

**Veldonderzoek zoet en zout grondwater
Schaalsmeerpolder**

Eindrapport 4 maart 2014



Acacia Water

Samenvatting

Vanuit natuurbeheer is door Natuurmonumenten gevraagd inzicht te geven in de aanwezigheid en diepte van zout en/of brak water onder de Schaalsmeerpolder. Op basis van bestaande gegevens en beschikbare meetinformatie is hierover geen uitsluitsel te geven. De EC-metingen van het oppervlaktewater geven een waarde van maximaal 400mg/l chloride.

Om inzicht te krijgen in de aanwezigheid en diepte van zout en/of brak water onder de Schaalsmeerpolder zijn geofysica metingen uitgevoerd. De geofysische metingen, die hier zijn toegepast, geven inzicht in de elektrische weerstand of geleidbaarheid van de ondergrond en kunnen worden vertaald naar een zoutgehalte van het grondwater.

Aan de rand van de polder is duidelijk de invloed van instromend zoeter grondwater zichtbaar. De polder kan als een ovaal kan worden beschouwd. De zone waar sprake is van brakke kwel van diep grondwater is daarmee 200m bij ca. 100m. De brakke kwel heeft een geschat chloridegehalte van maximaal 2500 mg/l. Aan de randen vindt kwel plaats van zoeter grondwater met een geschat chloridegehalte van maximaal 1100 mg/l.

Tot ca. 3m komt een deklaag (klei en veen) voor in de polder. In het centrale deel van de polder zijn de weerstanden ervan laag en aan de randen van de polder lopen de weerstanden op. De oplopende weerstanden zijn te associëren met een verzoeting van de deklaag. Het gebied met een lage weerstand van de deklaag heeft een ruimtelijke omvang van ca. 500 bij 300m in ovaal. Het lijkt er op dat hier sprake is van coninaat water¹. Dit brakke grondwater (ca. 1100-1900 mg/l) kan naleveren aan het oppervlaktewater maar is beperkt in hoeveelheid en eindig. Het binnendringende water vanaf de randen verzoet namelijk ook deze deklaag.

Colofon

Documenttitel	. Veldonderzoek zoet en zout grondwater Schaalsmeerpolder
Opdrachtgever	. Natuurmonumenten
Status	. Eindrapport
Datum	. 4 maart 2014
Projectnummer	. N20140551
Projectteam	. Jouke Velstra, Theo Kleinendorst en Michel Groen i.s.m. Nicko Straathof

Disclaimer

Rapport: Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	1
2	Locatiebeschrijving en vooronderzoek.....	2
3	Resultaten van het veldonderzoek	4
3.1	Meettechnieken om de verdeling van het zoete en zoute water in beeld te brengen	4
3.2	Overzicht uitgevoerde metingen.....	5
3.3	Resultaat CVES meting.....	6
3.4	Resultaten DUALEM	6
3.5	Resultaten prikstokmetingen	8
4	Conclusies	10

1 Inleiding

Vanuit natuurbeheer is gevraagd inzicht te geven in de aanwezigheid en diepte van zout en/of brak water onder de Schaalsmeerpolder. Op basis van bestaande gegevens en beschikbare meetinformatie is hierover geen uitsluitsel te geven.

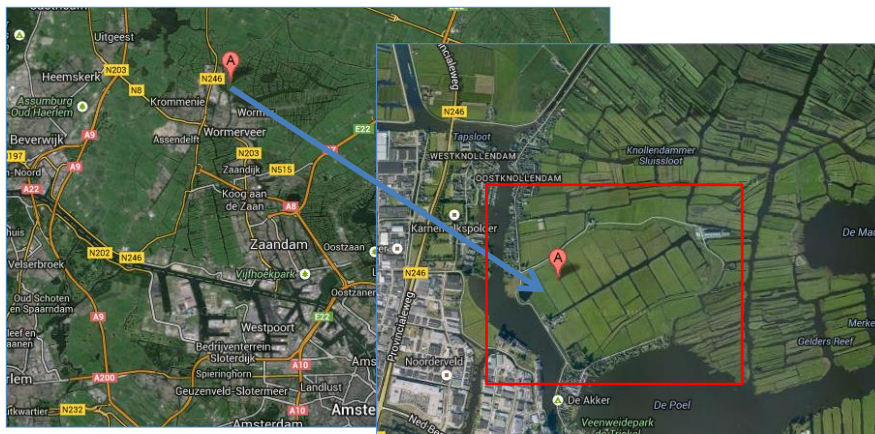
Om inzicht te krijgen in de aanwezigheid en diepte van zout en/of brak water onder de Schaalsmeerpolder zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- Eén CVES meting van de rand naar het centrale deel
- Enkele raaien met de DUALEM voor de ondiepe metingen tot ca. 6m
- Prikstokmetingen
- EC-metingen oppervlaktewater

De metingen zijn uitgevoerd op donderdag 23 januari 2014 zijn in de Schaalsmeerpolder. De resultaten van het veldonderzoek worden in dit rapport weergegeven en kort toegelicht.

