

Princetonplein 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 256 42 56
F 030 256 44 75
info-BenO@tno.nl

TNO-rapport**2006-U-R0086/A****Regenwaterlenzen in zoute kwelsystemen**

Datum	8 juni 2006
Auteur(s)	P.S. Maljaars en R.A. Wils (Hogeschool Larenstein) ism. P. de Louw, G. Oude Essink en G. van Wirdum (TNO)
Opdrachtgever	Wetterskip Fryslân (R. Feenstra)
Projectnummer	034.69114
Aantal pagina's	121 (incl. bijlagen)
Goedgekeurd door	G. Oude Essink

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van ons afstudeeronderzoek. Wij zijn nu bijna vier jaar bezig met de studie Land- en Watermanagement, afstudeerrichting Watersysteemanalyse aan de Hogeschool Larenstein in Velp. Deze studie wordt afgesloten met een afstudeerstage van een half jaar. Wij hebben deze stage gedaan bij TNO, divisie Bouw en Ondergrond in Utrecht. Naast TNO was ook het Wetterskip Fryslân onze opdrachtgever.

We hebben een plezierige tijd gehad. Het werk was zeer afwisselend. Naast literatuurstudie en overig 'bureauwerk' hebben we ook de nodige tijd besteed aan veldwerk. Alle werkzaamheden waren zeer leerzaam. Naast het verbreden van onze kennis op het gebied van verzilting en daarmee samenhangende onderwerpen hebben we veel extra vaardigheden opgedaan met computerprogramma's als ArcGis, Word en Excel.

De sfeer op TNO was prima. Een aantal mensen willen we in het bijzonder bedanken voor alle hulp die zij ons geboden hebben. In de eerste plaats gaat het hierbij om onze begeleiders vanuit TNO en vanuit school, te weten Perry de Louw, Gualbert Oude Essink, Geert van Wirdum en Tjerk Sytsema. Ook willen we onze kamergenoten Ype van der Velde en Marijn Kuijper bedanken. Vanuit het Wetterskip Fryslân zijn we geholpen door Richard Feenstra, waarvoor onze dank.

Utrecht, juni 2006

Piet Maljaars en Runa Wils

Samenvatting

Verwacht wordt dat in de toekomst de zeespiegel zal gaan stijgen. Daarnaast is de bodem in Nederland al decennia lang aan het dalen. Deze daling zal ook in de toekomst doorzetten. Door de bodemdaling zullen ook peilen moeten worden aangepast. Samen met de zeespiegelstijging zorgt dit ervoor dat grond- en oppervlaktewater in gebieden langs de kust zouter zal worden. Voor de landbouw is het belangrijk dat optimaal gebruik gemaakt wordt van de voorraad zoet grondwater. Deze is vaak aanwezig in de vorm van een lens, die 'drijft' bovenop het zoute kwelwater: de zogenaamde regenwaterlens.

Het Wetterskip Fryslân wil graag onderzocht hebben hoe het op dit moment is gesteld met de verzilting in een gebied in Noordoost Friesland, nabij Anjum. In dit onderzoeksgebied vindt een gaswinning plaats. Als gevolg hiervan zal de bodem in de toekomst extra dalen. Voorspeld wordt dat de bodemdaling in het jaar 2050 maximaal 17 cm zal bedragen.

Het doel van dit onderzoek is meer duidelijkheid te verkrijgen over het gedrag en de eigenschappen van regenwaterlensen en de mate van verzilting binnen een vastgesteld onderzoeksgebied in Noordoost Friesland. Hierbij is onderzocht wat de afmetingen en de vormen zijn van neerslaglensen in het onderzoeksgebied en hoe deze op perceelsniveau verschillen. Daarnaast is gezocht naar een relatie tussen de locatie in het perceel en de zoet-zout verdeling van het grondwater. Ook is gekeken naar de dynamiek van de lenzen en de zoet-zout verdeling: Hoe veranderen deze in de tijd?

Op basis van hoogtekaart, bodemkaart, afstand tot de zee en bodemdalingscontouren is een negental percelen (A t/m I) in het gebied geselecteerd dat bemeten zal gaan worden. Zeven van de negen percelen liggen in De Kolken, een laaggelegen gebied ten zuiden van Anjum. De bodem in dit gebied is vrij homogeen. De bovenste laag bestaat uit klei, daaronder komt vooral zavelig materiaal voor. Ook is op elk perceel een veenlaag aanwezig. De overige twee percelen liggen respectievelijk in een laaggelegen veengebied, ter plaatse van een oude slenk (I) en in een hoger gelegen zandig gebied dichtbij de Waddenzee (G). Het onderzoeksgebied wordt van oudsher gebruikt voor landbouwdoeleinden. In het noorden van het gebied, op de hoger gelegen zandige gronden met name akkerbouw, in het zuidelijke, laaggelegen deel van het gebied (De Kolken) veeteelt.

Kwel van grondwater is met name te vinden in de lagergelegen delen van het gebied, zoals De Kolken. Infiltratie van oppervlaktewater vindt plaats in de hoger gelegen gebieden. Het grondwater in het watervoerend pakket kent over het algemeen een hoog zoutgehalte.

Grondwater in het Nederlandse kustgebied is vaak brak of zout. Onder invloed van hoger liggende peilen in de omgeving heeft het grondwater in deze kustgebieden bovendien de neiging om omhoog te stromen. Wanneer dit zoute grondwater de wortelzone van de vegetatie bereikt, kan gewasschade optreden. Echter, in gebieden met zout grondwater is het vaak toch mogelijk om landbouw te bedrijven. Dit komt omdat bovenop het zoute grondwater een zoete 'lens' drijft, die afkomstig is van geïnfiltreerd regenwater. De landbouw is afhankelijk van dit zoete water. Het grensvlak tussen zoet en zout verschilt sterk in afmeting. Soms wordt een scherpe grens waargenomen, andere keren is de overgang meer geleidelijk. Menging van zout en zoet vindt dan plaats. In het verleden is een aantal analytische formules opgesteld waarmee de afmetingen van de regenwaterlensen berekend kunnen worden. Wanneer in de

formule van Kees Maas (Raaijmakers, 1999) parameters worden ingevoerd die representatief zijn voor het onderzoeksgebied, wordt een maximale lensdikte van zo'n 30 cm berekend.

Om de doelstelling te verwezenlijken is onder andere een aantal weken veldwerk gedaan in het gebied. Met behulp van een prikstok werd op de percelen de elektrische geleiding (EC) en de temperatuur van de bodem op een aantal punten gemeten. De prikstok is een meetinstrument van 4 m lang die in de bodem geprikt kan worden. Om de 10 cm wordt de EC gemeten. Op grond van deze waarden kunnen chloridegehalten uitgerekend worden omdat de EC van dit gehalte afhankelijk is. Om deze gehalten uit te kunnen rekenen wordt gebruik gemaakt van een formatieconstante. Deze is afhankelijk van de grondsoort en varieert sterk (van 1,17 tot 4,10). De betrouwbaarheid van meetwaarden met de prikstok is onderzocht door op 2 punten op een meter van elkaar een meting te doen. De metingen bleken vrijwel identiek, zodat gesteld kan worden dat de betrouwbaarheid groot is.

Naast het meten met de prikstok zijn ook op elk perceel peilbuizen geplaatst. Hieruit, en tevens uit sloten en drains, zijn grondwatermonsters genomen die geanalyseerd zijn in het laboratorium. Dit is onder andere gedaan om de werkelijke chloridegehalten te meten en vergelijkingsmateriaal te hebben voor de omgerekende chloridegehalten van de prikstok. Ook kunnen aan de hand van de aanwezigheid van stoffen in het water uitspraken gedaan worden over de kwaliteit en herkomst van het water.

Bovendien zijn twee meetseries uitgevoerd om de verandering van de zoet-zout verdeling in de tijd te kunnen meten. De eerste serie vond plaats begin maart, de tweede serie eind april.

Water wordt aan de hand van de klassenindeling van Stuyfzand verdeeld in een aantal klassen. Dit gebeurt op basis van het chloridegehalte. De belangrijkste klassen zijn zoet (<150 mg Cl/l), brak (150 – 1000 mg Cl/l) en zout (>1000 mg Cl/l).

Op nagenoeg alle percelen zijn in het grondwater alleen maar chloridegehalten gemeten die vallen in de klasse brak en zout. Er is dus geen 'echte' regenwaterlens aanwezig. Regenwater en kwelwater mengen klaarblijkelijk en vormen een brak of zout geheel. Alleen op het hooggelegen en zandige perceel G worden chloridegehalten gemeten die vallen in de klasse zoet. Over het algemeen geldt dat de grootste kwelstroom te vinden is onder de sloot. Rond de sloten worden de hoogste chloridegehalten gemeten. In het midden van het perceel liggen de chloridegehalten het laagste. Infiltrerend water heeft daar de meeste invloed.

Hoewel dus (bijna) alle percelen vallen in de klasse brak of zout, zijn de verschillen tussen percelen onderling vrij groot. Een aantal percelen (B, F en I) zijn zo zout dat direct onder de grondwaterspiegel al waarden gemeten worden van boven de 4000 mg Cl/l. Maximum waarden liggen op deze percelen rond de 12000 mg Cl/l. Het chloridegehalte lijkt samen te hangen met de afstand tot de zee. Op percelen B en C, die relatief dicht bij zee liggen worden maximumwaarden van 12000 mg Cl/l gemeten, op de percelen D en E waarbij de afstand tot de zee groter is, liggen maximumwaarden rond de 6500 mg Cl/l. Laatstgenoemde percelen laten bovendien zien dat het slootpeil grote invloed heeft op chloridegehalten. Een hoog slootpeil (D) zorgt voor een laag chloridegehalte in de sloot en ook daaronder. In het midden van het perceel liggen de waarden hier echter relatief hoog.

Op perceel I zijn erg hoge EC-waarden gemeten. Dit heeft deels te maken met de lage formatieconstante vanwege de veenbodem, maar ook met het hoge chloridegehalte. De laagste waarde op dit perceel die gemeten is in het laboratorium bedraagt ruim 6000 mg Cl/l. Dat dit perceel zo zout is komt door een combinatie van de ligging ter plaatse van een oude slenk (zeearm) en een hoge kwelsterkte.

Op vrijwel alle percelen en in alle sloten werden tijdens de tweede meetserie hogere waarden gemeten dan tijdens de eerste. De geringere hoeveelheid infiltratie als gevolg van de grotere verdamping zijn hiervan de oorzaak.

Geconcludeerd kan worden dat het grondwater erg zout is in het onderzoeksgebied. Regenwaterlensen komen alleen voor in de hogergelegen zandige gebieden. In het laaggelegen gebied De Kolken worden alleen chloridegehalten gemeten die vallen in de klasse brak of zout. De lensdikte van 30 cm die met de formule van Kees Maas is berekend, blijkt niet overeen te komen met de werkelijkheid.

Hoe hoog de zoutgehalten van het grondwater zijn op perceelsniveau wordt vooral bepaald door het zoutgehalte van het diepe grondwater en de geologie (landgebruik in verleden). Wanneer het diepe grondwater zout is en er is sprake van een grote kwelintensiteit, is de zoutbelasting van het ondiepe grondwater hoog. De hoogte van het slootpeil blijkt duidelijke gevolgen te hebben voor de kwelsterkte.

Het is niet duidelijk wat de oorzaak is van het feit dat in het onderzoeksgebied, in tegenstelling tot andere gebieden, geen regenwaterlensvorming plaatsvindt in het grondwater. Misschien spelen processen in de bodem of hoge zoutconcentraties van het grondwater een grote rol. Nader onderzoek hiernaar wordt aanbevolen.

