van weerstand versus afstand ($1/2 AB$) zijn geïnterpreteerd met behulp van de daarvoor ontwikkelde software. De interpretatie leidt tot een verticaal lagenmodel van de formatieweerstanden.

De formatieweerstand geeft de weerstand weer van de ondergrond en het poriewater. In algemeen geldt dat een lage weerstand overeenkomt met ofwel klei/veen, zout poriewater of een combinatie. Een hoge weerstand komt overeen

met zand, zoet water of een combinatie. Zand met zout poriewater geeft dus een lagere weerstand dan zand met zoet water.

Door toepassing van Archie Law over de relatie tussen formatie- en waterweerstand en toepassing van een empirische relatie tussen waterweerstand en chloridegehalte kan uit de formatieweerstand een indicatie worden gegeven over het chloridegehalte van het grondwater in de zandpakketten. Een uitgebreide uitleg hierover is opgenomen in paragraaf 2.2.2.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de meetopstelling van een VES (links) en de resulterende interpretatie in een lagenmodel (rechts) (bron http://www.georesearch.ro/geofizica_en.html).

2.2.2 Meetmethoden gebruikt voor verificatie, aanvulling en verbetering verdeling zoutgehalte grondwater op basis van VES metingen

Op basis van de VES metingen is de ligging van grensvlakken bepaald. Voor de aanvulling, verificatie en verbetering van deze grensvlakken is gebruik gemaakt van de volgende informatie:

1. Chloridemetingen grondwater
2. CVES
3. TDEM
4. Diepe sonderingen

Voor chloridemetingen van het grondwater betreft het informatie verkregen uit bestaande gegevens (o.a. DINO databank). De andere betreffen meetinformatie die binnen het aanvullend veldonderzoek zijn verkregen. Deze veldmetingen worden in dit hoofdstuk behandeld. In de volgende paragrafen worden de in dit onderzoek toegepaste meetmethodes nader toegelicht.

CVES

Waar een VES metingen informatie geeft over de opbouw op 1 punt (dus 1 dimensionaal) is het met een CVES mogelijk om een 2 dimensionaal beeld te maken. Aan de hand van de gemeten weerstanden kan een interpretatie gemaakt worden van de verdeling van zoet en zout grondwater in de ondergrond. Lastiger is het om uit de weerstanden ook de lithologieën te onderscheiden.

Met een CVES worden aan de hand van een 64 tal elektroden een 2 dimensionaal (elektrisch) weerstands beeld gemaakt van de ondergrond. Met steeds 2 electrode paren in vooraf te kiezen configuraties wordt, met behulp van de wet van Ohm, de weerstand gemeten. De resolutie en penetratie diepte zijn afhankelijk van de gekozen profiel lengte en de daarmee vast gelegde elektrode afstand. Er kan gekozen worden voor verschillende configuraties, hier is voor de diepe metingen gekozen voor de Wenner configuratie (ca. 450 metingen per profiel, lagere resolutie, maar met een groter dieptebereik) en voor de ondiepe metingen is gekozen voor een hogere resolutie: de Schlumberger configuratie (ca. 750 metingen).

Het gebruikte instrument is een ABEM SAS 4000 in combinatie van het LUND systeem van ABEM. De gebruikte inversie software is RES2DINV van Geotomo Software.



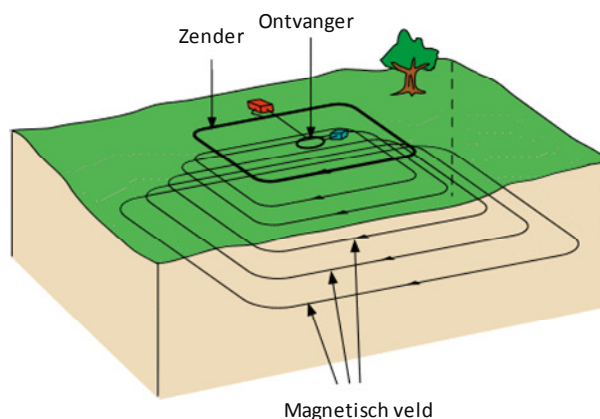
Figuur 2.2 Voorbeeld van een CVES opstelling. In dit geval op gemeten langs de Middentocht ten westen van de Hoofdtocht.

TDEM

Net als een VES meting wordt met een TDEM meting een 1 dimensionaal beeld gegeven van de ondergrond. Het verschil met een VES is dat niet de formatieweerstand wordt gemeten maar de formatie geleidbaarheid die bij interpretatie wordt terugvertaald naar een weerstand. Het voordeel van TDEM is dat het een betere resolutie geeft dan VES met de diepere overgangen van weerstand (of geleidbaarheid) van geleidende lagen, zoals brak en zout grondwater.

De TDEM methode maakt net als andere EM (Electro Magnetische) methoden gebruik van inductiestromen die worden opgewekt in de ondergrond door een veranderend electromagnetisch veld. In dit geval is het veranderende EM veld het gevolg van het plotseling stoppen van een gelijkstroom in een zenderspoel, die op de grond ligt (5 tot 50 m diameter). Bij het stoppen van de stroom stopt ook het primaire magnetisch veld dat bij die stroom hoort en loodrecht op de bodem staat (neemt dus heel snel af). Dit wekt een ringvormige inductiestroom op in de ondergrond net onder de spoel. Die inductiestroom wekt een secundair EM veld op, dat wordt gemeten in een ontvanger spoel, die in de zenderspoel ligt (1 tot 10 diameter). Die secundaire stroom en EM veld sterft langzaam uit. Je meetcurve is dus een meetparameter (voltage in de ontvanger) die afneemt in de tijd. Gedurende dat afsterven blijft de geïnduceerde stroom niet op zijn plek. De inductiestroom verplaatst zich steeds dieper in de ondergrond en straalt tegelijkertijd naar buiten uit ("smoke rings"). Dus het verloop van het meetsignaal zegt iets over het verloop van de geleidbaarheid in de ondergrond. Net als met een VES wordt het meetsignaal geïnterpreteerd door curve fitting met theoretische curves behorende bij bepaalde lagenmodellen.

Het gebruikte instrument is een ZONGE GDP-2 ontvanger en een NT20 zender. De inversie software is TEMIX van Interpex.



Figuur 2.3. Schematische weergave van een TDEM opstelling.

Diepe sonderingen

Bij het maken van een sondering wordt een sonderconus (zie figuur 2.4) met standaard afmetingen de grond ingedrukt. Gemeten wordt hierbij de weerstand van de ondergrond tegen indringing van de conuspunt. Bij de meeste sonderingen wordt tevens de kleef gemeten. Met de combinatie van kleef en conusweerstand kan nauwkeurig de bodemopbouw ter plaatse van de meetlocatie worden bepaald. De sonderconus zal minder kracht nodig hebben om door klei of veen te drukken (lage conusweerstand) dan die het nodig heeft om door zand te drukken (hoge conusweerstand).

De diepte die kan worden bereikt is niet met zekerheid te bepalen. Op een geleidbaarheidsconus kan niet de maximale druk worden uitgeoefend. In het veldonderzoek is een diepte van 40 m tot 60m bereikt.

Naast sonderingen met conusweerstand en kleef is in dit onderzoek gebruik gemaakt van een conus die de geleidbaarheid en temperatuur kan meten. Uit de gemeten formatiegeleidbaarheden en de conus- en wrijvingsweerstand van de geleidbaarheidssondering kan het zoutgehalte worden bepaald door conversie toe te passen met behulp van een aantal empirische relaties. De conversies worden in een aantal stappen uitgevoerd.

Eerst dienen de formatiegeleidbaarheid te worden geconverteerd naar een standaardtemperatuur van 20 °C met behulp van de hier gemodificeerde relatie van Jorgensen (1989):

$$(2.1) \quad \sigma_{f20} = \sigma_f \frac{75}{1.8T + 39}$$

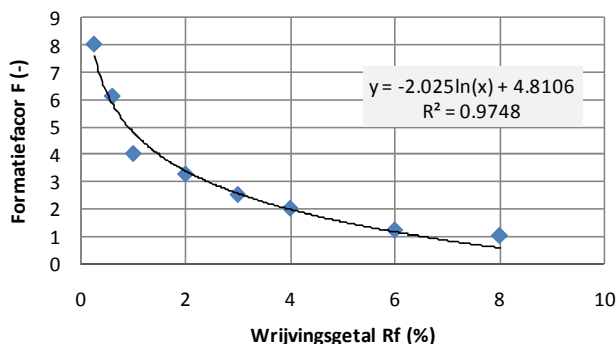
waar σ_{f20} de standaard formatiegeleidbaarheid bij 20 °C, σ_f de gemeten formatiegeleidbaarheid en T de temperatuur is. De temperatuur op elke diepte kan worden afgeleid uit waarnemingen of de geometrische gradiënt en de gemiddelde jaartemperatuur aan het oppervlak. Maar de metingen met de geleidbaarheidssonde bereiken een diepte tot maximaal 60m –mv waardoor de geothermische gradiënt klein zal zijn. Daarom is wordt een temperatuur (T) van 13 °C aangenomen voor alle metingen.

De formatiegeleidbaarheid σ_{f20} moet worden omgezet naar een watergeleidbaarheid σ_w met behulp van de formatiefactor F op basis van de volgende relatie:

$$(2.2) \quad \sigma_w = \sigma_{f20} * F$$

De formatiefactor kan worden ontleend uit het dimensieloze wrijvingsgetal R_f die gelijk is aan de ratio van het met de sondering gemeten wrijvingsweerstand en de gemeten conusweerstand in %. De R_f wordt meestal direct in de sondeergrafiek weergegeven. Om de formatiefactor te kunnen bepalen hebben we een empirische relatie afgeleid uit de metingen van Meerburg, Wolfs & Boekelman (1998):

$$(2.3) \quad F = -2.025 \ln(R_f) + 4.8106$$



Figuur 2.4. Afleiding empirische relatie tussen wrijvingsgetal R_f en de formatiefactor F afgeleid uit de metingen van Meerburg, Wolfs & Boekelman (1998)

De watergeleidbaarheid σ_w in $\mu\text{S}/\text{cm}$ kan vervolgens worden gebruikt om het chloridegehalte in mg/l te herleiden op basis van de empirische relatie van Post (2008), die is gebaseerd op een groot aantal analyses van grondwater in Laag Nederland. Het bicarbonaatgehalte HCO_3 in mg/l speelt hierin ook een rol. De gevonden relatie ziet er als volgt uit:

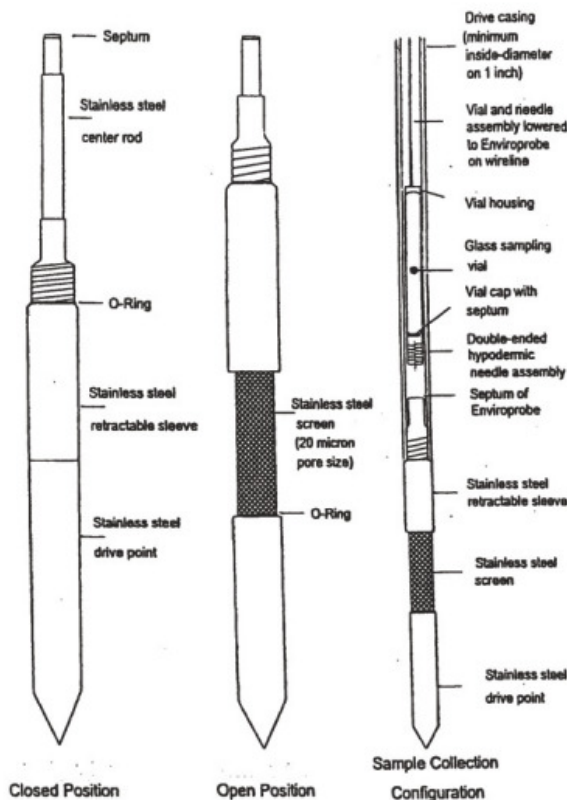
$$(2.4) \quad \sigma_w = 2.91 * 10^2 + 2.71 * Cl - 2.49 * 10^{-5} * Cl^2 + 9.34 * 10^{-1} * \text{HCO}_3$$

Welke met de kwadraatformule omgezet kan worden naar relatie waarmee het chloridegehalte kan worden bepaald:

$$(2.5) \quad Cl = \frac{-2.71 + \sqrt{2.71^2 - (4 * 2.49 * 10^{-5} * (-\sigma_w + 291.81 + 0.93 * \text{HCO}_3))}}{2 * 2.49 * 10^{-5}}$$

De hier beschreven empirische relaties hebben uiteraard beperkingen. Zo geldt voor de relatie 2.5 dat deze toepasbaar is bij een watergeleidbaarheid groter dan $800 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Om een betrouwbare bepaling van de chlorideconcentratie op basis van de geleidbaarheidsmetingen te kunnen doen zijn de bepaalde waarden gecontroleerd met een aantal grondwateranalyses. De grondwatermonsters zijn verkregen met behulp van een zogenaamde BAT sonde in de sondeergaten. Met een BAT sonde wordt een vacuum glazen bemonsteringsbuisje op diepte gebracht en wordt een gaatje geprikt in het membraan waarna het buisje gevuld wordt met het in situ aanwezige grondwater (zie figuur 2.5 voor de werking).

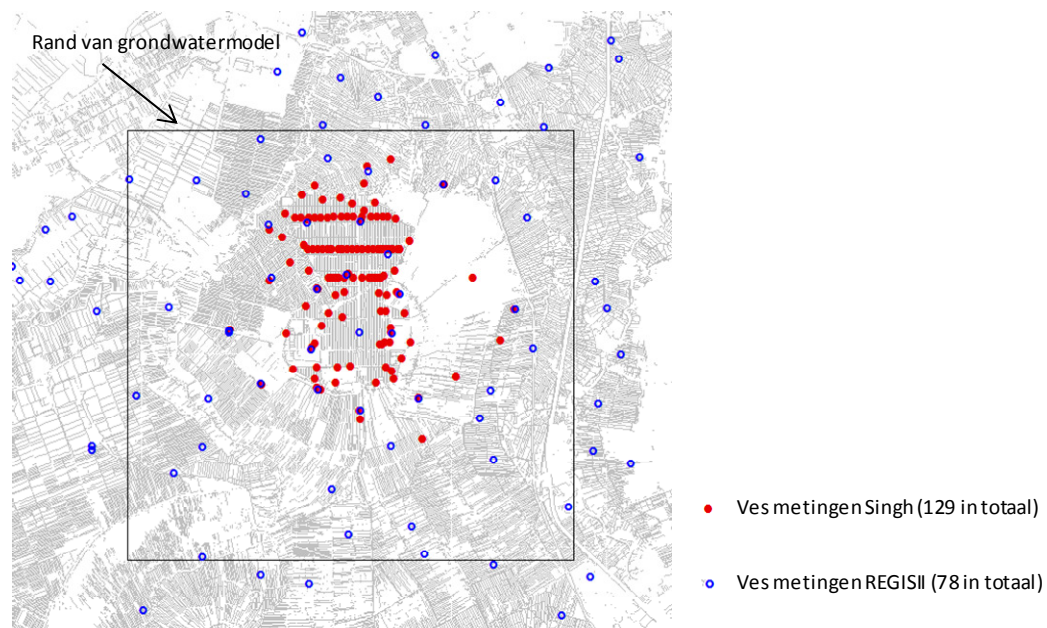


Figuur 2.5. Schematische weergave van de werking van een BAT sonde waarmee watermonsters kunnen worden genomen in een sonderingsgat.

2.3 Uitwerking en interpretatie van de resultaten

2.3.1 Eerste beeld van de grensvlakken op basis van VES metingen

Het MODFLOW-SWI grondwatermodel maakt gebruik van grensvlakken, vlakken met hetzelfde zoutgehalte, als een belangrijk beginvoorwaarde voor berekeningen. Met kennis van de bodemopbouw zijn bestaande VES metingen gebruikt om de ligging van grensvlakken van gelijke zoutgehalten te bepalen binnen het modelgebied. Figuur 2.6 geeft een overzicht van de gebruikte VES metingen. Het betreft een combinatie van de metingen door Singh et.al. (1990) en metingen die beschikbaar zijn in REGISII. De metingen van Singh et.al. waren uitsluitend analoog beschikbaar en zijn binnen het veldonderzoek gedigitaliseerd. In totaal zijn 207 VES metingen gebruikt.



Figuur 2.6 VES metingen gebruikt voor het ontwikkelen van grensvlakken van gelijke zoutgehalten.

Er worden twee grensvlakken onderscheiden. Een grensvlak waaronder de formatieweerstand kleiner is dan 5 Ohmm en een grensvlak waarbij de formatieweerstand 35 Ohmm of groter is.

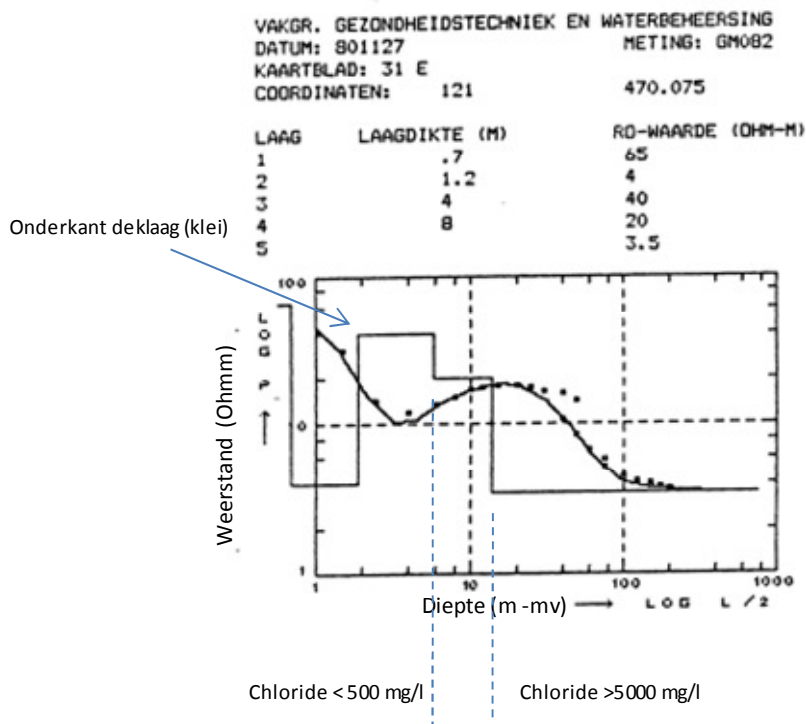
Paragraaf 2.2.2 beschrijft de binnen deze studie toegepaste methodiek om op basis van de geleidbaarheid (o.a. EC) en formatieweerstand te komen tot een chlorideconcentratie. Voor lagen met hoge chloride gehalten ligt de met geofysicametingen bepaalde formatieweerstand rond de 3.0 Ohmm. Een waarde die volgens de methodiek overeenkomt met een chlorideconcentratie van ongeveer 5100 mg/l. Echter vanwege onzekerheden bij de interpretatie van de VES metingen is een waarde van 5 Ohmm als bovengrens aangehouden voor de bepaling van het grensvlak van 5000 mg/l.

Hetzelfde geldt voor het tweede grensvlak. In gebieden met lage chlorideconcentraties heeft een verzadigde zandlaag een formatieweerstand van ongeveer 20 Ohmm. Een waarde die volgens de methodiek van paragraaf 2.2.2 overeenkomt met een chlorideconcentratie van ongeveer 500 mg/l. Vanwege

dezelfde onzekerheden en om mogelijke verwarring met veen en klei (evenals brak water een lagere formatieweerstand) is voor het grensvlak een waarde van 35 Ohmm of hoger aangehouden.

Er is dus voor het eerste grensvlak ervan uitgegaan dat de bovenkant van de laag met een formatieweerstand van 5 Ohmm of kleiner overeenkomt met het chloridegrensvlak van 5000 mg/l. Voor het tweede grensvlak is ervan uitgegaan dat de onderkant van de laag met een weerstand 35 Ohmm of groter overeenkomt met het chloridegrensvlak van 500 mg/l. Deze aanpak sluit overigens aan bij de methodiek die eerder is toegepast door Singh et.al. (1990).

Figuur 2.7 geeft een lagenmodel uit het gebied van Mijdrecht dat de gevolgde methodiek illustreert.



Figuur 2.7. Een geïnterpreteerde VES meting uit Singh (1990). Het betreft een meting in Mijdrecht Zuid met een deklaag van klei. Aangegeven in de grafiek is de vertaling naar grensvlakken van chloride en de onderkant van de deklaag.

Op basis van de VES metingen is een eerste beeld van de grensvlakken van 500 mg/l en 5000 mg/l ontwikkeld. Voor de interpolatie is gebruik gemaakt van de Kriging. Dit eerste beeld bevat nog onregelmatigheden in individuele meetpunten en het verloop van de grensvlakken. Onregelmatigheden van individuele meetpunten worden veroorzaakt door fouten in interpretatie van de VES metingen, ontbreken van meetpunten in bepaalde gebieden, etc. Onregelmatigheden in het verloop van de grensvlakken is een combinatie van de interpolatiemethode, individuele meetpunten en 'witte vlekken' (ontbreken van gegevens).

De eerste stap voor de verbetering van het eerste beeld is controle en eventueel verbetering van individuele VES metingen. Daartoe zijn alle metingen gecontroleerd en in sommige gevallen is besloten de meting niet meer te

gebruiken (bijvoorbeeld bij een slechte kwaliteit meting). Op basis van deze analyse is het aantal meetpunten afkomstig uit de studie van Singh van 129 teruggebracht tot 105, en zijn de punten uit REGIS na analyse teruggebracht van 78 naar 74 meetpunten.

2.3.2 Verificatie, aanvulling en verbetering verdeling zoutgehalte grondwater

Chloridemetingen

Op basis van chloridemetingen is een controle uitgevoerd naar de juistheid van de verkregen ligging van grensvlakken op basis van de VES metingen. De analyses zijn afkomstig uit REGISII, ICW (1974) en de grondwatermonsters in de drie sonderingen in deze studie uitgevoerd later in deze paragraaf besproken. In totaal betreft het 437 analysepunten/filters in gebied van Mijdrecht en omgeving. Voor elk filter is de laatst gemeten waarde gebruikt. De controle gaf geen aanleiding om het ontwikkelde beeld aan te passen. In een aantal observatieputten was het mogelijk om een goede schatting te maken van de diepte van ofwel het 500 mg/l ofwel het 5000 mg/l grensvlak. Deze waarden zijn aan de VES metingen toegevoegd en zijn waardevol in die gebieden waar geen VES metingen zijn uitgevoerd.

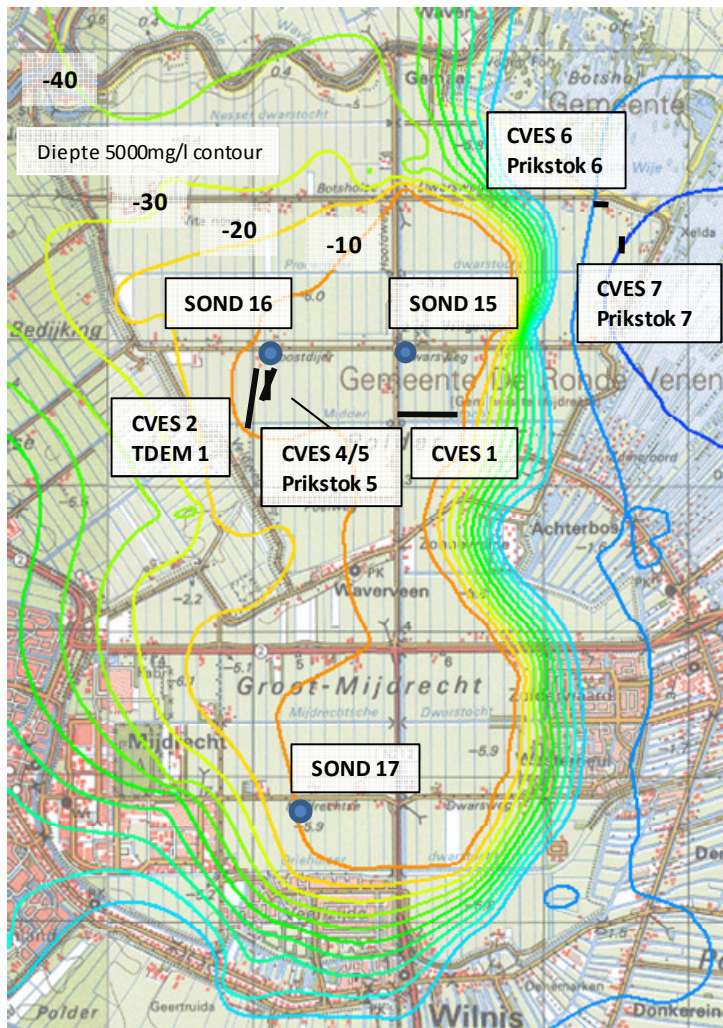
TDEM en CVES

Het tot dan toe ontwikkelde diepte beeld van de grensvlakken en de zoutverdeling in het grondwater is verder geverifieerd aan de hand van aanvullende veldmetingen met TDEM en CVES. Voor alle CVESSEN in de verschillende figuren is dezelfde schaal gebruikt voor weergave van de schijnbare weerstanden.

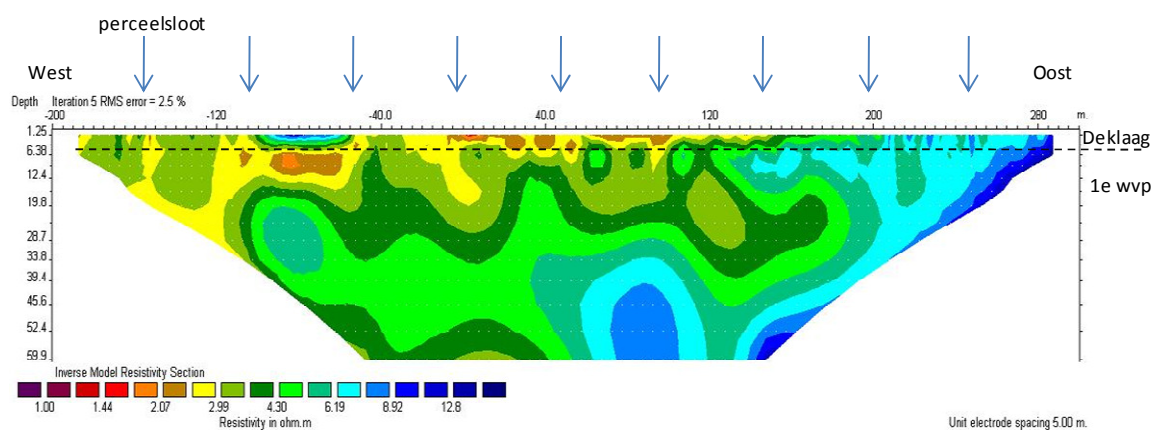
De eerste CVES (CVES1) is uitgevoerd met als doel de overgang van zout naar brak water in beeld te brengen. Figuur 2.9 geeft het geïnterpreteerde beeld van de weerstandsverdeling in de ondergrond. Aangegeven in de figuur zijn tevens de locaties van de perceelsloten en de deklaag. Analooq aan de interpretatie van de VES metingen komt een formatieweerstand kleiner dan 5 Ohmm overeen met een chlorideconcentratie van circa 5000 mg/l of hoger, wat we in deze studie zout water noemen. De hogere waarden tot circa 13 Ohmm komt overeen met brak water.

Aan de oostzijde is goed zichtbaar de overgang van zout naar brak water (overgang van groen naar blauw). In dit gebied is ook een zogenaamde inversie te zien. Dat wil zeggen het voorkomen van zoutwater bovenop brakwater. Eenzelfde inversie is aangetroffen in de VES metingen iets zuidelijker en maakt een vertaling naar een grensvlak lastiger. Er is in dit geval voor gekozen om de zoute waarden aan te houden.

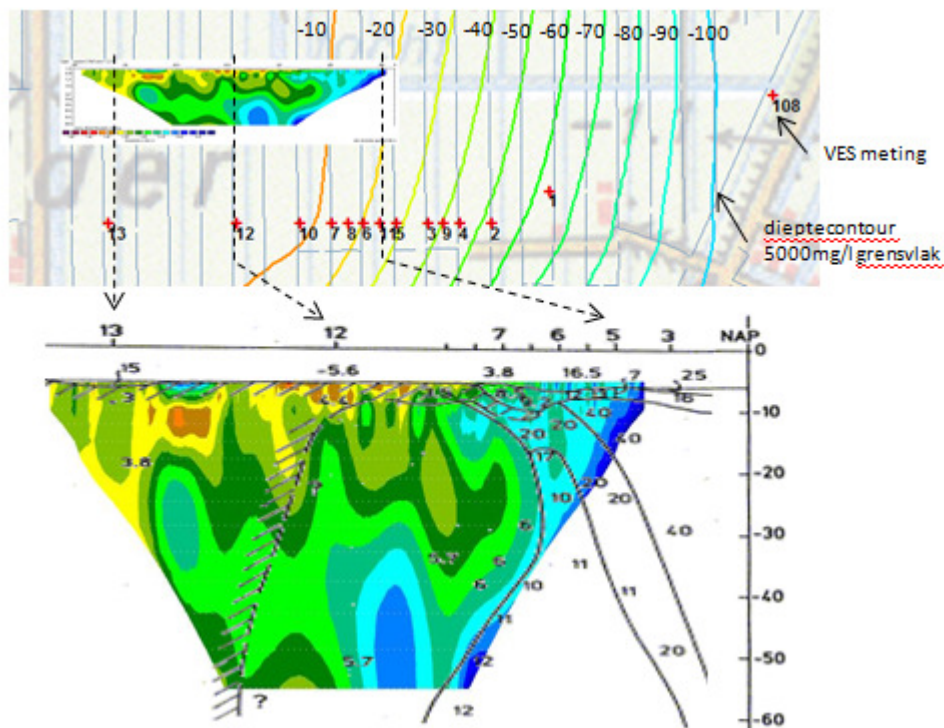
In figuur 2.10 is een dwarsdoorsnede op basis van VES metingen van Singh (1990) gelegd over de geïnterpreteerde CVES meting. Hieruit komt naar voren dat het beeld uit beide interpretaties met elkaar in overeenstemming is. Tevens in de bovenste van de twee figuren is de geïnterpoleerde diepteligging van het 5000 mg/l grensvlak weergegeven. En laat zien dat ook het geïnterpoleerde grensvlak overeen komt.



Figuur 2.8 Diepte countouren 5000 mg Cl⁻/l, locaties van de TDEM, CVES en diepe sonderingen (SOND). De TDEM 1, CVES 1 en CVES 2 betreft diepe metingen met dieptebereik tot ca 60m. CVES 4, 5, 6 en 7 betreft ondiepe metingen met dieptebereik tot ca 7 m over sloten en wellen.