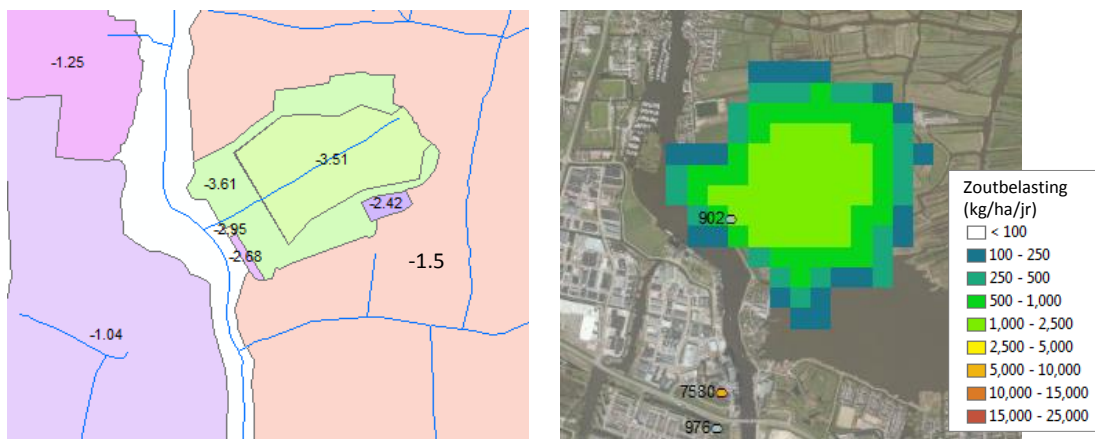
2 Locatiebeschrijving en vooronderzoek

Voorafgaand aan het veldonderzoek is een analyse gemaakt van de bestaande informatie. Deze eerste analyse van bestaande informatie leverde het volgende op.



Figuur 1. Locatie van de Schaalsmeerpolder.

De Schaalsmeerpolder is een kleine polder gelegen in de polder Wormer, Jisp en Nek. Vanaf de rand van de polder tot het centrale deel ca. 300m. Het grondwatermodel HHNK en de daaraan ten grondslag liggende zoet-zout analyse (Acacia Water, 2011) komt deze polder naar voren als een polder met brakke kwel. Directe meetinformatie ontbreekt echter.

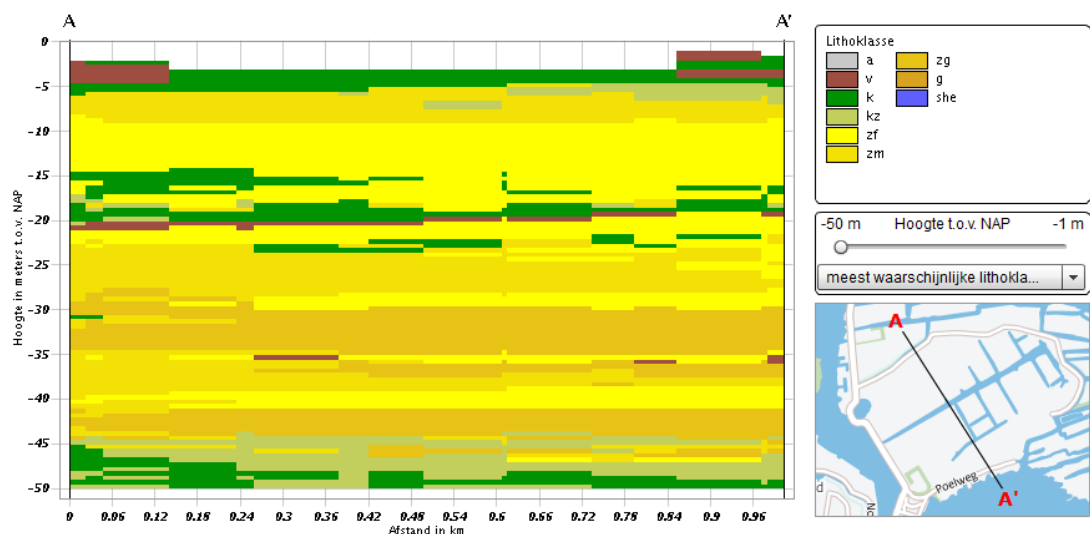


Figuur 2. Links het polderpeil (2013). Rechts chlorididemetingen en de berekende zoutbelasting (Acacia Water, 2011).

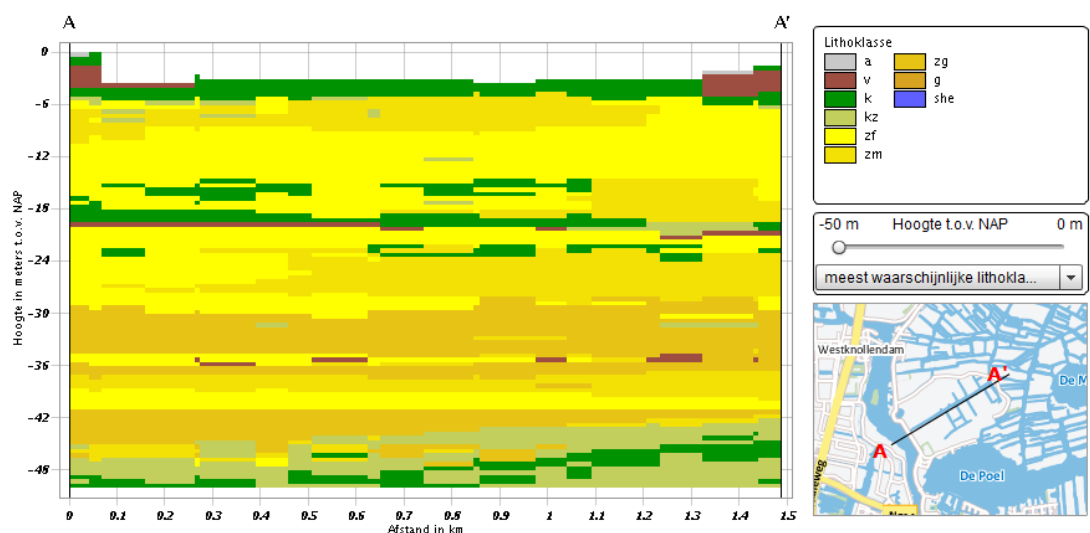
Het maaiveld van de polder ligt ca. 1,5m lager dan de omliggende polders. Het is dus waarschijnlijk dat aan de randen zoete kwel optreedt en dan mogelijk in centrale deel brakke/zout kwel. Een peilbuis in een nabij gelegen polder geeft wel hoge zoutgehalten. Het betreft een peilbuis meting uit 1949 waarin een waarde van 902 mg/l is vastgesteld.