De vertaalslag van EC naar chloride blijkt heel moeilijk omdat de formatieconstante (ook binnen één grondsoort) sterk verschilt. Onderzoek naar de relatie tussen bodem en EC wordt ook hier aanbevolen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	5
Lijst van tabellen en figuren	11
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Doelstelling	14
1.3 Werkwijze.....	14
1.4 Opbouw rapport	15
1.5 Lezerspubliek.....	15
2 Gebiedsanalyse	17
2.1 Gebiedskeuze	17
2.2 Topografie.....	17
2.3 Gebruik landschap	18
2.4 Beleid.....	19
2.5 Bodem.....	20
2.6 Hydrologie	23
2.7 Conclusie	29
3 Verziltingsproblematiek	31
3.1 Inleiding	31
3.2 Probleemuitleenzetting	31
3.3 Neerslaglenzen op perceelsniveau	31
4 Veldwerk	35
4.1 Algemeen.....	35
4.2 Werkzaamheden.....	35
5 Resultaten veldwerk	43
5.1 Inleiding	43
5.2 Perceel A.....	44
5.3 Perceel B.....	47
5.4 Perceel C.....	49
5.5 Perceel D.....	51
5.6 Perceel E	53
5.7 Perceel F	54
5.8 Perceel G.....	56
5.9 Perceel H.....	57
5.10 Perceel I.....	59
5.11 Vergelijking percelen.....	61
5.12 Algemene conclusie.....	63
6 Conclusies en aanbevelingen	65
6.1 Inleiding	65
6.2 Conclusies.....	65
6.3 Aanbevelingen	67

7 Literatuuropgave 69**Bijlage(n)**

- A Topografische kaart
- B Hoogtekaart
- C Bodemkaart
- D Homogene gebiedstypen en zakkingscontouren
- E Kwel en infiltratiekaart
- F Peilgebieden gemeente Dongeradeel
- G Grondwaterstandenkaart en stijghoogtes peilbuizen
- H Drooglegging
- I Gebiedsgericht beleid Noordoost Friesland
- J Locatie overzicht percelen
- K Perceel A
- L Perceel B
- M Perceel C
- N Perceel D
- O Perceel E
- P Perceel F
- Q Perceel G
- R Perceel H
- S Perceel I
- T Diveruitlezingen
- U Dompelcel metingen
- V Lab resultaten anionen serie 1 en serie 2

Lijst van tabellen en figuren

Tabellen

Tabel 1: k-waarden en porositeit voor verschillende soorten afzettingen.....	25
Tabel 2: Verschillen in chemische eigenschappen van grondwater en oppervlaktewater	29
Tabel 3: Totstandkoming formatieconstanten.....	40
Tabel 4: Klasse indeling chloride (bron: Stuyfzand, J.S., 1993).....	41
Tabel 5: Karakteristieken van de bemeten percelen.....	44
Tabel 6: Vergelijking perceels eigenschappen.....	61

Figuren

Figuur 1: Ligging gebied en detailkaart.....	13
Figuur 2: Luchtfoto Anjum.....	17
Figuur 3: foto van een dobbe.....	18
Figuur 4: Dikte Holocene deklaag over profiel Waddenzee-Steenvak (bron: Imod) ...	21
Figuur 5: Geologisch profiel Waddenzee-Steenvak (bron: Imod).....	22
Figuur 6: Verschillende kwelstromen rond het Lauwersmeer (bron: HKV (2005), Watervisie Lauwersmeer).....	24
Figuur 7: Schematisering van het regionale hydrologische systeem (bron: Heer, E. de ,et al 1996).....	25
Figuur 8: C-waarden van de deklaag (d) (bron: Imod).....	26
Figuur 9: Profiel Waddenzee-Steenvak, stijghoogten eerste watervoerende pakket t.o.v. NAP (bron: Imod)	27
Figuur 10: Vorming neerslaglens	33
Figuur 11: Eerste meetserie Figuur 12: Tweede meetserie.....	35
Figuur 13: prikstok met uitleesapparaat.....	36
Figuur 14: Duplo meting EC-waarden van punt H4 op perceel H	37
Figuur 15: Plaatsing peilbuizen	38
Figuur 16: IJkgrafieken temperatuur, serie 1 en 2.....	39
Figuur 17: Verloop correctiefactor voor de EC van de prikstok	41
Figuur 18: Locatieoverzicht ligging percelen.....	43
Figuur 19: Dwarsdoorsnede perceel A	45
Figuur 20: Verschil grafiek EC-metingen perceel A	46
Figuur 21: Grafiek van het stijghoogteverloop in een peilbuis op 10 m diepte (bron: Dino, peilbuisnr. 206E0114)	47
Figuur 22: Dwarsdoorsnede perceel B	48
Figuur 23: Ruimtelijke verdeling EC-waarden perceel B	49
Figuur 24: Dwarsdoorsnede perceel C	50
Figuur 25: Dwarsdoorsnede perceel D	52
Figuur 26: Dwarsdoorsnede perceel E.....	53
Figuur 27: Dwarsdoorsnede perceel F.....	55
Figuur 28: Dwarsdoorsnede perceel H	57
Figuur 29: Slenk bij perceel I, locatie Jouswier	59
Figuur 30: Dwarsdoorsnede perceel I.....	60
Figuur 32: Dwarsdoorsnede percelen H en A.....	63

1 Inleiding

In het Nederlandse kustgebied is een aanzienlijk deel van het grondwater brak of zout. Als gevolg van bodemdaling, peilverlaging en zeespiegelstijging wordt verwacht dat in de toekomst het kustgebied steeds meer zal gaan verzilten.

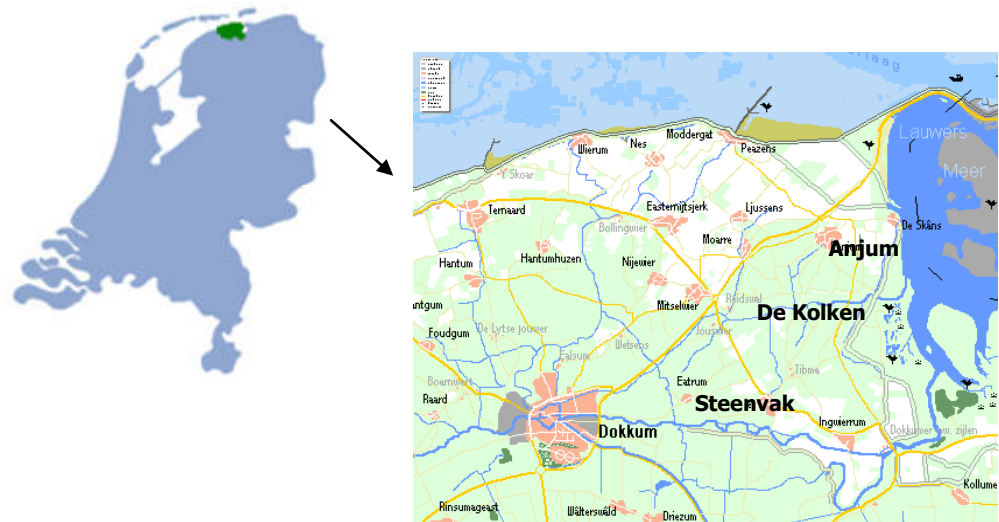
Het Wetterskip Fryslân wil graag weten hoe het op dit moment gesteld is met de verzilting in een gebied in Noordoost Friesland, nabij Anjum.

1.1 Achtergrond

Vanwege de druk van de zeespiegel en andere hoger liggende peilen in de omgeving, heeft het zoute grondwater in het onderzoeksgebied de neiging om op te kwellen. Dit zoute kwelwater kan op verschillende manieren schade veroorzaken voor de landbouw. Zo kan het water zo hoog opkwellen dat het in de buurt komt van de wortelzone waardoor gewasschade optreedt. Bovendien kan het grondwater ervoor zorgen dat het zoutgehalte in de sloot te hoog wordt. Tijdens droge perioden kan dan niet beregend worden met slootwater.

Bovenop het zoute grondwater is vaak een zoetwaterbel aanwezig die gevoed wordt door regenwater. Door verschillen in dichtheid blijft het zoete water drijven op het zoute water. Het is voor de landbouw van belang om van deze zoetwaterbel optimaal gebruik te maken.

In het onderzoeksgebied vindt een gaswinning plaats. Als gevolg daarvan zal de bodem in de toekomst dalen. De bodemdaling zal naar verwachting het grootst zijn rondom Anjum, terwijl het maaiveld (en dientengevolge ook de grondwaterstand) hier al voor een groot deel onder zeeniveau ligt. Om natschade te voorkomen zullen ook de polderpeilen door de bodemdaling verlaagd moeten worden. Verwacht wordt dat hierdoor de verzilting extra zal toenemen.



Figuur 1: Ligging gebied en detailkaart

1.2 Doelstelling

De laatste jaren is onderzoek gedaan naar de verziltingsproblematiek. Er zijn verschillende computermodellen opgesteld die het gedrag van grondwater in brakke kwelsystemen simuleren, maar er zijn nog te weinig gegevens uit de praktijk bekend die deze modellen kunnen ondersteunen. Om maatregelen te kunnen treffen die gevolgen van verdere verzilting in het onderzoeksgebied tegengaan, is het van belang meer kennis hierover te verkrijgen.

Dit onderzoek heeft daarom ten doel meer duidelijkheid te verkrijgen over het gedrag en de eigenschappen van regenwaterlenzen en de mate van verzilting binnen een vastgesteld onderzoeksgebied in Noordoost Friesland.

Bij deze doelstelling worden de volgende deelvragen gesteld:

Deelvraag 1 Wat zijn de afmetingen en de vorm van regenwaterlenzen?

Door op perceelsniveau verschillende punten te bemeten kan een beeld gevormd worden van de vorm van de regenwaterlenzen. Bepaald wordt hoe het grensvlak tussen zoet, brak en zout verloopt. Is de overgang geleidelijk of is de grens juist scherp?

Deelvraag 2 Komen afmeting en vorm van de regenwaterlenzen overeen met de verwachtingen, gebaseerd op grond van analytische formules?

In het verleden is een aantal analytische formules opgesteld om de afmeting en vorm van regenwaterlenzen mee te kunnen berekenen. Door in deze formules waarden in te vullen die representatief zijn voor het onderzoeksgebied kan een verwachting geschept worden van de situatie in het onderzoeksgebied. Wanneer meetresultaten bekend zijn kan worden bepaald in hoeverre deze verwachtingen overeenstemmen met de werkelijkheid.

Deelvraag 3 Is er een relatie tussen de locatie in het perceel en de zoet-zout verdeling van het grondwater?

Door op perceelsniveau verschillende punten te bemeten kan bepaald worden welke factoren effect hebben op de zoet-zout verdeling van het grondwater. Hierbij kan gedacht worden aan maaiveldhoogte, grondwaterstand, sloten, drainage etc.

Deelvraag 3 Wat is de dynamiek van de regenwaterlenzen als gevolg van seizoensveranderingen?

Door op twee momenten in het jaar te meten kan bepaald worden hoe het seizoen invloed heeft op vorm en eigenschappen van de regenwaterlenzen.

Deelvraag 4 Zijn er op regionaal niveau (tussen de percelen) verschillen waar te nemen in zoutgehalten van het grondwater en wat zijn factoren die hierin een rol spelen?

Wanneer er duidelijke verschillen worden waargenomen kan door vergelijking van perceelparameters bepaald worden hoe deze verschillen veroorzaakt worden.

1.3 Werkwijze

Als eerste wordt het onderzoeksgebied afgebakend. Wanneer de grenzen van het gebied bekend zijn wordt een homogene gebiedstypenkaart opgesteld. Deze kaart maakt duidelijk welke locaties in het gebied interessant zijn voor onderzoek. Op basis van

deze informatie in combinatie met een gedetailleerde topografische kaart kunnen de te meten percelen geselecteerd worden.

Als bekend is welke parameters gemeten moeten worden, kan gestart worden met veldwerk. De eerste veldwerksessie duurt drie weken. Na deze drie weken zullen de meetresultaten geanalyseerd en verwerkt worden. Tevens wordt dan begonnen met het schrijven van het rapport. Er zal voor gezorgd worden dat resultaten van volgende meetsessies eenvoudig ingevoerd en verwerkt kunnen worden.

De tweede meetsessie vindt eind april plaats en zal twee weken in beslag nemen. Na deze meetsessie zullen de resultaten opnieuw worden verwerkt. Vervolgens kunnen door vergelijking van resultaten conclusies getrokken worden. Bovengenoemde deelvragen zouden dan beantwoord kunnen worden.

Resultaten zijn zichtbaar gemaakt middels onderliggende rapportage en een powerpoint-presentatie.

1.4 Opbouw rapport

Na de inleiding zal in het hoofdstuk "Gebiedsbeschrijving" iets verteld worden over de topografie, het gebruik van het landschap en de geohydrologie van het onderzoeksgebied. Vooral de geohydrologie komt wat uitgebreider aan bod.

De problematiek rond verzilting en processen die spelen in brakke kwelsystemen worden beschreven in hoofdstuk 3. Er wordt uitgelegd welke parameters verantwoordelijk kunnen zijn voor de hoge zoutgehalten en de opwaartse grondwaterstroom in het onderzoeksgebied.

In hoofdstuk 4 wordt een beschrijving gegeven van de uitgevoerde veldwerkzaamheden. Het doel van elke werkzaamheid wordt daarbij aangegeven. Ook de manier waarop gegevens verwerkt worden wordt in dit hoofdstuk behandeld.

De kern van het rapport wordt gevormd door hoofdstuk 5. Hierin wordt eerst een korte beschrijving gemaakt van alle te meten percelen. Gekeken wordt in welk opzicht zij van elkaar verschillen. Daarna worden per perceel resultaten besproken en conclusies getrokken. Het hoofdstuk eindigt met een vergelijking van de resultaten van alle percelen en een algemene conclusie.

In het laatste hoofdstuk (6) wordt de eindconclusie beschreven. Hierin wordt teruggekoppeld op de doelstelling en de deelvragen die in deze inleiding zijn beschreven. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan.

1.5 Lezerspubliek

Bij het schrijven van dit rapport is er vanuit gegaan dat de lezer enige kennis heeft op het gebied van hydrologie en vloeistofmechanica. Resultaten van deze scriptie kunnen door wetenschappelijke instanties gebruikt worden om vervolgonderzoeken te doen naar aanverwante onderwerpen.