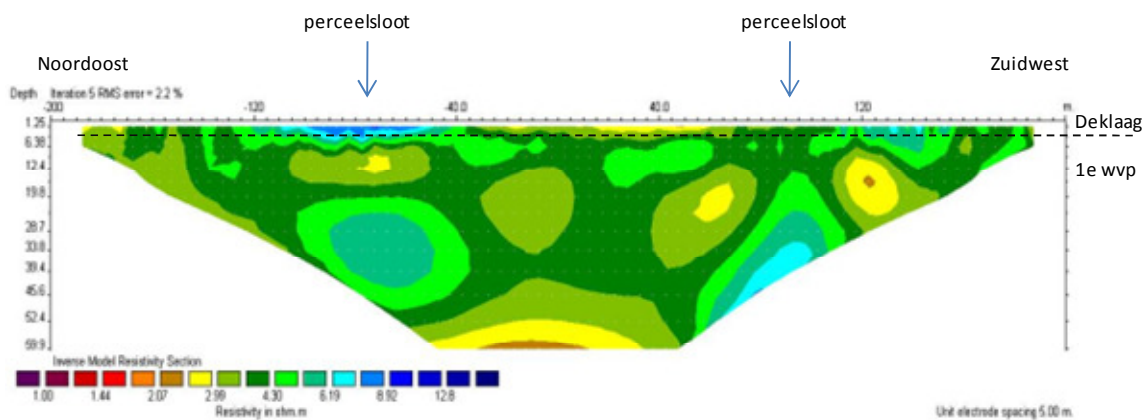


Figuur 2.9. CVES 1 heeft een totale lengte van 500 mtr, langs de Middentocht, ten Oosten van Hoofdtocht, tussen Proostdijerdsdarsweg & Waverveense pad, Noorderlijke percelen. De meting laat aan de oostzijde de overgang van zout naar brak zien. De hogere formatieweerstand zichtbaar in het derde perceel geteld vanaf de westkant kan duiden op een regenwaterlens.

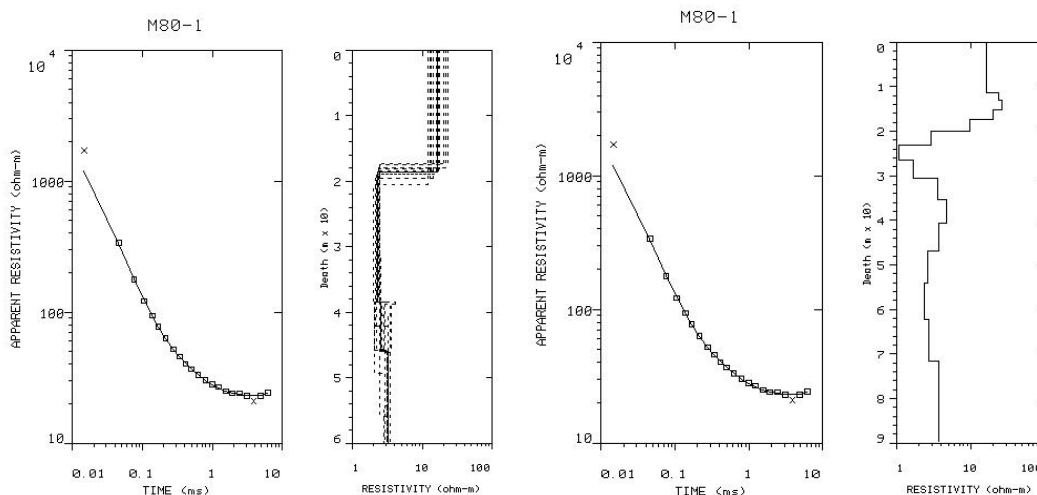


Figuur 2.10. Figuur boven geeft de ligging van de CVES en VES metingen ten opzichte van elkaar. Ook hierin opgenomen is het geïnterpoleerde grensvlak van de 5000 mg/l. De figuur onder geeft de overeenkomst weer tussen de gemeten overgang van zout naar brak in zowel de CVES als VES interpretaties.

De tweede CVES (CVES 2) is uitgevoerd in het deel van Polder Mijdrecht met de hoogste waargenomen chlorideconcentraties en is gecombineerd met een diepe TDEM meting. Doel van deze meting is om de zoutverdeling in de diepte te verifiëren zoals dit uit de VES metingen naar voren komt. Figuur 2.11 geeft het geïnterpreteerde beeld van de weerstandsverdeling in de ondergrond. Aangegeven in de figuur zijn tevens de locaties van de perceelsslots en de deklaag. Analoog aan de interpretatie van de VES metingen komt een formatieweerstand kleiner dan 5 Ohmm overeen met een chlorideconcentratie van circa 5000 mg/l of hoger.



Figuur 2.11 CVES2, lengte 400 mtr, op bij Proostdijerdsdarsweg 9, diagonaal over twee percelen achter de boerderij, vanaf de boerderij gemeten.



Figuur 2.12 TDEM op locatie van CVES 2, laat zout zien (linker plaatje), het signaal wordt in de diepte volledig geabsorbeerd. Een 'loop' van 80 X 80 meter is niet voldoende om dieper te komen dan ca 60 meter met interpreteren. Echter op het rechter plaatje (smooth interpretation) wordt duidelijk dat in de diepte geen signaal van een laag met hoge weerstand te verwachten valt (90 m).

De geïnterpreteerde CVES meting laat een ten opzichte van de VES metingen overeenkomstig beeld zien van dezelfde lage formatieweerstanden (hoge chlorideconcentraties) tot grote diepte. Er is echter ook een variatie in de ondergrond zichtbaar die mogelijk wordt veroorzaakt door toestroming van het grondwater naar de waterlopen. Opmerkelijk is dat het juist hogere waarden van de weerstand zijn onder de sloten waar een lagere waarde zou worden verwacht. Een hogere waarde is verwacht vanwege toestroming van zouter water naar de waterlopen (hogere kwelintensiteit). Of het hier een anomalie in de CVES meting zelf betreft omdat over een sloot heen wordt gemeten kan op dit moment niet worden vastgesteld.

Naast de CVES meting zijn een tweetal TDEM metingen uitgevoerd met een zendspoel op oppervlak van respectievelijk 1600 (40x40) en 6400 (80x80) vierkante meter. Dit zou een penetratie diepte van zeker 100 m moeten kunnen opleveren. Echter is dit afhankelijk van de hoeveelheid zout (lage weerstanden (zout)) absorbeert het signaal.

Figuur 2.12 geeft het geïnterpreteerde laagmodel voor de meting met een spoelafstand van 80 (grootste dieptepenetratie). Door het hoge zoutgehalte is de dieptepenetratie maximaal 60m. Ook hier komt het beeld overeen met de andere metingen en gaat de formatieweerstand naar een waarde < 5 Ohmm (overeenkomend met ca 5000 mg/l). Uit de interpretatie (in het rechter grafiek) met een zogenaamde "smooth interpretation", waarmee dieper wordt geïnterpreteerd, wordt duidelijk dat in de diepte geen signaal van een laag met hoge weerstand te verwachten valt (90 m).

Geconcludeerd kan worden dat op basis van de CVES en TDEM metingen het beeld op basis van de VES metingen wordt bevestigd. De TDEM meting geeft aan dat in het centrale deel van Mijdrecht Noord tot grote diepte tot 90m geen grote veranderingen in de chlorideconcentraties zijn te verwachten en de waarde ca 5000 mg/l zal bedragen.

Diepe sonderingen

Op basis van historische gegevens en eerste resultaten van deze studie zijn drie locaties voor diepe sonderingen geselecteerd. De locaties zijn aangegeven in figuur 2.8. Voor elke van de sonderingen is gemeten de

- conusweerstand
- kleef
- geleidbaarheid
- temperatuur.

De resultaten van de sonderingen zijn opgenomen in een bijlage 1 ("Onderzoek in de polder Mijdrecht, Fugro, 2008). Waarbij opgemerkt dat de temperatuurmetingen niet bruikbaar zijn. De temperatuur is te veel beïnvloed door de conustemperatuur zelf. Naast de sonderingen zijn in elk van de sondeergaten met behulp van de BAT sonde watermonsters genomen voor bepaling van de hydrochemische samenstelling (macro-ionen). De resultaten van de analyses zijn opgenomen in tabel 2.1.

Tabel 2.1. Resultaten analyses grondwatermonsters

Sondering	Diepte	Alkaliniteit	NH4	NO2	PO4	SO4	TON	EC veld	Cl
	(-mv)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(µS/cm)	(ppm)
17	5.5	599.7	11.07	0.042	0.161	37.9	<0.05	1027	94.6
17	11.5	531.8	19.36	0.026	<0.01	4.8	<0.05	5090	1516.7
16	16	462.7	8.68	0.024	<0.01	219.0	<0.05	11900	4241.6
16	5.5	472.4	4.78	<0.005	<0.01	269.3	<0.05	12170	4795.9
16	2	554.9	8.87	0.047	0.021	294.6	<0.05	-	3807.0
15	16	600.7	9.18	0.007	0.020	372.7	<0.05	-	4818.4
15	6	587.5	7.04	<0.005	<0.01	315.4	<0.05	-	5884.8

Sondering	Diepte	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Si
	(-mv)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
17	5.5	40.1	8.82	158.0	17.4	0.6	1.11	0.015	17.1
17	11.5	577.0	18.70	431.0	89.3	25.1	2.88	0.183	17.4
16	16	2240.0	56.70	433.0	249.0	4.9	0.881	0.02	9.9
16	5.5	2250.0	55.40	386.0	240.0	7.5	0.988	0.008	12.8
16	2	-	-	-	-	-	-	-	-
15	16	2830.0	70.70	430.0	294.0	6.9	1.53	0.009	10.6
15	6	2870.0	51.00	452.0	292.0	13.7	1.09	0.009	11.3

Van sondermetingen naar chlorideconcentraties

Uit de gemeten formatiegeleidbaarheden en de conus- en wrijvingsweerstand van de geleidbaarheidsondering is volgens de in paragraaf 2.2.2 beschreven methodiek het zoutgehalte berekend. De berekening is in een aantal stappen uitgevoerd.

Als eerste is de empirische relatie 2.4 en 2.5 van Post (2008) waarmee uit de sondermetingen afgeleide geleidbaarheid van het poriewater omgerekend wordt naar een chlorideconcentratie getoetst. Hier nog eens weergegeven:

$$(2.5) \quad Cl = \frac{-2.71 + \sqrt{2.71^2 - (4 * 2.49 * 10^{-5} * (-\sigma_w + 291.81 + 0.93 * HCO_3))}}{2 * 2.49 * 10^{-5}}$$

De berekende chlorideconcentratie wordt bepaald op basis van de geleidbaarheid van het water en het bicarbonaatgehalte (in dit geval overeenkomend met alkaliniteit). Uit de analyses blijkt dat de alkaliniteit schommelt tussen de 462 ppm en 600 ppm (mg/l). Voor een eenduidige berekening is gewerkt met een vaste waarde voor de alkaliniteit van 500 ppm. De waarde die ook is gebruikt in de andere onderdelen van het veldonderzoek. Tabel 2.2 laat voor een aantal alkaliniteitswaarden uit de grondwatermonsters de berekende chlorideconcentratie zien. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de geleidbaarheid goed kan worden vertaald naar een chlorideconcentratie binnen een marge van ongeveer 10%. Het onderbouwt tevens dat de keuze voor een vaste waarde van 500 ppm acceptabel is.

Tabel 2.2. Toetsing empirische vergelijking voor berekening chloride o.b.v. geleidbaarheid.

Sond.	EC veld ($\mu\text{S/cm}$)	Berekende chlorideconcentratie					Gemeten chloride (ppm)
		Alkaliniteit (ppm)	Alk=gemeten (ppm)	Alk=450 (ppm)	Alk=500 (ppm)	Alk=600 (ppm)	
17	1027	599.7	65	116	99	64	95
17	5090	531.8	1609	1638	1620	1585	1517
16	11900	462.7	4288	4293	4274	4237	4242
16	12170	472.4	4393	4401	4382	4345	4796

Sond.	Verschil met gemeten Chloride			
	Alk=gemeten	Alk=450	Alk=500	Alk=600
17	-47%	19%	4%	-47%
17	6%	7%	6%	4%
16	1%	1%	1%	0%
16	-9%	-9%	-9%	-10%

Vervolgens is voor elke sondering de het verloop met de diepte van de chlorideconcentratie berekend. De berekende waarden zijn getoetst aan de waarnemingen uit de grondwatermonsters. Gebleken is dat de meest gevoelige relatie in de gehanteerde methodiek de relatie voor de bepaling van de formatiefactor is:

$$(2.3) \quad F = -2.025 \ln(R_f) + 4.8106$$

Deze relatie is daarom aangepast zodat een betere fit met de gemeten waarden kon worden bereikt. De nieuwe relatie ziet er dan als volgt uit:

$$(2.3a) \quad F = -2.025 \ln(R_f) + 3.7$$

De resultaten van elk van de sonderingen zal hieronder worden toegelicht.

Sondering 15

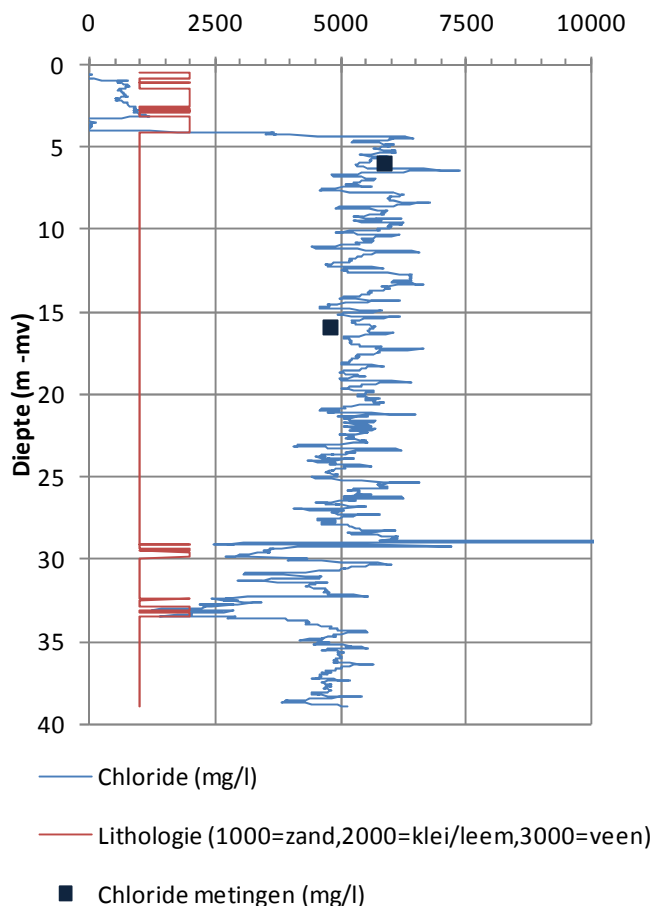
Sondering 15 is uitgevoerd in Mijdrecht Noord aan Proostdijerdsdweg net ten oosten van de hoofdtocht. Figuur 2.13 geeft de afgeleide chlorideconcentratie. De afgeleide chlorideconcentratie is alleen geldig in de zandige delen. Dat wil zeggen dat de waarden bepaald in de deklaag (hier tot 4m -mv) niet overeenkomen met de werkelijke waarden. Hetzelfde geldt overigens voor de

klei/leem laagjes op een diepte van 30m -mv en 33m -mv. Uit het wrijvingsgetal lijkt het leemlaagjes te betreffen.

Direct onder de deklaag worden al hoge waarden van boven de 5000 mg/l worden aangetroffen. Opvallend is dat de waarden tot een diepte van 40m nauwelijks wijzigt en zelfs ligt afneemt.

Het hier aangetroffen verloop van de chlorideconcentratie bevestigt de verkregen ligging van grensvlakken op basis van de VES metingen en de geofysica metingen uitgevoerd op deze locatie.

Sondering 15



Figuur 2.13. De op basis van de sonderingsmetingen afgeleide verloop van de chlorideconcentratie met de diepte.

Sondering 16

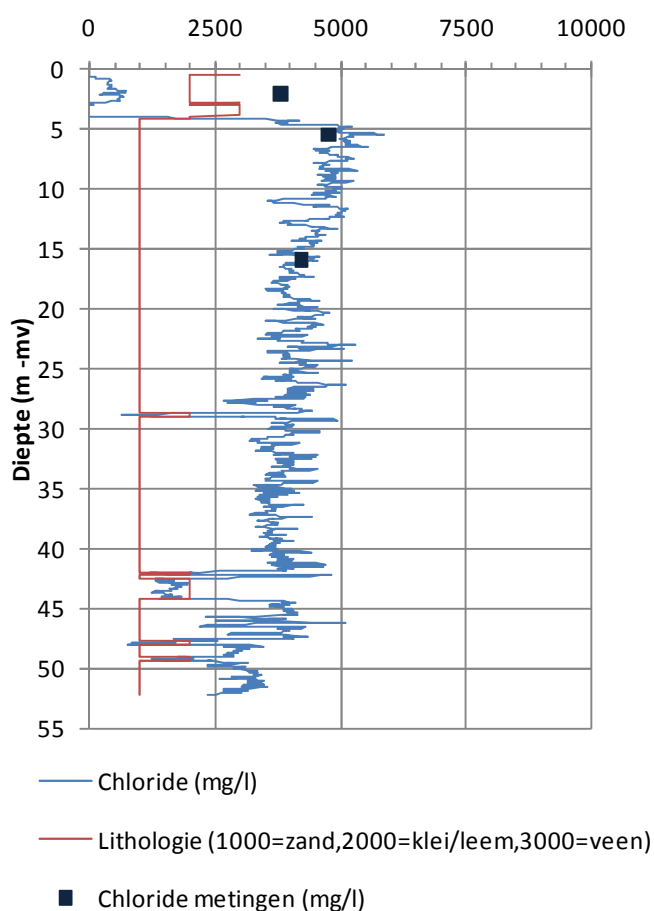
Sondering 16 is uitgevoerd in Mijdrecht Noord aan Proostdijerdwarsweg 9 ten westen van de hoofdtocht. Figuur 2.14 geeft de afgeleide chlorideconcentratie. De afgeleide chlorideconcentratie is alleen geldig in de zandige delen. Dat wil zeggen dat de waarden bepaald in de deklaag (hier tot 4m -mv) niet overeenkomen met de werkelijke waarden. Hetzelfde geldt overigens voor de klei/leem laagjes op een diepte van 28m -mv, 43m -mv en tussen de 45 en 50 m -mv. Het wrijvingsgetal in deze laagjes is laag met een waarde van rond de 2

%. Hetgeen duidt op leemlaagjes. Waarbij opgemerkt dat op een diepte van 43m -mv een laag betreft van ongeveer 1.5m dikte.

Direct onder de deklaag worden al hoge waarden van boven de 5000 mg/l worden aangetroffen. Opvallend is dat de waarden tot een diepte van 40m nauwelijks wijzigt en zelfs licht afneemt. Daaronder is het door verstoring van de leemlaagjes moeilijker te interpreteren.

Het hier aangetroffen verloop van de chlorideconcentratie bevestigt de verkregen ligging van grensvlakken op basis van de VES metingen en de geofysica metingen uitgevoerd op deze locatie.

Sondering 16



Figuur 2.14. De op basis van de sonderingsmetingen afgeleide verloop van de chlorideconcentratie met de diepte.

Sondering 17

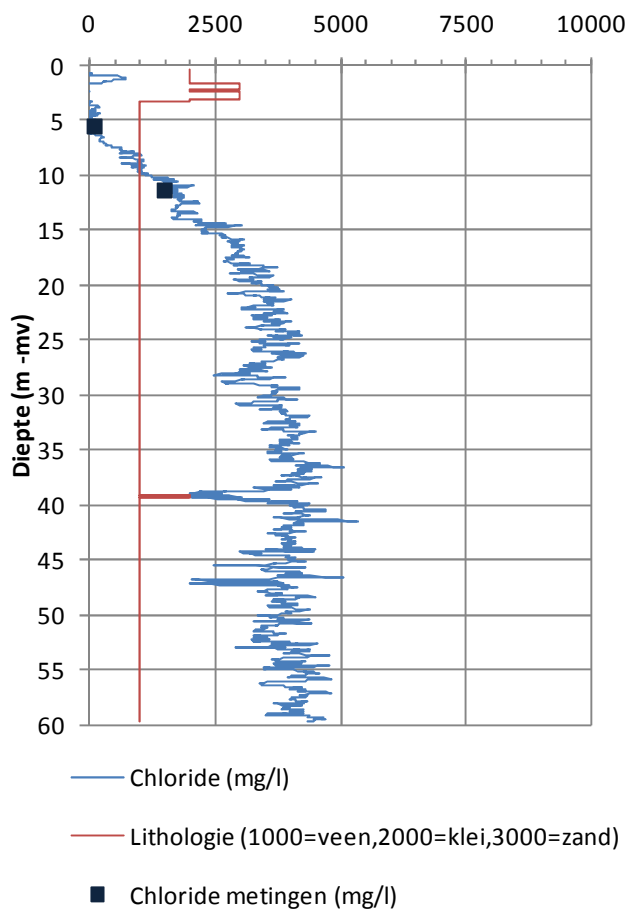
Sondering 17 is uitgevoerd in Mijdrecht Zuid aan Mijdrechtse dwarsweg ten westen van de hoofdtocht. Figuur 2.15 geeft de afgeleide chlorideconcentratie. De afgeleide chlorideconcentratie is alleen geldig in de zandige delen. Dat wil zeggen dat de waarden bepaald in de deklaag (hier tot 4m -mv) niet overeenkomen met de werkelijke waarden. Hetzelfde geldt overigens voor de

dunne klei/leem laagjes op een diepte van 39m -mv. Het wrijvingsgetal in deze laagjes is laag met een waarde van rond de 2 %. Hetgeen duidt op leemlaagjes.

In tegenstelling tot de sonderingen in Mijdrecht Noord is vanaf de deklaag een geleidelijk verloop van zoete waarden (100 mg/l) naar 4000 mg/l op een diepte van 25m -mv. Waarna deze waarde tot de gesondeerde diepte van 60m nauwelijks wijzigt. De lagere waarde is mogelijk toe te schrijven aan het feit dat deze locatie in het westen en zuiden omringt wordt door hoger gelegen delen van de polder waar infiltratie plaatsvindt en dus sprake is van verzoeting.

Het hier aangetroffen verloop van de chlorideconcentratie bevestigt de begrenzing van het 5000mg/l grensvlak op basis van de VES.

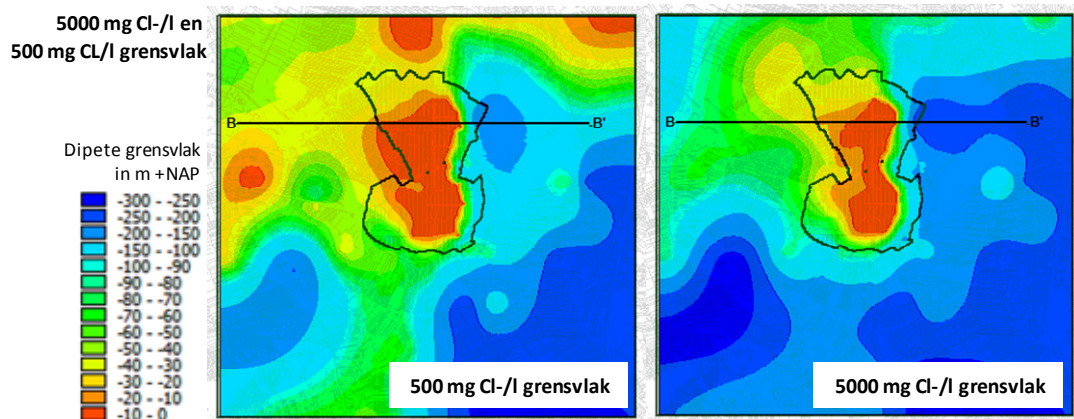
Sondering 17



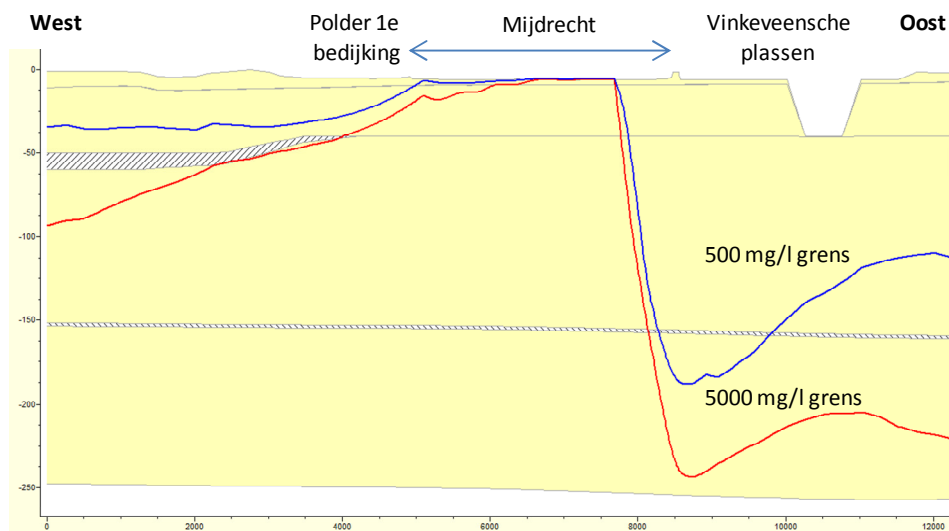
Figuur 2.15. De op basis van de sonderingsmetingen afgeleide verloop van de chlorideconcentratie met de diepte.

2.4 Verloop van de zoutgehalten en de ligging van de grensvlakken

Op basis van de VES metingen zijn de grensvlakken van 500 mg/l en 5000 mg/l ontwikkeld. Het resultaat is met aanvullende veldmetingen (EC-metingen, geofysica en sonderingen) aangevuld, geverifieerd en verbeterd. Het grensvlak van 5000 mg/l geeft een goed beeld van de chlorideverdeling in de ondergrond (zie figuur 2.16). In het centrale deel van Groot Mijdrecht ligt dit grensvlak in de deklaag (NAP 0 tot -10 meter), zodat het kwelwater hier chloride gehalten boven de 5000 mg/l heeft. Aan de oostkant gaat het grensvlak vrij sterk omlaag. Deze scherpe overgang wordt veroorzaakt door de hoge infiltratiesnelheden uit de Vinkeveense Plassen waardoor een diep zoet watersysteem is ontwikkeld. Aan de westelijke kant daalt het grensvlak veel geleidelijker. Dit komt doordat de peilverschillen van de aangrenzende polders kleiner is. In het noorden bevinden zich ook diepe polders waardoor het grensvlak zich hier ook hoger bevindt terwijl aan de zuidkant het grensvlak dieper in de ondergrond ligt onder invloed van de hier aanwezige hogere gronden. Het hier geschetste beeld op basis van bestaande gegevens en het veldonderzoek bevestigt het conceptuele model van Appelo & Willemsen (1987).

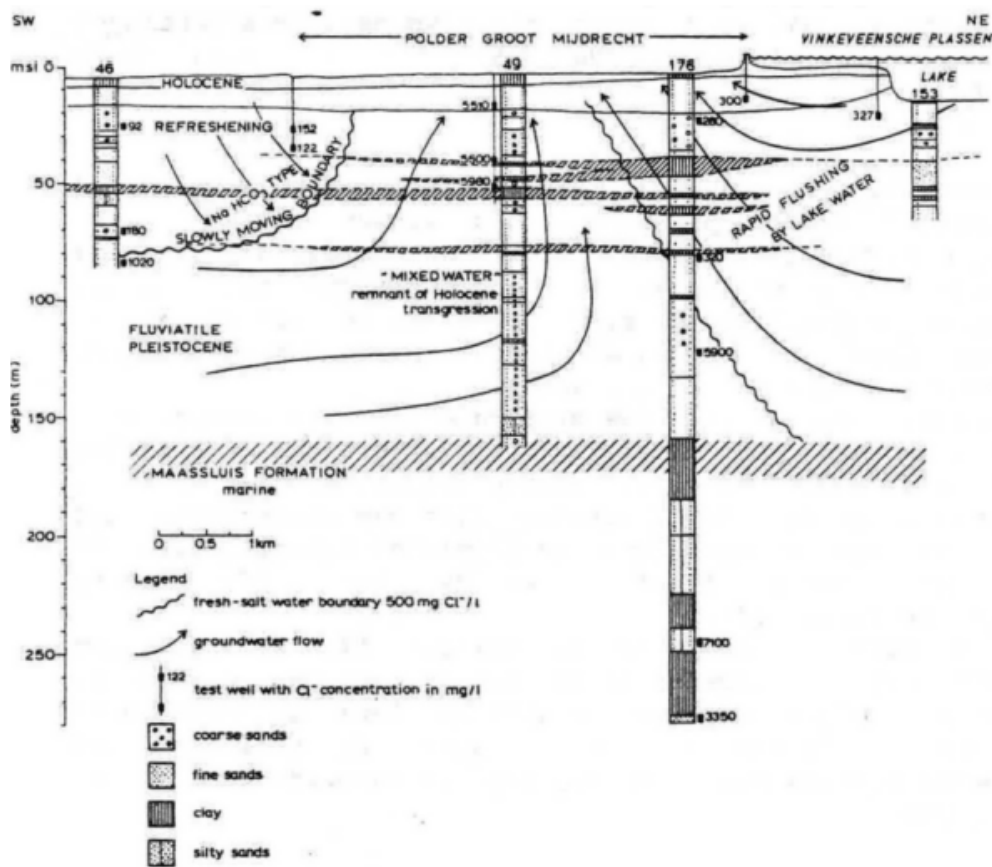


Figuur 2.16. 5000 mg Cl-/l en 500 mg Cl-/l grensvlak.



Figuur 2.17. West – Oost profiel met de 5000 mg Cl-/l en 500 mg Cl-/l grensvlakken.

Uit het veldonderzoek komt verder een beeld naar voren dat de maximum concentratie van het grondwater in Polder Groot Mijdrecht circa 6000 mg/l bedraagt. Uit het veldonderzoek blijkt verder dat in het centrale deel van Mijdrecht het verloop van de chloridewaarden nauwelijks veranderd. Dit beeld wordt bevestigd door meetwaarden in peilbuis B31E0176 in het noordoosten van Mijdrecht waarin tot de formatie van Maassluis (ca 150m -mv) geen hogere waarden zijn waargenomen. Alleen in de Formatie van Maassluis zelf op een diepte van 240m -mv wordt een waarde van 7100 mg/l aangetroffen. Echter op nog grotere diepte, circa 275 mg/l wordt juist weer een lagere waarde waargenomen van 3350 mg/l. Hetgeen lijkt te bevestigen dat het brakke grondwater van Mijdrecht zijn oorsprong vindt in de Holocene transgressies (Post, 2004).