De globale bodemopbouw is als volgt. De eerste meters vanaf maaiveld bestaat voornamelijk uit klei en soms veen. De klei gaat over in zand op ongeveer 5m –NAP. Vanaf 15m –NAP vinden we een afwisseling van zand en klei. Rond 20m –NAP is basisveen aanwezig. Daaronder wederom zand tot ca. 50m –NAP.

Verticale Doorsnede GeoTOP v1.1



Verticale Doorsnede GeoTOP v1.1



Figuur 3. Doorsnede van de bodemopbouw Schaalsmeerpolder op basis van GEOTOP.

3

Resultaten van het veldonderzoek

3.1 Meettechnieken om de verdeling van het zoete en zoute water in beeld te brengen

De geofysische metingen, die hier zijn toegepast, geven inzicht in de elektrische weerstand of geleidbaarheid van de ondergrond. Er is gemeten met twee technieken. Met de **DUALEM 642** (Frequency Domain Electro-Magnetische methode Bijlage 1) zijn 2D profielen van de elektrische weerstand tot 6 m diepte gemeten. Deze techniek is snel uitvoerbaar, omdat geen contact gemaakt hoeft te worden met de ondergrond.

Met de ABEM Terrameter/LUND (Direct current **CVES** methode) zijn ook 2D profielen van de elektrische weerstand gemaakt met lengtes van 80 m en tot circa 15 m diepte. Deze laatste methode is meer gedetailleerd en heeft een groter dieptebereik, maar is relatief tijdrovend is vanwege het plaatsen van de elektroden in de grond en de lange meettijd.

De ruwe velddata moeten met een software programma worden geconverteerd naar werkelijke elektrische weerstanden van de ondergrond. Deze worden dan in een 2D beeld weergegeven langs de gelopen profielen.

De elektrische weerstand van de ondergrond of formatieweerstand wordt bepaald door de weerstand van het grondwater en de weerstand die de matrix of het sediment biedt. Die relatie wordt uitgedrukt in de volgende vergelijking van (Archie 1942):

$$\rho_f = \rho_w F,$$

waarbij ρ gelijk is aan de formatieweerstand en ρ_w aan de elektrische weerstand van het grondwater. F is de formatiefactor die afhankelijk is van de matrix of sediment.

Voor zand en grind varieert de formatiefactor tussen 2.5 en 6 afhankelijk van de korrelgrootte. Voor de aangetroffen zandlaag onder de Holocene deklaag worden waarden van 3 à 4 verwacht. De formatiefactoren van klei variëren tussen 2 en 3. Bij veen liggen die tussen 1 en 2. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de bijlage.

3.2 Overzicht uitgevoerde metingen

Figuur 4 toont de resultaten van de EC-metingen in de sloot, CVES en DUALEM metingen. Figuur 5 toont de locaties van de uitgevoerde prikstokmetingen.

De hoogste EC-waarden worden, volgens verwachting, aangetroffen in het centrale deel van de polder. Het betreft licht brak water met een EC van maximaal 2800 uS/cm wat ongeveer overeenkomt met 400 mg/l chloride.



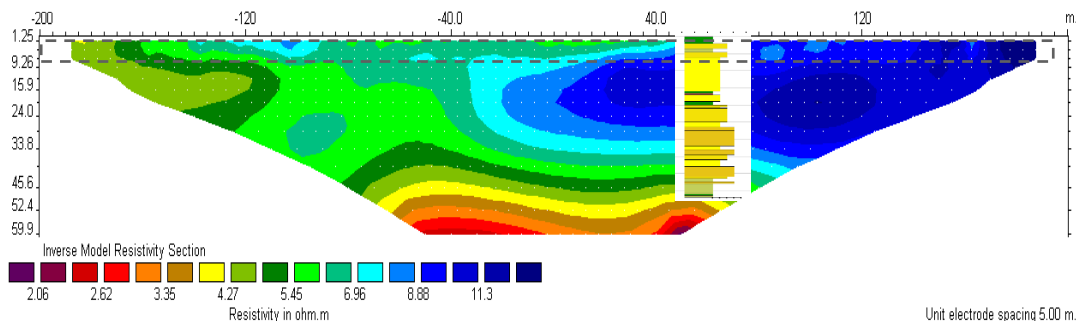
Figuur 4. Gedetailleerd overzicht van de uitgevoerde geofysica metingen . Tevens weergegeven de resultaten van de EC-metingen in het oppervlaktewater.



Figuur 5. Gedetailleerd overzicht van de uitgevoerde prikstokmetingen.

3.3 Resultaat CVES meting

Er is één zogenaamde CVES metingen uitgevoerd. Dit is een metingen waarmee een gedetailleerde 2D doorsnede van de ondergrond en zoutgehalte kan worden gemeten.



Figuur 6. CVES meting links is het midden van de polder en loopt naar recht toe naar de rand van de polder. Geprojecteerd is bodemopbouw volgens GEOTOP. Stippellijn geeft het bereik van de DUALEM meting weer.