2 Gebiedsanalyse

2.1 Gebiedskeuze

Ten oosten van het dorpje Anjum in Noordoost Friesland vindt een gaswinning plaats. Verwacht wordt dat in de toekomst de bodem rond deze winning zal dalen. Om de nadelige effecten van bodemdaling op te heffen zullen ook polderpeilen moeten worden aangepast. Dit werkt verdere verzilting in de hand. In samenspraak met het Wetterskip Friesland is het gebied rond Anjum vastgesteld als onderzoeksgebied. De prognose die de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) voor dit gebied uitgeeft is een maximale bodemdaling van 17 cm in 2050.

Op grond van de factoren bodemtype en hoogteligging, is binnen dit gebied een aantal gebiedstypen geselecteerd. Dit heeft geresulteerd in een homogene gebiedstypenkaart (bijlage D). Op deze kaart is een aantal voorkeurslocaties aangegeven. Binnen deze locaties zijn als laatste stap, rekening houdend met polderpeil, hoogteligging, bodemtype, landgebruik, afstand tot de zee en aanwijzingen van de boeren in het gebied negen percelen gekozen. De perceelskeuze is mede gebaseerd op de peilgebiedenkaart van het Wetterskip (bijlage F) en door gebiedsbezoek. Gedurende twee meetseries zijn de negen percelen bemeten; zie voor de ligging en details hierover hoofdstuk 5.

2.2 Topografie

Het onderzoeksgebied is gelegen in het kustgebied van Noordoost Friesland. In de gemeente Dongeradeel liggen rondom Anjum de negen percelen die onderzocht zijn tijdens deze afstudeeropdracht. Het gebied wordt begrensd door de Waddenzee, het Lauwersmeer, en het Dokkummerdiep tot aan Dokkum. De infrastructuur bestaat uit autowegen, streekwegen, oude dijken, dorpswegen en landweggetjes.



Figuur 2: Luchtfoto Anjum

Door het gebied lopen veel kleine waterwegen. Met de auto is het gebied goed bereikbaar, met het openbaar vervoer is dit een stuk minder. Het dichtstbijzijnde treinstation ligt op ongeveer 20 km afstand van Anjum. Er is een busverbinding van Leeuwarden naar Lauwersoog. Dit is ook de plaats waar de boot naar Schiermonnikoog vertrekt. In bijlage A is de topografische kaart weergegeven.

2.3 Gebruik landschap

2.3.1 *Verleden*

Noordoost Friesland wordt van oudsher voornamelijk gebruikt voor landbouwdoeleinden. Op de hoger gelegen plaatsen ligt een zandige formatie aan de oppervlakte; hier vindt van oudsher voornamelijk akkerbouw plaats.

Deze gebieden zijn hoogproductief, hebben een goede doorlatendheid en er zijn weinig natuurlijke handicaps.



Figuur 3: foto van een dobbe

De laaggelegen gebieden waren vaak te nat om gewassen op te telen en werden daarom gebruikt voor melkveehouderij en schapenhouderij. Het vee kon drinken uit een dobbe, een natuurlijk ontstane drinkplaats of zelf gegraven door de boeren. In de lager gelegen gebieden bestaat de deklaag van de bodem uit klei op veen.

Het gebied onder Anjum waar ook een aantal te bemeten percelen liggen wordt ook wel De Kolken genoemd en was tot 1950 een slecht ontwaterd gebied. Rond 1960 ontstond een groots opgezette ruilverkaveling waarbij het oorspronkelijke karakter van De Kolken voor een groot deel verloren is gegaan.

Het zoute water wat in het gebied wordt aangetroffen is een restant van de mariene transgressie gedurende het laat-Tertiair en het vroegste Pleistoceen (Groot, T. de, et al, 1987). In de verscheidene veenlagen treft men daarom ook zout water aan. Vanaf de Middeleeuwen won men het zout uit het veen door het veen te verbranden.

Kenmerken uit het verleden die men nu nog in het landschap aantreft zijn graanmolens, dobben, slenken, oude dijken, greppeldrainage, eendenkooien en terpen.

2.3.2 *Heden*

Momenteel treft men op de meeste plaatsen een open grasland aan met als karakteristieke eendenkooien en dobben. Het gebied De Kolken is een echt open gebied, verder in het noorden is er akkerbouw. Het laaggelegen gebied is brak tot zout. De situatie uit het verleden, met akkerbouw op de wat hoger gelegen gebieden en veeteelt op de lager gelegen gebieden komt overeen met hoe het gebied vandaag de dag gebruikt wordt (bijlage A).

De ontwikkelingen die nu in het gebied gaande zijn, zijn een toename van het aantal bedrijfsbeëindigers en een (versneld) opschalingsproces. Deze ontwikkelingen spelen zowel in de akkerbouw als in de melkveehouderij.

In de winter zijn in het gebied erg veel ganzen te vinden. De boeren stellen hun land dan beschikbaar voor de ganzen. Hiervoor is door de overheid een subsidieregeling ingesteld. In het voorjaar zijn het vooral andere weidevogels als grutto en Kieviet die op een groot aantal percelen bescherming genieten.

2.3.3 *Toekomst*

Voor zowel provincie als gemeente zijn behoud en ontwikkeling van de landbouw in Noordoost Friesland een speerpunt in het beleid.

Momenteel wordt de recreatiefunctie die het gebied rond het Lauwersmeer heeft uitgebreid; zo komt er een nieuw park met recreatiewoningen.

De stijging van de zeespiegel en de dalende bodem door de gaswinningen dragen bij aan een grotere kweldruk en daarmee samenhangend een toenemende verzilting. Om die reden heeft het Wetterskip in samenwerking met TNO dit onderzoek opgestart. Het Wetterskip draagt ook in de toekomst zorg voor een goede kwaliteit en kwantiteit van het oppervlaktewater en heeft daar kennis voor nodig van de huidige situatie. Voor de boeren kan de aanwezigheid van meer zoute kwel ingrijpende veranderingen teweeg brengen. Als het grondwater voor gewassen te zout wordt, kan door gewasschade de akkerbouw steeds minder rendabel worden en kan het gebied de functie akkerbouw verliezen. Investeren in methodes om schade aan het gewas door verzilting te voorkomen zal dan nodig zijn.

Om de bergingsfunctie van het gebied te verhogen wordt gedacht aan een nieuw meer in het gebied (zoals voorgesteld in het rapport verkenning van de Friese boezem). Een dergelijk meer kan ook voor natuur en recreatie veel betekenen. De locatie voor dit meer zal ongeveer 2 km ten zuiden van Anjum zijn.

2.4 **Beleid**

In de Nota Ruimte geeft de rijksoverheid aan grondgebonden landbouw te willen stimuleren om in te spelen op de eisen van de markt en om verbreding mogelijk te maken. Het motto daarbij is dat een economisch gezonde sector de beste garantie vormt voor een duurzaam beheer van het landelijk gebied (Ministerie van VROM, 2006).

In het voorontwerp streekplan 'Om de kwaliteit van de ruimte' ziet de provincie het als haar taak om – binnen haar mogelijkheden – te zorgen voor de juiste randvoorwaarden om de positie van de landbouw en daarmee de positie van het platteland veilig te stellen. Met randvoorwaarden wordt hier o.a. bedoeld een inrichting die past bij landbouw die zich richt op schaalvergroting om zo tot kostenbesparingen te komen. Ook het ontwikkelen van de ruimtelijke kwaliteit, de landschappelijke inpassing van gebouwen, het tegengaan van verrommeling behoren tot de randvoorwaarden. Deze provinciale opstelling is tevens verwoord in het Landbouwstructuuronderzoek (LSO) uit 2005.

De gemeente Dongeradeel is er dan ook alles aan gelegen dat de landbouw haar sterke positie behoudt en van belang blijft voor economie en werkgelegenheid. In haar nota 'Landbouw Kompas Dongeradeel' spreken B&W zich onomwonden uit voor een sterke landbouw. Het teruglopen van de werkgelegenheid in de landbouw en daarmee ook die op het platteland wil B&W tot stilstand brengen (DLG, 2005). In bijlage I is een kaart toegevoegd die het gebiedsgerichte beleid van Noordoost Friesland weergeeft.

2.4.1 *Waterbeleid*

Het Nederlandse waterbeleid krijgt vorm door het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Dit akkoord tussen Rijk, provincies en waterschappen heeft tot doel om in

2015 het watersysteem in Nederland op orde te hebben en te houden. Het NBW bundelt de uitvoering van Waterbeleid 21e eeuw (WB21) en de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW); het is gericht op een structurele aanpak van wateroverlast en overstromingsrisico's, watertekorten en verdroging, verzilting en op realisatie van kwaliteitsdoelstellingen van water en waterbodembodem. Bij de aanpak van deze waterproblemen wordt zoveel mogelijk geanticipeerd op de gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling op de waterhuishouding.

De provincie Friesland heeft het waterbeleid en -beheer vastgelegd in het Tweede Waterhuishoudingsplan.

Het Wetterskip Fryslân schetst in het Integraal Waterbeheerplan (IWP) hoe zij de komende jaren de doelstellingen van integraal waterbeheer wil bereiken. Het bestaat uit een algemeen deel en zeven deelplannen voor afzonderlijke gebieden. Zo ook het deelgebied de Friese boezem. Dit is een ontvangstbassin waarin water uit de dorpen en steden, de rioolzuiveringsinstallaties en uit het landelijk gebied samenkomt. De Friese boezem is gelegen tussen Lemmer en Dokkumer Nieuwe Zijlen. Het zit ingeklemd tussen het IJsselmeer, de Waddenzee en het Lauwersmeer. Hoewel het watersysteem van het onderzoeksgebied (de gemeente Dongeradeel) onafhankelijk functioneert van het Friese Boezemsysteem, is de kwaliteit van de boezem wel van belang. Voor de huidige problematiek van het zoute grondwater worden enkele watergangen met boezemwater doorgespoeld. In de toekomst zullen er aanpassingen noodzakelijk zijn voor extra berging. Bijvoorbeeld bredere watergangen met flauwere taluds. In het kader van de studie "Vasthouden, bergen en afvoeren van water in het watersysteem Fryslân" worden oplossingen onderzocht voor de huidige en toekomstige wateroverlast. Er zal een verschil in maatregelen zijn voor de verschillende deelsystemen, zoals Dongeradeel, en maatregelen rondom de boezem. Voor de deelsystemen zal gezocht worden naar gebieden die lozen op de boezem. Wat betreft de boezemuitbreiding gaat het om de bemalingscapaciteit en de bergingscapaciteit. Voor de uitbreiding van de bemalingscapaciteit worden opties voor nieuwe gemalen langs de noordkust onderzocht. Daarnaast wordt onderzocht in hoeverre het watersysteem Dongeradeel zodanig kan worden aangepast dat meer boezemwater door Dongeradeel kan worden afgevoerd via het gemaal Dongeradeel. Als Dongeradeel wordt ingezet is uitbreiding van de bergingscapaciteit eveneens een mogelijke maatregel. Het streefpeil op de Friese boezem is NAP -0,52 m gedurende het gehele jaar (DLG, 2005).

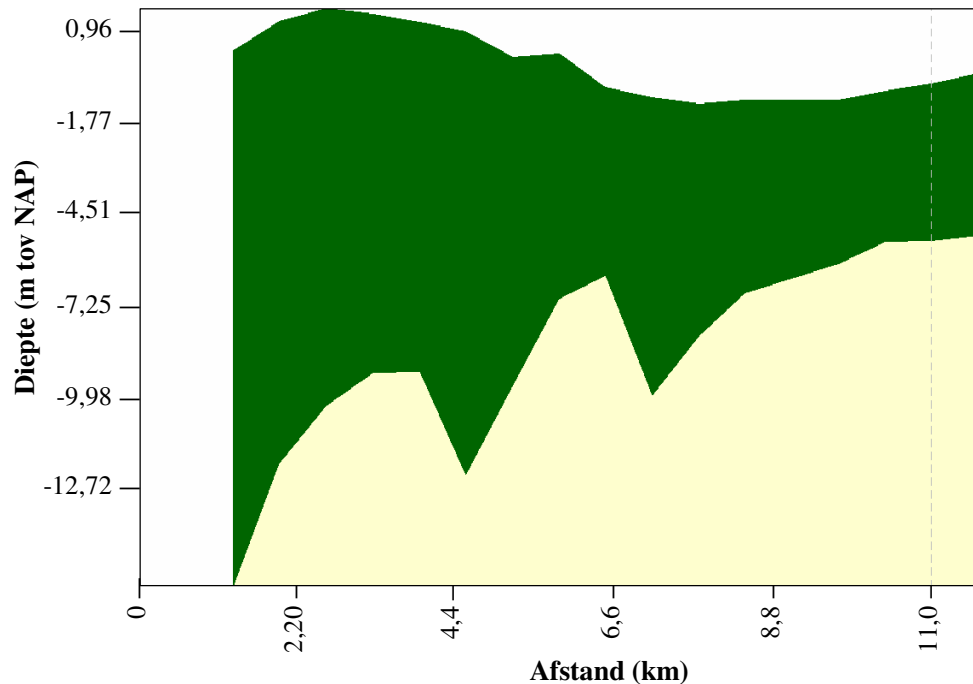
Gemalen aan de noordkust van Friesland kunnen ook van betekenis zijn voor verbetering van de verziltingbestrijding en het maken van zoet-zout overgangen in het voordeel van vissen.