Figuur 2.18. Het grondwatersysteem onder Groot Mijdrecht (Appelo & Willemsen, 1987)

2.5 Conclusies

Op basis van beschikbare VES metingen is een representatief beeld van de grensvlakken van 500 mg/l en 5000 mg/l ontwikkeld. Dit beeld wordt bevestigd door het aanvullende veldonderzoek van CVES, TDEM en diepe sonderingen.

De maximum concentratie van het grondwater in Polder Groot Mijdrecht bedraagt circa 5000-6000 mg/l. Uit het veldonderzoek blijkt verder dat in het centrale deel van Mijdrecht het verloop van de chloridewaarden nauwelijks veranderd.

3 AANVULLENDE METINGEN OP PERCEELSNIVEAU (WELLEN EN SLOTEN)

3.1 Inleiding

Het veldonderzoek beschreven in het voorgaande hoofdstuk was er op gericht om inzicht te krijgen in de huidige ligging van de grensvlakken en daarnaast in de zoet-zout (zoutgehalte) verdeling van het grondwater en het grondwatersysteem in de huidige situatie. Gedurende het veldonderzoek en de eerste resultaten van de modelstudie kwam de vraag op hoe de kwelstromen zich op perceelsniveau gedragen en of dit met dezelfde meetmethoden waargenomen kan worden. Om die reden zijn een aantal metingen uitgevoerd op zeer lokale schaal van perceel sloten en wellen in zowel het centrale deel van Mijdrecht dat zoute kwel heeft als ook aan de rand met de Vinkeveense Plassen waar zoete kwel optreedt.

3.2 Meetmethoden

Om een inzicht te krijgen op lokale schaal is gebruik gemaakt van een combinatie van twee meetmethoden, CVES en voor controlemetingen EC_temperatuur prikstok.

CVES

Voor de beschrijving van de CVES methode wordt verwezen naar paragraaf 2.2.2. De CVES maakt het mogelijk om een 2 dimensionaal beeld met de diepte te maken. Aan de hand van de gemeten weerstanden kan een interpretatie gemaakt worden van de verdeling van zoet en zout grondwater in de ondergrond. Lastiger is het om uit de weerstanden ook de lithologieën te onderscheiden. Voor de lokale ondiepe metingen is gekozen voor een: de Schlumberger configuratie (ca. 750 metingen).

Prikstok

De prikstok is een metalen stok met aan het uiteinde sensoren voor het meten van de temperatuur (T) en de elektrische geleidbaarheid (EC) (Wirdum, G. van, 2004 en TNO, 2008). De EC waarden worden onder anderen beïnvloed door porositeit, bodemmateriaal en zoutgehalte van het grondwater. Hoe hoger het zoutgehalte hoe beter geleidbaar het grondwater is. Invloed van het bodemmateriaal en het instrument op de EC waarden worden gecorrigeerd (zie hieronder) om vergelijkbare geleidbaarheids waarden te verkrijgen.



Figuur 3.1. Uiteinde van de prikstok met sensoren.

De prikstok wordt op de gewenste plek met de hand in de verzadigde zone van de grond geduwd. Met behulp van de peilschaal die in de stok gegraveerd is wordt iedere 10 cm een EC en T waarde waargenomen en genoteerd. Elke keer dat de stok verder wordt geduwd moet 1 a 3 minuten gewacht worden om de EC en T waarden in te laten stellen. Aan de hand van deze gegevens worden de geleidbaarheidswaarden van het grondwater bepaald en in kaart gebracht (dwarsprofielen).

Voor een juiste interpretatie van de resultaten van de prikstokmetingen wordt deze uitgevoerd in combinatie met een aantal andere meetmethoden:

- Grondboringen voor bepalen van de grondwaterspiegel en bodembeschrijving;
- Prikstok metingen (EC en T gegevens met de diepte);
- Bepaling EC grond- en oppervlaktewater;
- Landmeten (hoogte t.o.v. maaiveld).

Hieronder worden kort de gebruikte methoden besproken. Tevens wordt ingegaan op de formatiefactor die een belangrijke parameter is voor de bepaling van de EC (geleidbaarheid) van het grondwater.

Bodembeschrijving

Bij alle bemeten percelen is de opbouw van de bodem in kaart gebracht door middel van grondboringen. Het is van belang om dit te doen, omdat de gemeten EC-waarde naast het chloridegehalte ook afhankelijk is van de grondsoort. Daarom is op elk punt waarop prikstokmetingen zijn verricht een bodembeschrijving gemaakt. Daar waar in de sloot of in een wel is gemeten zijn boorprofielen geëxtrapoleerd van boringen in de buurt. De grondboringen, uitgevoerd met een Edelmanboor, eindigden op een diepte van 2 à 3 m, in de Holocene deklaag. Tijdens het boren is een beschrijving gemaakt van het aangetroffen materiaal. Er is een klassenonderverdeling gemaakt in veen, klei, kleilig veen, zavel en zand. Kleur en aanvullende bijzonderheden zijn genoteerd. In de boorgaten is de diepte van de grondwaterstand onder maaiveld opgemeten. Hierbij is telkens zo lang mogelijk gewacht om de grondwaterspiegel zich in te laten stellen. De verschillende boorbeschrijvingen zijn grafisch weergegeven in perceelprofielen.

EC grond- en oppervlaktewater

Naast het beschrijven van de bodem zijn de boorgaten gebruikt voor het bepalen van de grondwaterstand met behulp van een plopper. Na het meten van de grondwaterstand is het water uit het boorgat op EC (geleidbaarheid) gemeten met een dompelcel. Het gat is altijd een tiental centimeters onder grondwaterstand geboord en geeft zodoende de EC waarde van het bovenste grondwater. Belangrijk is om hier de diepte te noteren waar het water uit komt om zo de formatieconstante van de bewuste bodemlaag te kunnen bepalen (vergelijken van EC met dompelcel met EC waarden van de prikstok). Naast de EC van het grondwater is ook steeds de EC van het oppervlaktewater gemeten.

Landmeten

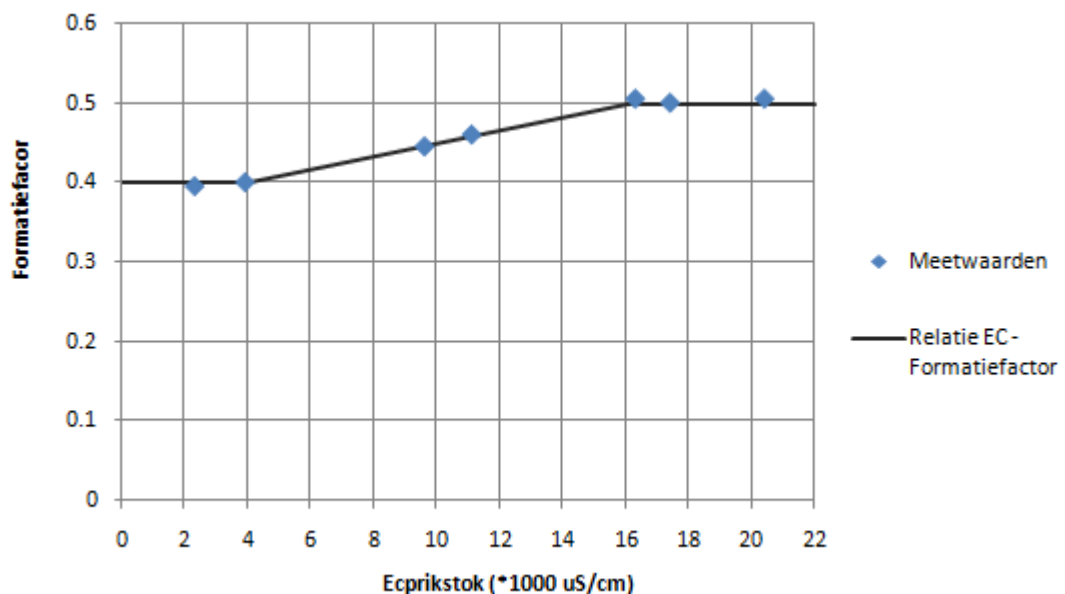
Om de gegevens te kunnen correleren in dwarsprofielen is de hoogteligging van alle meetpunten bepaald. Bij de meeste punten was het niet mogelijk om ter plekke de hoogteliggingen te koppelen aan een NAP punt. De meeste punten zijn relatieve hoogten met als referentiepunt een vast punt in de buurt van het meettraject.

Formatieconstante

Naast het zoutgehalte is de geleidbaarheid van de bodem ook erg afhankelijk van de grondsoort. Een zandbodem heeft bijvoorbeeld een veel lagere geleiding dan een veenbodem. De mate waarin een grondsoort de geleidbaarheid bepaalt wordt uitgedrukt door een formatieconstante. Dit is een dimensieloos getal dat berekend kan worden door de EC van grondwater (bepaald met een dompelcel, dezelfde wordt gebruikt bij het meten van EC-waarden in oppervlaktewater, zie hoofdstuk 4) van de eerste verzadigde bodemlaag onder maaiveld te delen door de EC die de prikstok in diezelfde grondlaag meet. Vanwege de verschillende manieren van meten tussen prikstok en dompelcel dient de prikstok-EC eerst nog vermenigvuldigd te worden met een correctiefactor. Deze ligt rond de 0.4. Er geldt dus:

$$(3.1) \quad \text{Formatieconstante} = \frac{EC_{\text{dompelcel}}}{(EC_{\text{prikstok}} * 0.4)}$$

De correctiefactor kan worden uitgerekend door in ruim water prikstok en dompelcel naast elkaar te houden en zo de gemeten waarde van de dompelcel te delen door die van de prikstok. Bestaande handleidingen van de prikstok gaven aan dat deze factor altijd gelijk is, namelijk 0.4 (Wirdum, G. van, 2004). Tijdens het meten bleek dit echter niet te kloppen. De factor bleek afhankelijk te zijn van het geleidingsvermogen van de stof waarin gemeten wordt (figuur 3.2).



Figuur 3.2: Relatie correctiefactor en EC van de prikstok

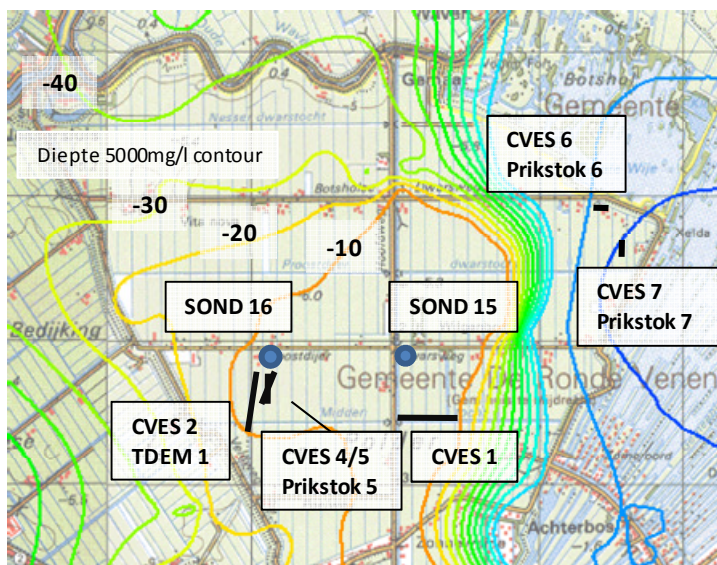
Gekozen is om een factor van 0.4 te gebruiken voor prikstok-EC's van 0 tot 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en een factor van 0.5 voor prikstok-EC's van 16000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en hoger. Voor prikstok-EC's die tussen de 4000 en 16000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liggen wordt de factor voorgesteld als lineair oplopend van 4000 tot 16000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hiervoor is de volgende formule opgesteld:

$$(3.2) \quad \text{Formatiefactor} = 8.33 * 10^{-6} * EC_{\text{prikstok}} + 0.36667$$

Het feit dat een hogere correctiefactor wordt gemeten bij hogere EC waarden wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de geleidbaarheid van de grond zo groot is dat het stroomlijnenveld dusdanig uitrekt dat de geleidbaarheid van het metaal van de prikstok een rol gaat spelen.

3.3 Uitwerking en interpretatie resultaten

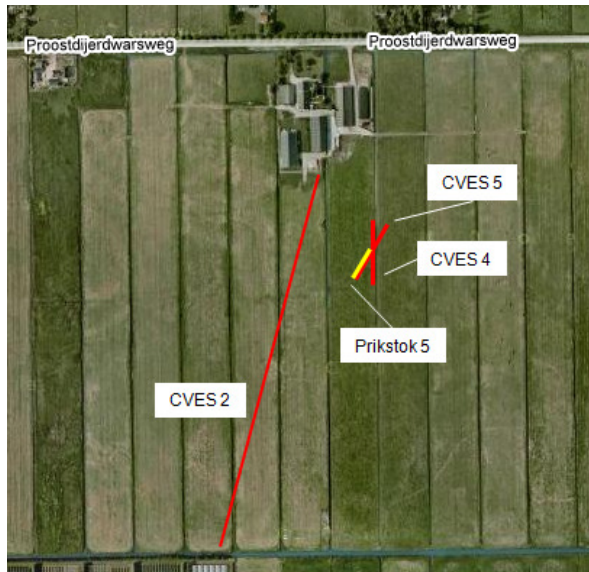
De resultaten worden per locatie besproken. Figuur 3.3 (zie ook figuur 2.8, hoofdstuk 2) toont de locaties waar is gemeten. De figuur toont tevens de andere metingen vlakbij uitgevoerd en het 5000mg Cl-/l grensvlak die aangeeft wat de zoete en zoute delen van de polder zijn.



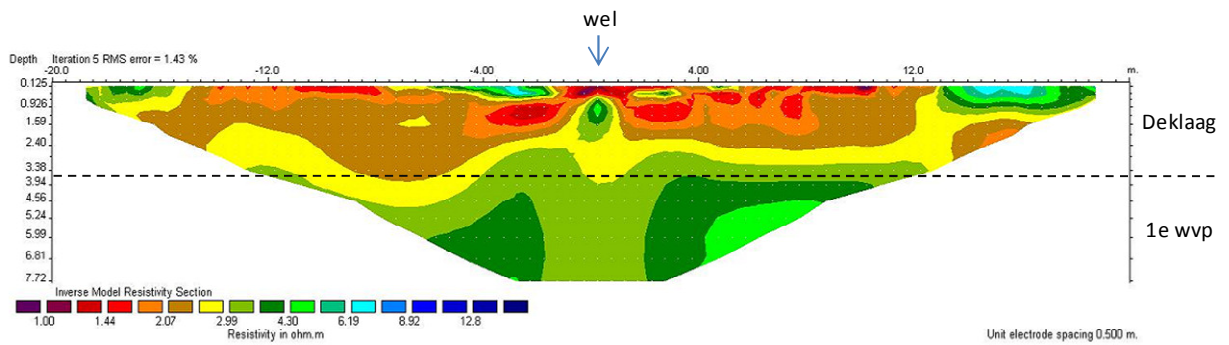
Figuur 3.3. Locaties van de ondiepe CVES en prikstok metingen. Tevens weergegeven diepte countouren 5000 mg Cl-/l, locaties van de TDEM, CVES en diepe sonderingen (SOND).

3.3.1 Locatie 4/5 (zoute wel)

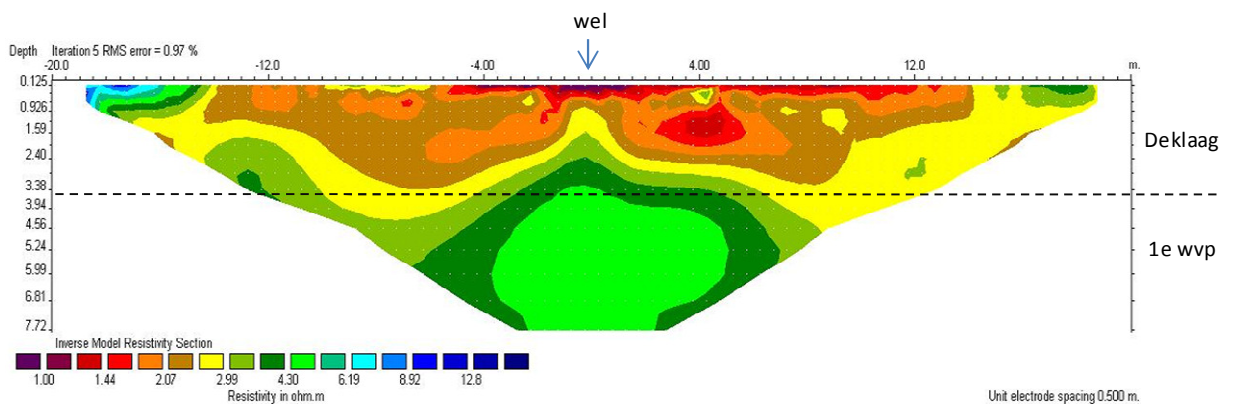
Er zijn op deze locatie twee CVESSEN (CVES4 en 5) uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in het lokale gedrag van een wel. Het betreft in dit geval een wel langs een sloot in het zoute gebied van Mijdrecht Noord, ten zuiden van Proostdijerdwarsweg. Figuur 3.4 geeft een kaartje van de metingen weer. De figuren 3.4 en 3.5 geven de geïnterpreteerde CVES metingen weer.



Figuur 3.4. Situatieschets meetlocaties.



Figuur 3.5. Ondiepe CVES 4, lengte 40 meter, over de een zoute wel in de buurt van CVES2. De meting is langs een sloot en over een wel (EC sloot 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) gedaan. Het lijkt alsof er relatief zoeter water omhoog kwelt, dit is echter hoogst waarschijnlijk te wijten aan verandering van lithologie (formatie factor) en dus niet aan de water kwaliteit.



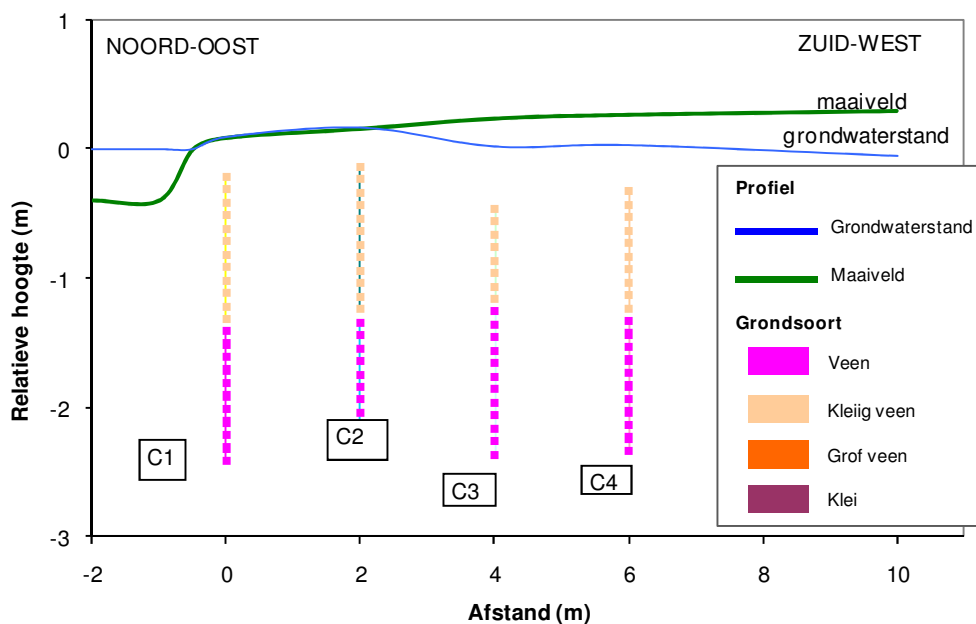
Figuur 3.6 Ondiepe CVES 5, lengte 40 mtr, op dezelfde zoute wel, echter nu dwars over de sloot, eveneens over de wel gemeten. Het zelfde effect als bij de vorige meting is duidelijker waarneembaar.

De CVES heeft een dieptebereik van 7 meter en er is gemeten over een afstand van 40m. Het algemene beeld uit deze metingen is vergelijkbaar met dat van de diepe CVES metingen (hoofdstuk 2). De schijnbare weerstand onder deklaag ligt in de orde 3 – 5 Ohmm overeenkomend met een chlorideconcentratie van het grondwater van circa 5000 mg/l.

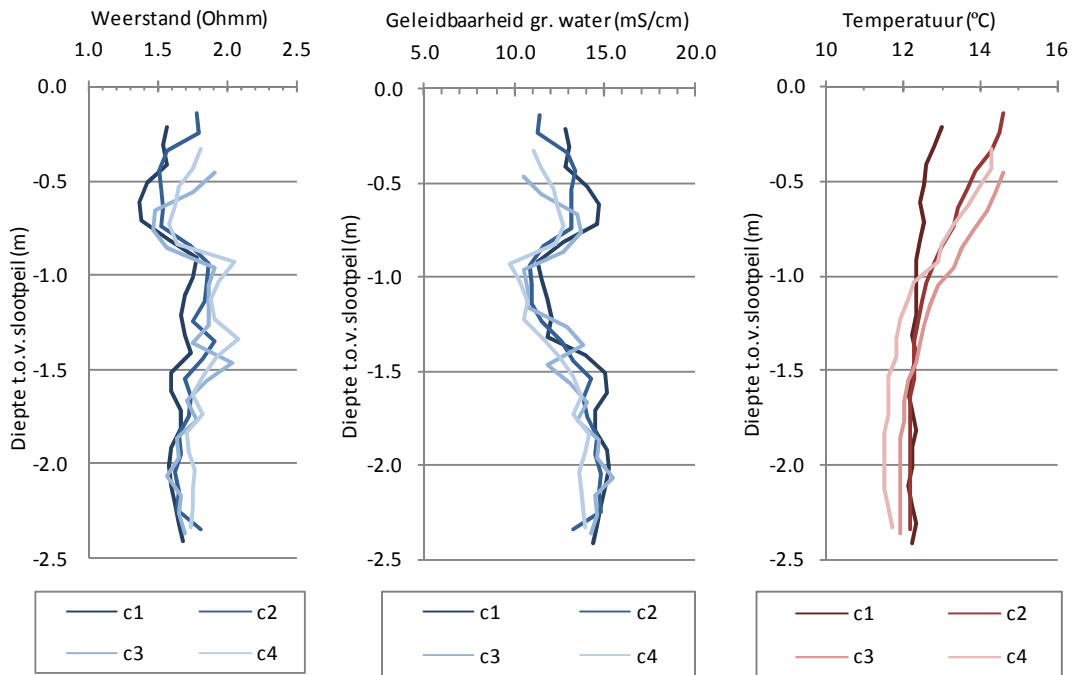
In het profiel is de locatie van de wel aangegeven. De deklaag heeft een zeer lage schijnbare weerstand (< 3 Ohmm) dat overeenkomt met veen/klei met brak/zout water. Het lijkt erop dat er zoeter water via de wel omhoog kwelt, dit is echter hoogst waarschijnlijk te wijten aan verandering van lithologie (formatie factor) en dus niet aan de waterkwaliteit. Opvallend is verder dat in CVES 4 een anomalie van een hogere schijnbare weerstand wordt gemeten. Omdat niet bekend is waardoor de hier beschreven hogere schijnbare weerstanden worden gemeten is tevens een meting uitgevoerd met de prikstok (prikstok 5).

Het profiel (figuur 3.7) van de prikstok loopt van noordoost naar zuidwest vanaf de sloot (wel) over hetzelfde traject als CVES 5. De punten C1 en C2 zijn in/nabij de wel geplaatst. De bodemprofielen zijn erg homogeen, ze bestaan tot een diepte van 1,5 m onder maaiveld uit kleiig veen. Daaronder bevindt zich een pakket veen, opgevolgd door een pakket zand op een diepte van 2,5 tot 2,8m.

Met de prikstok is de bulk geleidbaarheid van de verzadigde bodem gemeten. Deze waarden zijn omgerekend naar een bodemweerstand om zo de vergelijking met de CVES meting te vergemakkelijken. Vergelijking van de prikstokmeting met de CVES meting laat zien dat de prikstokmeting een veel geleidelijker beeld laat zien. De eerder beschreven anomalie in de CVES meting (CVES 4) met een hogere weerstand zien we hier niet terug en is daarom waarschijnlijk een artefact.



Figuur 3.7. Profiel prikstok (prikstok 5) over hetzelfde profiel als CVES 5.



Figuur 3.8. Weerstand verzadigde bodem, EC en temperatuur profielen van prikstok 5 serie. Links geeft de omgerekende weerstand op basis van de gemeten bulk EC van de verzadigde bodem, rechts het waargenomen temperatuurverloop met de diepte en de geïnterpreteerde EC van het grondwater.

Op basis van de gemeten EC-waarden (weerstand en omgerekend naar waarden voor grondwater) is er vrijwel geen onderscheid te maken tussen de waarden in/nabij de wel en de meetpunten op grotere afstand van de wel. Dit is opvallend omdat er wel een onderscheid is te maken op basis van de CVES meting. Het lijkt er eerder op dat in de wel juist een lagere weerstand (en hogere EC) wordt waargenomen. Wat ook de verwachting is bij brakke kwel door een wel door de deklaag. Het verschil is echter niet groot. De temperatuurmetingen geven wat dit betreft een duidelijker beeld. Hier is duidelijk te zien dat de temperatuur in de wel over het hele diepteprofiel vrijwel constant is met een waarde van 12,5 °C en dus bepaald wordt door het naar bovenstromende grondwater door de wel. In de andere meetpunten is een gradiënt zichtbaar en laat het ondiepere profiel een opwarming zien richting het maaiveld.

3.3.2 Locatie 7 (zoete wel)

Er is op deze locatie één CVES (CVES7) uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in het lokale gedrag van een wel. Het perceel is gelegen ten westen van de Vinkeveense plassen, aan de rand van de Botsholsedwardsdijk. Het betreft in dit geval een wel langs een sloot in het zoete gebied van Mijdrecht Noord. Deze wel bevindt zich in het aangrenzende perceel waar ook de meetproef met de meetstuw heeft plaatsgevonden. Er is gemeten in een raai parallel aan de sloot, op een afstand van 1,5 meter. Figuur 3.9 geeft een kaartje van de metingen weer. Figuur 3.10 geeft de geïnterpreteerde CVES meting weer.

De CVES heeft een dieptebereik van 7 meter en er is gemeten over een afstand van 40m. Het algemene beeld uit deze meting is vergelijkbaar met de hierboven

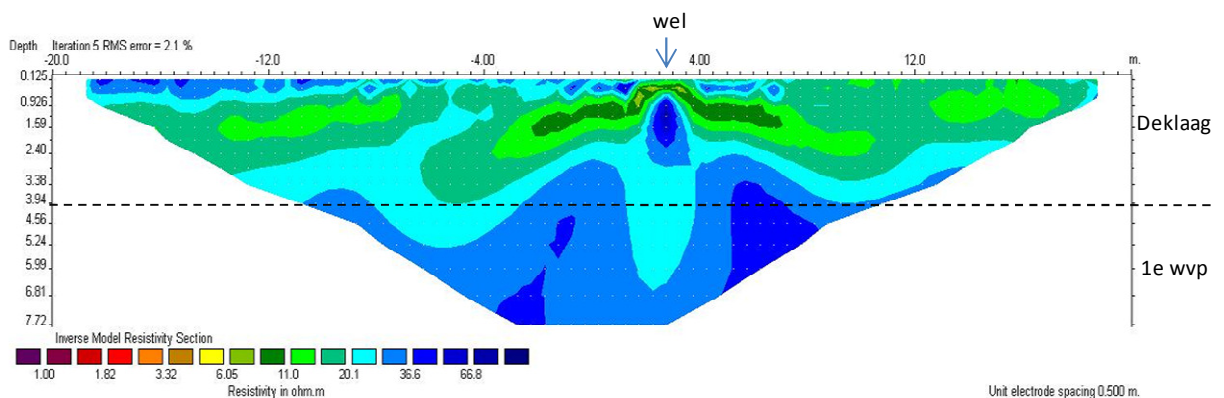
beschreven CVES 4/5 in het zout gebied. Met het verschil dat hier de schijnbare weerstand zoete waarden representeren. De schijnbare weerstand onder deklaag ligt in de orde > 35 Ohmm overeenkomend met een chlorideconcentratie van het grondwater van < 500 mg/l.

In het profiel aangegeven is de locatie van de wel. De deklaag heeft lagere schijnbare weerstand dat overeenkomt met de bodemopbouw van voornamelijk veen met zoet water. Ter plaatse van de wel is duidelijk een afwijkend beeld ten opzichte van de omgeving te zien. Evenals in CVES 4 zien we een anomalie van hogere schijnbare weerstand. Omdat niet bekend is waardoor de hier beschreven hogere schijnbare weerstanden worden gemeten is tevens een meting uitgevoerd met de prikstok (prikstok 7).

Het profiel (figuur 3.10) van de prikstok is genomen op hetzelfde profiel van de CVES. Meetpunt A1 bevindt zich in de (stromende) wel. De bodem op dit perceel bestaat uit een pakket kleiig veen dat op een diepte van zo'n 0,8 meter onder maaiveld begrensd wordt door veen. Op 2 meter onder maaiveld is sterk zandig materiaal tegengekomen.

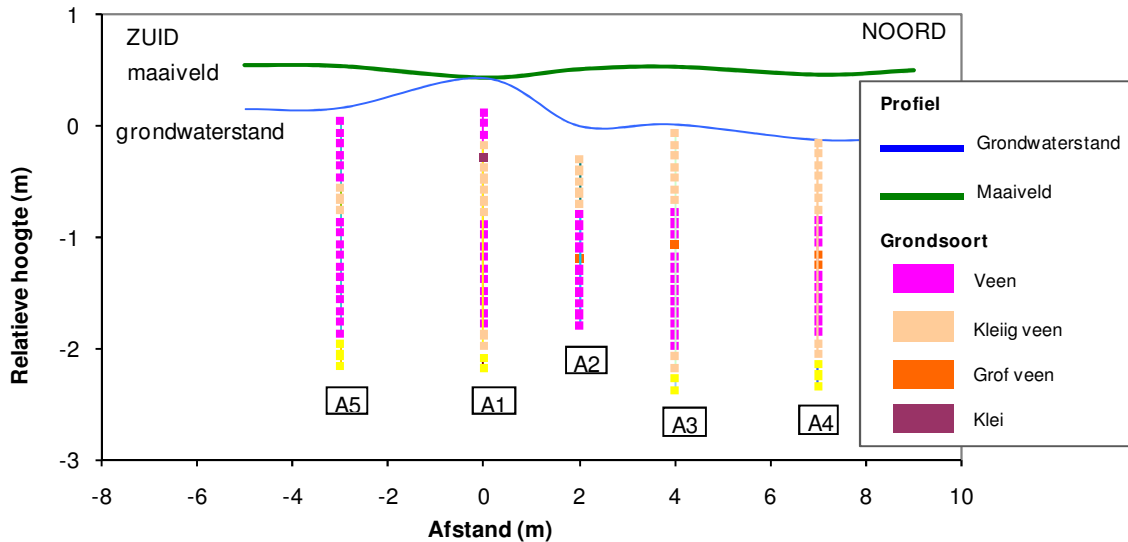


Figuur 3.9. Situatieschets meetlocaties.