Aan de rand van de polder is duidelijk de invloed van instromend zoeter grondwater zichtbaar. De invloed van deze instroom reikt tot ongeveer 400m (op basis van ligging en oriëntatie van de CVES meting). De hele polder is ca. 1km lang, hieruit kan worden afgeleid dat eventuele kwel van brak water in een straal van 100m kan plaatsvinden. De polder als een ovaal kan worden beschouwd de afstand van rand tot centrale deel op het korte stuk is 300m. De zone waar dus sprake is van brakke kwel is daarmee beperkt.

Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. De weerstand van 10 Ohmm in het zand van instromend zoeter water komt overeen met een chloridegehalte van maximaal 1100 mg/l (EC 4000 uS/cm, bij een aanname van formatiefactor van 3 en een temperatuur van 10 °C. De weerstand van ca. 5 Ohmm in het centrale deel komt, bij dezelfde aannames, overeen met een chloridegehalte van maximaal 2500 mg/l (EC 8000 uS/cm).

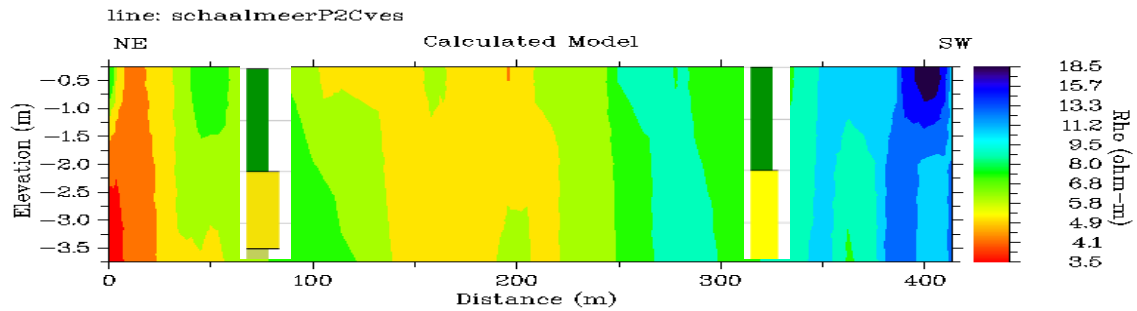
Op ca. 50m diepte lijkt de weerstand omlaag (hoger chloridegehalte) te gaan in de meting. Dit komt ook overeen met de aanwezigheid van een kleilaag (zie GEOTOP Figuur 3). Het lijkt er dan op dat het dit brakke grondwater beperkt wordt in de stroming naar boven. Dit idee wordt versterkt door de manier waarop het zoetere grondwater binnenstroomt vanuit de rand van de polder. Deze stroming is vooral horizontaal georiënteerd en aan de onderzijde beperkt door de aanwezigheid van de kleilaag.

3.4 Resultaten DUALEM

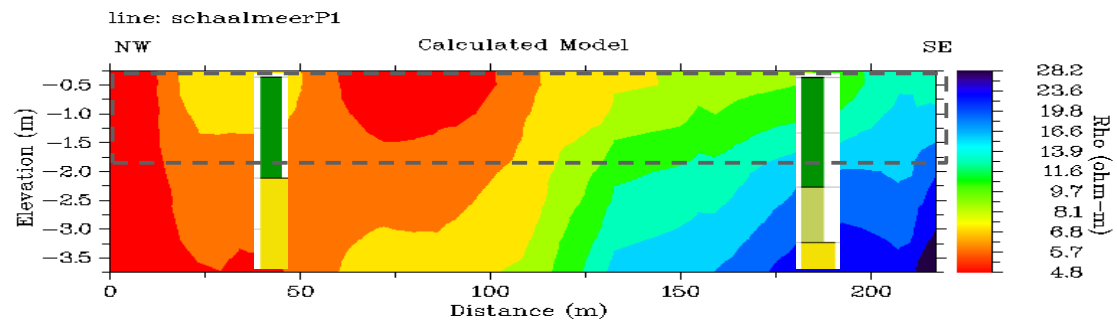
Er is drie zogenaamde DUALEM metingen uitgevoerd. Dit is een metingen waarmee een voor een ondiep traject tot ca. 6m 2D doorsnede van de ondergrond en zoutgehalte kan worden gemeten.

Er is een meting uitgevoerd over hetzelfde traject als de CVES meting. De andere twee zijn uitgevoerd dwars hierop vanaf de rand van de polder tot het centrale deel. Deze zijn tevens gecombineerd met prikstokmetingen.

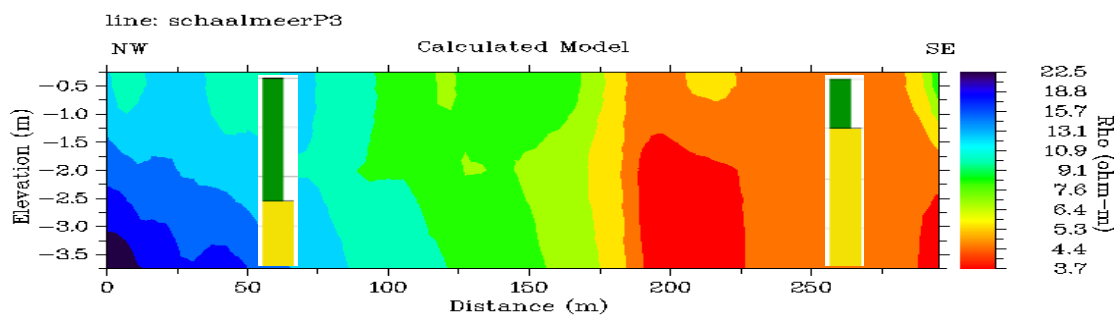
De drie metingen geven allemaal hetzelfde beeld. Tot ca. 2-3m komt een deklaag voor in de polder. Uit de eigen boringen blijkt deze laag deels te bestaan uit klei en veen (zie prikstokmetingen). In het centrale deel van de polder zijn de weerstanden ervan laag en aan de randen van de polder lopen de weerstanden op. De oplopende weerstanden zijn te associëren met een verzoeting van de deklaag.