2.5 Bodem

2.5.1 *Geologie en geomorfologie*

Geologisch gezien is het landschap van Friesland zeer jong. De basis voor het huidige landschap is in de voorlaatste ijstijd gelegd (Saalien, tot 120.000 v.Chr.). De voor dit onderzoek uitgevoerde veldwerkzaamheden hebben alleen in de deklaag plaatsgevonden; deze is in het gebied ongeveer 6 m dik. Een goede kennis over het afzettingmilieu en de daarbij horende bodemeigenschappen van deze laag is daarom extra belangrijk. In figuur 4 een schematisatie van de deklaag. Volgens de figuur varieert de dikte van de Holocene deklaag van 4 m tot 15 m. De figuur laat een lengtedoorsnede zien van zee tot ongeveer 11 km landinwaarts, en loopt door een aantal bemeten percelen. Door de zeespiegelstijgingen die na de laatste ijstijd (Weichselien, tot +/- 10.000 v.Chr.) plaatsvonden brak de duinenrij op een gegeven moment door en

overspoelde het land met zout zeewater en klei afzettingen. Op plaatsen waar de zee lange tijd het land heeft overspoeld is de kleilaag dik. Aan de randen en verder landinwaarts, waar de zee niet zo vaak kwam is de laag dunner. Hier kan de veenlaag die voor de overstromingen veelal aan de oppervlakte lag nog onder de klei gevonden worden. De deklaag bestaat voornamelijk uit slecht doorlatend zavelig tot kleilig materiaal en veen.



Figuur 4: Dikte Holocene deklaag over profiel Waddenzee-Steenvak (bron: Imod)

De bodemtypes die in de deklaag worden aangetroffen zijn vaaggronden die volgens de Bodemkaart van Nederland behoren tot de zeekleigronden. Hierin is een aantal onderverdelingen te vinden: kalkrijke/arme (knippige) poldervaaggronden, nesvaaggronden en drechtvaaggronden. Ook is er een klein gebiedje met koopveengrond te vinden. De nesvaaggronden bestaan soms uit 15 à 40 cm moerig materiaal beginnend tussen 40 en 80 cm. De knippige poldervaaggronden zoals in De Kolken bij Anjum bevatten soms moerig materiaal dat dieper dan 80 cm begint en doorgaat tot dieper dan 120 cm.

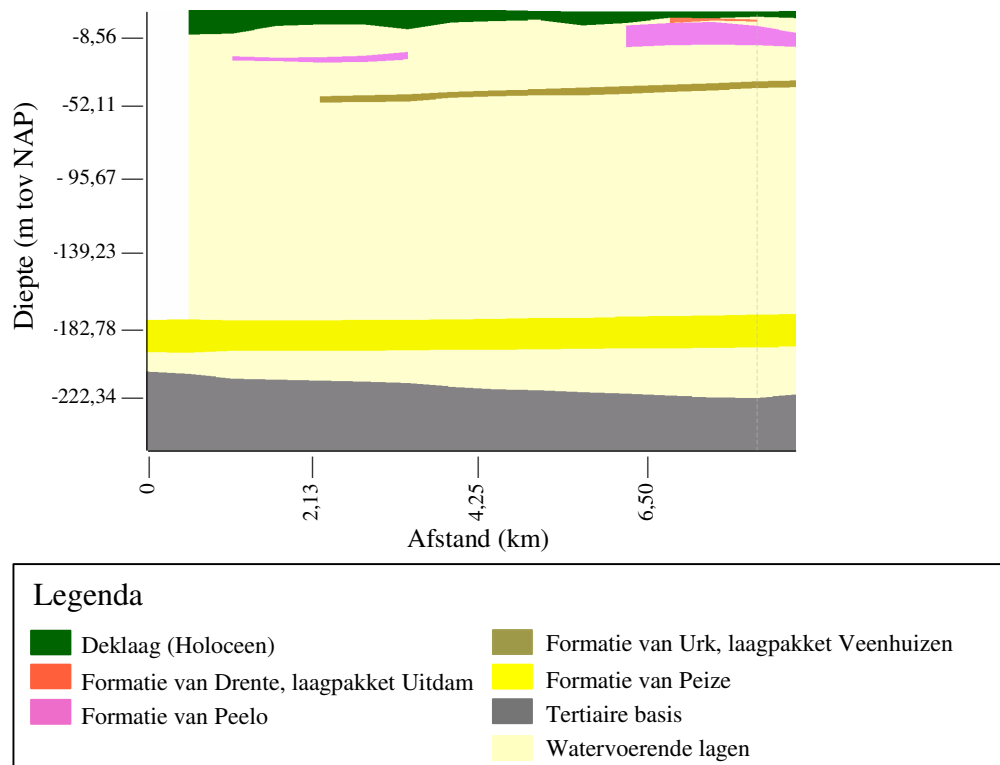
2.5.1.1 *Formaties*

In de loop der tijd hebben veel verschillende afzettingen aan de oppervlakte gelegen. Regionaal gezien kunnen deze afzettingen van elkaar verschillen. Afzettingen die gekenmerkt worden door een bepaalde periode en een afzettingsmilieu worden formaties genoemd. De formaties die in Noordoost Friesland gedurende de afgelopen duizenden jaren de ondergrond hebben bepaald worden hier besproken. Figuur 5 laat een overzicht van de in het gebied aanwezige ondoorlatende lagen zien. De figuur is een dwarsdoorsnede gezien van de Waddenzee tot Steenvak.

Holoceen

Het afzettingsmilieu tijdens het Holoceen bestaat uit riviergeulen, vloedvlakten, beekdalen, kustvlakten, kustzones en wadden. De dikte van deze afzettingen is 10 - 15 m (max. 90 m, ter plekke van geulen en/of kustduinen). De slecht doorlatende

afzettingen die tijdens het Holoceen in Noordoost Friesland zijn neergelegd zijn de formaties van Naaldwijk, Nieuwkoop en Echteld.



Figuur 5: Geologisch profiel Waddenzee-Steenvak (bron: Imod)

Pleistoceen

Formatie van Drente, Laagpakket Uitdam

De Formatie van Drente is opgebouwd uit drie lithologisch sterk van elkaar verschillende laagpakketten. In Noordoost Friesland komt alleen het laagpakket van Uitdam voor. Het Laagpakket van Uitdam bestaat uit uiterst fijn tot uiterst grof zand, soms grindhoudend, met een grijs tot bruine kleur. Zwak tot matig siltige klei, kalkrijk, met een kleur van (donker)grijs tot (donker)bruin, vrij stevig, veelal sterk gelaagd, soms met fijn tot matig grove zandlaagjes die kalkrijk en zwak siltig zijn, lokaal komen glauconiet en schelpresten voor.

De ouderdom van de Formatie van Drente is Saalien, de lithologie is dan ook gerelateerd aan landijsbedekking: keileem is gevormd als grondmorene, de grove afzettingen zijn over het algemeen gevormd door smeltwaterstromen en klei is gevormd in smeltwatermeren, wat ook wel een lacustroglaciale afzetting wordt genoemd. De dikte van dit pakket varieert van 5 - 20 m (max. 35 m, in smeltwatermeren).

De overgang van het Laagpakket van Uitdam naar onderliggende formaties is over het algemeen scherp.

Formatie van Peelo

De lithologie bestaat uit uiterst fijn tot uiterst grof zand, kalkarm, soms zwak tot sterk grindhoudend. De kleur varieert van geel- of lichtgrijs tot zwart. Daarnaast komt zandige tot zwak siltige, donkergrijze tot zwarte en harde klei voor ('potklei'). Deze is veelal kalkrijk en glimmerhoudend en lichtgrijs tot zwart van kleur. Subglaciale dalen en smeltwatermeren hebben als afzettingsmilieu gediend tijdens het Elsterien. De dikte van de laag varieert van <5 tot >500 m (grootste diktes in dalsystemen).

Formatie van Urk, Laagpakket Veenhuizen

Het laagpakket van Veenhuizen bestaat uit matig grof tot zeer grof zand, bont, zwak en matig grindig, kalkarm tot kalkrijk, en klei. De kleur varieert van grijs tot bruin. Het laagpakket wordt alleen onderscheiden als de Formatie van Peelo op het Laagpakket aanwezig is. Het voorkomen ervan is beperkt tot Noord Nederland.

Het afzettingmilieu is fluviatiel (Rijn en Maas). De dikte van deze laag is meestal 25 - 30 m (max. 60 m). De formatie is afgezet tijdens het Midden Pleistoceen.

Pliocene

Formatie van Peize

De lithologie van de Formatie van Peize is matig grof tot uiterst grof zand, kwartsrijk en lichtgrijs tot wit van kleur. Plaatselijk grindhoudend, bovenin komen lokaal stenen voor. In het onderste deel van de eenheid kunnen donkergrijze tot bruine kleilagen ingeschakeld zijn. De afzettingen vonden plaats tijdens het Pliocene tot Vroeg-Pleistoceen, het zijn fluviatiele afzettingen (Eridanos). De dikte varieert van 50 - 100 m (max. > 200 m).

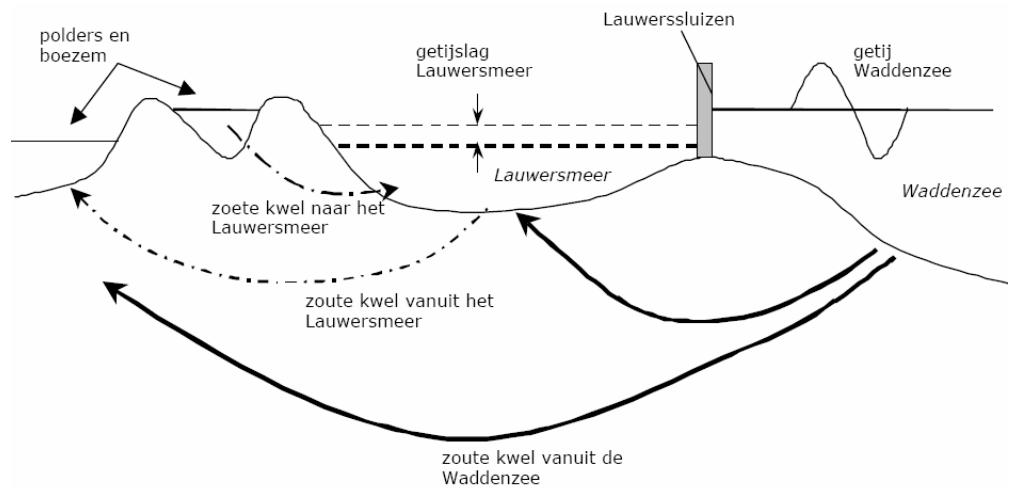
2.6 Hydrologie

2.6.1 Grondwater

Grondwaterstromingen hangen samen met de geologie, de topografie en ingrepen van de mens. Grondwater verplaatst zich onder invloed van drukverschillen. Grondwater is kunstmatig op te delen in ondiep grondwater en diep grondwater. Het ondiepe grondwater in het onderzoeksgebied bestaat uit neerslagwater dat in de ondergrond is doorgedrongen en kwelwater. Het bovenste laagje hiervan bestaat meestal uit zoet water. Daaronder kan het water al snel brak tot zout worden door de zoute omgeving, of omdat het gaat om oud zeewater dat omhoog is gekweld vanuit het watervoerend pakket. Op een bepaalde diepte, die kan verschillen per gebied, staat het grondwater nauwelijks meer onder invloed van de mens, dit diepe grondwater is vrij van antropogene vervuiling (verzuring en vermisting door menselijke invloed, lozingen, vroeger landgebruik). De gehalten van stoffen afkomstig van antropogene vervuiling en bacteriologische vervuiling is hier naar verwachting erg laag. Dat is het diepe grondwater wat al duizenden jaren onder de grond zit. Ondiep grondwater is veel minder constant van samenstelling; deze laag is gemakkelijker te beïnvloeden door bijvoorbeeld meststoffen die zijn uitgereden ten behoeve van de landbouw. Grondwater heeft in sommige gebieden de potentie om gebruikt te worden voor drinkwaterwinning. In het gebied rondom de gemeente Dongeradeel is hier absoluut geen sprake van; het water is te zout

Aan de drooglegging is te zien hoe nat een gebied is. Hoe kleiner de afstand tussen slootpeil en maaiveld, des te natter is het perceel (bijlage H). De drooglegging varieert per seizoen.

De kwelstromen die in het gebied plaatsvinden worden aangedreven door waterstandsverschillen. De gemiddelde zeewaterstand is NAP+0,0 m en ligt hoger dan het streefpeil van het Lauwersmeer en de meeste polders langs de kust in Friesland. Daardoor bestaat er een kwelstroom van zout water vanuit de Waddenzee naar het Lauwersmeer en de omringende gebieden. Met het huidige streefpeil van het Lauwersmeer gebied bestaat naast de zoute kwelstroom vanuit de Waddenzee een zoete kwelstroom van het Lauwersmeer naar de omliggende gebieden. De verschillende kwelstromen die kunnen worden onderscheiden staan weergegeven in figuur 6. In de huidige situatie is de kwelstroom vanuit de Waddenzee veruit het grootst. Mogelijk kan in de toekomst gebruik worden gemaakt van de zoete kwelstroom vanuit het Lauwersmeer om de verzilting tegen te gaan. Om dit te bewerkstelligen zal het peil van het Lauwersmeer verhoogd moeten worden. De gebieden met kwel/infiltratie zijn te zien in bijlage E waar een kwel/infiltratiekaart is toegevoegd.