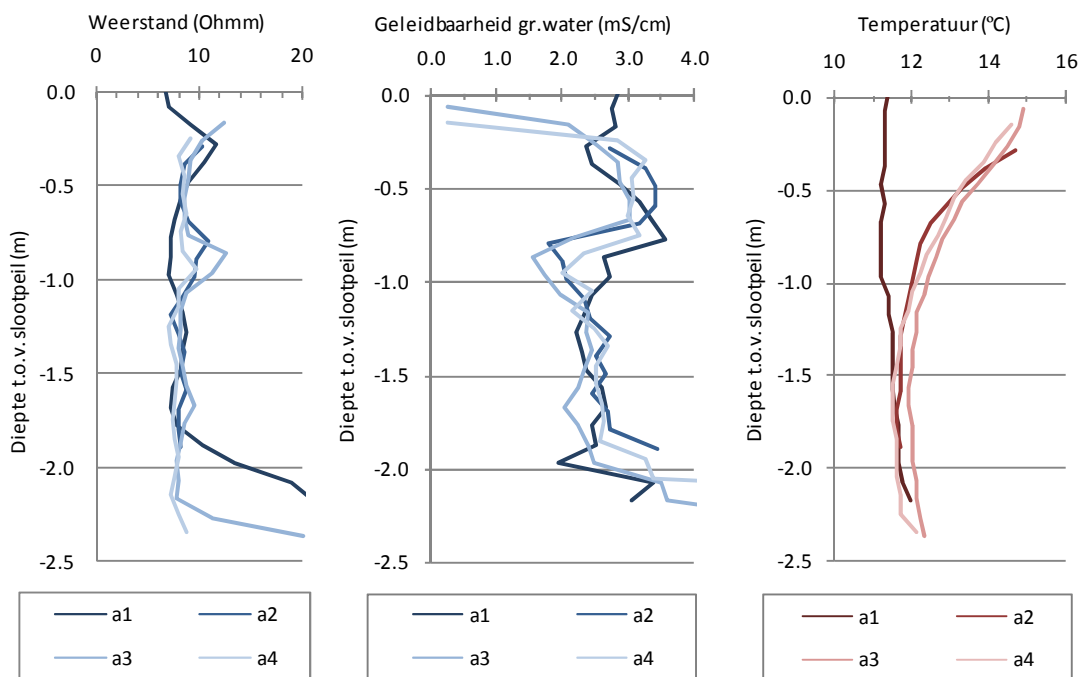


Figuur 3.10. CVES 7 (lengte 40 m) is over een wel gemeten evenwijdig aan de sloot.

Het profiel (figuur 3.11) van de prikstok loopt van zuid naar noord over de (wel) over hetzelfde traject als CVES 7. Punten A1 is in/nabij de wel geplaatst. De bodem op dit perceel bestaat uit een pakket kleilig veen dat op een diepte van zo'n 0,8 meter onder maaiveld begrensd wordt door veen. Op 2 meter onder maaiveld is sterk zandig materiaal tegengekomen.



Figuur 3.11. Profiel prikstok (prikstok 7) over hetzelfde profiel als CVES 7. Meetpunt A1 is bij de wel, waarbij opvalt dat hier ook de grondwaterstand hoger ligt.



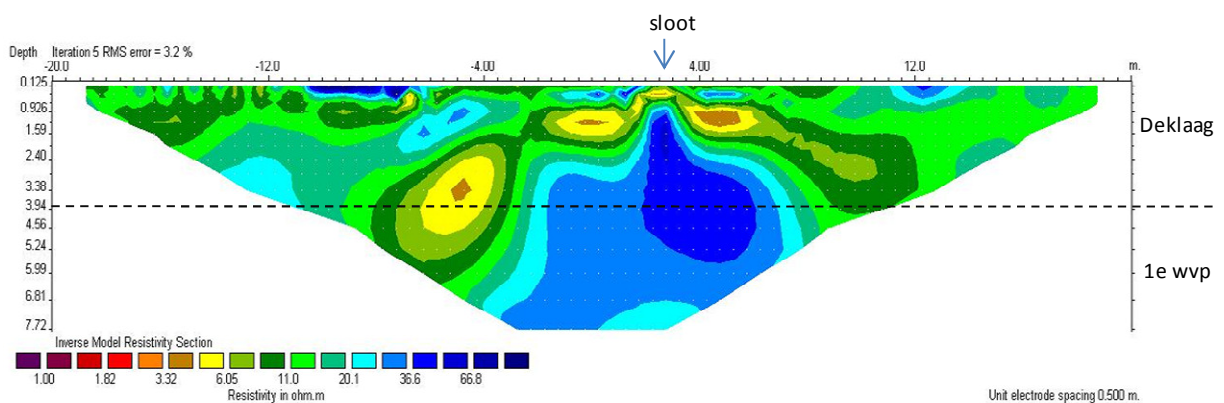
Figuur 3.12. Weerstand verzadigde bodem, EC en temperatuur profielen van prikstok 7 serie. Links geeft de omgerekende weerstand op basis van de gemeten bulk EC van de verzadigde bodem, rechts het waargenomen temperatuurverloop met de diepte en de geïnterpreteerde EC van het grondwater.

Met de prikstok is de bulk geleidbaarheid van de verzadigde bodem gemeten. Deze waarden zijn omgerekend naar een bodemweerstand om zo de vergelijking met de CVES meting te vergemakkelijken. Vergelijking van de prikstokmeting met de CVES meting laat zien dat de prikstokmeting een veel geleidelijker beeld laat zien. De eerder beschreven anomalie in de CVES meting (CVES 7) met een hogere weerstand zien we hier niet terug en is daarom waarschijnlijk een artefact en kan niet worden verklaard.

Op basis van de gemeten EC-waarden (weerstand en omgerekend naar waarden voor grondwater) is er vrijwel geen onderscheid te maken tussen de waarden in/nabij de wel en de meetpunten op grotere afstand van de wel. Dit is opvallend omdat er wel een onderscheid is te maken op basis van de CVES meting. Het beeld met de prikstok voldoet aan de verwachting van zoet kwel door de wel waarbij het hele bodemprofiel zoet is. De temperatuurmetingen geven wat dit betreft een duidelijker onderscheidend beeld. Hier is duidelijk te zien dat de temperatuur in de wel over het hele diepteprofiel vrijwel constant is met een waarde onder de 12 °C en dus bepaald wordt door het naar bovenstromende grondwater door de wel. In de andere meetpunten is een gradiënt zichtbaar en laat het ondiepere profiel een opwarming zien.

3.3.3 Locatie 6 (zoete sloot)

Er is op deze locatie één CVES, CVES6, uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in het lokale gedrag van kwelstroming naar een sloot. Het perceel is gelegen ten zuiden van Botshol, aan de rand van de Botsholsedwardsdijk. Het betreft in dit geval een sloot in het zoete gebied van Mijdrecht Noord. Er is gemeten in een raai loodrecht over de sloot heen. Figuur 3.8 geeft de locatie van de meting weer. Figuur 3.11 geeft de geïnterpreteerde CVES meting weer. De CVES heeft een dieptebereik van 7 meter en er is gemeten over een afstand van 40m.

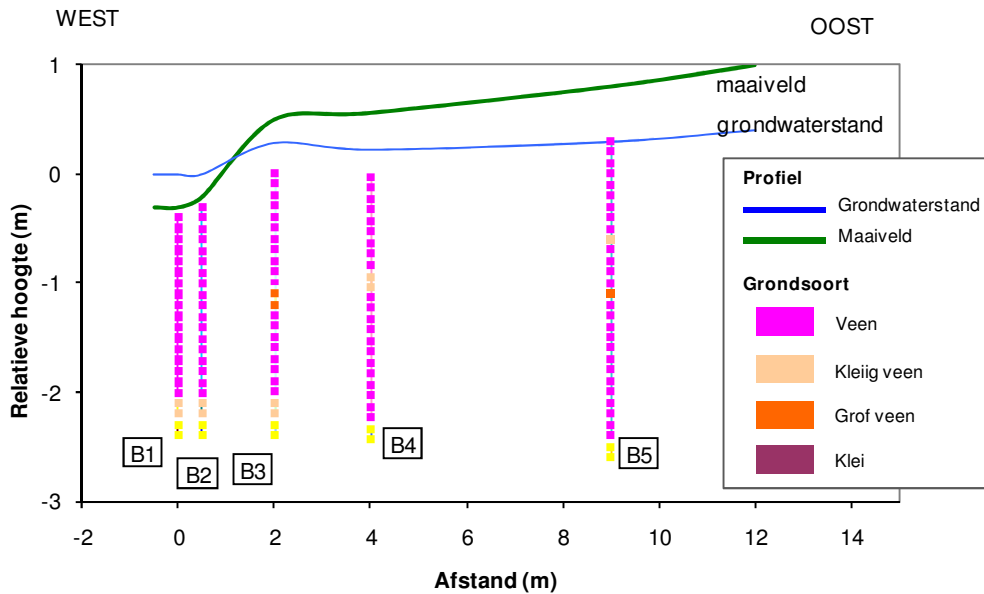


Figuur 3.13. CVES 6 heeft een lengte 40 m. De meting is loodrecht over een sloot genomen (er zijn geen wellen waargenomen in de sloot).

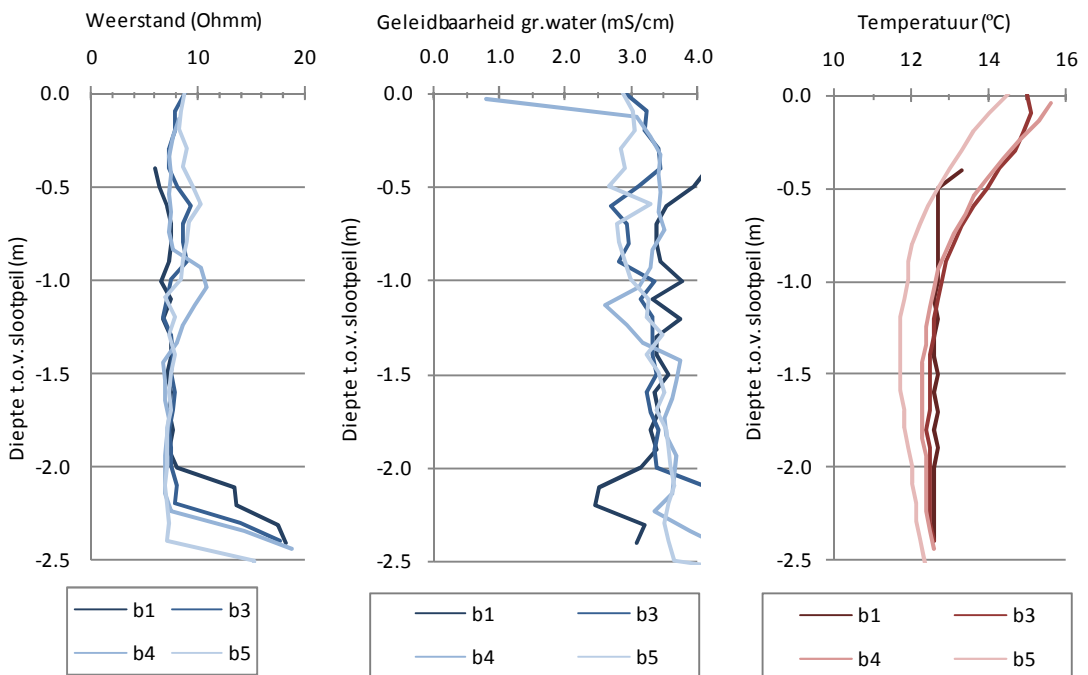
Het algemene beeld uit deze meting is vergelijkbaar met de hierboven beschreven CVES 7 dat ook in een zoet systeem is genomen. Hoewel het algemene beeld van zoet kwel ter plaatse van de sloot wordt waargenomen is het verder beeld in de meting onduidelijk en moeilijker te begrijpen. Evenals in CVES 4 en 7 zien we een anomalie van hogere schijnbare weerstand, dat zich nu verder lijkt te manifesteren. Omdat niet bekend is waardoor de hier beschreven

hogere schijnbare weerstanden worden gemeten is tevens een meting uitgevoerd met de prikstok (prikstok 6).

Het profiel (figuur 3.14) van de prikstok is genomen op de helft van hetzelfde profiel van de CVES (de oostelijk gelegen helft). Er is hier gemeten vanuit de perceelsloot tot een afstand van 9 meter in het maaiveld. De bodemopbouw is zeer homogeen. De bovenlaag van de bodem wordt gevormd door een laag veen. Ook is een laagje met grove riet resten terug gevonden. Daaronder ligt een pakket kleilig veen variërend in dikte van 4 tot 20 cm. Vanaf zo'n 220 tot 335 cm onder maaiveld is er een pakket donker grijs zand.



Figuur 3.14. Profiel prikstok (prikstok 6) over helft van hetzelfde profiel als CVES 6.



Figuur 3.15. Weerstand verzadigde bodem, EC grondwater en temperatuur profielen van prikstok 6 serie.

Met de prikstok is de bulk geleidbaarheid van de verzadigde bodem gemeten. Deze waarden zijn omgerekend naar een bodemweerstand om zo de vergelijking met de CVES meting te vereenvoudigen. Vergelijking van de prikstokmeting met de CVES meting laat zien dat de prikstokmeting een veel geleidelijker beeld laat zien.

Op basis van de gemeten EC-waarden (weerstand en omgerekend naar waarden voor grondwater) is er moeilijk een onderscheid te maken tussen de waarden in/nabij de sloot en de meetpunten op grotere afstand van de wel. Dit is opvallend omdat er wel een onderscheid is te maken op basis van de CVES meting. Het beeld met de prikstok voldoet aan de verwachting van zoet kwel in de sloot waarbij het hele bodemprofiel zoet is. De temperatuurmetingen geven wat dit betreft een duidelijker onderscheidend beeld. Hier is duidelijk te zien dat de temperatuur in de wel over het hele diepteprofiel vrijwel constant is met een waarde onder de 12,7 °C en dus bepaald wordt door het naar bovenstromende grondwater door de wel. In de andere meetpunten is een gradiënt zichtbaar en laat het ondiepere profiel een opwarming zien.

3.4 Conclusies

Op basis van de CVES metingen lijkt het goed mogelijk om lokale kwel via een wel of sloot in beeld te brengen. Dit beeld is bevestigd met behulp van de prikstokmetingen en dan met name de temperatuurmetingen. De metingen van de EC bleken niet onderscheidend genoeg.

Opvallend in de temperatuurmetingen met de prikstok is het temperatuurverschil van het kwelwater. Zo heeft de brakke kwel in het centrale deel van Mijdrecht een temperatuur van ongeveer 12,5 °C. Een vergelijkbare temperatuur van 12,7 °C is gemeten in het zoete kwelwater in de sloot ten zuiden van Botshol. Het kwelwater van de wel bij de Vinkeveense Plassen heeft een duidelijk lagere temperatuur van ca. 11,4 °C.

4 LOCATIES VAN DE WELLEN

4.1 Inleiding

In de polder Groot Mijdrecht heerst een sterke kwel, die zich vooral manifesteert in discrete uitstromingen in sloten en soms ook op de percelen. Deze discrete uitstromingen, zogenaamde wellen, zijn als langgerekte kwelzones langs de watergangen in het bestaande grondwatermodel ingevoerd. De wellen worden verondersteld voor te komen in gebieden met bodeminstabiliteit van de Holocene deklaag. Daarvoor is een index (wellenregel) gebruikt die is afgeleid van het verschil tussen de gronddruk (overgewicht) en de waterdruk onder de Holocene deklaag. De kwelflux in het model wordt gecontroleerd door de hydraulische weerstand van de deklaag onder de watergangen en het verschil tussen slootpeil en stijghoogte van het grondwater onder de Holocene deklaag. De aangenomen relatie met de wellenregel en daarmee de verspreiding van de kwel en de wellen is met de in dit hoofdstuk en het bevindingen in hoofdstuk 5 onderbouwd met veldwaarnemingen. De bevindingen in dit hoofdstuk hebben betrekking op de omvang van het al dan niet wellende gebied dat wordt voorspelt met de wellenregel. Hoofdstuk 5 richt zich op de kwelflux in wellende sloten.

Er zijn in het verleden al een uitgevoerd voor het in kaart brengen van de waterkwaliteit van het oppervlaktewater in de Polder Groot Mijdrecht, zoals genoemd in Mankor (2008). Het grootschalige beeld van het chloridegehalte in de polder Groot Mijdrecht komt hieruit naar voren. Echter, de studies bieden onvoldoende nauwkeurigheid om de modelresultaten te toetsen.

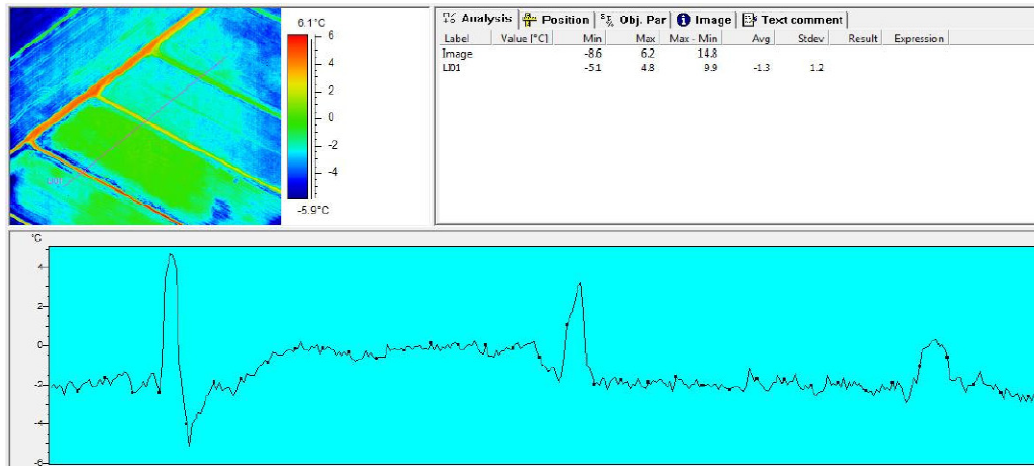
Dit veldonderzoek heeft tot doel het staven van de in het model opgenomen wellenregel en daarmee de verspreiding van de kwel en de wellen binnen het model op basis van veldwaarnemingen.

4.2 Meetmethoden en aanpak

4.2.1 Lokaliseren wellen d.m.v. thermografische luchtfoto's

Thermografische luchtfoto's maken het mogelijk om snel een gebiedsdekkend beeld te geven van de temperatuur van de grond en het oppervlaktewater (zie figuur 4.1). Deze foto's worden gemaakt vanuit een gespecialiseerd vliegtuig waarbij foto's met een resolutie van 0.2 tot 0.4 meter haalbaar is en de temperatuur met een nauwkeurigheid van 0.1 graad Celsius bepaald kan worden. Deze zullen een gebiedsdekkend beeld geven van geheel Mijdrecht en een deel van de aangrenzende polders van de kwelzones op basis van het verschil in temperatuur tussen sloot- en kwelwater. Deze kwelzones/sloten representeren gebieden waar wellen voorkomen. Voorwaarde hierbij is dat het temperatuurverschil tussen sloot- en kwelwater voldoende groot is om randeffecten op het temperatuurverschil uit te sluiten. Hieruit volgt dat op een voldoende warme dan wel koude dag wordt gemeten, zodat het verschil van het grondwater van 11-13 graden Celsius met het oppervlaktewater groot is.

Tijdens de vlucht worden in het veld EGV en temperatuurmetingen ter controle uitgevoerd. Het resultaat van de thermografie zijn gebiedsdekkende temperatuurbeelden in ARCGIS formats.



Figuur 4.1 Voorbeeld van warmtemeting in polder in West Nederland. Profiellijn loopt dwars over de sloten (bron: Miramap, 2008)

4.2.2 Chloride concentratie van het oppervlaktewater

Bepaling elektrische geleidbaarheid

Uit eerdere onderzoeken bleek dat het chloride gehalte van het oppervlaktewater in de polder Groot Mijdrecht sterk varieert. Om hier inzicht in te krijgen, en als input in de andere onderdelen van het veldwerk zoals eerder beschreven werd, wordt door middel van een EVG meter (type GMH 3410) de elektrische geleidbaarheid van het oppervlaktewater gemeten. Hierbij wordt door middel van raaien een zo compleet mogelijk gebiedsdekkend beeld verkregen. Er wordt zoveel mogelijk in perceelsloten gemeten omdat deze het minst beïnvloed zijn door menging met ander dan in de sloot opkwellende grondwater en neerslagwater.



Figuur 4.2. Geleidbaarheidsmeting (EC) van het oppervlaktewater in Mijdrecht.

Vertaling van geleidbaarheid naar chlorideconcentratie

De watergeleidbaarheid σ_w in $\mu\text{S}/\text{cm}$ kan worden gebruikt om het chloridegehalte in mg/l te herleiden op basis van de in eerder in paragraaf 2.2.2 beschreven empirische relatie van Post (2008), die is gebaseerd op een groot aantal analyses van grondwater in Laag Nederland. Het bicarbonaatgehalte HCO_3 in mg/l speelt hierin ook een rol. De gevonden relatie ziet er als volgt uit:

$$(2.4) \quad \sigma_w = 2.91 * 10^2 + 2.71 * Cl - 2.49 * 10^{-5} * Cl^2 + 9.34 * 10^{-1} * \text{HCO}_3$$

Welke met de kwadraatformule omgezet kan worden naar relatie waarmee het chloridegehalte kan worden bepaald:

$$(2.5) \quad Cl = \frac{-2.71 + \sqrt{2.71^2 - (4 * 2.49 * 10^{-5} * (-\sigma_w + 291.81 + 0.93 * \text{HCO}_3))}}{2 * 2.49 * 10^{-5}}$$

De hier beschreven empirische relaties hebben uiteraard beperkingen. Zo geldt voor de relatie 2.5 dat deze toepasbaar is bij een watergeleidbaarheid groter dan $800 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Om een betrouwbare bepaling van de chlorideconcentratie op basis van de geleidbaarheidsmetingen te kunnen doen zijn de meetwaarden gecontroleerd met een aantal watermonsters. De monsters zijn zo gekozen dat het de volledige bandbreedte van gemeten waarden in Mijdrecht beslaat. Ten eerste is in het veld de elektrische geleidbaarheid van het oppervlaktewater bepaald en direct hierna is in het veld de chlorideconcentratie bepaald doormiddel van titratie met de waterkwaliteitsset ontwikkeld door de Vrije Universiteit. Uit de titratie volgt het aantal milli-equivalenten chloride per liter monster. Dit wordt vertaald naar de chlorideconcentratie (mg/l). Verder zijn er watermonsters genomen die geanalyseerd zijn in het laboratorium van de Vrije Universiteit op chlorideconcentratie.

4.3 Resultaten

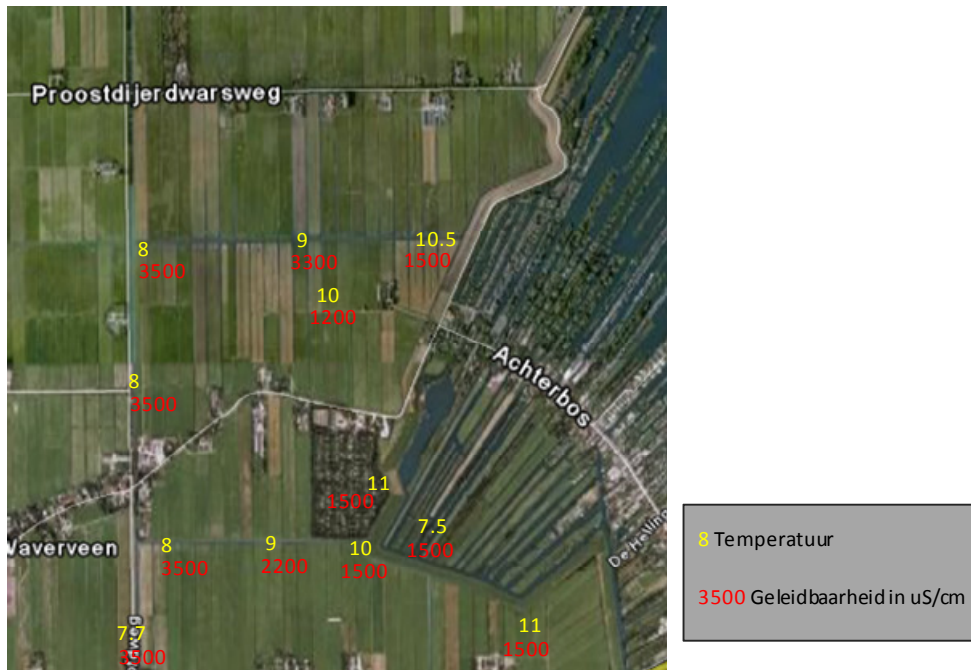
4.3.1 Lokaliseren wellen met thermografische luchtfoto's

Gedurende een kort veldonderzoek op 19 april met een thermometer in watergangen is gebleken dat er duidelijke verschillen in temperatuur (7.5 tot 11 graden Celsius) zijn waar te nemen tussen slootwater en kwelwater (figuur 4.3).

Vanwege een late toekenning van de vergunning om boven het gebied te vliegen was het pas mogelijk om eind april de thermografische luchtfoto's te maken. Verificatiemetingen in het veld in de periode voorafgaande aan de geplande vlucht leidde tot de conclusie dat de watertemperatuur van het oppervlaktewater gestegen was en het temperatuursverschil tussen kwel- en oppervlaktewater te klein was om een eenduidig contrast te kunnen waarnemen. Randeffecten, zoals mening door water vanuit de hoofdwatervgangen en ligging ten opzichte van de zon, beïnvloedden de temperatuur van de sloten te zeer. Later is met een handheld thermisch foto toestel gedurende een warme dag (ca. 25 graden)

eveneens gekeken of een contrast waarneembaar is. Dit contrast bleek er niet te zijn. Dit heeft te maken met het gecombineerde feit dat het koude water onderin de sloot blijft en het bovenste laagjes (dat gemeten wordt) snel is opgewarmd door de zon.

Op basis hiervan is in overeenstemming met de opdrachtgever besloten om het maken van de thermografische luchtfoto's voorlopig niet uit te voeren.

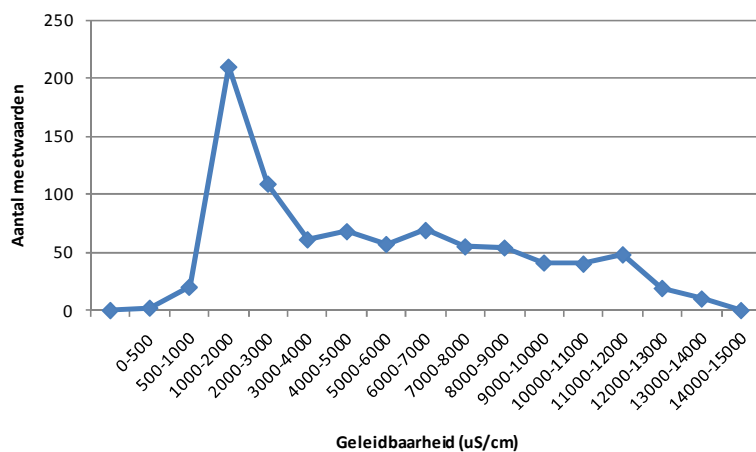


Figuur 4.3. Resultaten temperatuur en EC-metingen op basis waarvan is besloten tot uitvoering van vluchten om de thermografische luchtfoto's te maken. De meetronde is uitgevoerd op een koude dag 19 maart 2008 en laat een duidelijk contrast zien tussen sloten met kwelwater met een klein aandeel kwelwater.

4.3.2 Chloride concentraties van het oppervlaktewater

Bepaling elektrische geleidbaarheid

In totaal zijn er 863 metingen van elektrische geleidbaarheid van het oppervlaktewater in de Polder Groot Mijdrecht verricht in de periode van eind april tot begin juni 2008. De laagst gemeten elektrische geleidbaarheid bedraagt 416 $\mu\text{S/cm}$, de hoogste waarde is 13700 $\mu\text{S/cm}$. De spreiding in gemeten chlorideconcentratie wordt weergegeven in figuur 4.4. In generieke zin zijn de metingen verricht in raaien die het gebied loodrecht doorkruisen. Door verschillende factoren, onder andere bereikbaarheid, is dit zo efficiënt mogelijk uitgevoerd. De ruimtelijke verspreiding van de meetpunten is weergegeven in figuur 4.5.



Figuur 4.4.
Frequentieverdeling van de gemeten geleidbaarheid van het oppervlaktewater in Mijdrecht.



Figuur 4.5. Meetpunten van de elektrische geleidbaarheid van het oppervlaktewater van polder Groot Mijdrecht (eind april – begin juni 2008)

Vertaling van geleidbaarheid naar chlorideconcentratie

De watergeleidbaarheid σ_w in $\mu\text{S}/\text{cm}$ is vertaald naar de chloridegehalte in mg/l op basis van empirische relatie 2.5. Zoals eerder aangegeven heeft deze empirische relaties de beperkingen dat deze toepasbaar is bij een watergeleidbaarheid groter dan $800 \mu\text{S}/\text{cm}$. Deze beperking is opgelost door voor waarden met een kleinere waarde dan $800 \mu\text{S}/\text{cm}$ een waarde van de chlorideconcentratie toe te kennen van $10 \text{ mg}/\text{l}$. Dit is een zeer lage waarde maar daardoor altijd weer snel te herkennen als aangepaste waarde.

Om een betrouwbare bepaling van de chlorideconcentratie op basis van de geleidbaarheidsmetingen te kunnen doen zijn de meetwaarden gecontroleerd met een aantal watermonsters. De monsters zijn zo gekozen dat het de volledige bandbreedte van gemeten waarden in Mijdrecht beslaat. Ten eerste is in het veld de elektrische geleidbaarheid van het oppervlaktewater bepaald en direct hierna is in het veld de chlorideconcentratie bepaald doormiddel van titratie met de

waterkwaliteitsset ontwikkeld door de Vrije Universiteit. Uit de titratie volgt het aantal milli-equivalenten chloride per liter monster. Dit wordt vertaald naar de chlorideconcentratie (mg/l). Verder zijn er watermonsters genomen die geanalyseerd zijn in het laboratorium van de Vrije Universiteit op chlorideconcentratie.