Figuur 7. DUALEM p2 langs de CVES meting links is het midden van de polder en loopt naar rechts toe naar de rand van de polder. Geprojecteerd is bodemopbouw volgens GEOTOP.



Figuur 8. DUALEM p1 loodrecht op de CVES meting, links is het midden van de polder en loopt naar rechts toe naar de rand van de polder. Geprojecteerd is bodemopbouw volgens GEOTOP. Stippellijn geeft het bereik van de prikstokmetingen weer.



Figuur 9. DUALEM p3 loodrecht op de CVES meting, links is de rand van de polder en loopt naar rechts naar het midden van de polder. Geprojecteerd is bodemopbouw volgens GEOTOP.

De deklaag in het centrale deel heeft, zoals gezegd, een lage weerstand. De omvang van deze laag is ruimtelijk ca. 500 bij 300m in ovaal. Het lijkt er op dat hier sprake is van connaat water¹. Dit brakke grondwater kan naleveren aan het oppervlaktewater maar is beperkt in hoeveelheid en eindig. Het binnendringende water vanaf de randen verzoet namelijk ook deze deklaag.

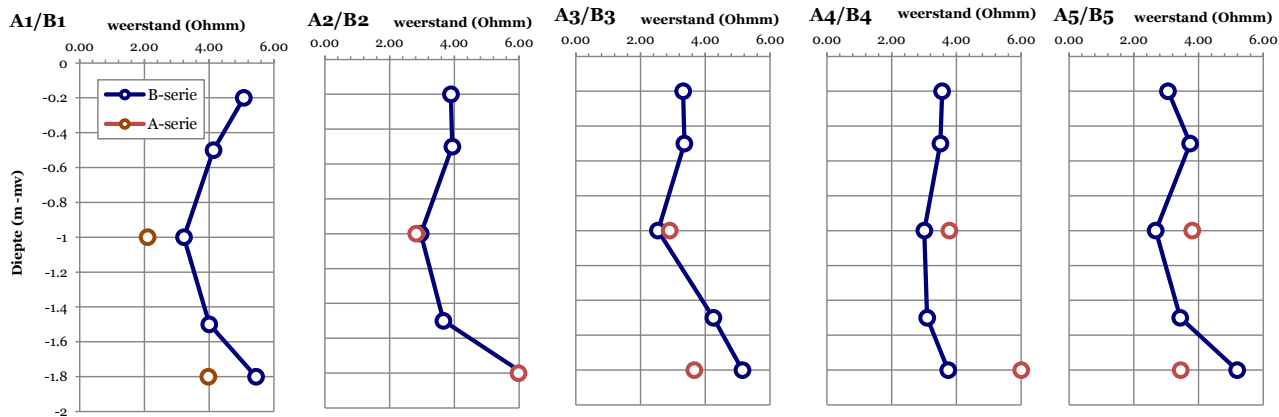
Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. De weerstand van 3 Ohmm in de deklaag met connaat grondwater komt overeen met een chloridegehalte ca. 2500 mg/l (EC 8500 uS/cm), bij een aanname van formatiefactor van 2 en een temperatuur van 10 °C. Bij een formatiefactor 1 komt de waarde overeen met een chloridegehalte ca. 1100 mg/l (EC 4300 uS/cm). Uitgaande van een samenstelling van klei en veen lijkt een formatiefactor van 1 reëel.

¹ Connaat water is een niet-meteorische vorm van grondwater. Het betreft interstitieel- of poriewater dat na de vorming van het sediment hierin is achtergebleven. Connaat water is meestal fossiel water dat "gevangen" is in slecht doorlatende mariene sedimenten (zoals zeeklei) en sedimentaire gesteenten en heeft daarom meestal een hoge saliniteit (bron wikipedia).

3.5 Resultaten prikstokmetingen

Raai A-serie en B-serie

Er is twee zogenaamde raaien van prikstokmetingen uitgevoerd. Dit zijn metingen waarmee voor een ondiep traject tot ca. 2m puntmetingen van de ondergrond en zoutgehalte worden gemeten. De eerste raai (B-serie) komt overeen met de 2D doorsnede van de DUALEM meting p1 (Figuur 8). De A-serie ligt parallel aan de B-serie maar zijn genomen in de sloot.



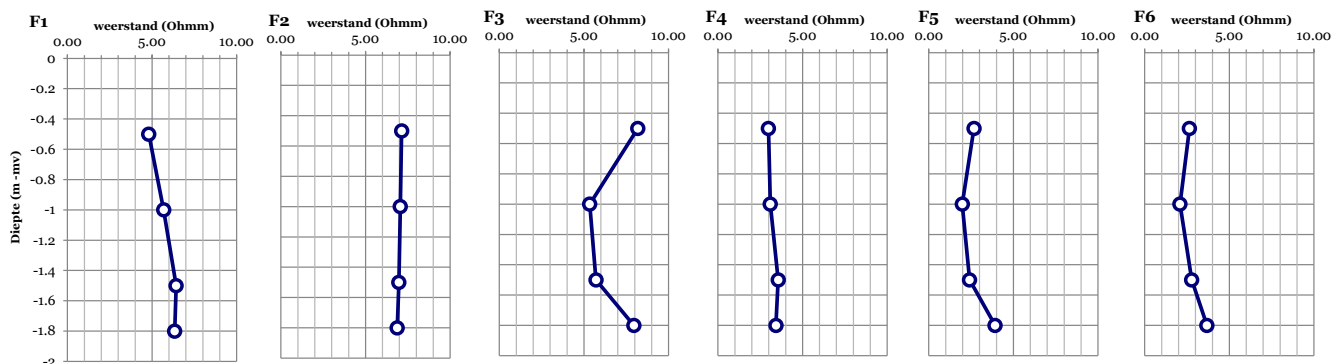
Figuur 10. Grafieken van de gemeten weerstanden met de prikstok. Links metingen in centrale deel van de polder en naar rechts richting de rand van de polder. De B-serie zijn metingen in het perceel, de A-serie zijn metingen in de sloot.