Figuur 6: Verschillende kwelstromen rond het Lauwersmeer (bron: HKV (2005), Watervisie Lauwersmeer)

2.6.2

Oppervlaktewater

De oppervlaktewateren in het gebied kunnen veelal aangemerkt worden als brak. Om de wateren minder zout te laten zijn worden enkele watergangen in het noorden van het onderzoeksgebied doorgespoeld met boezemwater van de Friese Boezem. Dit is alleen mogelijk voor deze paar watergangen. Het merendeel van de overige watergangen in het onderzoeksgebied watert af op het Lauwersmeer en heeft hiermee een andere stromingsrichting dan het boezemwater. Deze overige watergangen vormen samen een apart stroomgebied. Dit gebied, De Kolken genoemd, is ook het zoutst.

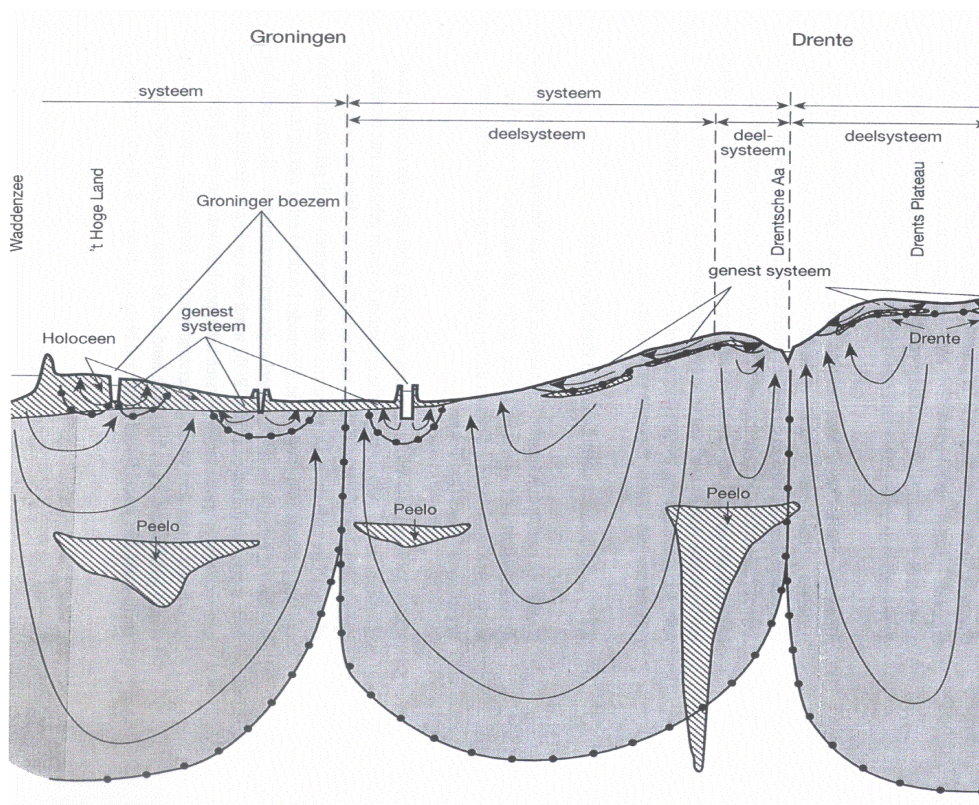
De waterkwaliteit van het water wordt negatief beïnvloed door huishoudelijke lozingen en overstorten vanuit het rioolsysteem van de bebouwde kernen. Het betreft verspreide lozingen. In het kader van de Kader Richtlijn Water zal onderzocht worden of en welke maatregelen nodig zijn om de lokale waterkwaliteit te verbeteren.

De gemiddelde zeewaterstand is NAP+0,0 m en ligt hoger dan het streefpeil van het Lauwersmeer en de meeste polders langs de kust in Friesland. Het streefpeil in de polders rondom het Lauwersmeer varieert van NAP-2,65 m tot NAP-1,30 m (Bijlage F Peilgebieden).

2.6.3

Geohydrologie

Waar in het verleden de zee aanwezig was, zit nog zout water in de bodem. Vrijwel alle laaggelegen polders van Nederland hebben met dit zoute water te maken. Een opwaarts gerichte grondwaterstroom zorgt ervoor dat brak of zout water het maaiveld bereikt. Plaatselijk kunnen zich verschillen voordoen in kwelsterkte. De doorlatendheid van de deklaag speelt hierin een rol; deze is afhankelijk van de grondsoort. Naast het overzicht wat gegeven is in de vorige paragraaf met de verschillende kwelstromen rond het Lauwersmeer toont figuur 7 een beeld van de regionale grondwaterstromingen in de noordelijke provincies. Duidelijk is te zien dat verschillende deelsystemen aanwezig zijn in de ondergrond. Op grond van dit kaartje kan de aanname gemaakt worden dat hoe verder je van de Waddenzee verwijderd bent, hoe minder zout het wordt.



Figuur 7: Schematisering van het regionale hydrologische systeem (bron: Heer, E. de ,et al 1996)

Drukverschillen, doorlatendheid en porositeit zijn de hoofdfactoren die de grondwaterstroom bepalen. Zand heeft een groot doorlaatvermogen, het water kan hier gemakkelijker stromen dan in een laag met vaste klei of veen. Dit is samen met de gradiënt bepalend voor de snelheid waarmee kwelwater omhoog stroomt. De horizontale (k_h) en verticale (k_v) doorlatendheden zijn te zien in tabel 1.

In Nederland bestaat de grond voornamelijk uit niet geconsolideerde sedimenten. Deze sedimenten hebben in verhouding tot geconsolideerde sedimenten een hoog poriëngehalte. Zoals uit tabel 1 blijkt kunnen de verschillen in porositeit groot zijn.

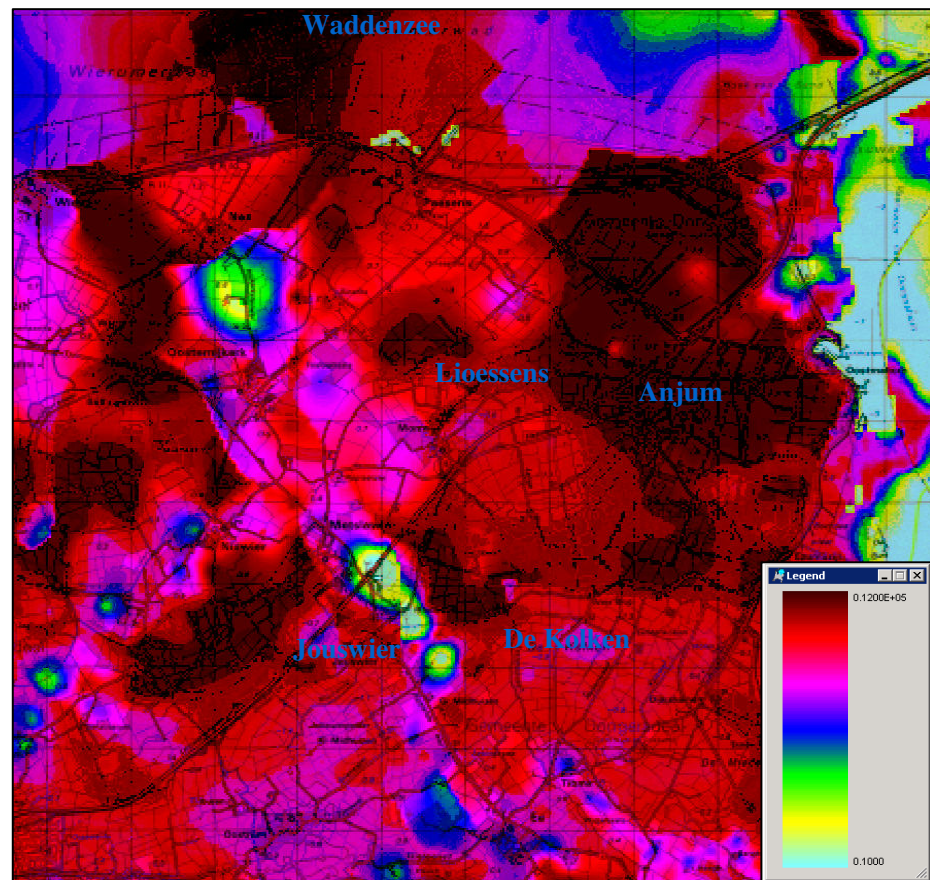
Tabel 1: k-waarden en porositeit voor verschillende soorten afzettingen

Hoofdgrondsoort	Porositeit (%)	k_h (m/d)	k_v (m/d)
Basisveen	80	0,002	0,001
Veen	60 - 85*	0,01 - 0,02	0,01 - 0,01
Keileem	30	0,03 - 0,05	0,015 - 0,05
Leem	30	0,015 - 0,09	0,005 - 0,03
Klei	20 - 70*	0,0045 - 0,03	0,0015 - 0,008
Fijn zand (63 - 210 μ m)	26 - 53	0,1 - 2,4	0,07 - 1
Grof zand (210 - 2000 μ m)	39**	10 - 30	5 - 30

Bron: *Tysma, S., e.a., 1994, **Morris, D.A. & A.I. Johnson, 1967

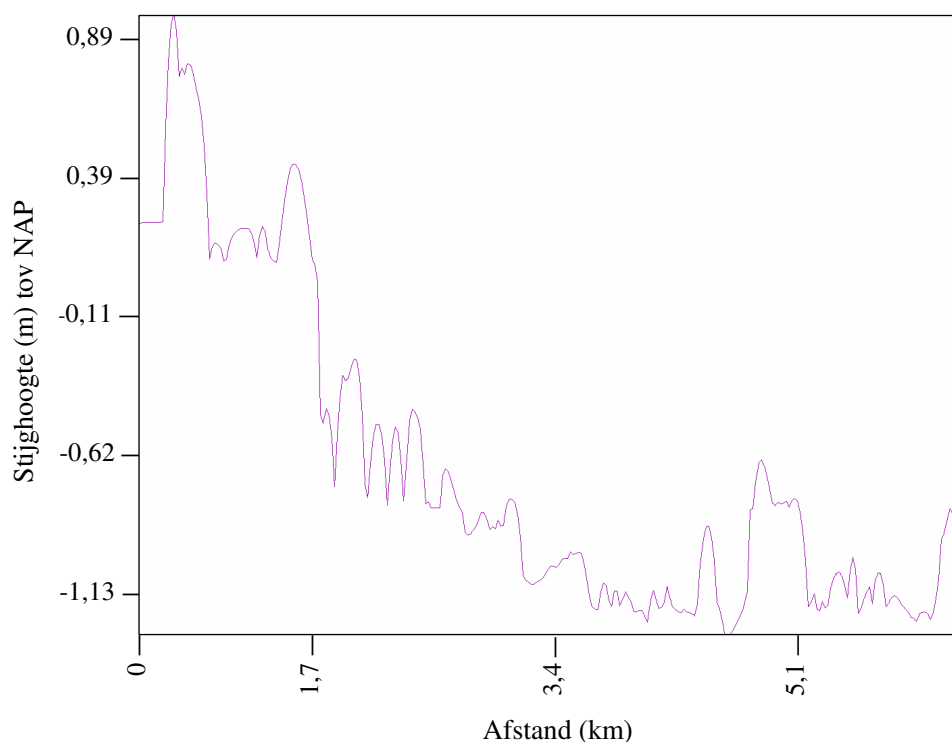
Naast plaatselijke verschillen in de weerstandbiedende deklaag hangen de eigenschappen van het opkwellende water ook af van het stromende water in de onderliggende watervoerende laag (zoet, brak of zout water).

Uit gemaakte grondboringen blijkt dat de ondergrond tot ca. 3 m beneden maaiveld voornamelijk bestaat uit een afwisseling van lichte-matige zavel en dunne veenlagen (tot 0,5 m dikte); de toplaag bestaat uit slecht doorlatende klei. Onder de deklaag is het eerste watervoerende pakket te vinden; hier is de doorlatendheid aanzienlijk hoger. Uit nader onderzoek van een genomen monster op 6,5 m-mv bleek zich op deze diepte zand van de Formatie van Peelo te bevinden. De weerstand van de deklaag tegen het opkwellende water uit het watervoerende pakket is te zien in figuur 8. Dit is de c-waarde van de deklaag. Deze waarde geeft aan hoeveel dagen water erover doet om door de deklaag heen te dringen. Hoe hoger de waarde, des te slechter doorlatend is de deklaag. In figuur 8 is dus te zien dat het om een gebied gaat waar de deklaag veel weerstand biedt.



Figuur 8: C-waarden van de deklaag (d) (bron: Imod)

In figuur 9 is het verloop van de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket te zien (H in m). Dit betreft een doorsnede die gemaakt is vanaf de Waddenzee tot 11 km het gebied in; de gegeven hoogtes zijn t.o.v. NAP.