Tabel 4.1 geeft het resultaat van de verificatie waarbij net als voor de diepe sonderingen (hoofdstuk 2) een alkaliniteit van 500 ppm is aangehouden. De meetresultaten zonder coördinaat zijn genomen langs de Proostdijerdwarsweg, de waarde met de lagen EC is genomen bij de meetstuw. Figuur 4.6 geeft de berekende chlorideconcentraties weer zoals bepaald met de empirische relatie.



Figuur 4.6. Chlorideconcentraties oppervlaktewater afgeleid uit geleidbaarheidsmetingen.

Tabel 4.1. Verificatie van chloride op basis van geleidbaarheid met watermonsters. Bij de berekening is uitgegaan van een alkaliniteit van 500 ppm.

	Coördinaat		Cl (gemeten)	meetmethode	EC veld	Cl (berekend)	Verschil
	X	Y	(ppm)		(μ S/cm)	(ppm)	
Acacia-A	-	-	2968	labanalyse	9030	3139	5%
Acacia-B	-	-	333	labanalyse	1526	283	-18%
Acacia-C	-	-	4812	labanalyse	13220	4805	0%
Acacia-D	-	-	1674	labanalyse	5360	1723	3%
Acacia-E	121265	471937	4313	titratie	12630	4567	6%
Acacia-F	121633	471953	2667	titratie	8460	2917	9%
Acacia-G	122136	471938	1435	titratie	5040	1601	10%
Acacia-H	122748	471961	726	titratie	3180	900	19%
Acacia-I	123120	471946	220	titratie	1284	194	-14%

4.4 Uitwerking en interpretatie resultaten

Om een globalere regionaal beeld te kunnen maken op basis van de verkregen metingen is een interpolatie uitgevoerd. Hierbij is gemaakt van de interpolatiemethode 'Inverse Distance Weighted' (IDW). Aan de rand van de polder aan de zijde van de Vinkeveense plassen vinden op sommige plaatsen variaties in de geïnterpoleerde chloridegehalten waar, zonder dat daar metingen verricht zijn die tot dit resultaat konden leiden. Dit wordt verklaard doordat de nabijheid van een dichtheid van meetpunten met een bepaalde waarde hoger is dan met een andere (lagere) waarde.

Het is belangrijk in acht te nemen dat de chloride concentratie in de sloten dynamisch is in de tijd. Over deze meetperiode is weinig neerslag gevallen, waardoor de waterkwaliteit in de perceelsloten een relatief lage bijmening gehad hebben door water vanuit de percelen.

Het resulterende geïnterpoleerde beeld is weergegeven in figuur 4.7 en wordt in de navolgende paragrafen nader toegelicht.

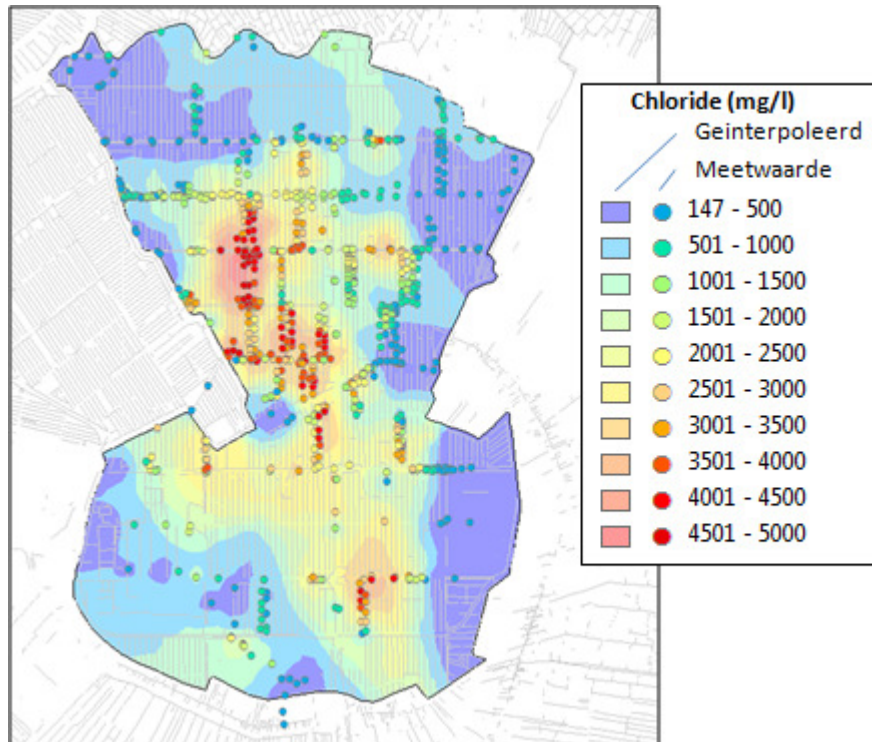
Ruimtelijke verdeling chlorideconcentratie (regionaal beeld)

De resultaten kunnen op verschillende schaalniveaus bekeken worden. Wanneer de hele polder Groot Mijdrecht in ogenschouw wordt genomen, kan de generieke verdeling van zoutconcentratie in het oppervlaktewater geanalyseerd worden. Het valt op dat ten oosten van de Hoofdtocht, en voornamelijk ten Noorden van Waverveen de chlorideconcentraties hoog zijn (> 4000 mg/l). Er worden scherpe gradiënten waargenomen (oa. Waverveensepad en N207) met de veel zoetere delen van de polder aan de buitenzijde van Groot Mijdrecht waar chloridewaarden onder 500 mg/l waargenomen worden. Metingen in het hoogwater gebied aan de westzijde van de polder groot Mijdrecht alsmede in de Vinkeveense plassen laten een veel lager chloridegehalte zien dan in het centrum van de polder. De kwel vanuit de Vinkeveense Plassen zorgt voor een zone met zoet kwelwater aan de randen van de polder Groot Mijdrecht. De zoute kwel in het midden van de polder wordt veroorzaakt door kwel van zout water afkomstig van grote diepte.

In Mankor (2008) worden 3 eerdere studies naar de kwaliteit van het oppervlaktewater (Oostveen en Van der Valk, 1980; Heidemij, 1986, Wit, 1974) gepresenteerd (Figuur 4.8a, b en c). Uit deze studies blijkt dat de laagste chlorideconcentraties (<500 mg/l) aan de randen van de polder waargenomen worden, met een stijgende gradiënt richting de Hoofdtocht, waar concentraties van meer dan 3000 mg/l worden waargenomen.

De kaarten van de ruimtelijke verdeling van chlorideconcentraties in het oppervlaktewater gemaakt in de jaren 80 geven een vergelijkbaar beeld met de metingen die zijn uitgevoerd in het veldonderzoek. Er zijn echter ook verschillen.

Chloridenwaarden hoger dan 3000 mg/l worden gedurende deze studie vrijwel alleen waargenomen ten westen van de Hoofdtocht, ten Noorden van Waverveen zelfs tot aan de dijk. Uitzonderingen hierop zijn het oostelijk deel van de proostdijerdwarsweg, Mijdrechtse Dwarsweg, vrijwel tegen de hoofdtocht gelegen, en ten noorden van de N207. Dit verschilt sterk van het beeld gepresenteerd in Heidemij (1986), waar de hoogst waargenomen chloridegehalten aan beide zijden van de Hoofdtocht waargenomen zijn, waarbij de Hoofdtocht ongeveer het centrum aangaf.

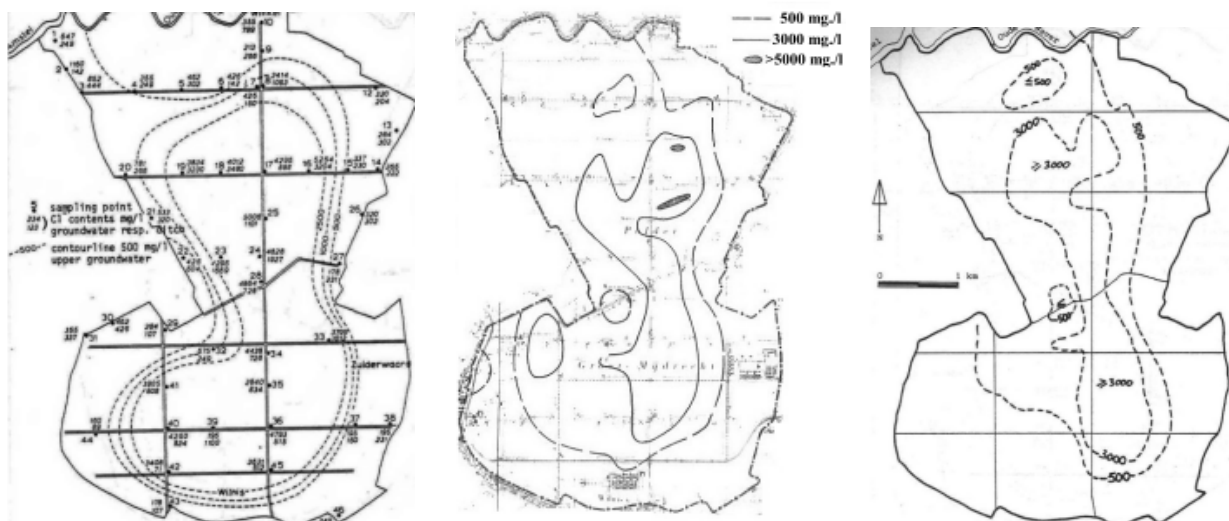


Figuur 4.7. Contourlijnen van de chloride concentratie van het oppervlaktewater in de polder Groot Mijdrecht

In de studie van Heidemij (1986) is geen waarde van hoger dan 4000 mg/l chloride waargenomen, of hier is geen onderscheid in gemaakt. Oosterveen en Van der Valk (1980) hebben waarden van meer dan 5000 mg/l waargenomen, ten oosten van de Proostdijerdwarsweg (zowel noord als zuid). Hier zijn dus wel waarden van boven de 4000 mg/l waargenomen, alleen niet als zodanig weergegeven. In het veldonderzoek zijn alle chloridegehalten lager dan 5000 mg/l (maximum van 4999.4 mg/l), maar de locatie van de hoge waarden lijkt aardig overeen te stemmen. Echter, bij de eerdere studies bevindt het overgrote deel van de meetpunten met een chloridegehalte van boven 4000 mg/l zich ten oosten van de Hoofdtocht (ten Noorden van Waverveen).

Deze verschillen worden veroorzaakt door:

1. Aanzienlijk lager detailniveau in de studies van Wit (1974), Oosterveen en Van der Valk (1980) en Heidemij (1986) in vergelijking tot het veldonderzoek, waardoor bij de interpretatie een sterke generalisatie plaatsvindt.
2. Verschillen in de tijd. Mankor (2008) gaf al aan dat de hoogste chloridegehalten periodiek en lokaal optreden. Dit kan een gevolg zijn van het periodiek ontstaan en verdwijnen van wellen. Een fenomeen dat door verschillende landeigenaren in het gebied is beschreven. Daarnaast speelt wellicht de combinatie met seizoensverschillen en autonome ontwikkelingen een rol. Hoewel voor dit laatstgenoemde eerder het omgekeerde waar is. Het chloridegehalte in de polder, althans bij het gemaal, is over de laatste 100 jaar vrij constant gebleken.



Figuur 4.8a Ruimtelijke verdeling chloride gehalte ondiep grondwater (vlak onder slootbodern) en oppervlakte water in Groot Mijdrecht (Wit, 1974)

Figuur 4.8b Ruimtelijke verdeling chloride gehalte oppervlakte water in oktober 1980 in Groot Mijdrecht (Oostveen en van der Valk, 1980)

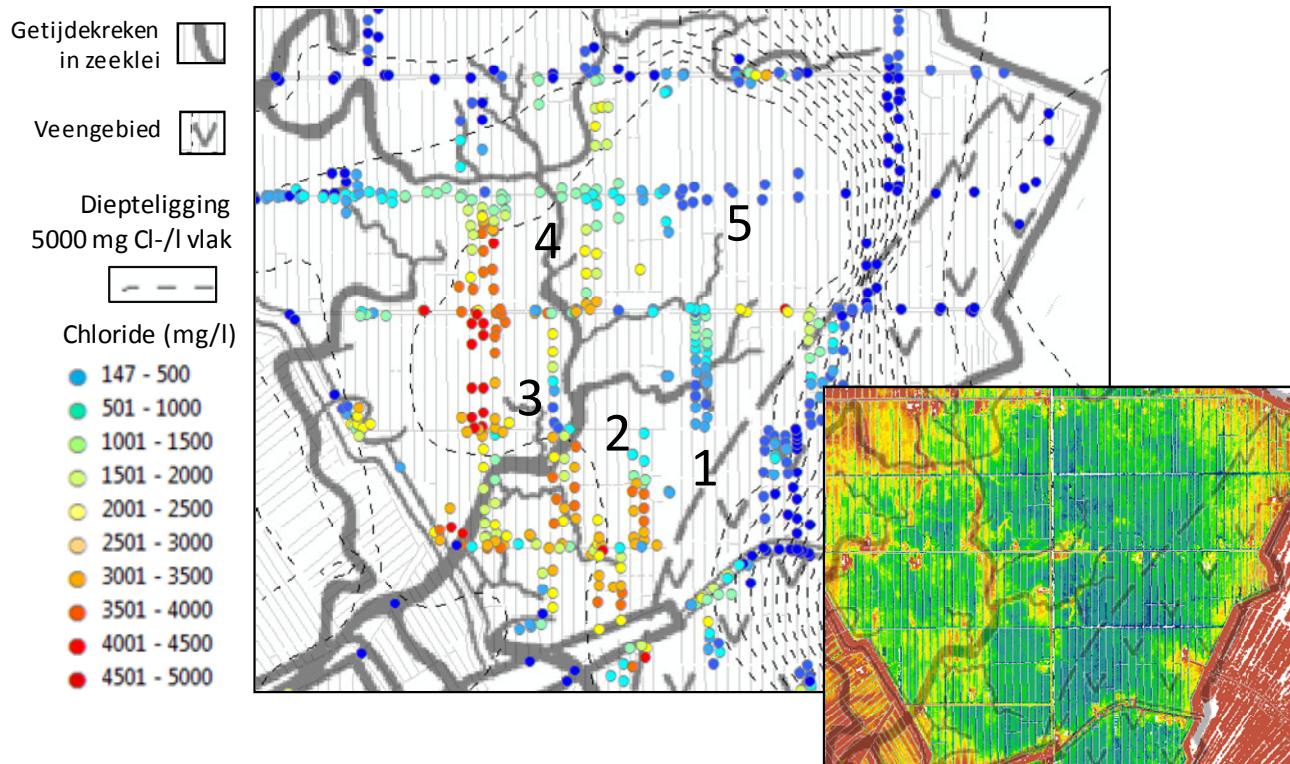
Figuur 4.8c Ruimtelijke verdeling chloride gehalte oppervlakte water (Heidemij, 1986)

Variaties chlorideconcentraties op lokale schaal

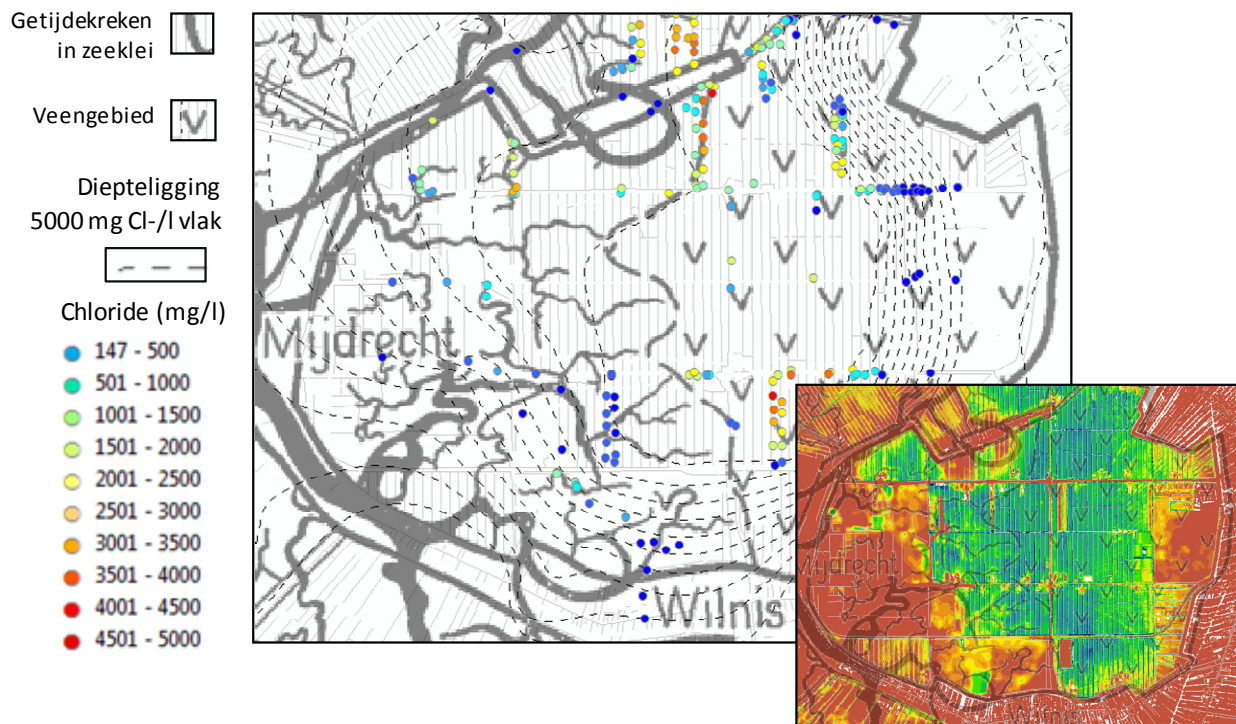
Als de meer lokale variaties bekeken worden, dan vallen er verscheidene afwijkingen op het hierboven beschreven regionale beeld op. De variaties van de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater op lokale schaal zijn interessant omdat het informatie verschaft over de werking van het watersysteem.

Langs de westzijde van de polder ten Noorden van Waverveen is de chlorideconcentratie van de randsloot aanzienlijk lager dan in aanliggende perceelsloten. Bij het dorp Waverveen loopt deze zone met een laag chloridegehalte de velden in tot een meter of 20. Uit gesprekken met landeigenaren blijkt dat langs de noordzijde van Waverveen water vanuit de Amstel wordt ingelaten Dit zoete water wordt ingelaten tot 20 meter de weilanden in. Dit water is relatief zoet in vergelijking tot het van nature aanwezige oppervlakte water.

De Hoofdtocht heeft een lager en gelijkmatiger chloridegehalte dan de perceelsloten. Dit wordt veroorzaakt doordat het volume water vrij groot is en een groot debiet in verhouding tot de afvoer vanuit een individuele perceelsloot. Naar het gemaal toe (noorden van het gebied) blijft de chlorideconcentratie van de Hoofdtocht vrij constant, ondanks dat de hoofdtocht richting het noorden bijmenging krijgt van water met vrij hoge chloridegehalten uit centrale deel van de polder met hoge chloridegehalten. Hieruit kan worden afgeleid dat er een aanzienlijk volume van zoet water afkomstig moet zijn uit het oosten van het gebied. Met andere woorden de kwelintensiteit in het oostelijk deel is groter dan dat in het centrale deel van de polder. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de modelstudie en is al waargenomen in 1902 door Reintjes.



Figuur 4.9. Gecombineerde kaart Mijdrecht Noord van chloridemetingen (deze studie), diepteligging 5000 mg/l grensvlak (deze studie) en getijdekreeken (Bennema, 1953). De inzet is een combinatie van de AHN en de kreekenkaart. Het toont aan dat de kreeken in het gebied ten opzichte van de omgeving hoger liggen. De locaties 1 -5 worden in de tekst nader toegelicht.



Figuur 4.10. Gecombineerde kaart Mijdrecht Zuid van chloridemetingen (deze studie), diepteligging 5000 mg/l grensvlak (deze studie) en getijdekreeken (Bennema, 1953). De inzet is een combinatie van de AHN en de kreekenkaart. Het toont aan dat de kreeken en de bebouwde gebieden ten opzichte van de omgeving hoger liggen.

Naast de genoemde variaties zijn er ook een aantal perceelstoten waarin lage concentraties zijn waargenomen maar waar uit de inventarisatie en aanvullende metingen (o.a. sonderingen) blijkt dat het grondwater zout (waarden groter dan 3000 mg/l) is. Dit is met name in Mijdrecht Noord waargenomen. De nummers 1 t/m 5 in de figuur geven locaties aan waar een laag chloridegehalte in het oppervlaktewater is gemeten in een gebied waar het grondwater onder de deklaag zout is.

Een verklaring voor locatie 5 is dat het een hoofdwaterringang betreft waar het water sterk is verdund door de hoge zoete kwelafvoer uit de randzone van de Vinkeveense Plassen. De locaties 1 t/m 4 komen overeen met de ligging van oude getijderekenen in het zeeleigebied (figuur 4.9). Deze getijderekenen zijn nog altijd te herkennen in het veld en waarneembaar in de AHN hoogtekaart. Een verklaring voor de lage gemeten concentraties is dat er een lagere kwelflux optreedt in deze gebieden. Maar het verklaart nog niet waarom hier een lagere kwelflux zou moeten optreden. Want uit de ondiepe sonderingen uitgevoerd in deze studie en beschikbare gegevens uit boringen laten geen groot verschil zien in de opbouw van deklaag tussen wel of geen getijdereken. Al moet er wel een verschil zijn omdat deze rekenen uitsteken boven het maaiveld.

Bij het combineren van deze gegevens met de toepassing van de wellenregel (in het grondwatermodel) is gebleken dat de betreffende locaties overeenkomen met de plekken waar volgens de wellenregel geen wellen worden berekend. Met andere woorden de meetgegevens maken het mogelijk de binnen deze studie ontwikkelde wellenregel te toetsen aan metingen. Dit is in de volgende paragraaf nader uitgewerkt (voor een uitgebreide uitleg van de wellenregel wordt verwezen naar het modelrapport).

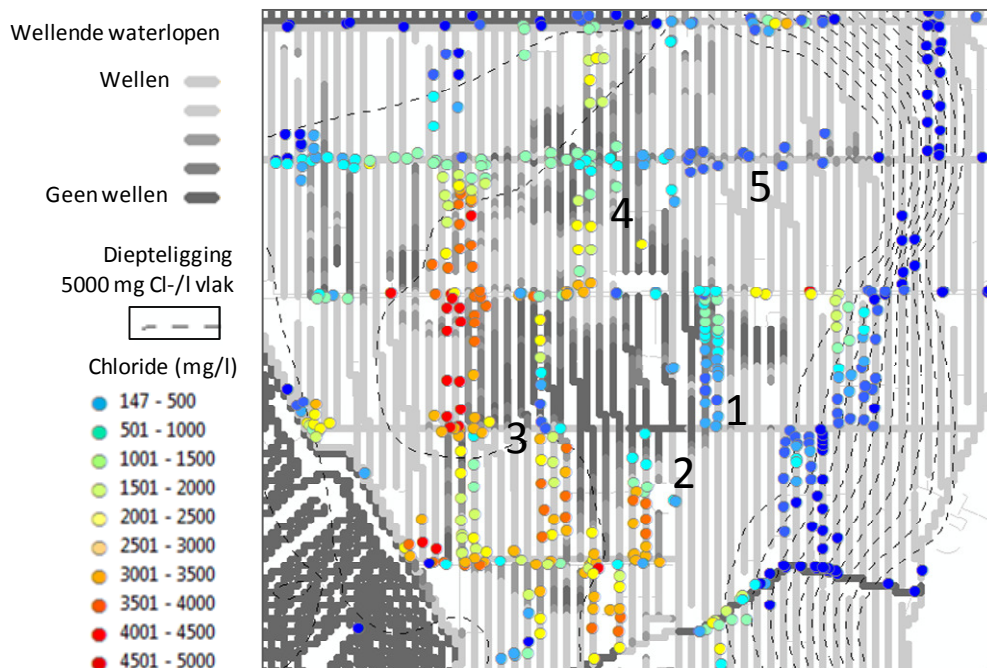
4.5 Betekenis voor de wellenregel in het grondwatermodel

In het model worden de wellen geschematiseerd in sloten volgens de zogenaamde wellenregel (zie rapport modelbeschrijving):

- $Q = c_{wel} * (\varphi - h_{wel})$
- $h_{wel} = h_{polder} + \gamma_{overgewicht} * f_{wel}$

Toepassing van deze regel houdt in dat het debiet uit de wellen zich lineair gedraagt. Verder zijn de toe te kennen weerstand aan een wellende cel (c_{wel}) en de welfactor (f_{wel}) bepalend voor respectievelijk de welflux en omvang van het al dan niet wellende gebied. De parameter c_{wel} die de welflux bepaald komt in hoofdstuk 5 aan bod. Wat binnen de context van dit hoofdstuk van belang is is de welfactor (f_{wel}) die de omvang van het al dan niet wellende gebied bepaald. Figuur 4.11 toont de eerder getoonde kaart 4.9 maar in plaats van de getijderekenen is nu het door het grondwatermodel berekende wellende en niet-wellende gebied weergegeven naast de contouren van het 5000 mg Cl-/l grensvlak en EC-metingen die zijn vertaald naar chlorideconcentraties.

Toetsing van de wellenregel op basis van chloridegehalten is alleen mogelijk indien er een contrast is tussen het kwelwater en neerslagwater. Dit is het geval in het centrale deel van Mijdrecht Noord aangegeven door de dieptecontour in de figuur. Het grondwater onder deklaag heeft hier concentraties die oplopen tot 5000 mg/l. Het water in de waterlopen is een mix van neerslagwater en kwelwater. Ervan uitgaande dat het neerslagwater over het gehele gebied gelijk is wordt de hoogte van het chloridegehalte in de waterloop bepaald door de intensiteit van de kwel.



Figuur 4.11. Gecombineerde kaart van Mijdrecht Noord met chloridegehalten oppervlaktewater, diepteligging 5000 mg Cl-/l en waterlopen met en zonder wellen berekend volgens de wellenregel. De locaties 1 -4 geven locaties weer waar een laag chloridegehalte is gemeten in een gebied waar het grondwater onder de deklaag zout is. Deze gebieden komen overeen met gebieden waar volgens de wellenregel geen wellen zijn berekend. Locatie 5 is een hoofdwatergang waar het water sterk is verdund door de hoge zoete kwelafvoer uit de randzone van de Vinkeveense Plassen.

Hoe groter de kwelflux in het betreffende gebied hoe hoger het chloridegehalten in de waterloop. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van tabel 4.2. In de tabel staat voor een gemiddeld perceel(sloot) het resulteren chloridegehalte berekend in het geval sprake is van diffuse kwel zonder wellen en indien de kwel bepaald wordt door wellen. Uit deze simpele benadering met Darcy kan worden geconcludeerd dat indien sprake is van een wellende sloot een chlorideconcentratie 2x zo groot is dan wanneer sprake is van diffuse kwel in de sloot, ofwel een sloot zonder wellen.

Tabel 4.2. Voorbeeldberekening van verwachte concentratie chloride in perceelsloot uitgaande van een wellende sloot en een niet-wellende sloot. Uitgegaan is van een gemiddeld neerslagoverschot van 1mm/d en zijn de overige waarden overgenomen uit het grondwatermodel (dh en c).

	Wellende sloot	Diffuse kwel	Neerslag
dh (m)	0.3	0.3	-
c (d)	1.5	400	-
q (m/d)	0.2	0.00075	0.001
q (mm/d)	200	0.75	1
concentratie (mg Cl-/l, kg Cl-/m ³)	5000	5000	35
slootlengte (m)	200	200	200
slootbreedte (m)	4	-	-
perceelbreedte (m)	-	50	50
volume (m ³ /d)	160	7.50	10.00
concentratie perceelsloot (mg Cl-/l)	4708	2163	

Met deze kennis is de verdeling van de gemeten chloridegehalten goed te begrijpen. Zo geven de getallen 1 t/m 4 de locaties aan waar een relatief laag chloridegehalte is gemeten. De locaties geven een goede overeenkomst met de gebieden waar volgens de wellenregel geen wellende sloten voorkomen. Met name locatie 2 is hiervan een goed voorbeeld. Met de wellenregel is berekend dat deze twee perceelssloten voor de ene helft bestaat uit een wellend deel (zuidelijk deel) en de andere helft bestaat uit een niet wellend deel (noordelijk). Dit komt overeen met de gemeten chloridegehalten waarbij de concentratie van het wellende deel ongeveer 2x zo hoog is als het niet-wellende deel, overeenkomstig de benadering in de tabel.

De wellenregel berekend de kans van een wel op basis van het overgewicht van de deklaag en de waterhoogte in de sloot. Zoals eerder aangegeven liggen de getijderekenen net iets hoger dan de omgeving. Dit betekent dat het overgewicht van de deklaag op deze locaties ook groter is. Dit kan eventueel nog worden versterkt door de waarschijnlijk toch net iets andere samenstelling. Door het grotere overgewicht volgt hieruit dat de kans op de vorming van een wel dus kleiner is. Het vormt daarmee een verklaring waarom geen wellen worden berekend en verklaard ook waarom hier lage chlorideconcentraties worden waargenomen.

4.6 Conclusies en aanbevelingen

4.6.1 Conclusies

De kaarten van de ruimtelijke verdeling van chlorideconcentraties in het oppervlaktewater gemaakt in de jaren 80 geven een vergelijkbaar beeld met de metingen die zijn uitgevoerd in het veldonderzoek. Er zijn echter ook verschillen die met name worden veroorzaakt door het lager detailniveau van deze studies.

Het centrale deel van Groot Mijdrecht hoogste chlorideconcentraties met een maximum waargenomen waarde van 5000 mg/l. De hoogste waarden worden met name aan de westzijde van de Hoofdtocht aangetroffen. Aan de westkant van de Hoofdtocht is een geleidelijke naar zoet water. Aan de oostkant is de gradiënt veel steiler veroorzaakt door de sterke kwel vanuit de Vinkeveense Plassen. Hier heeft zich een zone met zoet kwelwater gevormd met hoge kwelfluxen. De zoute kwel in het midden van de polder wordt veroorzaakt door kwel van zout water afkomstig van grote diepte.

Er wordt in een aantal perceelssloten lage concentraties waargenomen maar waar uit de inventarisatie en aanvullende metingen blijkt dat het grondwater zout (waarden groter dan 3000 mg/l) is. Het blijkt dat deze locaties overeen komen met de ligging van oude getijderekenen in het zeekleigebied. Bij het combineren van dit gegeven met de toepassing van de wellenregel (in het grondwatermodel) is gebleken dat de betreffende locaties overeenkomen met de plekken waar volgens de wellenregel geen wellen worden berekend. Met andere woorden de meetgegevens maken het mogelijk de binnen deze studie ontwikkelde wellenregel te toetsen aan metingen.