De bodemopbouw is tot 40cm humeuze klei, dan tot ca. 1m (zegge)veen om daarna over te gaan in slappe klei. In alle metingen in het perceel vinden we een overgang van hogere weerstanden naar een lagere tot ongeveer 1m beneden maaiveld. Dieper neemt de weerstand weer toe. Dit beeld verschilt niet veel van dat gemeten in de sloot.

Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. De weerstand van 3 Ohmm in de klei/veen (met connaat grondwater zie DUALEM metingen) komt overeen met een chloridegehalte ca. 1100 mg/l (EC 4300 uS/cm), bij een aanname van formatiefactor van 1 en een temperatuur van 10 °C.

Raai F-serie

Er is een raai van prikstokmetingen uitgevoerd die overeen komt met de 2D doorsnede van de DUALEM meting p3 (Figuur 9). Deze serie ligt parallel aan de DUALEM p3 maar dan op het aangrenzende perceel.



Figuur 11. Grafieken van de gemeten weerstanden met de prikstok. Links metingen aan de rand van de polder en naar rechts richting het centrale deel van de polder.

Wat wordt waargenomen in de DUALEM meting wordt bevestigd in deze F-serie. De hogere weerstanden, overeenkomend met zoeter grondwater, zijn aangetroffen aan de rand van de polder. Verder naar het centrale deel van de polder dalen de weerstanden, overeenkomend met brakker grondwater. Ook hier betreft het waarschijnlijk connaat brak grondwater.

Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. De laagste weerstanden worden aangetroffen in de metingen F5 en F6 op ca. 1m diepte. De weerstand van 2 Ohmm in deze klei/veen (met connaat grondwater zie DUALEM metingen) komt overeen met een chloridegehalte ca. 1900 mg/l (EC 6500 uS/cm), bij een aanname van formatiefactor van 1 en een temperatuur van 10 °C.

4 Conclusies

Algemeen

De Schaalsmeerpolder is een kleine polder gelegen in de polder Wormer, Jisp en Nek. Vanaf de rand van de polder tot het centrale deel ca. 300m op kortste deel en ca. 500m op het langste deel. Het maaiveld van de polder ligt ca. 1,5m lager dan de omliggende polders.

De deklaag bestaat uit klei en veen van 2 à 3 meter dikte. Op 20m –NAP vinden we wederom een kleilaag en basisveen. Op circa 45-50m –NAP wordt wederom een kleilaag aangetroffen. Tussenliggend is steeds sprake van matig fijn tot fijn zand.

Om inzicht te krijgen in de aanwezigheid en diepte van zout en/of brak water onder de Schaalsmeerpolder zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- Eén CVES meting van de rand naar het centrale deel
- Enkele raaïen met de DUALEM voor de ondiepe metingen tot ca. 6m
- Prikstokmetingen
- EC-metingen oppervlaktewater

Oppervlaktewater

De hoogste EC-waarden worden, volgens verwachting, aangetroffen in het centrale deel van de polder. Het betreft licht brak water met een EC van maximaal 2800 uS/cm, wat ongeveer overeenkomt met 400 mg/l chloride. Aan de randen van de polder is sprake van zoet water met een EC van 500-1000 uS/cm, , wat ongeveer overeenkomt lager dan 200 mg/l chloride.

Diepere grondwater

Er is één zogenaamde CVES metingen uitgevoerd. Dit is een metingen waarmee een gedetailleerde 2D doorsnede van de ondergrond en zoutgehalte kan worden gemeten.

Aan de rand van de polder is duidelijk de invloed van instromend zoeter grondwater zichtbaar. De invloed van deze instroom reikt tot ongeveer 400m (op basis van ligging en oriëntatie van de CVES meting). De hele polder is ca. 1km lang, hieruit kan worden afgeleid dat eventuele kwel van brak water in een straal van 100m kan plaatsvinden. De polder als een ovaal kan worden beschouwd de afstand van rand tot centrale deel op het korte stuk is 300m. De zone waar dus sprake is van brakke kwel is daarmee beperkt.

Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. Het instromende zoetere water heeft een geschat chloridegehalte van maximaal 1100 mg/l (EC 4000 uS/cm). Het opkwellende grondwater in het centrale deel van de polder heeft een geschat chloridegehalte van maximaal 2500 mg/l (EC 8000 uS/cm).

Op ca. 50m diepte is een kleilaag aanwezig het lijkt er op dat deze de stroming van brakker diep grondwater naar boven toe beperkt. Dit idee wordt versterkt door de manier waarop het zoetere

grondwater binnenstroomt vanuit de rand van de polder. Deze stroming is vooral horizontaal georiënteerd en aan de onderzijde beperkt door de aanwezigheid van de kleilaag.

Ondiep grondwater (deklaag)

Er is drie zogenaamde DUALEM metingen uitgevoerd. Dit is een metingen waarmee een voor een ondiep traject tot ca. 6m 2D doorsnede van de ondergrond en zoutgehalte kan worden gemeten. Er is een meting uitgevoerd over hetzelfde traject als de CVES meting. De andere twee zijn uitgevoerd dwars hierop vanaf de rand van de polder tot het centrale deel. Deze zijn tevens gecombineerd met prikstokmetingen.