Figuur 9: Profiel Waddenzee-Steenvak, stijghoogten eerste watervoerende pakket t.o.v. NAP (bron: Imod)

De stijghoogte in het hoger gelegen gebied achter de zeedijk is over het algemeen lager dan de grondwaterstand. Daarom wordt dit gebied aangemerkt als infiltratiegebied (bijlage E). De bemeten percelen liggen op twee na allemaal in een kwelgebied. Dit was in het veld betrekkelijk eenvoudig op te merken door kwelindicatoren als de ijzerbacterie, typische kwelvegetatie en de hoge gemeten waarden voor elektrische geleiding.

Het onderzoekgebied kent hoge grondwaterstanden; dat is duidelijk te zien aan de mate waarin drainage is toegepast. Soms vindt een combinatie van verschillende drainagemethoden plaats, zoals greppels, buisdrainage én sloten.

Het gebied De Kolken ligt onder zeeniveau, de percelen in dit gebied blijken dan ook een hoger zoutgehalte te hebben dan de andere bemeten percelen.

2.6.4 Waterkwaliteit grondwater

De waterkwaliteit van grondwater wordt bepaald door een complex van chemische, fysische en biologische processen tijdens de hydrologische kringloop. Het merendeel van de in het grondwater opgeloste stoffen bestaat uit Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} en HCO_3^- ionen. Het elektrisch geleidingsvermogen is een maatstaf voor de waterkwaliteit. De waterkwaliteit wordt beïnvloed door: temperatuur, het aantal opgeloste stoffen en de aanwezigheid van toxische en biologische verontreinigingen.

Door seizoensale variatie verandert de kwaliteit van het water dat de slootbodem passeert. Dit heeft grote gevolgen voor de chemiehuishouding van de slootbodem en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater (Hetterschijt et al., 1995). De herkomst van het water bepaalt de kwaliteit van het water. Kwelwater bevat meer nutriënten dan regenwater.

Omdat water constant in contact is met de bodem waarin het zich bevindt, ontstaat een evenwicht tussen de samenstelling van de bodem en die van het grondwater.

Water waarin veel opgelost materiaal zit door chemische erosie wordt ook wel hard water genoemd. De zoutconcentratie van grondwater is een belangrijke bepaler van de waterkwaliteit, maar ook andere opgeloste stoffen kunnen de waterkwaliteit verminderen. Tijdens het veldwerk zijn grond- en oppervlaktewater monsters genomen. Hierbij zijn temperatuur, pH en EC ter plekke gemeten en heeft het TNO laboratorium de monsters geanalyseerd op de aanwezigheid van anionen, kationen, alkaliteit en ammonium. In het proces van alkaliteit slaan bicarbonaat en carbonaat ionen in een kalkrijke omgeving met calcium of magnesium ionen neer als calciumcarbonaat (CaCO_3) of magnesiumcarbonaat (MgCO_3). Dit vermindert het bufferend vermogen van het grondwater, waardoor de pH afneemt. Bovendien neemt de Ca en Mg concentratie af ten opzichte van de natriumconcentratie. Bij pH waarden tussen de 6,3 en 10,3 wordt het proces van alkaliteit alleen bepaald door HCO_3^- . Het optimum ligt bij pH = 8,3, tot deze waarde geldt dan hoe hoger de pH, des te hoger de HCO_3^- concentratie (Appelo, C. e.a. 1996). De hoogste pH die gemeten is tijdens de eerste serie is 8,76, de laagste 6,74. Tijdens de tweede serie was de hoogst gemeten pH 9,37, en de laagst gemeten pH: 4,8. Uit de gemeten waarden is de curve te herkennen die het verband aangeeft tussen het percentage HCO_3^- uitgezet tegen de pH.

Grond bezit dus een bufferend vermogen op verzuring. Dit bufferend vermogen kan zeer verschillend zijn en hangt onder andere samen met de geologische herkomst van de grond. Mariene afzettingen bevatten vaak kalk en het zuurbufferend vermogen is bij een paar procent kalk al enorm groot. In poriewater opgeloste sporenmatalen raken ook geïmmobiliseerd door sorptie als het zure grondwater geneutraliseerd wordt door de kalk. De geologie van de ondergrond bepaalt daarmee de gevoeligheid voor verzuring, en tevens de mobiliteit van sporenmatalen. Voor landbouwgronden geldt de optimale pH-waarde van 6-7 voor bodemvruchtbaarheid.

Om in te kunnen schatten hoe het transport van zware metalen plaatsvindt, is het nodig om het zuurbufferend vermogen van de ondergrond en het (pH-afhankelijke) sorptievermogen van de grond voor sporenmatalen gekoppeld te kennen. Het transport van zware metalen kan niet los gezien worden van poriewater-pH en de veranderingen hierin.

De oplosbaarheid van zouten verschilt per zout. De meeste natrium en kalium zouten zijn goed oplosbaar (goed oplosbaar betekend meer dan 0,1 mol/l), de oplosbaarheid neemt toe als de temperatuur hoger wordt. De temperatuur is ook van invloed op de geleiding, de geleidbaarheid neemt per graad Celsius met 2 à 3 procent toe. De volgende stoffen worden als oplosbaar aangemerkt: Na, Ca, Mg, K, Cl, SO_4 , HCO_3 , CO_3 .

De concentratie van mineralen en nutriënten in grondwater verandert niet veel gedurende een jaar, met uitzondering van de stikstof vorm nitraat (NO_3). De variatie is afhankelijk van meerdere factoren, zoals bodemtype (zandgrond, ondoorlaatbare bodem, etc.), het grondwaterniveau en neerslag/beregening. Over het algemeen laten de lab resultaten tijdens de tweede meetserie hogere waarden voor de gemeten anionen zien. In bijlage U is een overzicht te vinden van de gemeten waarden voor anionen tijdens beide meetseries. De bemonstering heeft plaatsgevonden in sloten, op verschillende dieptes midden op de percelen, en op een aantal bijzondere punten. In tabel 2 worden de chemische eigenschappen van grondwater vergeleken met die van oppervlaktewater. Het betreft grondwater vanaf een diepte van 3 m.

Tabel 2: Verschillen in chemische eigenschappen van grondwater en oppervlaktewater

Eigenschap	Oppervlaktewater	Grondwater
Temperatuur	Varieert per seizoen	Redelijk constant
Troebelheid	Niveau variabel	Laag tot niets
Mineralen	Verschilt per bodem, regenval ed.	Grotendeels constant, meestal wel veel hoger dan in omringend oppervlaktewater
Opgelost O₂	Afwezig in erg vervuild water	Meestal afwezig
NH₄	Alleen in vervuild water	Vaak aangetroffen
Nitraten	Meestal lage concentratie	Concentratie soms hoog
Eutroof karakter	Soms, bij hoge temperaturen	Geen

2.7 Conclusie

Op basis van hoogtekaart, bodemkaart, afstand tot de zee en bodemdalingscontouren zijn in het gebied negen percelen geselecteerd voor bemeting. Zeven van de negen percelen liggen in De Kolken, een laaggelegen gebied ten zuiden van Anjum. De Kolken vormt een apart stroomgebiedje dat afwatert op het Lauwersmeer. De bodem in dit gebied is vrij homogeen. De bovenste laag bestaat uit klei, daaronder komt vooral zavelig materiaal voor. Ook is op elk perceel een veenlaag aanwezig. De basis voor het huidige landschap is in de voorlaatste ijstijd gelegd (Saalien, tot 120.000 v.Chr.). Het onderzoeksgebied kenmerkt zich, door zijn lage ligging en de invloed van de zee (vroeger en nu), als brak kwelgebied. Kwel van grondwater is met name te vinden in de lagergelegen delen van het gebied, zoals De Kolken. Infiltratie van oppervlaktewater vindt plaats in de hoger gelegen gebieden. Het grondwater in het watervoerend pakket kent over het algemeen een hoog zoutgehalte. Wanneer dit zoute grondwater de wortelzone van de vegetatie bereikt, kan gewasschade optreden. De lab resultaten laten tijdens de tweede meetserie hogere waarden voor gemeten anionen zien. Het gebied wordt van oudsher voornamelijk gebruikt voor landbouwdoeleinden. De diverse beleidsmaatregelen van de Nota Ruimte en B&W stimuleren dit ook. Hoge grondwaterstanden worden gereguleerd door ontwatering.

3 Verziltingsproblematiek

3.1 Inleiding

Op aarde bevindt het grootste deel van het water (96 %) zich in de oceanen en zeeën en is dus zout. Slecht 1 % van al het vloeibare water op aarde is zoet. Het grootste gedeelte daarvan (circa 97 %) is grondwater dat zich onder het aardoppervlak bevindt, voornamelijk in kleine holten (poriën), gangen en spleten.

De mens en een groot deel van de dieren- en plantenwereld zijn afhankelijk van zoet water en dus van slechts 1 % van al het water. Voornamelijk in laaggelegen kustgebieden heeft zout water veel invloed op het totale watersysteem. Zeker in gebieden waar vroeger zee is geweest, is een groot deel van het grond- en oppervlaktewater zout. Hier is het, met name voor de landbouw die sterk afhankelijk is van zoet water, van belang om optimaal gebruik te maken van de voorraad zoet water.

3.2 Probleemuitleenzetting

Een groot deel van Nederland ligt onder zeeniveau. Met name veenontginning en een waterbeleid dat te zeer gericht was op het afvoeren van water, zijn hiervan de oorzaak. In de loop van de tijd is het maaiveld in grote delen van West-Nederland hierdoor meer dan vijf meter gedaald. Als de polders niet voortdurend bemalen zouden worden, zou de grondwaterstand stijgen tot boven het maaiveld. Als gevolg van het laag liggende maaiveld is ook de verziltingsproblematiek in Nederland toegenomen. Door het niveauverschil tussen grondwaterstand en hoger gelegen peilen in de omgeving (zoals de zeespiegel), heeft het grondwater in de laaggelegen polders in het kustgebied de neiging om naar boven te kwellen. Omdat in veel laaggelegen kustgebieden het grondwater onder directe invloed staat van de zee, is het zoutgehalte hoog. Daar waar vroeger zee was, zit nu nog zout in het grondwater. Het zoute water zal richting maaiveld stromen langs de weg met de minste weerstand. Wanneer er sprake is van een grote kweldruk en een doorlatende bodem, is het mogelijk dat het water tot aan het maaiveld komt. Meestal zal het kwelwater echter in de sloten terecht komen. In situaties waarbij kwel optreedt in een gebied waar het grondwater grotendeels zout is, wordt gesproken van 'zoute kwelssystemen'.

3.3 Neerslaglenzen op perceelsniveau

Ook in het onderzoeksgebied kan gesproken worden van een zout kwelsysteem. Het grondwater in het watervoerend pakket kent een hoog zoutgehalte. De deklaag (bovenste bodemlaag), die bestaat uit Holoceen, vrij ondoorlatend materiaal, biedt weerstand tegen de optredende kwel. Het materiaal waaruit de deklaag is opgebouwd kan lokaal sterk verschillen. De weerstand is het kleinst op plaatsen waar de deklaag dun is en de bodem ervan doorlatend. De meeste kwel is dus te verwachten op plaatsen waarbij grondwaterpeil en oppervlaktewaterpeil laag liggen, de stijghoogte van het watervoerende pakket en de doorlatendheid van de deklaag groot is.

Naast kwel vindt ook infiltratie van zoet regenwater plaats. De mate van infiltratie is eveneens afhankelijk van een aantal parameters. Bodemgebruik, doorlatendheid van de bovenlaag van de bodem en hellingshoek van het maaiveld zijn de grootste bepalende factoren. Ergens in de bodem komen zout en zoet water elkaar tegen. Omdat het zoete water van boven komt en het zoute water van onder, ontstaat een grenslaag tussen

beide: bovenop het zoute water vormt zich een zoete regenwaterbel. Het feit dat zoet water een kleinere soortelijke massa heeft dan zout water zorgt er ook voor dat het zoete water min of meer blijft drijven op het zoute water (figuur 10). Een grote kwelintensiteit hoeft dus niet te betekenen dat het diepe grondwater de vegetatie bereikt. Uit een aantal studies is gebleken dat op percelen waar volgens modellen kwel zou moeten plaatsvinden, deze kwel in werkelijkheid direct door de sloten wordt afgevangen zonder dat de vegetatie in contact is gekomen met het zoute kwelwater (Kemmers, 1982; Boo, 1996; Jalink en Meeuwissen, 1998). Geïnfiltreerd regenwater is dan de belangrijkste bron van watervoorziening voor de vegetatie (Poot, A, 2000)

Er bestaan een aantal formules die de dikte van de zoetwaterlens op een willekeurige locatie in een perceel beschrijven. Een voorbeeld hiervan is de formule van Kees Maas (Raaijmakers, 1999):

$$y(x) = -0,5L/\pi * (k_z/k_x)^{0,5} * \ln(\sin((1+\alpha)\xi)/\sin((1-\alpha)\xi))$$

waarin

$$\alpha = N/(K+N) \text{ en } \xi = x\pi/L \text{ en}$$

$y(x)$	= dikte van de lens op plaats x (m)
x	= afstand vanuit het midden van het perceel (m) 1
L	= afstand tussen twee sloten (m) 150
k_z	= verticale doorlatendheid (m/d) 0,005
k_x	= horizontale doorlatendheid (m/d) 0,01
N	= jaargemiddelde natuurlijke aanvulling (m/d) 0,0005
K	= jaargemiddelde kwelintensiteit (m/d) 0,00020

In deze formule bepalen de doorlatendheid, de hoeveelheid infiltrerend water, de hoeveelheid kwelwater en de afstand tussen twee sloten dus de dikte van de lens.