4.6.2 Aanbevelingen

De metingen van de geleidbaarheid van het oppervlaktewater zijn in een vroeg stadium van het onderzoek uitgevoerd. Het verband van lage afgeleide chloridegehalten in een gebied met zout grondwater met het niet-wellende gebieden is pas later in het onderzoek vastgesteld. Nu dit verband bekend is biedt het de mogelijkheid om gericht de niet-wellende perceelsloten te karteren. Het biedt daarmee, althans voor het centrale deel van Mijdrecht waar het grondwater en de kwel zout is, een goede methode om de wellenregel en de daarin gebruikte parameter welfactor te calibreren.

Voor een vlakdekkend beeld van het voorkomen van al dan niet wellende percelen/ perceelsloten biedt thermografische luchtfoto's uitkomst. Doordat dit werkt op basis van temperatuur is dit ook geschikt voor de zoet en licht brakke gebieden van Mijdrecht en omgeving. Het biedt de mogelijkheid om in korte tijd (enkele dagen) een volledig beeld te geven. De meeste kans op een succesvolle vlucht is indien er een groot contrast is tussen kwelwater en het water in de sloot. Dat wil zeggen in de wintermaanden wanneer het kwelwater relatief warm is (13 graden).

5 AARD EN GROOTTE VAN DE (K)WELSTROMEN

5.1 Inleiding

Het rapport van commissie Remkes stelt een aantal vragen rond de uitgevoerde hydrologische en geotechnische berekeningen ten behoeve van de planvorming voor de polder Groot-Mijdrecht. Een deel van deze vragen dienen aan de hand van veldwaarnemingen te worden beantwoord.

In de modelberekeningen en daarin toegepaste wellenregel (zie rapport modelbeschrijving) is aangenomen dat de kwel in sloten plaats vindt en dat deze lineair afhankelijk is van het verschil tussen polderpeil en stijghoogte van het diepe grondwater. De vraag is of voor wellen, die mogelijk als open kanalen fungeren, die aannahme wel opgaat. Als de wellen zich niet-lineair gedragen dan zullen ze ook anders reageren op verwachte veranderingen in polderpeil.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de veldproef waarbij in een perceelsloot met aantoonbare wellen een schot geplaatst waarin een v-notch is gemonteerd. Hiermee is het mogelijk directe metingen van de afvoer als gevolg van de kwelflux in de perceelsloot te kunnen meten. Directe metingen van de afvoer in een watergang geven inzicht in de werking van wellen. Het geeft informatie over de kwelfluxen in de tijd en daarnaast de invloed van een variatie in polderpeil op de kwelflux. Verschillende plan varianten, van het opzetten van het polderpeil tot plasvorming, in de planvorming voor polder Groot-Mijdrecht kunnen aldus in de praktijk worden gesimuleerd.

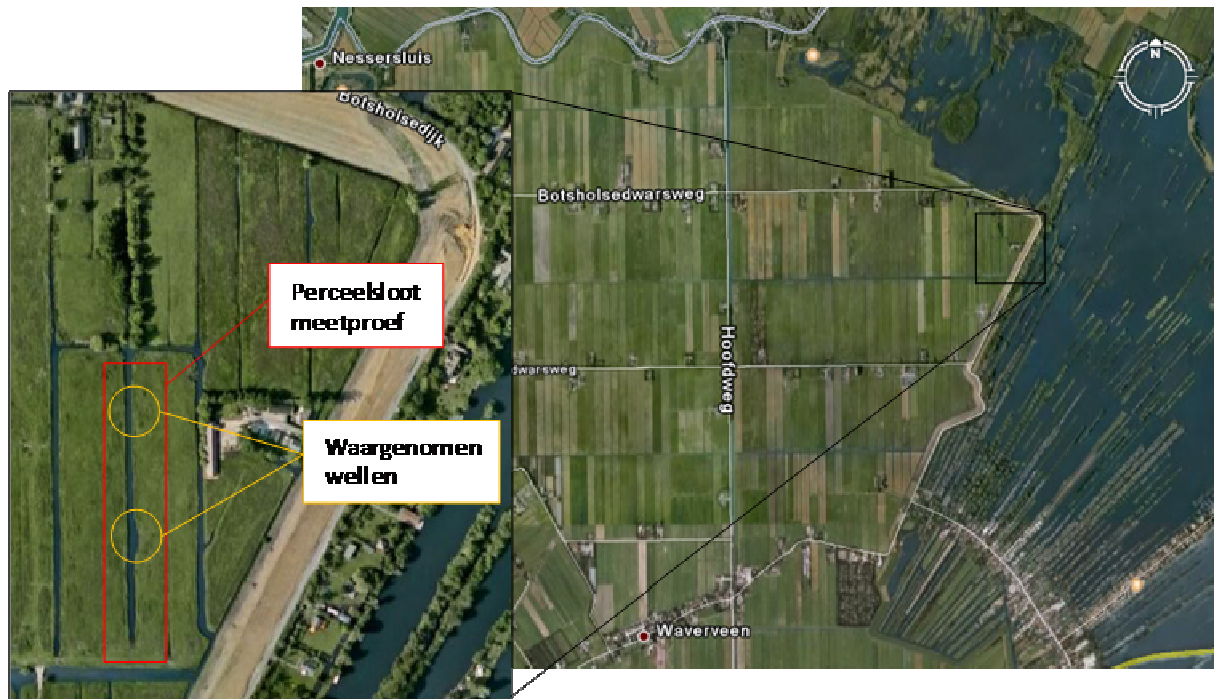
De uitkomsten van het veldonderzoek zijn gebruikt voor de calibratie en toetsing van de conceptuele benadering en wijze waarop wellen in het model zijn geschematiseerd (wellenregel). Daarbij zijn naast de bevindingen in dit hoofdstuk met betrekking tot de lineariteit en kwelflux gebruik gemaakt van de resultaten beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 4 onderbouwd de aangenomen relatie met de wellenregel en de daarmee bepaalde verspreiding van de wellen met veldwaarnemingen.

5.2 Meetmethode en aanpak

Om directe metingen van de afvoer als gevolg van de kwelflux in een watergang te kunnen uitvoeren is een perceelsloot afgedamd. In de sloot is een schot geplaatst waarin een v-notch is gemonteerd. Met de v-notch kan het slootpeil worden gevarieerd, en kan de afvoer van de sloot bij het ingestelde slootpeil worden bepaald. Stroomafwaarts van dit meetschot is op enkele meters afstand een tweede schot geplaatst, zodat de tussengelegen ruimte kan worden bemalen met een klokpomp om vrije overstort bij de v-notch mogelijk te maken.

In het naastgelegen weiland zijn peilbuizen geplaatst in zowel de holocene deklaag als in de pleistocene zanden onder de deklaag. Hiermee kunnen de freatische grondwaterstanden in de deklaag en de stijghoogte in de pleistocene zanden nauwkeurig bepaald worden. Uit deze gegevens valt informatie af te leiden met betrekking op het verloop van de stijghoogte van perceel richting sloot, de kwelflux in de percelen en de stroomrichting van het grondwater. Ook kan afgeleid worden of peilveranderingen in de sloot invloed hebben op de stijghoogte in de pleistocene zanden, en dus de gevolgen van peilveranderingen op de kwelflux in de percelen.

De locatie van de stuw is weergegeven in figuur 5.1. Figuur 5.2 laat een foto zien met wellen in de betreffende perceelsloot.

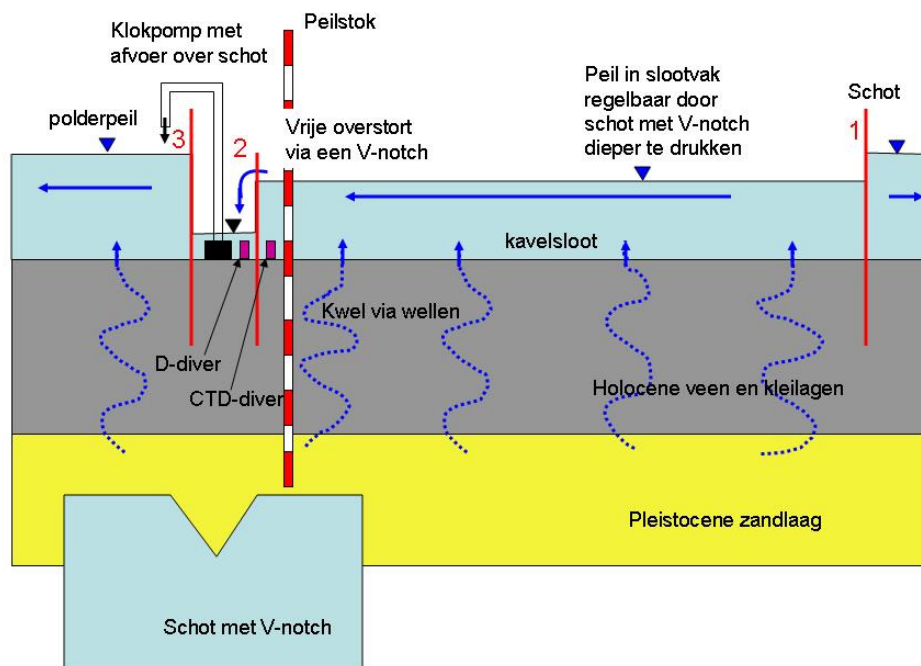


Figuur 5.1: Overzicht locatie stuw en waargenomen wellen. Op de locatie in het noorden betreft wellen in de sloot. Op de locatie in het zuiden betreft een welzone aan de rand van de sloot.



Figuur 5.2. Waargenomen wellen in de perceelsloot. De diameter van deze wellen is maximaal enkele centimeters.

De meetstuw is geplaatst in een sloot waarin een sterke kwelflux is vastgesteld en tevens wellen zijn waargenomen. De sloot is aan de oostelijke rand van de polder Groot-Mijdrecht noord gelegen, aan de Botholsedijk nabij de Vinkeveense plassen. Deze sloot heeft een noord-zuid strekking, is aan de zuidzijde afgesloten met een dam, en voert aan de noordzijde water af in een dwarsloot. De sloot werd 22 april 2008 geïnspecteerd, na een lange periode zonder neerslag, waaruit bleek dat de sloot een behoorlijke afvoer had die uitsluitend door kwelwater veroorzaakt kan zijn. De sloot heeft een lengte van ~200 m, een breedte van ~3 à 4 m en heeft een diepte tot ~0,3 m (prutdiepte). Deze omstandigheden maken de sloot geschikt voor plaatsing van de meetstuw. De EC van het slootwater is 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figuur 5.3. Schematische weergaven van de meetopstelling. Schot 1 bleek niet nodig omdat er al een dam aanwezig was. Verder is de CTD-diver vervangen door een TD diver omdat deze niet beschikbaar was en ook minder van belang is omdat het zoete kwel betreft.

De meetstuw is op 05-05-08 aan de noordzijde van de sloot geplaatst, daar waar de sloot uitmondt en afwatert in de dwarsloot. De meetstuw bevat een aantal gestapelde segmenten in v-vorm. Deze V-notch segmenten hebben elk een hoogte van 15 cm. Door een segment te verwijderen kan het waterpeil in de sloot dus 15 cm naar beneden worden gebracht en vice versa. De V-notch heeft een hoek van 90° . Door de hoogte van het waterpeil in de sloot ten opzichte van de punt van het bovenste V-notch segment te bepalen, kan de afvoer bij dit waterpeil berekend worden. Bij plaatsing is de V-notch op een dusdanige diepte geplaatst dat bij het hoogste peil de sloot niet overstroomt naar omringende sloten. De stuw is waterpas geplaatst zodat de bovenkant van de meetstuw horizontaal is. Vervolgens is het stroomafwaartse (noordelijke) schot geplaatst. Hierin is geen meetstuw geplaatst. Het doel van dit schot is om de tussengelegen ruimte leeg te kunnen pompen zodat ook bij een lage stand, beneden het heersende polderpeil, van de v-notch een vrije overloop wordt gegarandeerd.

Stroomopwaarts van de meetstuw zijn een peilschaal en peilbuis met drukopnemer (Micro-Diver) geplaatst, om het waterpeil van de sloot te monitoren. In deze peilbuis is tevens een Baro-Diver geplaatst om de luchtdruk te monitoren. De Divers zijn ingesteld op 1 meting per 5 minuten.

In de ruimte tussen beide schotten is een peilbuis met drukopnemer (Micro-Diver) geplaatst, om het waterpeil van het water tussen beide schotten te monitoren. Zo kan worden gecontroleerd of bij het leegpompen van de ruimte tussen beide schotten het waterpeil op een constant laag peil blijft en de klokpompen voldoende capaciteit hebben.

Om de filters van de peilbuizen is een waterdoorlatende kous geplaatst, zodat de peilbuis vrij blijft van sediment en golfwerking wordt gedempt.



Figuur 5.4: Detail locatie meetschot en peilbuizen.

In het perceel ten westen van de sloot zijn haaks op de sloot in een raai 8 peilbuizen inclusief kous geplaatst tot 1 m -mv, om de freatische grondwaterstand te bepalen. De resultaten van deze metingen zijn beschreven in hoofdstuk 6. De percelen hebben een breedte van sloot tot sloot van 50 m.

In de percelen ten westen en ten oosten van de sloot zijn op 3 locaties extra peilbuizen geplaatst. De eerste locatie is direct naast de sloot bij de noordelijk waargenomen wellen. De tweede locatie is bij de zuidelijk gelegen welzone. De derde locatie is midden op het perceel bij de raai van freatische peilbuizen. Op iedere locatie zijn 2 peilbuizen geplaatst; een peilbuis in de pleistocene zanden (filterdieptes 7-8 m -mv) en een peilbuis in de holocene deklaag (filterdieptes 1-

2 m -mv). In deze peilbuizen zijn drukopnemers geplaatst (Micro-Divers). De Divers zijn ingesteld op 1 meting per 5 minuten. De meetstuw (en v-notch), peilschaal en alle bovenkanten van de peilbuizen (en diverhoogtes) zijn ingemeten met een landmeter, de onderlinge hoogtes zijn dus bekend. De hoogtes ten opzichte van NAP zijn niet bekend en zullen later door de Provincie Utrecht worden ingemeten. Alle grondwaterstanden en de hoogtes van het slootpeil en v-notch in deze rapportage zijn gerefereerd aan de diver in de bovenstroomse peilbuis (= referentieniveau 0) tenzij specifiek anders is aangegeven.

De plaatsing van de apparatuur in en om de meetsloot is in de volgende fotoserie weergegeven (zie foto's 1 - 8).



1) Plaatsing van het meetschot (met 7 V-notch niveaus) in het stroomopwaartse schot.



2) Plaatsing van het stroomopwaartse schot in de sloot.



3) Bij plaatsing stond de v-notch met 7 segmenten op het hoogste niveau.



4) Vervolgens is het stroomafwaartse (noordelijke) schot geplaatst. Hierin is geen meetstuw geplaatst.



5) Circa 10 m stroomopwaarts van de meetschotten is een peilschaal en peilbuis met drukopnemers (Micro-Diver en Baro-Diver) geplaatst om het waterpeil te monitoren.



6) Na enkele dagen is het slootpeil gestabiliseerd en het hoge peil bereikt.



7) Het slootpeil kan naar believen worden gevarieerd door V-notch segmenten te verwijderen dan wel toe te voegen.



8) Zowel in de pleistocene zanden als in de holocene deklaag zijn peilbuizen geplaatst. In 6 peilbuizen zijn drukopnemers geplaatst.

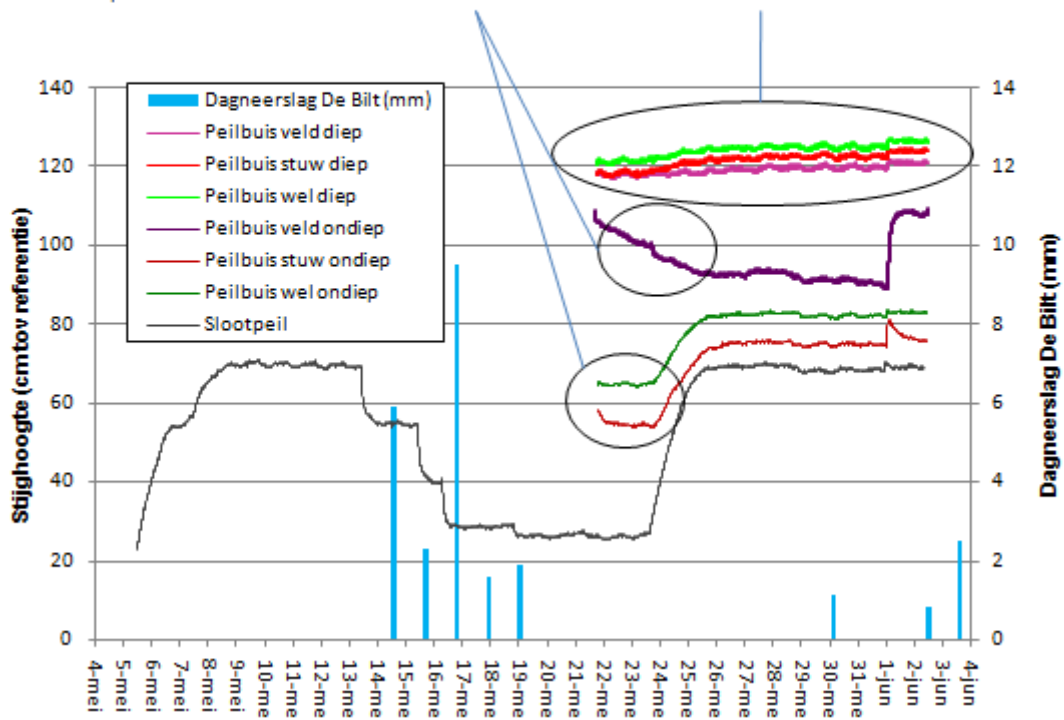
5.3 Resultaten

Peilbuizen

De 6 peilbuizen met drukopnemers zijn op 3 locaties geplaatst. Op iedere locatie staat een diepe peilbuis (filterdiepte 7 tot 8 m -mv) en een ondiepe peilbuis (filterdiepte 1 tot 2 m -mv). De diepe filters staan in de pleistocene zanden en registreren de stijghoogte in deze zanden. De ondiepe filters staan in de holocene deklaag en registreren de freatische grondwaterstand. Een locatie is in het midden van het weiland op 23 m afstand van de meetsloot (locatie "veld"). De tweede locatie is nabij de stuw op ~3 m afstand van de sloot (locatie "stuw"). De derde locatie is op een plek waar een inham in de sloot zit, wat duidt op de aanwezigheid van een wel (locatie "wel"). Op 21 mei zijn divers in de peilbuizen gehangen en data verzameld. De metingen staan weergegeven in figuur 5.5.

De peilbuizen dicht bij de sloot in de deklaag laten duidelijk een reactie zien bij het opzetten van het slootpeil. De Peilbuis in het midden van het perceel laat juist een afname zien die veroorzaakt wordt door afvoer van de neerslag van een paar dagen eerder. Deze peilbuis lijkt niet direct onder invloed te staan van het slootpeil.

De stijghoogte in de Pleistocene zanden onder de deklaag stijgt mee wanneer het slootpeil wordt opgezet. Deze stijging is ook waarneembaar in de peilbuis in het midden van het perceel (23m vanaf de meetsloot). Tevens is een reactie te zien op de neerslag in de stijghoogte van de Pleistocene zanden.



Figuur 5.5. Interpretatie peilbuizen met divers in deklaag en pleistocene zanden.

Bij het laagste en het hoogste slootpeil is de stijghoogte in de pleistocene zanden bepaald. Het verschil in stijghoogte tussen het slootpeil en de pleistocene zanden bedraagt $\sim 0,45$ m bij instelling van het hoge peil, en $\sim 0,6$ m bij instelling van het lage peil. Te zien is dat de stijghoogte in de pleistocene zanden enigszins beïnvloed wordt door veranderingen in slootpeil en meestijgt met een stijging in slootpeil. Zowel in de freatische grondwaterstanden als in de stijghoogte van de pleistocene zanden is de invloed van neerslag merkbaar.

Afvoer

De afvoer is bepaald aan de hand van onderstaande relatie (formule 5.1):

$$(5.1) \quad Q = 4.28 * C * \tan\left(\frac{90}{2}\right) * (k + h)^{5/2}$$

Waarbij, Q in ft^3/s (1ft = 30,48 cm) en h de hoogte waterpeil t.o.v. punt v-notch (ft) is. Bij een hoek van 90° geldt verder dat:

- C (afvoercoëfficiënt) = 0.577905
- k (correctiefactor voor waterhoogte) = 0.088469

Afvoer berekend met behulp van bovenstroomse drukopnemer

Circa 10 m stroomopwaarts van de stuw zijn een Micro-Diver en Baro-Diver geïnstalleerd. Met behulp van de Baro-Diver zijn de metingen van de Micro-Diver voor luchtdruk gecompenseerd, zodat de metingen van de Micro-Diver een nauwkeurige weergave van de hoogte van de waterkolom boven de Diver geven, en dus in dit geval van het waterpeil in de sloot.

Omdat de hoogte van de punt van de v-notch ten opzichte van de Micro-Diver bekend is, kan bepaald worden hoe hoog het waterpeil van de sloot is ten opzichte van de punt van de v-notch. Op deze manier is de afvoer van de sloot berekend. Als referentie voor deze schaal is de diver in de bovenstroomse peilbuis genomen (ref = 0 cm). Het oorspronkelijke slootpeil (polderpeil) is op deze schaal 20 cm.

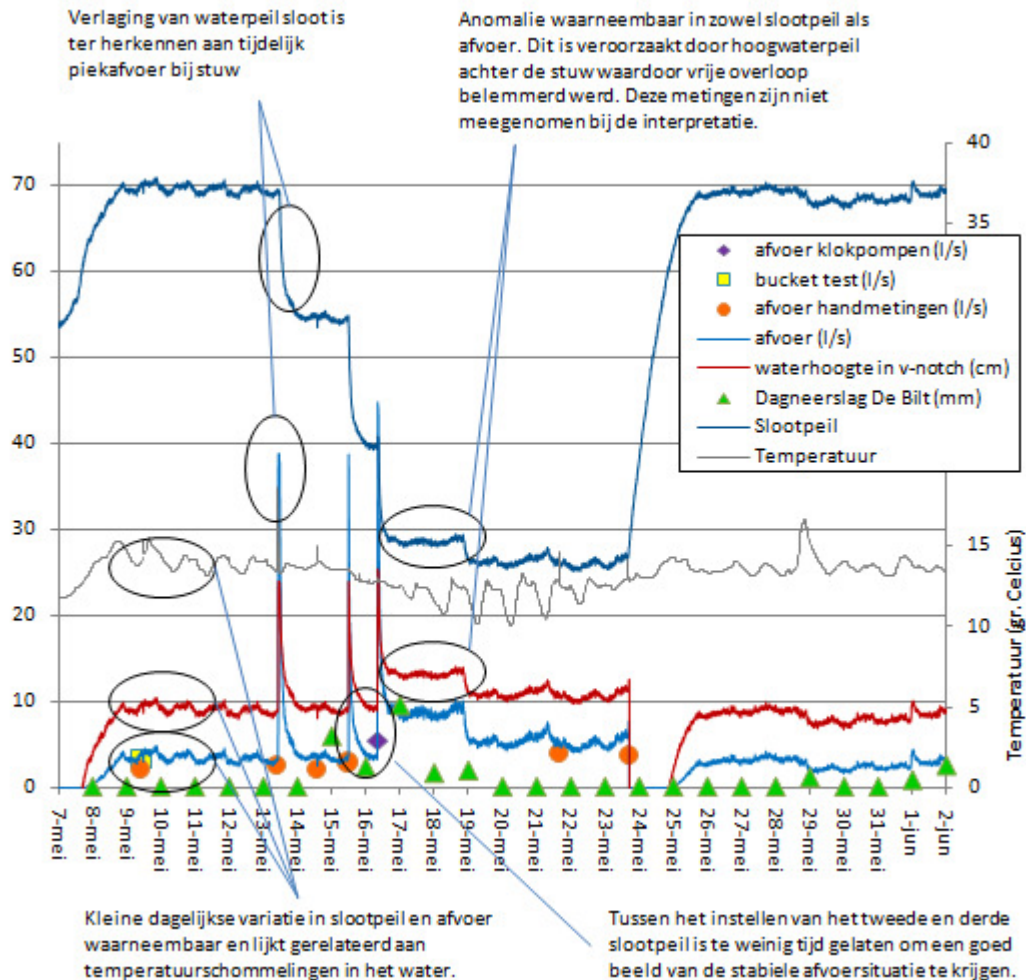
Bij plaatsing van het meetschot waren alle V-notch segmenten in het schot geplaatst. De V-notch was hoger dan het slootpeil en er vond geen afvoer plaats. Op 07 mei was het slootpeil gestegen tot boven de punt van de V-notch.

Zodra het slootpeil constant is, zal ook de afvoer constant zijn en kan een afvoer bij deze sloothoogte bepaald worden. Vervolgens kan een V-notch segment verwijderd worden uit de meetstuw zodat het slootpeil 15 cm lager zal komen te staan, waarop opnieuw een afvoer bepaald kan worden. Het eerste V-notch segment is verwijderd op 13 mei, het tweede segment op 15 mei en het derde segment op 16 mei. Dit was het laagste niveau haalbaar in de meetsloot vanwege de geringe slootdiepte ten opzichte van het maaiveld. Alle segmenten zijn opnieuw in het meetschot geplaatst op 23 mei. Iedere verwijdering van een segment is herkenbaar aan de afvoerpiek als gevolg hiervan. Hernieuwde plaatsing van alle segmenten resulteert tijdelijk in een situatie zonder afvoer.

Het resultaat staat weergegeven in Figuur 5.6. Hierbij zijn tevens de handmetingen, de temperatuur van het slootwater en de dagneerslag toegevoegd. De dagneerslag is gemeten door het KNMI in De Bilt, en kan dus afwijken van de neerslag bij de stuw. In de afvoercurve zijn een aantal verschijnselen waarneembaar die aan de hand van in de figuur zijn toegelicht.

Bij het laagste slootpeil is geen vrije overloop mogelijk bij de v-notch. Daarom zijn tussen het eerste en tweede schot klokpompen gehangen om de ruimte tussen beide schotten droog te pompen en zo vrije overloop bij de v-notch mogelijk te maken. Omdat het debiet van de klokpompen moest worden afgesteld op de hoeveelheid water die door de v-notch stroomt, was een calibratieperiode van een aantal dagen noodzakelijk (van 16-06 tot 18-06).

In de afvoercurve valt op dat er, zodra het waterpeil en de afvoer gestabiliseerd zijn tijdens een bepaalde peilinstelling, een dagelijkse gang in slootpeil en afvoer aanwezig is. Het betreft hier een relatief kleine afwijking van het gemiddelde slootpeil bij een bepaalde peilinstelling die echter wel sterk doorwerkt in de afvoerberekening. In de gegevens is te zien dat de dagelijkse piek s' middags optreedt en dat het laagste slootpeil binnen de dagelijkse variatie s' nachts optreedt. Waardoor deze dagelijkse variatie veroorzaakt wordt is nog niet met zekerheid bekend. Er is gecontroleerd of dit veroorzaakt zou kunnen zijn doordat water ingelaten of weggemalen wordt door poldergemalen. De fasering van de poldergemalen blijkt echter niet overeen te komen met de waarneembare dagelijkse variatie in slootpeil. Het fenomeen wordt ook waargenomen in meetreeksen van grondwaterstanden, waarbij als verklaring is geopperd dat de fluctuatie mogelijk veroorzaakt wordt door evapotranspiratie (De Louw et al. 2004). Wat dan echter opvalt is dat de piek s' middags optreedt, terwijl dan juist de verdamping het hoogst is. Er zou dan dus juist s' nachts een piek verwacht worden, wat in de gegevens van De Louw et al. wel het geval was, maar niet in de data van de meetsloot.



Figuur 5.6: Resultaat en uitleg van de afvoercurve

Een alternatieve mogelijkheid zou kunnen zijn dat het verschijnsel temperatuur gerelateerd is. Mogelijk ontstaat er door sterke opwarming van de lucht in de peilbuis een afwijking in de temperatuurcorrectie op gemeten druk in de divers. Verder onderzoek naar dit fenomeen valt vooralsnog buiten het huidige onderzoek.

Afvoer berekend met behulp van handmetingen

De waterhoogte in de stuw is ingemeten met de hand ter verificatie van de data uit de drukopnemers (tabel 5.1). Er is gemeten zodra in de diverdata te zien was dat het waterpeil was gestabiliseerd ten opzichte van de hoogte van de V-notch.

De gegevens vertonen enige discrepantie. Vanwege de vorm van de V-notch levert iedere extra cm in de verticale waterhoogte een behoorlijk extra debiet op, ~20% extra afvoer per cm extra hoogte bij de huidige orde grootte van de afvoeren. Aangezien de debietsformule zeer gevoelig is voor metingen van de waterhoogte dient enige voorzichtigheid met interpretatie van deze handmetingen in acht genomen te worden.

Behalve de afleesfout van handmetingen wordt er een extra meetfout veroorzaakt omdat direct bij de v-notch is gemeten, terwijl eigenlijk een stukje stroomopwaarts van de stuw gemeten dient te worden, zodat de curve van het wateroppervlak dichtbij de stuw (veroorzaakt door stroming van water door de

v-notch) de hoogtemeting van het waterpeil niet beïnvloed. Deze meetfout kan een onderschatting van de berekende afvoeren veroorzaken.

Vanwege deze meetfouten is in het vervolg uitgegaan van de afvoermetingen die bepaald zijn met de diverdata.

Uit de uitgevoerde bucket testen (met 10l emmer) op 09-05 valt een gemiddelde afvoer van 3,2 l/s af te leiden. Uit de debietmeting van de klokpompen op 16-05 met een 50l bak valt een bemalingsdebiet van 5,3 l/s af te leiden.