De metingen geven allemaal hetzelfde beeld. Tot ca. 3m komt een deklaag voor in de polder. Uit de eigen boringen blijkt deze laag deels te bestaan uit klei en veen. In het centrale deel van de polder zijn de weerstanden ervan laag en aan de randen van de polder lopen de weerstanden op. De oplopende weerstanden zijn te associëren met een verzoeting van de deklaag. Onder de deklaag zijn de weerstanden over het algemeen laag (overeenkomend met zoeter grondwater).

Het gebied met een lage weerstand van de deklaag heeft een ruimtelijke omvang van ca. 500 bij 300m in ovaal. Het lijkt er op dat hier sprake is van connaat water². Dit brakke grondwater kan naleveren aan het oppervlaktewater maar is beperkt in hoeveelheid en eindig. Het binnendringende water vanaf de randen verzoet namelijk ook deze deklaag.

Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. De weerstand in het centrale deel ligt tussen de 2 en 3 Ohmm in de klei/veen. Dit komt overeen met een chloridegehalte ca. 1100 mg/l tot 1900 mg/l (EC 4300 uS/cm tot 6500 uS/cm), bij een aanname van formatiefactor van 1 en een temperatuur van 10 °C.

² Connaat water is een niet-meteorische vorm van grondwater. Het betreft interstitieel- of poriewater dat na de vorming van het sediment hierin is achtergebleven. Connaat water is meestal fossiel water dat "gevangen" is in slecht doorlatende mariene sedimenten (zoals zeeklei) en sedimentaire gesteenten en heeft daarom meestal een hoge saliniteit (bron wikipedia).

Bijlage 1

Beschrijving van gebruikte meetmethoden

Geofysische metingen

Relaties elektrische weerstand, lithologie en zoutgehalten

Voor dit onderzoek zijn drie typen geofysische metingen uitgevoerd, die een beeld geven van de elektrische weerstand ρ van de ondergrond, uitgedrukt in Ohmm. Sommige meetsystemen geven de elektrische geleidbaarheid σ , welke de omgekeerde is van de weerstand. De geleidbaarheid wordt uitgedrukt in mS/m of microS/cm. Daarbij geldt dat:

$$1 \text{ Ohmm} = \frac{1}{\text{S/m}} = \frac{1000}{\text{mS/m}} = \frac{10000}{\text{microS/cm}}$$

De elektrische weerstand van de ondergrond of formatieweerstand ρ_f wordt bepaald door de weerstand van het grondwater ρ_w , de lithologie, de mate van waterverzadiging en de temperatuur.

Voor de correctie van een gemeten weerstand bij een temperatuur T in °C naar de weerstand bij een T van 20 °C geldt de volgende relatie:

$$\rho_{f20} = \rho_f \cdot \frac{1.8T + 39}{75}$$

Voor de weerstand van verzadigde grond en de weerstand van het grondwater geldt de relatie van Archie (1942):

$$\rho_w = \frac{\rho_f}{F}$$

Waarbij F de formatiefactor is. De formatie van waterverzadigde klei ligt die in de orde van 1 a 2, terwijl voor verzadigd zand deze varieert van 2.5 voor fijn zand tot 5 voor grof zand en grind.

Tabel B1. Formatiefactor voor diverse bodemsoorten

Lithologische beschrijving	Formatiefactor
grind met zand	7
grof zand met grind	6
grof zand	5
matig grof zand	4
zwak slibhoudend zand	3
matig slibhoudend zand	2.5 *
sterk slibhoudend zand	2 *
klei	1 - 3 *
veen	~ 1

In de onverzadigde zone, met name van zandbodems, is de formatiefactor hoger.

Voor een goede interpretatie van de geofysische metingen moet men dus op de hoogte zijn van de lithologie en de grondwaterstand ter plaatse van de meting. Voor de relatieve veranderingen is de tijd (monitoring) zijn geofysische metingen in ieder geval geschikt.

De elektrische weerstand of de elektrische geleidbaarheid (EC) van water is gerelateerd aan het aantal opgeloste ionen oftewel het zoutgehalte. Uit de metingen is door DLO (Mulder en Spoelstra, 1995) een relatie opgesteld tussen de elektrische geleidbaarheid σ_{w20} de (EC bij 20 °C) en het zoutgehalte van het water uitgedrukt in chlorideconcentratie in mg/l (Cl) op basis van alle analyses in dit gebied. Deze geldt alleen voor EC waarden hoger dan 1000 microS/cm.

$$Cl = 3.9831 - 256.4 \sigma_{w20}$$

Een andere relatie is die van Post (2008), gebaseerd op een groot aantal analyses van grondwater in Laag Nederland, waarin ook het bicarbonaatgehalte HCO_3 in mg/l wordt meegenomen. Deze gaat op voor EC waarden hoger dan 800 microS/cm:

$$\sigma_{w20} = 2.91 * 10^2 + 2.71 * Cl - 2.49 * 10^{-5} * Cl^2 + 9.34 * 10^{-1} * HCO_3$$

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

Tenslotte is er de algemene relatie van Stuyfzand (1987):

$$\sigma_{w20} = 71.027 \left\{ 0.94 + 1.38207 \left(\frac{Cl^-}{35.453} \right) + \frac{SO_4^{2-}}{48.03} + \frac{NO_3^-}{62} + 0.95721 \left(\frac{HCO_3^-}{61.02} + \frac{CO_3^{2-}}{30.01} \right) \right\}$$

In de praktijk is de geleidbaarheid van water toch de meest praktische en direct meetbare parameter (EC meting). We definiëren de verschillende zoutklassen als volgt: de bovengrenzen van zoet, lichtbrak, brak en zout zijn respectievelijk 1000 microS/cm (Cl = 150 mg/l), 4000 microS/cm (Cl = 1500 mg/l), 15000 microS/cm (Cl = 6000 mg/l) en 50000 microS/cm (Cl = 20000 mg/l).