In blauw staan waarden aangegeven die representatief zijn voor het onderzoeksgebied. Waarden voor doorlatendheid zijn gebaseerd op kleibodems (tabel 1); kwelsterkte is gebaseerd op de fluxkaart in bijlage E. Het is met deze formule niet mogelijk de lensdikte te berekenen op het midden van het perceel. Daarom is ervoor gekozen deze te berekenen op een afstand van 1 m van het midden. De uitkomst kan dan gezien worden als een benadering van de maximale lensdikte.

Wanneer alle waarden worden ingevuld in de formule is het resultaat een lensdikte van 30,22 cm.

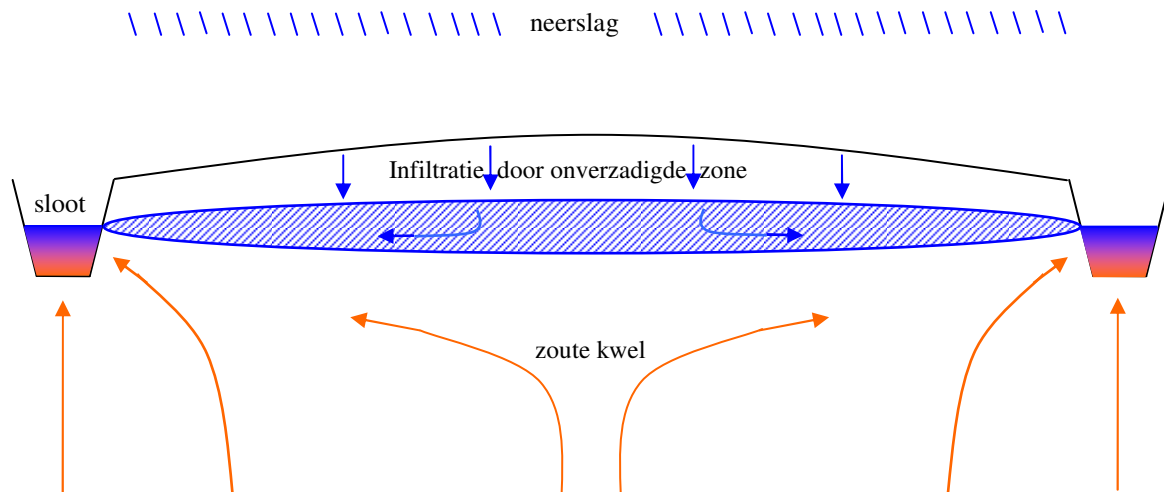
Onderzoek heeft uitgewezen dat het verloop van het grensvlak zeer divers is. In veel gevallen is een vrij scherpe grens waar te nemen tussen zoet en zout, maar het komt ook voor dat de overgang van zoet naar brak en van brak naar zout heel geleidelijk gebeurt. Er is nog weinig kennis over waar de dikte van de grenslaag van afhankelijk is.

Vanwege de vruchtbare grond vindt er in het kustgebied op grote schaal hoogwaardige landbouw plaats. Deze landbouw is in belangrijke mate afhankelijk van zoet water. Wanneer zoute kwel de wortelzone bereikt, zal gewasschade optreden. Daarom is het noodzakelijk dat de voorraad zoet grondwater over het hele groeiseizoen groot genoeg is.

Een ander probleem treedt op in de zomer, wanneer er een neerslagtekort is. Door verdamping is de hoeveelheid regenwater die in de bodem infiltreert kleiner.

De zoete neerslaglens neemt daarom af in grootte en de invloed van het zoete kwelwater wordt sterker. Bovendien daalt de grondwaterspiegel. Om droogteschade aan

gewassen te voorkomen zal berekend moeten worden. Echter, water uit de sloot kan hiervoor vaak niet gebruikt worden vanwege een te hoog zoutgehalte. Het beregeningswater zal ergens anders vandaan moeten worden gehaald, of ontzilt moeten worden.



Figuur 10: Vorming neerslaglens

Vanwege de gaswinning die plaatsvindt nabij Anjum, wordt verwacht dat de bodem ter plaatse zal dalen. Volgens de prognoses zal het gebied in 2050 maximaal 17 cm zakken. De prognosecontouren voor 2050 zijn te zien in bijlage D. De daling van de bodem heeft niet direct gevolgen voor de kwel, maar door de bodemdaling zullen ook de polderpeilen verlaagd moeten worden. Hierdoor zal, wanneer geen tegenmaatregelen getroffen worden, zowel de kweldruk als de verzilting toenemen.

Verskillende factoren kunnen het zoutgehalte van het freatische grondwater bepalen. Hieronder is een aantal factoren op een rijtje gezet.

1. Zoutgehalte van het diepe grondwater. Hoe zouter, hoe hoger het zoutgehalte op freatisch niveau wanneer er sprake is van kwel;
2. Afstand tot de zee. In het algemeen geldt: hoe groter de afstand, hoe minder zout het diepe grondwater;
3. Dikte deklaag. Hoe dikker, hoe meer weerstand tegen kwel, hoe lager het zoutgehalte op freatisch niveau, maar ook hoe kleiner de zoete regenwaterlens;
4. Materiaal deklaag. Hoe groter de doorlatendheid, hoe meer kwel en des te hoger het zoutgehalte op freatisch niveau, maar ook hoe groter de zoete regenwaterlens;
5. Polderpeil. Hoe lager, hoe meer kwel, des te hoger het zoutgehalte op freatisch niveau;
6. Materiaal bovenste bodemlaag. Hoe groter de doorlatendheid, hoe meer infiltratie, des te groter de zoete regenwaterlens;
7. Helling maaiveld. Hoe vlakker, hoe meer infiltratie, des te groter de zoete regenwaterlens;
8. Drainage. Hoe intensiever drainage, hoe meer afvoer zoet water, des te kleiner de zoete regenwaterlens;
9. Begroeiing. Hoe meer vochtopname, des te minder aanvulling van de zoete regenwaterlens.

4 Veldwerk

4.1 Algemeen

Het veldwerk is uitgevoerd gedurende twee periodes. Hier is voor gekozen om twee situaties met elkaar te kunnen vergelijken: de situatie tijdens de late winter en de situatie tijdens de lente. In de winter is er een situatie met een neerslagoverschot en weinig verdamping. De lente wordt aangemerkt als het begin van een periode met meer verdamping dan grondwateraanvulling en daardoor een neerslagtekort. Dit heeft ook gevolgen voor de zoet-zout verdeling van het grondwater. Gegevens van neerslag en verdamping voor het onderzoeksgebied zijn echter niet beschikbaar. Er kan dus niet worden aangetoond of er tijdens de meetseries sprake is van een neerslagoverschot of –tekort.

De eerste meetperiode was in februari/maart en de tweede periode in april/mei 2006. De tijd die tussen de twee periodes viel was ruim een maand. Tijdens deze maand is het weer sterk veranderd. Waar tijdens de eerste serie temperaturen overdag niet boven de 5°C uitkwamen, werden tijdens de tweede serie temperaturen van boven de 25°C gemeten. Het verschil in weerbeeld was ook zichtbaar aan de percelen: tijdens de eerste serie stonden er plassen op het maaiveld en was alles drassig terwijl tijdens de tweede serie alles droog was. Het is echter van belang te weten dat processen in de bodem een reactietijd nodig hebben om te reageren op processen boven het maaiveld. De tussentijd van één maand is daarom misschien te kort om duidelijke verschillen te zien in de zoet-zout verdeling van het grondwater.



Figuur 11: Eerste meetserie



Figuur 12: Tweede meetserie

4.2 Werkzaamheden

4.2.1 *Prikstok*

De “prikstok” is een T-EC-sonde: een sonde waarmee temperatuur (T) en elektrische geleiding (EC) in zachte bodems op verschillende diepten onder maaiveld gemeten kunnen worden (figuur 13).

De metingen met de prikstok zijn het belangrijkste onderdeel geweest van het veldwerk. Op basis van meetresultaten hiervan zijn de perceelsdoorsneden (Hoofdstuk Resultaten) en de interpolatieprofielen (b.v. bijlage K7) vervaardigd. In de perceelsdoorsneden staan de chloridegrenzen van 2000 en 6000 mg/l aangegeven. Het gaat hier om berekende chloridegehalten aan de hand van door de prikstok gemeten EC-waarden. De

interpolatieprofielen zijn gemaakt met het programma 'Surfer'. Op de assen zijn de afstand (x-as) en de diepte (y-as) tegen elkaar uitgezet. In het profiel worden geïnterpoleerde lijnen van gemeten EC's weergegeven. Wanneer profielen van eerste en tweede meetserie met elkaar vergeleken worden, moet rekening gehouden worden met het feit dat metingen tijdens eerste en tweede serie niet altijd op dezelfde diepte begonnen. Dit kan zorgen voor afwijkende resultaten tussen beide profielen.

Om chloridegehalten te kunnen bepalen met behulp van de prikstok, moet in grond geprikt worden die verzadigd is. Hiervoor werd met de Edelmanboor een ondiepe voorboring gedaan om vervolgens met de prikstok de meting te kunnen starten. Soms is het nodig tussendoor een sterk zandige laag te verwijderen met de handboor alvorens door te kunnen gaan met de prikstokmeting. Te sterk opeengepakte (zandige) grond of grof materiaal als grind is ongeschikt voor een prikstokmeting. Deze grond biedt te veel weerstand tegen het in de grond prikken van de stok.

De elektrische geleiding hangt af van de dichtheid-, het watergehalte- en de aard van het



bodemmateriaal, de temperatuur en de zout- of chlorideconcentratie van het water. Deze laatste parameter staat aan de basis van dit onderzoek. Hoe hoger het chloridegehalte van het grondwater is, hoe beter de geleidbaarheid. Hoe beide grootheden met elkaar samenhangen wordt beschreven in paragraaf 4.2.7.

De temperatuur wordt zowel gemeten om de meetwaarden te kunnen herleiden tot een standaardtemperatuur als om voorspellingen te kunnen doen over de afkomst van het water (kwel of infiltratie).

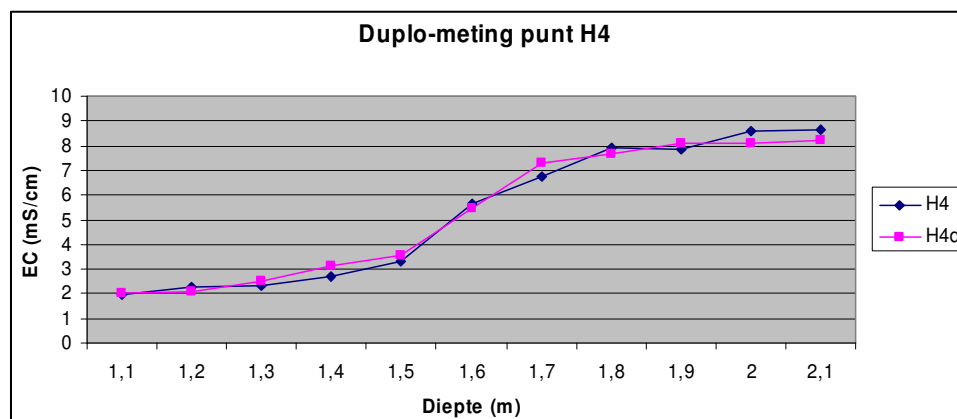
Figuur 13: prikstok met uitleesapparaat

Met de gebruikte prikstok en EGV-meter zijn de meetwaarden elektronisch gecompenseerd naar een standaardtemperatuur van 25°C (EC₂₅).

Het meten met de prikstok heeft bij beide meetseries problemen opgeleverd. Tijdens beide meetseries is de prikstok beschadigd geraakt waardoor het instrument na verloop van tijd niet meer de werkelijke temperatuur weergaf. De verkeerde waarden van beide series konden desondanks achteraf worden hersteld. Dit is gedaan door met de resultaten van de goede metingen een ijklijn samen te stellen voor de juiste temperatuur. Met deze waarden is de EC handmatig gecorrigeerd naar een temperatuur van 25°C.

Omdat de gemeten EC-waarden afhangen van het chloridegehalte, kan een beeld gevormd worden van hoe het zoete regenwater en het zoute kwelwater verdeeld zijn over het grondwater.

De mate van betrouwbaarheid van meten met de prikstok is onderzocht door op hetzelfde tijdstip twee metingen te doen op meetpunten met een onderlinge afstand van een meter. Resultaat hiervan is te zien in figuur 14.



Figuur 14: Duplo meting EC-waarden van punt H4 op perceel H

Te zien is dat de lijnen sterk overeenkomen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de betrouwbaarheid van gemeten EC's door de prikstok groot is. De verschillen die er zijn worden waarschijnlijk veroorzaakt door kleine veranderingen in bodemopbouw of zoutgehalte.