Tabel 5.1: Handmetingen en berekende afvoer

Peilschaal (cm)	Datum	V-notch			Berekende afvoer (l/s)
		Verticale hoogte wateroppervlakte boven v-punt (cm)	Breedte wateroppervlakte in V-notch (cm)	Hoogte wateroppervlakte boven v-punt langs schuine zijde (cm)	
67.5	09-05	7.5	17	11.5	2.2
67	13-05	8	17	11	2.5
52	14-05	7.5	17.5	11.5	2.2
53	15-05	8.5	18	12	3.0
23.5	21-05	9.5	21	13,5	3.9
24	23-05	9.3	nb	nb	3.7

5.4 Discussie resultaten

De afvoer van de meetsloot wordt grotendeels veroorzaakt door een kwelflux en in mindere mate door neerslag. De kwelflux wordt in stand gehouden door een potentiaalverschil tussen de stijghoogte in het pleistocene watervoerende pakket en het slootpeil (en tevens de freatische grondwaterstand) in de holocene deklaag. Volgens de grondwaterstromingsleer volgt op een lineaire toename van het potentiaalverschil eveneens een lineaire toename van de grondwaterstroming van hoge naar lage potentiaal. In het geval de kwel uniform door de gehele slootbodem opkwelt zal de stroming zich gedragen volgens de wet van Darcy (formule 5.2):

$$(5.2) \quad v = k * i$$

v = watersnelheid

k = doorlatendheid van medium

i = hydraulische gradient, in dit geval gevormt door het potentiaalverschil onder en boven de deklaag.

Als er wellen (zwaktezones) in de deklaag onder de sloot aanwezig zijn waardoor kwelwater laminair met lage stroomsnelheid richting de sloot stroomt, zal de

stroming in een wel zich gedragen volgens de wet van Hagen-Poiseuille (formule 5.3):

$$(5.3) \quad \Delta P = \frac{32\eta v_{gem} L}{d^2}$$

P = drukverschil tussen beide kanten van de buis (wel) [Pa]

η = dynamische viscositeit [Pa.s]

v_{gem} = gemiddelde stroomsnelheid [m/s]

L = lengte [m]

d = diameter [m]

Met andere woorden, bij het opzetten van het peil in de sloot zal het potentiaalverschil tussen de stijghoogte in de pleistocene zanden en de freatische grondwaterstand afnemen en kan dus volgens deze relaties een lineaire afname van de kwelflux en slootafvoer verwacht worden.

Echter, een alternatief scenario is ook denkbaar. Kwelwater dat via wellen vanuit de pleistocene zanden opkwelt, kan dusdanig snel stromen dat wetmatigheden voor grondwaterstroming niet meer opgaan. Dit wordt onder andere waargenomen in de Haarlemmermeerpolder. De wel vormt dan als het ware een pijp door de deklaag waardoor opkwellend water turbulent stroomt. Deze stroming zal zich gedragen volgens een exponentieel verband (Fanning of Darcy-Weisbach, formule 5.4). Daarom zal als dit verschijnsel optreedt, een exponentieel verband zijn waar te nemen tussen waterhoogte en afvoer.

$$(5.3) \quad \Delta P = f * \rho * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2}$$

P = drukverschil tussen beide kanten van de buis (wel)

f = frictiefactor, kan bij turbulente stroming bepaald worden met het Moody diagram

ρ = dichtheid water

L = lengte (van de wel door deklaag)

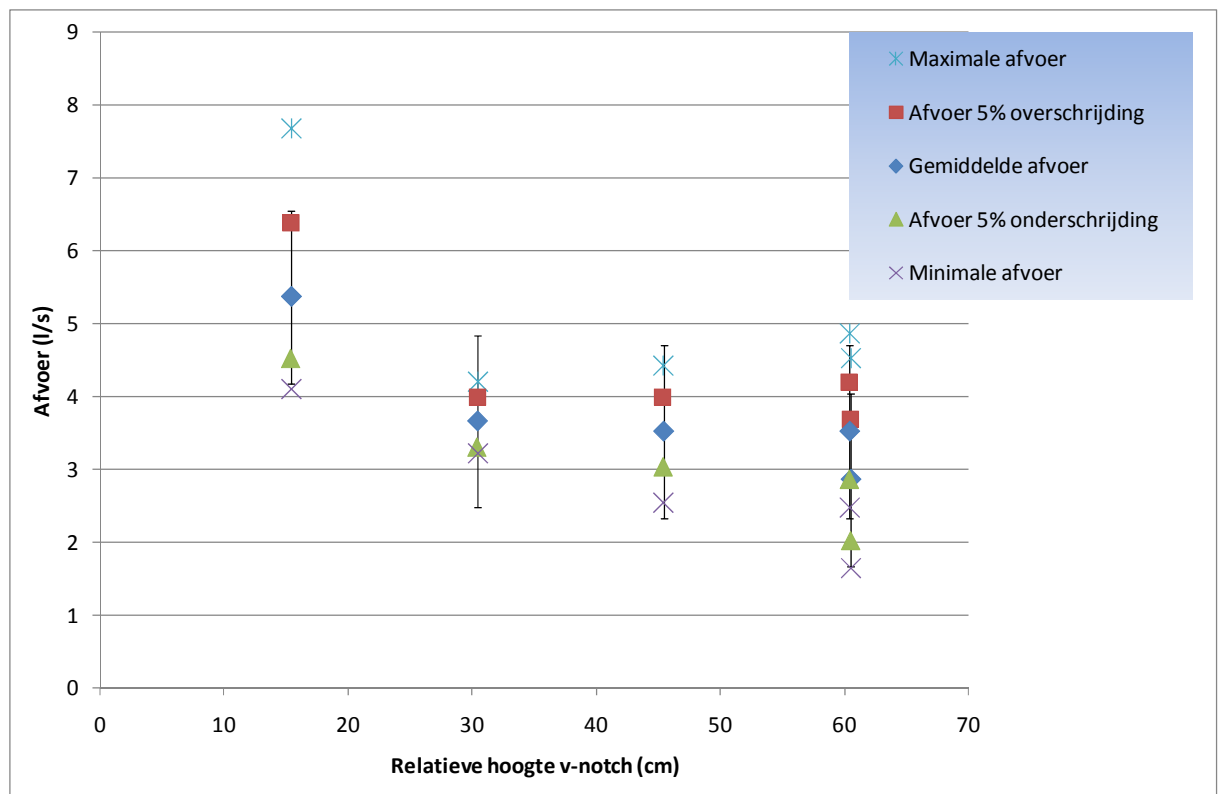
d = diameter (van de wel)

v = stroomsnelheid

De afvoer bepaald aan de hand van de bovenstroomse drukopmeter vertoont een minder duidelijke relatie bij variërende slootpeilen dan de handmetingen. Per stabiele slootpeilhoogte kan via een aantal verschillende methoden de afvoer bepaald worden. Enkele methoden zijn weergegeven in Figuur 5.7. Met relatieve hoogte v-notch wordt bedoeld de hoogte van de punt van de v-notch ten opzichte van de referentie (bovenstroomse diver).

Een voortschrijdend gemiddelde is ook toegepast op de data, maar leverde een vrijwel gelijk beeld op als dat van het rekenkundig gemiddelde dat hier is weergegeven.

Op het rekenkundig gemiddelde is 2x de standaarddeviatie van de meetreeks weergegeven (de zwarte balkjes). Dit toont aan hoe groot de variatie is binnen de huidige meetreeks. Tevens is duidelijk waarneembaar dat verschillende methodes om de gemiddelde afvoer per slootpeil te bepalen ook een aanzienlijke variatie in beeld opleveren.



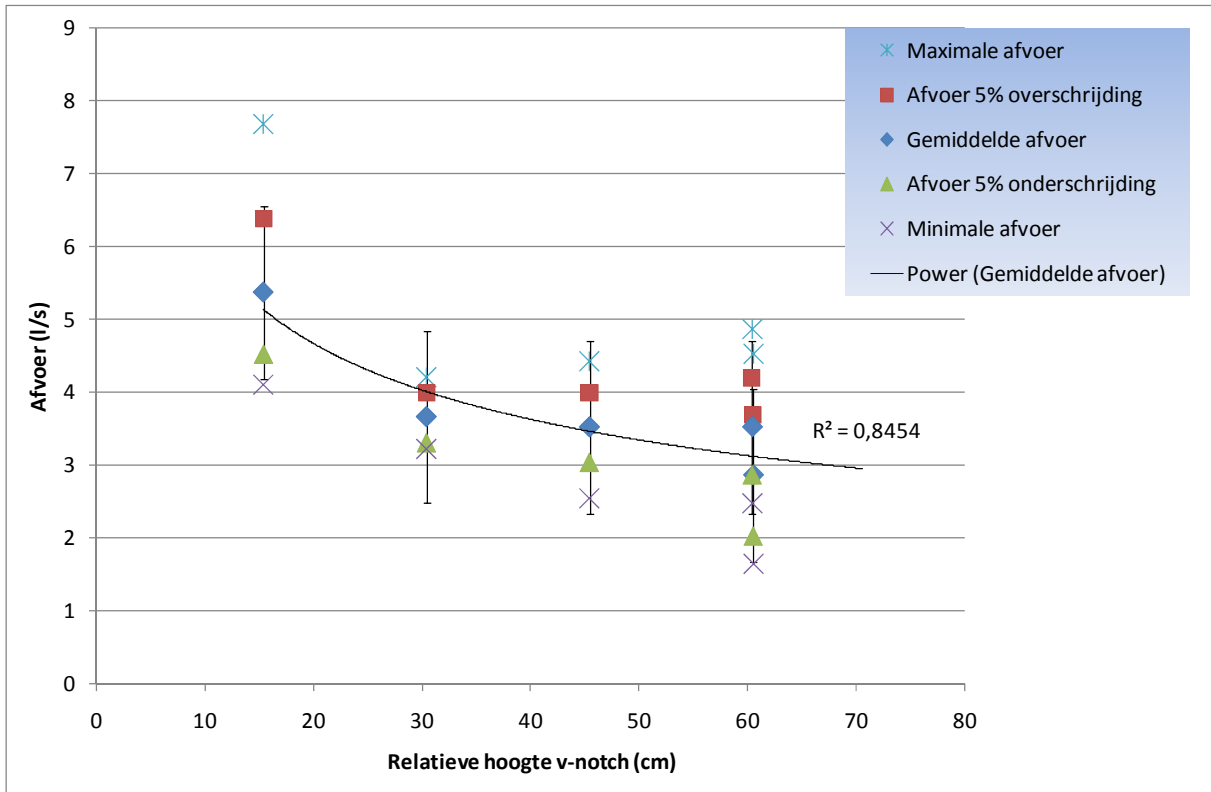
Figuur 5.7: Gemiddelde afvoer per slootpeil (v-notch hoogte).

Aan het begin en eind van de meetperiode was de relatieve v-notch hoogte 60,4 cm (hoogste peil). Daarom zijn er voor dit slootpeil voor iedere methode 2 gemiddelden bepaald. Bij de overige slootpeilen is in 1 periode de afvoer gemeten.

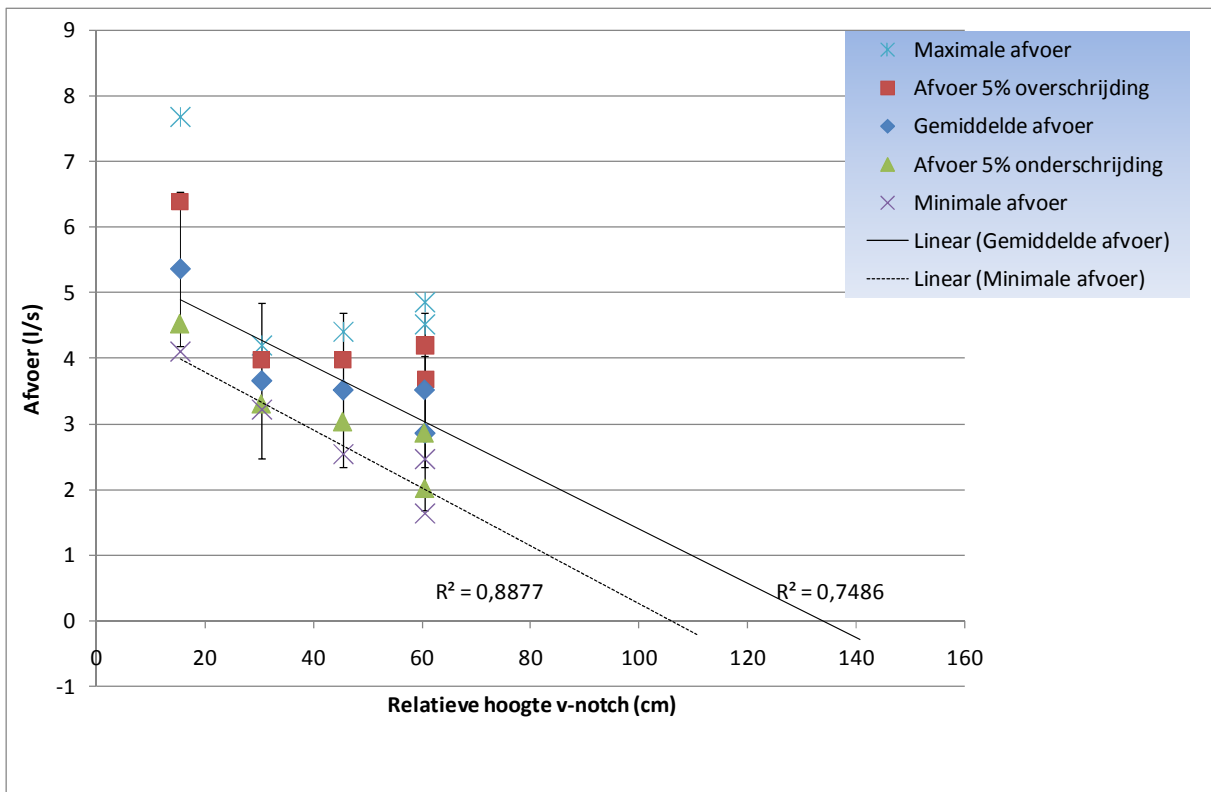
De kwelflux wordt veroorzaakt door het verschil in stijghoogte tussen het slootpeil en de stijghoogte in de pleistocene zanden. Omdat de stijghoogte in de pleistocene zanden licht beïnvloed wordt door variaties in slootpeil en niet constant is bij een bepaalde instelling van het slootpeil (waardoor het stijghoogteverschil ook niet constant is), is het eigenlijk beter om de gemiddelde afvoer te bepalen bij het op dat moment heersende stijghoogteverschil. Oftewel, er dient voor de nauwkeurigheid eigenlijk een correctie te worden toegepast op de hoogteinstelling van het peil (hier de relatieve hoogte v-notch) om te compenseren voor de variatie in stijghoogte in de pleistocene zanden. Dit is gezien de geringe meetreeks van de stijghoogte in de pleistocene zanden vooralsnog niet gedaan.

Vanwege schommelingen in de sloothoogte en afvoer in combinatie met de relatief korte meetperiode, is de standaard deviatie op de gemiddelde afvoer per slootpeil relatief groot. Er zijn verschillende interpretaties mogelijk

Aangezien in de meetsloot slechts op 4 verschillende peilen kon worden gemeten en momenteel van 3 van deze peilen slechts een enkele meetreeks beschikbaar is, is op puur statistische basis bij de huidige beschikbare gegevens niet zonder meer een eenduidige relatie af te leiden. Zowel lineaire als niet lineaire relaties vallen binnen de 2x standaarddeviatie van de meetgegevens.



Figuur 5.8. Gemiddelde afvoer per slootpeil volgens exponentieel verband.



Figuur 5.9. Gemiddelde afvoer per slootpeil volgens lineair verband.

Zo op het eerste gezicht is in de gemiddelde afvoer per slootpeil een niet-lineair verband te herkennen (figuur 5.8). Dit zou duiden op hoge stroomsnelheid van kwel en zou dus de aanwezigheid van wellen met turbulente kwelstroming suggereren.

In figuur 5.9 is een lineaire trendlijn door de gemiddelde afvoer per slootpeil getrokken. De regressiecoëfficiënt is niet heel hoog, maar de regressielijn valt binnen de dubbele standaarddeviatie van de meetgegevens. De trendlijn toont aan dat bij een lineair verband tussen slootpeil en afvoer, de afvoer stopt bij een relatieve v-notch hoogte van ~ 130 cm. Dit correspondeert met een peilopzet van ~ 110 cm ten opzichte van het initiële slootpeil van de meetsloot (polderpeil).

Een opvallend verschijnsel in de data is dat de dagelijkse schommeling in waterhoogte bij een bepaald slootpeil per dag ongeveer dezelfde minimum waarde heeft, maar dat de maximale waarde soms wordt gevormd door een uitschieter. Hierdoor wordt de kans groter dat een langere meetperiode (zoals de eerste en laatste periode op het hoge slootpeil) een grotere maximum uitschieter heeft dan kortere meetperiodes (zoals de tweede en derde meetperiode op lagere slootpeilen). Omdat de minimale afvoer per slootpeil minder wordt beïnvloed door de meetperiode, is daarom in dit geval gebruik van de minima betrouwbaarder. Een lineaire regressielijn door de minima levert een hogere regressiecoëfficiënt op. Dit in ogenschouw nemend lijkt vooralsnog een lineair verband het meest waarschijnlijk.

Tot slot een aanvullende opmerking ten aanzien van de meetreeksen. De tweede en derde meetperiode (v-notch hoogte op 45,4 en 30,4 cm boven referentie) waren relatief kort. In de derde meetperiode (v-notch hoogte 30,4 cm) was het waterpeil zelfs korter dan een dag gestabiliseerd op de v-notch hoogte voordat een segment verwijderd werd. De dagelijkse variatie in waterpeil en afvoer die waarneembaar is bij eerdere stabiele waterhoogten is vanwege de korte duur van meetperiode 3 niet gemeten bij v-notch hoogte 30,4 cm. In de afvoercurve (figuur 5.6) is te zien dat in een stabiele periode het lage waterpeil als gevolg van de dagelijkse schommeling altijd s' nachts optreedt. Tijdens de derde meetperiode was het peil rond middernacht op 16 mei stabiel en is om 11h30 s' ochtends op 16 mei een v-notch segment verwijderd. De stabiele meetperiode is dus s' nachts opgenomen. Dit houdt in dat de gemiddelde waarde van de afvoer bepaald bij v-notch hoogte 30,4 waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijke afvoer is.

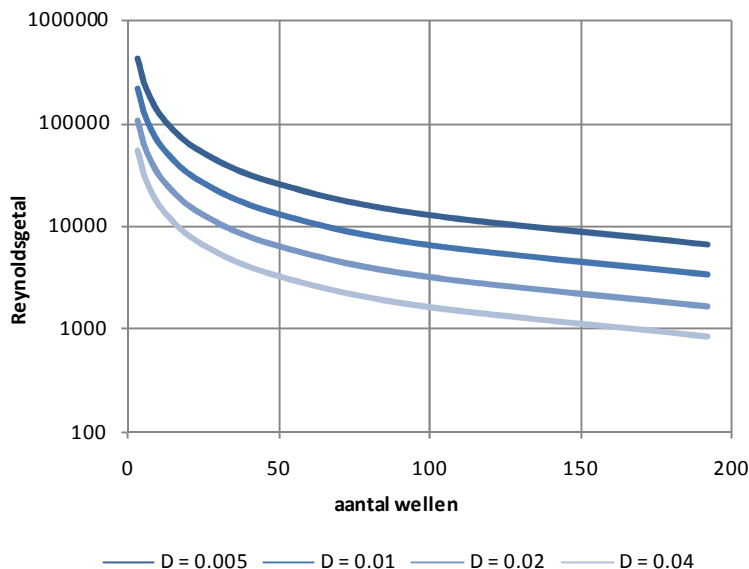
5.5 Hypothese over de aard en grootte van de (k)welstromen

De sloot heeft een lengte van 200 m en voert water af van de helft van het oostelijk en westelijk gelegen perceel. Van sloot tot sloot hebben de percelen een breedte van 50 m. Dit levert dus een oppervlak van het stroomgebied van $200 \cdot (2 \cdot (0,5 \cdot 50)) = 10000 \text{ m}^2$ op. De afvoeren variëren van 1.6 l/s tot maximaal 7.8 l/s afhankelijk van de minimum waarden of maximum waarden van de berekende afvoeren worden genomen. Voor de laagste afvoer betekent dit een kwelflux van 13.84 mm/d. Met het bijbehorende slootpeil is het stijghoogteverschil tussen de pleistocene zanden en het slootpeil $\sim 0,45$ m (zie figuur 5.5). De dikte van de deklaag is onder de sloot ~ 2 m. Bij een kwel van 13,84 mm/d is de weerstand van de deklaag dus $0,45/0,01384 = 32$ dagen.

Aangezien de deklaag dunner is onder de sloot en het stijghoogteverschil tussen slootpeil en stijghoogte pleistocene zanden groter is dan het stijghoogteverschil tussen de maximale freatische grondwaterstand onder het perceel en de stijghoogte pleistocene zanden, kan verwacht worden dat er aanzienlijk meer kwel plaatsvindt onder de sloot dan onder de percelen. De kwel onder de sloot zal dus waarschijnlijk hoger zijn dan onder het perceel. Wanneer dezelfde benadering wordt gevolgd als hierboven maar nu alleen voor de sloot komen we op een weerstand 2.6 dagen. Daarbij wordt uitgegaan van diffuse lineaire Darcy stroming over de gehele lengte van de sloot. Bij een dikte van 2 m van de deklaag, komt dat neer op de onwaarschijnlijk hoge waarde van 0.5 m/dag voor de verticale permeabiliteit van de klei en het veen in de deklaag.

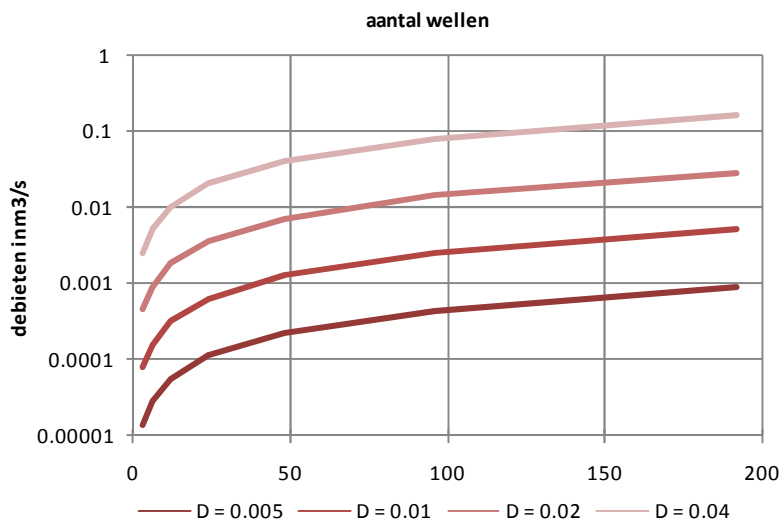
In werkelijkheid lijkt de kwel zich te concentreren in wellen, waarvan er ca 6 zijn waargenomen in het gemeten slootsegment. Deze waarnemingen betroffen verkleuring van de bodem, ijzerner slag of temperatuuranomalieën. Het diepe grondwater vindt zijn uitweg naar de sloot deels via wellen en deels via niet zichtbare diffuse uitstroming direct onder de sloot. Dat betekent dat de werkelijke effectieve hydraulische weerstand van de deklaag onder de sloot sterk zal variëren afhankelijk van de aanwezigheid van een wel.

We nemen nu voor een dimensionele analyse aan dat er alleen kwelstroming plaatsvindt via discrete wellen, vergelijkbaar met pijpen met een bepaalde diameter. Voor verschillende aantallen wellen en verschillende diameters in het slootsegment is berekend wat de stroomsnelheden en de Reynoldsgetallen zijn uitgaande van een debiet van 5 l/s. Het blijkt dat er dan bijna altijd turbulente stroming bestaat (Reynoldsgetal > 4000), behalve voor de combinaties met veel wellen (> 100), maar dan benadert men de Darcy stroming op poriënschaal. Kleinere aantallen met grote diameters (> 2 cm) zouden ook laminaire stroming opleveren. Dat laatste lijkt minder aannemelijk gezien de waarnemingen.



Figuur 5.10. Reynolds getal voor stroming in wellen bij verschillende welldiameters D in m en aantal wellen

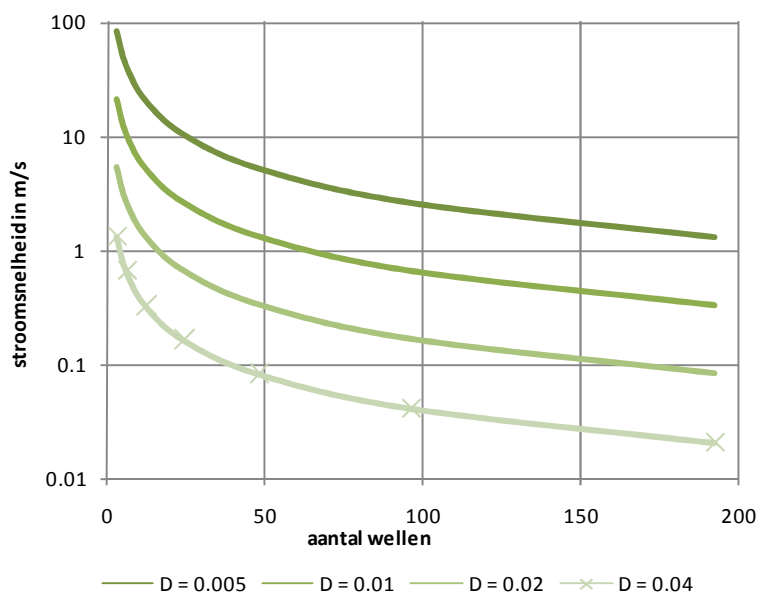
Vervolgens is berekend wat volgens de Darcy-Weisbach relatie voor stroming door pijpen het totale debiet zou moeten zijn bij de verschillende combinaties van aantal en diameter van de wellen. Voor de frictie factor is een hoge waarde van 0.5 genomen. Dit is zeer indicatief daar deze relatie eigenlijk niet toepasbaar voor de wellen omdat ze geen rechte pijpen vormen met een enigszins vaste diameter. Hieruit blijkt dat er weer veel wellen met relatief grote diameters nodig zijn om de vereiste 5 l/s te halen. Dit lijkt erop te wijzen dat de waarheid, zoals zo vaak, in het midden ligt. Je hebt dus zowel afvoer via wellen en diffuse kwelstroming nodig om de kwel of slootafvoer te verklaren. Dat de turbulente en niet lineaire kwelstroom door wellen niet echt dominant is, blijkt verder uit de relatie van de slootafvoer (in deze droge periode gelijk aan de kwel) en het stijghoogteverschil gemeten in enkele peilbuizen dichtbij de sloot. Afvoer en stijghoogteverschil vertonen op basis van de minimumwaarden een rechtevenredige relatie, zoals bij Darcy stroming. Bij louter turbulente stroming zou de afvoer rechtevenredig moeten zijn met de wortel van het stijghoogteverschil.



Figuur 5.11 Darcy Weisbach debiet van alle wellen bij verschillende weldiameters D in m en aantal wellen

Ook is gekeken naar de verblijftijd van het grondwater in de wellen. Uitgaande van de aanname dat alle kwel via wellen plaatsvindt, blijkt dat de verblijftijd zeer kort is: namelijk enkele seconden tot nauwelijks 2 minuten. Dat is heel kort en strookt niet met de waarnemingen van de heer Geyteman, BAM specialist in het afdichten van wellen met waterglas (pers. comm. 2008). Om de uithardingstijd van de waterglasgel in te stellen worden eerst tracerests uitgevoerd om de verblijftijd vast te stellen. Zijn ervaring is dat inderdaad na enkele minuten het oppervlaktewater soms rood kleurt, maar dat het meestal uren vergt voordat de tracer doorbreekt. Dat betekent dat er toch de nodige vertraging optreedt. Dit doet vermoeden dat er in het welsysteem een extra weerstand zit.

Indien we – om de gedachten te bepalen - aannemen dat de kwelstroom eerst door een 0.5 m dikke laag van het Holocene pakket moet passeren in een zone van 6 m² rondom een wel, dan neemt de verblijftijd toe met 10 minuten tot bijna 5 uur afhankelijk van het aantal wellen. Dit komt meer overeen met de bevindingen van de BAM. Het maakt het ook aannemelijk dat de wellen geen open stroombanen zijn tot in het watervoerend pakket onder de deklaag, maar dat er toch een extra weerstand bestaat in het welsysteem.



Figuur 5.12 Stroomsnelheid in een wel bij verschillende aantallen wellen en weldiameters D in m.

Al met al komen we daarmee tot de volgende werkhypothese: in de sloot bevinden zich wellen, waarvan het hoofdkanaal al dan niet in verbinding staat met het watervoerende pakket eronder. Dat hoofdkanaal voert via een vertakt stelsel ook het water eromheen af. Die toestroom verloopt via lineaire Darcy of Hagen-Poiseuille stroming. Daarnaast kan het ook zijn dat tussen de wellen ook kwelwater uitstroomt in de sloot via gewone Darcy stroming door de deklaag, dus zonder in het vertakte welstelsel terecht te komen.

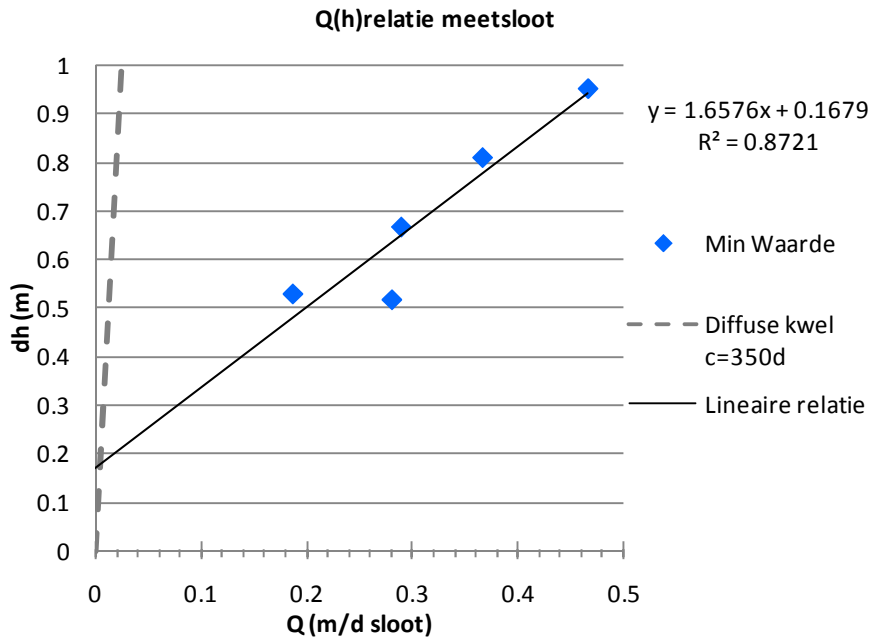
Dit model verklaart hiermee dat de wel en slootafvoer zich dus toch rechtevenredig variëren met het stijghoogteverschil en rechtvaardigt het gebruik van een topsysteem met een relatief lage weerstand voor de deklaag voor sloten met wellen. Dit topsysteem vereist evenwel wel weer een extra weerstand voor de contractie van de stroombanen ter plaatse van de sloot met wellen. Deze extra weerstand is vergelijkbaar met de gebruikelijke drainageweerstand die in regionale stromingsmodellen wordt gehanteerd en kan worden geschat met behulp van analytische vergelijkingen.