Met bovengenoemde relaties kunnen de uitkomsten van de geofysische metingen met het zoutgehalte van het grondwater in verband worden gebracht. Uitgaande van een gemiddelde formatiefactor van 3 voor de zandlagen in dit gebied en een temperatuurcorrectie voor grondwater met een gemiddelde temperatuur van 11 °C, kunnen wij bij benadering de volgende relaties opstellen:

$$\sigma_{w20} \approx \frac{10000}{0.26 \rho_f} \quad \text{voor CVES metingen}$$

$$\sigma_{w20} \approx 38 \sigma_{fd} \quad \text{voor FDEM (DUALEM)}$$

$$\sigma_{w20} \approx 3 \sigma_{fp} \quad \text{voor prikstokmetingen}$$

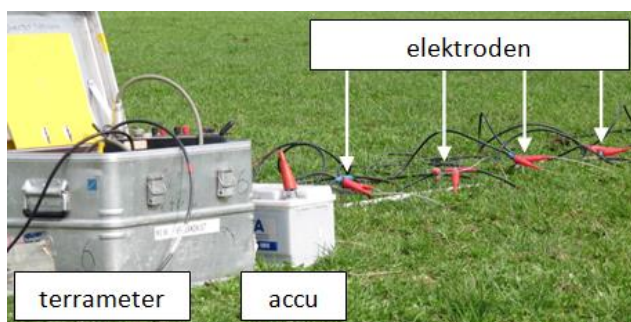
Waarbij σ_{w20} en σ_{fp} zijn uitgedrukt in microS/cm, ρ_f in Ohmm en σ_{fd} en in mS/m.

Voor dit onderzoek definiëren we verder zoet, lichtbrak, brak en zout als water met een EC bovengrens van respectievelijk 1000 microS/cm (Cl = 150 mg/l), 4000 microS/cm (Cl = 1500 mg/l), 15000 microS/cm (Cl = 6000 mg/l) en 50000 microS/cm (Cl = 20000 mg/l).

CVES methode

De CVES methode is een zogenaamde Direct Current methode. Hierbij wordt via twee stroomelectroden een elektrische stroom opgewekt in de ondergrond.

Uit die stroom en het geïnduceerde potentiaalverschil in twee andere elektroden kan dan de schijnbare weerstand worden berekend. De schijnbare weerstand is een soort gemiddelde waarde van de ondergrond tot een bepaalde diepte, welke afhankelijk is van de afstand van de stroomelectroden. Bij de CVES methode worden langs een profiel een groot aantal elektroden geplaatst en worden de schijnbare weerstanden bij tal van combinaties van elektroden bepaald. Door inversie van deze waarden te bepalen door een rekenmodel kunnen de werkelijke of formatieweerstanden van de ondergrond worden bepaald en getoond in een 2D beeld. De metingen zijn uitgevoerd met de SAS4000 Terrameter en de LUND kabel van ABEM, Sweden. In totaal kunnen met dit systeem voor elke meting 64 elektroden geplaatst worden op afstanden variërend van 0.5 tot 10 m. De totale lengtes kunnen variëren van 40 tot 400 m. Het diepte bereik is ongeveer een 1/6 van de lengte van de CVES. Voor de interpretatie en inversie is het softwarepakket RES2Dinv van GEOTOMO Software gebruikt.



Figuur B1. CVES meting met terrameter, accu, kabel en elektroden

FDEM profilering(DUALEM)

Met de frequency domain electromagnetische (FDEM) methode worden elektrische stromen in de ondergrond opgewekt door inductie van een wisselend electromagnetisch veld, uitgezonden door een zenderspoel. Het opgewekte secundaire electromagnetische veld wordt opgevangen door een ontvangerspoel. Uit het laatste signaal kan de schijnbare weerstand van de ondergrond worden verkregen. Door 3 frequenties en 2 spoelstanden te combineren worden schijnbare weerstanden tot 6 verschillende diepten gemeten. Uit deze waarden kan door inversie een 2D beeld van de ondergrond worden verkregen tot een diepte van ca. 6 m. De spoelen zijn bevestigd aan een enkele buis, waarmee al lopend kan worden gemeten. Na interpretatie wordt dan een continu 2D beeld verkregen van de weerstand van de ondergrond. Voor de metingen is gebruik gemaakt van de DUALEM-421S van Dualem Instruments, Ontario, USA.



Figuur B2. FDEM meting

Handboringen

Om de geofysische metingen te verifiëren en informatie over de bodemopbouw te verkrijgen zijn op diverse locaties handboringen uitgevoerd tot onder de grondwaterspiegel. In een aantal gevallen is het grondwater bemeten op EC.

EC metingen

De Elektrische Geleidbaarheid (EC) van het oppervlaktewater is een maat voor het zoutgehalte. Het ruimtelijke beeld van het zoutgehalte in de watergangen geeft informatie met betrekking tot oppervlaktewaterstroming en kwel. Variatie van de EC in de tijd geeft informatie over de invloed van neerslag, verdamping, kwel en inlaat op het oppervlaktewatersysteem.

Acacia Water
Jan van Beaumontstraat 1
2805 RN Gouda

Telefoon: 0182 – 686424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com