5.6 Betekenis voor de wellenregel in het grondwatermodel

Op basis van de resultaten in de meetproef en de hypothese over het gedrag van welstromen in Mijdrecht is een benadering van de wellen in sloten volgens een lineaire benadering een goede aanname. Figuur 5.13 toont een bewerking van de gegevens naar een $Q(h)$ relatie die is opgesteld op basis van de minimumwaarden bij de verschillende peilen. De figuur toont op basis van deze reeks nogmaals het lineaire karakter, waarbij overigens de fluxen zijn vertaald naar oppervlak van de sloot.

In het model worden de wellen geschematiseerd in sloten volgens de zogenaamde wellenregel (zie rapport modelbeschrijving):

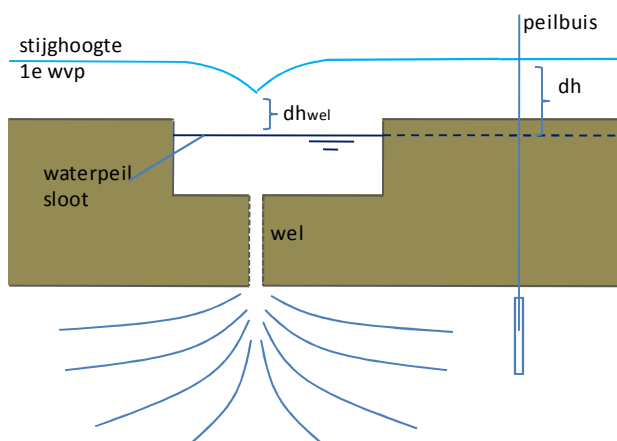
- $Q = c_{wel} * (\phi - h_{wel})$
- $h_{wel} = h_{polder} + \gamma_{overgewicht} * f_{wel}$



Figuur 5.13. Q(h) relatie uit veldproef in perceelsloot.

Toepassing van deze regel houdt in dat het debiet uit de wellen zich lineair gedraagt. Verder is de toe te kennen weerstand aan een wellende cel (c_{wel}) bepalend voor de welflux. Het model is gecalibreerd op basis van uitgemaalen debiet en chlorideconcentraties. Op basis hiervan is een c_{wel} gevonden van 1.29 dagen. Uit de meetproef is een waarden afgeleid van 1.66 dagen en komt dus redelijk goed overeen met de waarde die bij de calibratie van het model is gevonden.

Opvallend is dat de lineaire relatie de y-as kruist op 17cm boven de nulwaarde. Dit zou betekenen dat bij een stijghoogteverschil van 17 cm er geen opwaartse stroming door de wellen mogelijk zou zijn. Dit is niet waarschijnlijk. Een mogelijke verklaring is dat ter plaatse van een wel een verlaging van de stijghoogte optreedt. Deze verlaging is dan zeer lokaal. Enkele simpele berekeningen om dit na te bootsen geven aan dat een verlaging van enkele decimeters mogelijk is en tevens dat het effect van de verlaging na circa 2 meter al niet meer waarneembaar is. De peilbuis die is gebruikt staat direct naast de sloot op enkele meters afstand van de waargenomen wellen. Het is dus waarschijnlijk dat de lokale verlaging als gevolg van de wellen in het watervoerend pakket hierin niet worden waargenomen.



Figuur 5.14. Schematische weergave van een wel en het meten van het stijghoogteverschil.

5.7 Conclusies en aanbevelingen

5.7.1 Conclusies

Het aannemelijk dat kwel vrijwel uitsluitend in de sloot omhoogkomt en niet in de percelen. Als er kwel en toestroming zou bestaan uit de nabij gelegen percelen, die een veel groter oppervlak hebben dan de sloot zelf, dan zou bij het verhogen van het slootpeil tijdelijk een zeer sterke daling van de afvoer van de sloot moeten plaatsvinden. Een sterke daling die niet te verklaren zou zijn door het verkleinen van het stijghoogteverschil. Aangezien dit niet gebeurt is, is het aannemelijk dat de kwel geconcentreerd is in de sloot en de zone direct ernaast.

Uit de resultaten van de veldproef en de hier gepresenteerde hypothese kan worden geconcludeerd dat voor het gebied van Groot Mijdrecht een lineaire benadering van de wellen een goede aanname is.

Waarbij opgemerkt dat wanneer gekeken wordt naar de afvoercurve het vooralsnog niet met zekerheid te bepalen of er een lineair dan wel exponentieel verband bestaat tussen het slootpeil en de afvoer. Omdat vanwege de beperkte tijd beschikbaar voor veldmetingen slechts 5x een niveau is ingesteld op het meetschot (2 x het hoogste slootpeil (60,4 cm), 2 tussenliggende peilen 45,4 en 30,4 cm) en het laagste peil (15,4 cm), werken meetfouten in de afvoer direct door in het verband tussen afvoer en slootpeil. Het derde slootpeil (30,4 cm v-notch hoogte) is te kort bemeten en de volledige dagelijkse variatie in slootpeil en afvoer is niet aanwezig in de gegevens voor dit peil; alleen het lage deel van de dagelijkse flux is bemeten. Daarom vormt de afvoer bepaald bij dit peil waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijke gemiddelde afvoer bij dit slootpeil. Als dit inderdaad het geval is, wordt het erg aannemelijk dat een lineair verband bestaat tussen slootpeil en afvoer.

De resultaten van de veldproef bevestigt de in de calibratie gevonden c-waarde voor wellende cellen. Een gemiddelde waarde van 1.29 dagen voor het gehele modelgebied komt dus redelijk overeen met de waarde van 1.66 dagen die is afgeleid uit de veldproef.

5.7.2 Aanbevelingen

Gezien de onzekerheden wordt aanbevolen de proef voort te zetten in het bijzonder voor v-notch hoogte 30,4 cm (derde slootpeil), waarbij op z'n minst een week per v-notch hoogte wordt gemeten om tot een beter gemiddelde te komen voor de afvoer per slootpeil.

Verder is aan te raden op meerdere niveaus te meten om de afvoercurve verder te verfijnen. Aangezien de maximale hoogte (in verband met overstroming van percelen) en minimale hoogte (in verband met geringe slootdiepte) al bereikt zijn, valt dan dus te denken aan dunnere v-notch segmenten in de stuw.

Het verdient aanbeveling om verder traceronderzoek te doen met kleurstof en isotopen op de wijze zoals die door BAM wordt toegepast. Dit geeft inzicht in het gedrag en vertakking van de wellen. Hiermee kan ook de afvoer van wellen worden bepaald. De lage deklaagweerstand van een "wellen" sloot is moeilijk te berekenen. Deze kan wel empirisch worden bepaald uit metingen van slootafvoeren en stijghoogteverschillen bij verschillende slootpeilen, zoals in dit

onderzoek is gedaan. Aanbevolen wordt om dit soort afvoeronderzoek in enigszins vereenvoudigde en gestandaardiseerde vorm voor een aantal locaties te herhalen om meer inzicht te krijgen in de kwel via wellen. Het laatste is van belang omdat grondwaterkwel via "wellen" of preferente stroombanen eerder regel dan uitzondering is in de diepe polders van Nederland.

6 FREATISCHE GRONDWATERSTANDEN EN STIJGHOOGTEN IN EN ONDER HET HOLOCENE PAKKET

6.1 Inleiding

Naast voorgenoemde onderwerpen is gevraagd om een verbeterd inzicht te krijgen in de ruimtelijke variatie van freatische grondwaterstanden en stijghoogten in en onder het Holocene pakket met verschillende bodemtypen. Verder is ook weinig bekend over het verloop van de stijghoogte over de Holocene pakket en de hydraulische werking van de verschillende lagen in dit pakket. Dit is onder meer belang ten behoeve van de berekeningen van de toekomstige bodemdaling en bodemstabiliteit.

Voor een verbeterd inzicht in de ruimtelijke variatie van freatische grondwaterstanden zijn gedurende de duur van het onderzoek meetraaien van peilbuizen over twee percelen geplaatst. De uitwerking hiervan is beschreven in paragraaf 6.2. Paragraaf 6.3 beschrijft de resultaten van een reeks ondiepe sonderingen die verspreid over Mijdrecht zijn uitgevoerd. Het doel van deze sonderingen was om inzicht te krijgen in het verloop van de stijghoogten in en onder het Holocene pakket (deklaag).

6.2 Ruimtelijke variatie van freatische grondwaterstanden

6.2.1 Aanpak

De eerste meetraai is geplaatst in een veengebied waar het grondwater zoet is, ook onder de deklaag. Het perceel is gesitueerd ten westen van de meetsloot waarin ook de meetstuw is geplaatst (Botsholsedijk). De tweede meetraai is geplaatst in een kleigebied waar het grondwater onder de deklaag zout is. Dit perceel is gesitueerd aan de Poelweg, centraal in de polder gelegen. De locaties van deze raaien zijn weergegeven in Figuur 6.1.



Figuur 6.1. Raaien met peilbuizen in Holocene deklaag.

Alle peilbuizen zijn tot 1 m -mv in de holocene deklaag geplaatst. De filterlengte van alle peilbuizen is 1 m en om het filter is een kous aangebracht om verstopping van het filter te voorkomen. Beide raaien zijn in west-oostelijke richting haaks op de perceelsloten geplaatst. De peilbuizen in de raaien zijn verdeeld over de gehele breedte van de percelen. Het perceel bij de Botsholsedijk is van sloot tot sloot ~47m breed en bevat 8 peilbuizen, het perceel bij de Poelweg is van sloot tot sloot ~48m breed en bevat 5 peilbuizen. De oostelijke perceelsloot in Raai 1 (Botholsedijk) is de meetsloot waarin de stuw met v-notch is geplaatst voor de afvoermetingen. De afstanden van de peilbuizen gemeten vanaf de oostelijke perceelsloot zijn weergegeven in Tabel 6.1.

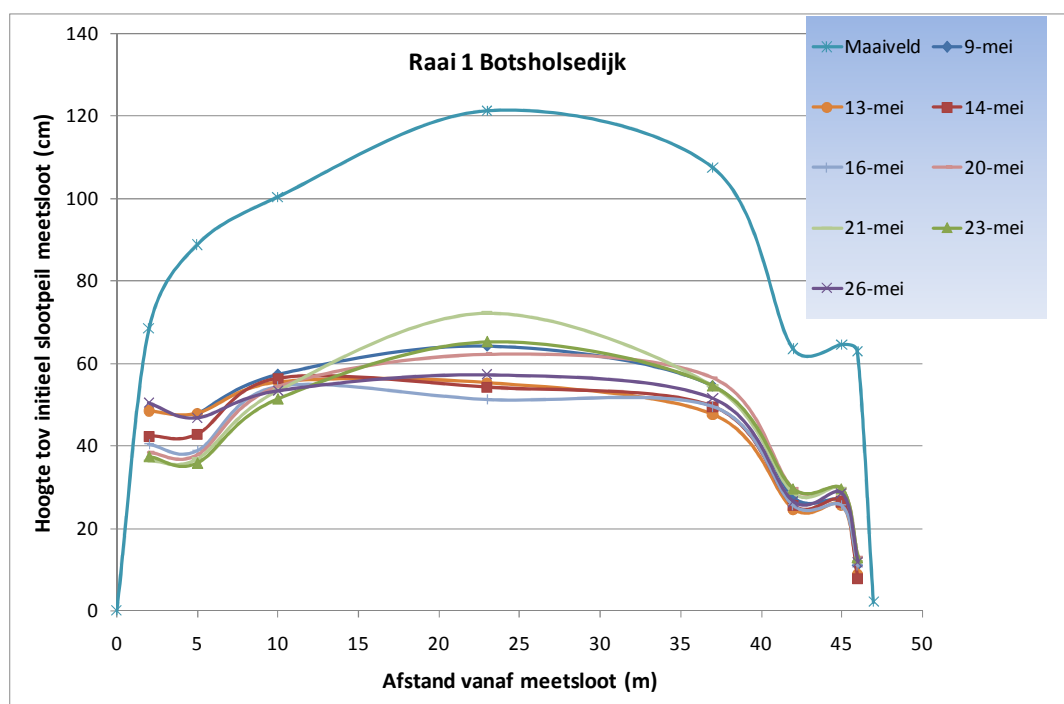
Tabel 6.1. Afstanden peilbuizen vanaf oostelijke perceelsloot (in m) per raai.

Peilbuis	1	2	3	4	5	6	7	8
Raai 1 (Botsholsedijk)	2	5	10	23	37	42	45	46
Raai 2 (Poelweg)	1.5	11.5	24	36.5	46.5			

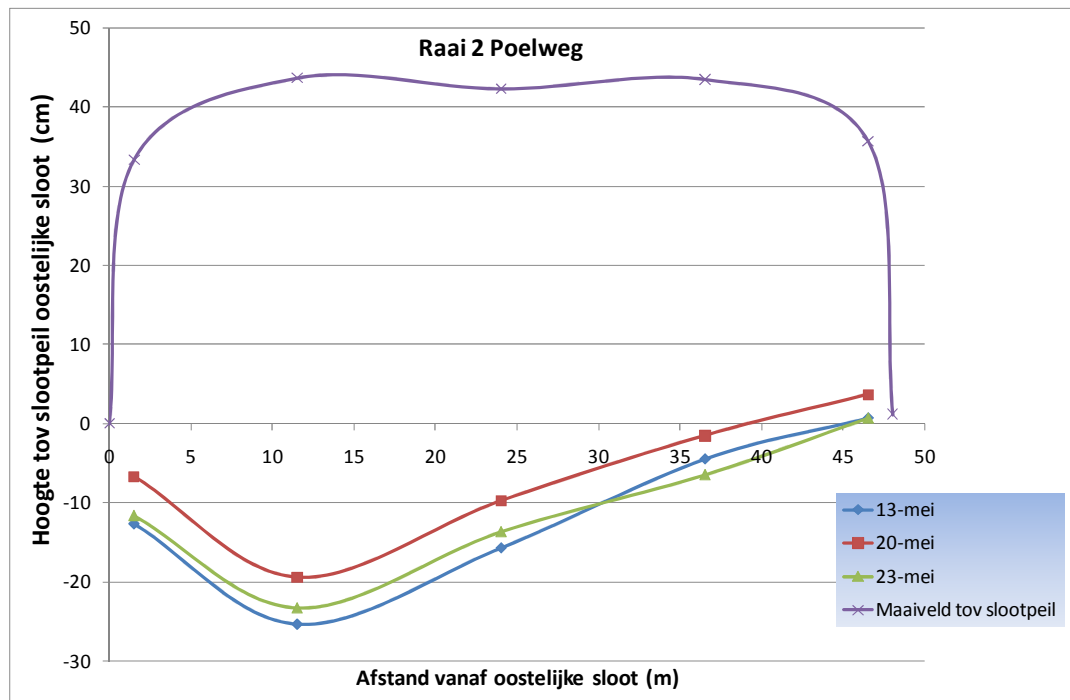
Raai 1 (Botsholsedijk) in het perceel ten westen van de meetsloot is gelijktijdig met aanleg van de stuw geïnstalleerd op 5 mei. Raai 2 (Poelweg) is op 9 mei geïnstalleerd. De freatische grondwaterstand in de peilbuizen is bemeaten met een kloklood bevestigd aan een meetlint. Er zijn geen divers in de peilbuizen geplaatst.

6.2.2 Resultaten

De resultaten van deze handmetingen zijn weergegeven in figuren 6.2 en 6.3. De hoogte van het maaiveld is op de locaties van de peilbuizen (maaiveld = bovenkant peilbuis) beide raaien zijn ingemeten met de landmeter.



Figuur 6.2. Freatische grondwaterstand in perceel westelijk van meetsloot.



Figuur 6.3. Freatische grondwaterstand in perceel aan Poelweg.

6.2.3 Interpretatie

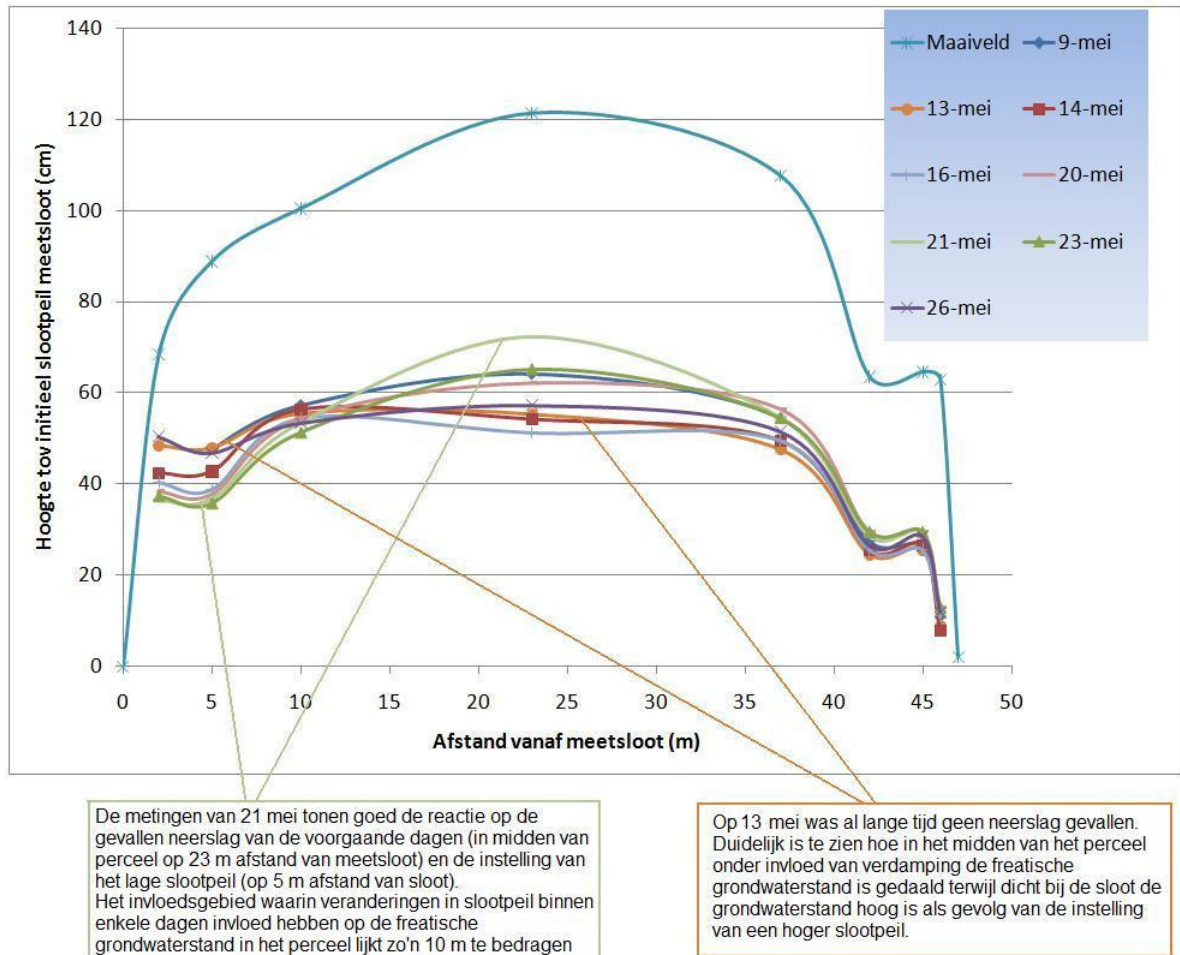
De peilbuizen in raai 1 zijn op 6 dagen bemeten. De invloed van neerslag en veranderingen in slootpeil van de meetsloot zijn duidelijk waar te nemen in de gegevens van deze peilbuizen in de deklaag (zie figuur 6.4). De invloed van neerslag van 14-20 mei is ook waar te nemen in de gegevens van raai 2 (Poelweg).

Bij vergelijking tussen de gegevens van raai 1 en raai 2 is een opvallend verschijnsel waarneembaar. In Raai 1 (Botsholstedijk) vertoont de freatische grondwaterstand op iedere datum een convex verloop (opbolling), terwijl in raai 2 duidelijk een concaaf verloop waarneembaar is.

Interessant is dat de meetreeks van beide raaien juist in een uitzonderlijk droge periode viel. Dit verklaart het concave verloop van de grondwaterstand in raai 2. Als gevolg van verdamping is hier de grondwaterstand tot onder het slootpeil gedaald en vindt er dus geen afwatering richting de perceelsslotten meer plaats.

Echter, dit concave verloop is ter plaatse van raai 1 niet waarneembaar. Hier is sprake van een opbolling, wat duidt op een aanvulling van het freatische grondwater die niet door neerslag veroorzaakt kan zijn. Een logische verklaring is dat deze opbolling wordt veroorzaakt door de sterke kwelflux in dit gebied vanuit het pleistocene zand onder de deklaag. De kwelflux is ter plaatse van raai 2 geringer en niet voldoende om in het perceel aan de Poelweg een opbolling te veroorzaken.

Daarnaast kan de deklaagsamenstelling wellicht nog een rol spelen. Bij raai 1 is sprake van een deklaag grotendeels bestaande uit veen. Bij raai 2 is sprake van een deklaag voornamelijk bestaande uit klei. De eerste zou dan een lagere weerstand hebben.



Figuur 6.4. Analyse freatische peilbuizen in raai 1 ten westen van meetsloot.

6.3 Verloop van de stijghoogten in en onder het Holocene pakket

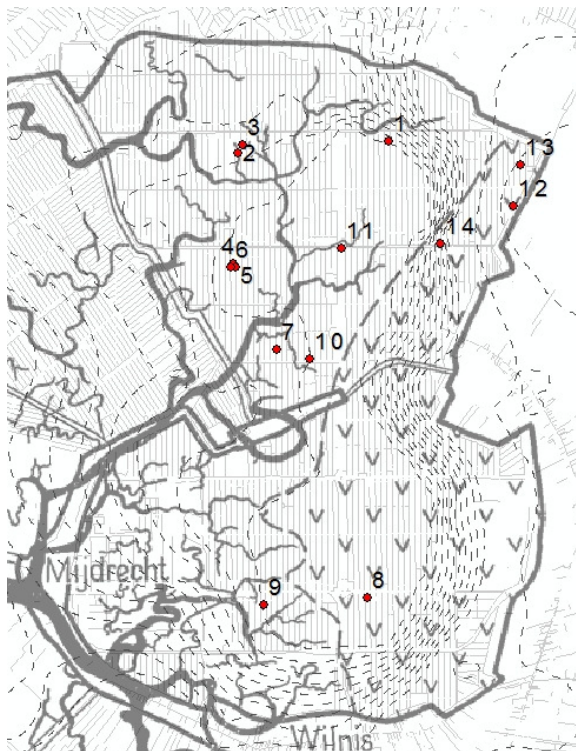
6.3.1 Aanpak

Op 13 en 14 mei mei zijn in Polder Groot-Mijdrecht 14 ondiepe sonderingen uitgevoerd. Met een mini-rupsvoertuig is tot maximaal een diepte van 19 m –mv gesondeerd (zie figuur 6.5). Tijdens het sonderen is de waterspanning bepaald en na iedere sondering is een dissipatietest uitgevoerd. Voor een beschrijving van de sondermethode wordt verwezen naar hoofdstuk 2.

De locaties van de sonderingen zijn weergegeven in figuur 6.6. De sondeergrafieken zijn toegevoegd in bijlage 1.



Figuur 6.5: Sondering met mini-rups



Figuur 6.6. Locaties sonderingen (ID) tot 19m -mv in Groot-Mijdrecht.

De locaties van de sonderingen zijn gekozen op basis van

- Gelijkmatische verspreiding over hele studiegebied
- Samenstelling grondwater (zoet of zout)
- Type deklaag (klei of veen)
- Kweltype (midden op perceel, naast sloot en/of wel).

Op deze manier is geprobeerd een zo representatief beeld te kunnen krijgen. De locatiegegevens met een korte toelichting staan weergegeven in tabel 6.2.

Tabel 6.2. Locatiegegevens van de sonderingen tot 19 m –mv in Groot-Mijdrecht

ID	Naam	Coördinaat	Locatie	Samenstelling deklaag, grondwater	Aanvullende informatie	
1	DKMP1	122440	472886	Botsholse dwarsweg 11	Klei, brak/zout	
2	DKMP2	121091	472786	Botsholse dwarsweg 23	Klei, brak/zout	Sondering midden op perceel
3	DKMP3	121131	472858	Botsholse dwarsweg 23	Klei, brak/zout	Sondering in oude geulafzettingen
4	DKMP4	121047	471792	Proostdijer dwarsweg 9	Klei, brak/zout	Sondering in wel op perceel
5	DKMP5	121068	471765	Proostdijer dwarsweg 9	Klei, brak/zout	Sondering midden op perceel
6	DKMP6	121028	471761	Proostdijer dwarsweg 9	Klei, brak/zout	Sondering dicht bij perceelsloot
7	DKMP7	121444	471033	Poelweg 2	Klei, brak/zout	
8	DKMP8	122247	468809	Mijdrechtse dwarsweg 15	Veen, brak/zout	
9	DKMP9	121326	468751	Mijdrechtse dwarsweg 35	Klei, brak/zout	
10	DKMP10	121737	470941	Poelweg	Klei, brak/zout	
11	DKMP11	122019	471928	Proostdijer dwarsweg	Klei, brak/zout	Gebied zonder wellen
12	DKMP12	123552	472306	Botsholse dijk	Veen, zoet	Achter dijk, dus hoge kweldruk
13	DKMP13	123611	472683	Botsholse dijk	Veen, zoet	Naast de stuw achter dijk
14	DKMP14	122898	471976	Poelweg	Veen, overgang zoet - brak	

6.3.2 Interpretatie resultaten

De sonderingen leveren allen een vergelijkbaar beeld op. Ze laten vanaf maaiveld een deklaag zien van 3 tot 4,5 m bestaande uit zeer slap materiaal, waaronder een matig tot stevig gecompacteerd zandpakket is waar te nemen dat doorloopt tot de maximaal gesondeerde diepte. Ofwel een holocene deklaag bestaande uit slappe (venige) klei en veen op een pleistoceen pakket bestaande uit fijn tot matig grof zand. Dit is conform de beschikbare bodemkaarten en boorgegevens.

Uit boorgegevens en bodemkaarten is bekend dat de deklaag in Groot-Mijdrecht aan de oostelijke zijde van de polder uit veen bestaat en aan de westelijke zijde van de polder uit klei. Dit verschil is niet goed terug te herkennen in de

sonderingen. Zowel conusweerstand als wrijvingsgetal laten geen verschillen zien tussen veen en klei. De klei in de polder is zeer slap en vertoont daarom fysische karakteristieken van veen (met wrijvingsgetallen tot boven 8%).

In de metingen van de waterspanning is geen onder- of overdruk waarneembaar onder de deklaag. De waterspanningsmetingen duiden dus op een stijghoogte van de pleistocene zanden die gelijk of nagenoeg gelijk is aan de freatische grondwaterstand voor alle gesondeerde locaties. In de deklaag wordt op de meeste gesondeerde locaties geen waterspanning geregistreerd. Het materiaal van de deklaag is dermate slap dat rond de sondeerconus geen meetbare waterspanning wordt gegenereerd tijdens de sondering.

Alle sonderingen zijn tot in het pleistocene zandpakket geplaatst. De dissipatietesten zijn allen op de maximaal gesondeerde diepte uitgevoerd, dus in het zandpakket. Op vrijwel alle gesondeerde locaties blijft de waterspanning tijdens de dissipatietest constant, wat gebruikelijk is in een zandpakket.

7 REFERENTIES

Bennema, J. (1953). Pyriet en koolzure kalk in de droogmakerij Groot Mijdrecht

Boer, C. de, 1987. Fosfaatbalans polder Wilnis-Veldzijde. Provincie Utrecht.
Heidemij adviesbureau, 1986. Peilverlaging polder Groot Mijdrecht.

Deltares, WL Delft (2007). Beschrijving grondwatermodel, deelrapport
Verkenning Groot Mijdrecht Noord.

Deltares, Royal Haskoning en Acacia Water (2008). Beschrijving aangepast
grondwatermodel Groot-Mijdrecht, achtergrondrapport van de verkenning water
Groot-Mijdrecht Noord.

Jorgensen (1989). Using Geophysical Logs to Estimate Porosity, Water
Resistivity, and Intrinsic Permeability, USGS Water Supply Paper 2321.

Meerburg, Wolfs & Boekelman (1998). Bepalen chloridegehalte in grondwater
met geleidbaarheidssondering. H₂O 18 – 1998. p 30 – 33.

Mankor, H & Ouboter, M (2008) Waterkwaliteitsgegevens van de Ronde Venen.

Oostveen, W. en W. van der Valk. 1980. Het zoutvoorkomen in polder Groot
Mijdrecht. Afstudeerscriptie LH Wageningen.

Post, V.E.A. (2004). De oorsprong van het brakke en zoute grondwater in het
Nederlandse kustgebied, Stromingen 10 (2): 51-61.

Post, V.E.A. (2004). Groundwater salinization processes in the coastal area of
the Netherlands due to transgressions during the Holocene. PhD. thesis, Vrije
Universiteit Amsterdam, 138 pp.

Post, V.E.A. (2008). Relatie geleidbaarheid met chloride en alkaliniteit. Nog niet
gepubliceerd.

Reintjes, A.B. (1902). Rapport inzake Waterschap 'Groot Mijdrecht', uitgebracht
aan Heeren Raadslieden der houders van Obligatien in de geldleening van dat
Waterschap.

Singh, S.N., Boekelman, R.H., Rientjes, T.H.M., van Dam, J.C. (1990). Behaviour
of groundwater of the polder Groot-Mijdrecht, mededeling van de vakgroep
Gezondheidstechniek & Waterbeheersing, TU Delft, Mededeling nr. 36.

TNO (2004). Het effect van waterbeheer op chloride- en nutriëntenbelasting van
het oppervlaktewater in Polder de Noordplas. Pr.nr. 005.54009.

TNO (2008). Meetcampagne naar het voorkomen van regenwaterlenzen in de
provincie Zeeland. TNO rapport.

Wirdum, G. van. (2004). Investigation into the direction and magnitude of water
flow through peat at Thorne Moors, UK. TNO rapport.

Wit, K.E., 1974. Hydrologisch onderzoek in Midden-West-Nederland. ICW 792

Bijlage 1. Rapportage sonderingen (Fugro)

Bijlage 2. Rapportage plaatsing peilbuizen bij meetstuw (BAM)