4.2.2 *Grondboringen*

Bij alle 9 bemeeten 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.

De grondboringen, uitgevoerd met een Edelmanboor, eindigden op een diepte van 3 à 4 m, dat is nog in de Holocene deklaag. Tijdens het boren is ook direct een beschrijving gemaakt van het aangetroffen materiaal. Voor de naamgeving wordt hierbij een eenvoudige klassering gebruikt. Er is een klassenonderverdeling gemaakt in veen, klei, zavel en zand. Kleur en aanvullende bijzonderheden zijn genoteerd. In de boorgaten is de volgende dag de diepte van de grondwaterstand onder maaiveld opgemeten. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij enkele gaten niet lang genoeg gewacht is met het noteren van de grondwaterstand. Op deze plaatsen is dus een lagere grondwaterstand genoteerd dan de werkelijke stand. Vanwege de zware bodem heeft de grondwaterstand tijd nodig om zich in te stellen.

De verschillende boorbeschrijvingen zijn grafisch weergegeven in profielen; zie hiervoor H5 Resultaten.

4.2.3 *Peilbuizen plaatsen en bemonstering*

Op elk perceel zijn op verschillende dieptes in het midden van het perceel 2 à 3 peilbuizen geplaatst. De peilbuizen hebben standaard een filter van 1 m, welke op een aantal percelen is verkort tot 0,50 m. Het filter is voorzien van een katoenen filterkous. Het verkorten van het filter is gedaan om over een korter dieptetraject watermonsters te kunnen nemen uit de peilbuis. Monsterresultaten behoren zo bij grondwater uit een laag van 0,5 meter dik met een bepaalde diepte onder het maaiveld.

Het nemen van monsters dient een aantal doelen. In de eerste plaats kan de werkelijke EC en het werkelijke chloridegehalte van het grondwater bepaald worden. Resultaten van prikstokmetingen kunnen hier eventueel naar gecorrigeerd worden. Zie verder hiervoor paragraaf 4.2.7. In de tweede plaats kan de aanwezigheid en concentratie van bepaalde stoffen in het grondwater aanwijzingen geven over de ouderdom, herkomst of kwaliteit van het grondwater. Monsters zijn genomen uit peilbuizen, uit sloten of andere oppervlaktewateren en uit drains. Dit is gedaan tijdens beide meetseries.

Uit een peilbuis kan op eenvoudige wijze een watermonster genomen worden door het water op te pompen met een slangenpomp. Voordat de monsternamen plaatsvond zijn de peilbuizen een paar keer leeggepompt. Op deze manier wordt een monster verkregen dat het meest representatief is voor de grondwaterlaag ter hoogte van het filter en voor het tijdstip van de meting. Om de watermonsters uit de peilbuizen geschikt te maken voor analyse door het laboratorium van TNO zijn de monsters gefilterd met wegwerpfilters.



Figuur 15: Plaatsing peilbuizen

Deze filteren deeltjes groter dan 45 μm . Het is noodzakelijk om te filtreren, omdat zwevende deeltjes in het monster de te analyseren stoffen kunnen adsorberen. Anderzijds kunnen door gebruik van conserveringsmiddelen geadsorbeerde stoffen worden vrijgemaakt. Door deze deeltjes in het veld af te filteren, wordt voorkomen dat de zwevende deeltjes de werkelijke concentratie in het grondwatermonster beïnvloeden. De filtratie gebeurt anaëroob om verandering van de samenstelling van het monster zo veel mogelijk te voorkomen. Ter plaatse zijn van de monsters de temperatuur, de EC en de pH gemeten.

In enkele peilbuizen zijn tijdens de eerste meetserie divers opgehangen. Dit zijn meetinstrumenten die automatisch per tijdseenheid (die van tevoren is bepaald) de druk meten. Wanneer de divers onder het grondwaterpeil geplaatst worden en wanneer de atmosferische druk bekend is, kan de stijghoogte in de peilbuis worden uitgerekend. Deze geeft een indruk van de grondwaterstand op het betreffende perceel. De divers zijn aan het einde van de tweede serie uitgelezen.

In bijlage T is de grafiek te zien waarin de diver-resultaten, dus de grondwaterstanden van de betreffende percelen, zijn weergegeven.

4.2.4

Landmeten

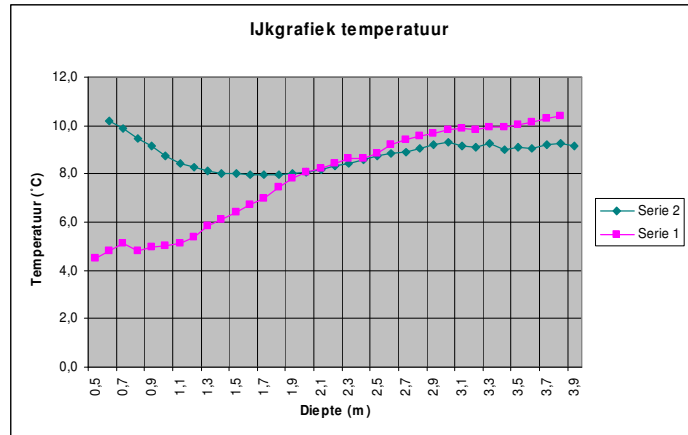
Op de percelen is de hoogte van de verschillende punten ten opzichte van elkaar vastgesteld met behulp van een waterpasinstrument. Dit heeft ten doel een beeld te verkrijgen van maaiveldhoogten, slootpeilen en grondwaterstanden op de gekozen meetlijn. Hiermee kan gezocht worden naar verklaringen van verschillen in EC-

waarden op perceelsniveau. De hoogte van de slootpeilen is, wanneer dit mogelijk was ook ingemeten ten opzichte van een vast punt zoals een betonnen brug.

4.2.5 *Temperatuurcorrectie*

Vanwege het feit dat de prikstok gedurende beide meetseries op een gegeven moment geen juiste temperatuur meer aangaf, is voor beide periodes een ijkgrafiek van de temperatuur opgesteld.

Deze is gebaseerd op de correcte temperatuurmetingen, die in het begin van het veldwerk gedaan zijn. EC-waarden die genoteerd zijn bij verkeerde temperaturen, zijn gecorrigeerd met behulp van de temperaturen uit de ijkgrafiek.



Figuur 16: Ijkgrafieken temperatuur, serie 1 en 2

Dit is gedaan met de volgende empirische formule (Wirdum, G. van, 1987):

$$EC_{25} = EC_f * EXP(0,021 * (25 - T) * (1 + 0,005 * (25 - T)))$$

Waarin: EC_{25} = de EC bij 25 °C (mS/cm)

EC_f = de afgelezen EC-waarde (mS/cm)

T = temperatuur van het medium (°C)

In de ijkgrafieken is heel duidelijk een verschil in temperatuuropbouw tussen de twee meetseries te zien. In de winter bleek de bodem al vanaf een halve meter onder maaiveld warmer te zijn dan de atmosferische temperatuur. De temperatuur in de bodem steeg vervolgens tot een waarde van ongeveer 10,3 °C. In de lente was goed te merken dat de bovenste 2 m van de bodem warmer waren geworden. Vanaf een diepte van 2 m lopen de temperaturen weer min of meer gelijk op. In figuur 16 is te zien dat de uiteindelijke constante temperatuur die bereikt werd tijdens de tweede serie (ongeveer 9,2 °C) uiteindelijk zelfs lager ligt dan tijdens de eerste serie.

4.2.6 *Formatieconstante*

Aan de punt van de prikstok zijn twee elektroden bevestigd. Door een verschil in spanning loopt er een stroompje tussen beide elektroden. De stroomlijnen hiervan lopen door het bodemmateriaal. De sterkte van het stroompje wordt bepaald door de elektrische geleiding van de bodem. Deze waarde (de EC) wordt weergegeven op de meter.

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. Wanneer de vertaalslag gemaakt wordt van EC naar chloridegehalte, is het dus uiterst belangrijk om te weten in welke grondsoort de betreffende EC gemeten is.

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 door een dompelcel) uit een bepaalde bodemlaag te delen door de EC die de prikstok meet in die grondlaag. 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:

$$\text{Formatieconstante} = \text{EC}_{dc} / (\text{EC}_p * 0,4)$$

Waarin: EC_{dc} = de EC van de dompelcel

EC_p = de EC van de prikstok

Voor een aantal grondsoorten is de formatieconstante bepaald. De EC_{dc} werd hierbij verkregen door met behulp van een centrifuge water te persen uit een grondmonster of water op te pompen uit een ondiep boorgat en hiervan de EC_{dc} te meten. De formatieconstante bleek niet alleen verschillend te zijn per bodemtype. Ook binnen één bodemtype verschilt deze erg (tabel 3). Het is daarom moeilijk om met de prikstok gemeten EC-waarden om te rekenen naar een chloridegehalte aangezien deze sterk afhankelijk is van de gekozen formatieconstante. Extra onderzoek hiernaar is aanbevolen.

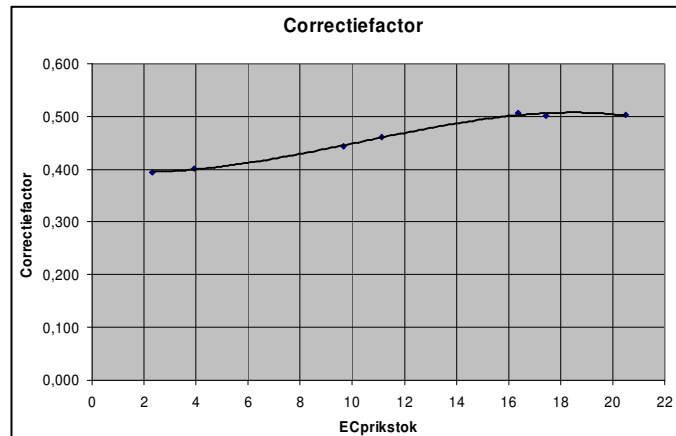
Tabel 3: Totstandkoming formatieconstanten

Boorpunt	Diepte (cm)	Grondsoort	EC_p gem mS/cm	EC_{dc} mS/cm	Correctiefactor	Formatieconstante
D8	70 - 90	Kleilig Veen	3,97	3,89	0,40	2,45
D8	135 - 155	Matige zavel	6,07	8,00	0,42	3,16
F4	70 - 90	Veen	27,43	18,00	0,50	1,31
I4	80 - 90	Veen	30,00	17,60	0,50	1,17
I4	290 - 310	Kleilig Veen	22,53	30,80	0,50	2,73
E6	32 - 64	Klei + veen	2,49	2,63	0,40	2,64
A6	66 - 82	Zware Zavel	1,88	1,66	0,40	2,21
F6	62 - 68	Zware zavel	8,90	10,38	0,44	2,65
H4	88 - 93	Matige zavel	3,11	2,69	0,40	2,16
C4	60 - 78	Lichte en zware zavel	3,29	5,39	0,40	4,10
B4	41 - 67	Lichte zavel	8,30	14,30	0,44	3,95
I5	30 - 50	Veen + laagje klei	26,47	26,50	0,50	2,00
D7	38 - 51	Klei	2,62	1,65	0,40	1,57

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 17). Gekozen is om een factor van 0,4 te gebruiken voor prikstok-EC's van 0 tot 4 mS/cm en een factor van 0,5 voor prikstok-EC's van 16 mS/cm en hoger. Voor prikstok-EC's die tussen de 4 en 16 mS/cm liggen wordt de factor voorgesteld als lineair oplopend van 4 tot 16. Hiervoor is de volgende formule opgesteld:

$$\text{Correctiefactor} = 0,00833 * \text{EC}_p + 0,36667$$

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.



Figuur 17: Verloop correctiefactor voor de EC van de prikstok

4.2.7

Chloridegehalte

Aan de hand van gemeten EC-waarden met de prikstok kan het chloridegehalte van het grondwater waarin gemeten is bepaald worden.

Stel dat in kleiig veen een waarde gemeten wordt van A $\mu\text{S}/\text{cm}$. Wanneer de meting gedaan was in ruim water zou de werkelijke EC van het water dan uitgerekend kunnen worden door de gemeten waarde te vermenigvuldigen met de correctiefactor 0,4.

Ruwweg is dan de kationconcentratie [+] zowel als de anionconcentratie [-] ($0,01 * \text{correctiefactor} * A$) mmol/l, althans als de gevonden EC in $\mu\text{S}/\text{cm}$ niet te veel groter is dan 2000-5000.

Als chloride (molgewicht 35,5) het dominante anion is, en als hier bij wijze van aanname 75% van de negatieve lading aan toegekend wordt, dan is de chlorideconcentratie in mg/l: ($35,5 * 0,75 * 0,01 * \text{correctiefactor} * A$) (Wirdum, G. van 2004). Omdat de meting niet gedaan is in water maar in kleiig veen, moet nog vermenigvuldigd worden met de formatieconstante van kleiig veen. Deze bedraagt 2,73 (tabel 3).

Tabel 4: Klasse indeling chloride (bron: Stuyfzand, J.S., 1993)

Gevonden chlorideconcentraties kunnen met behulp van de klassenindeling van chloride volgens Stuyfzand worden ingedeeld in klassen (tabel 4).

Het is belangrijk om in de gaten te houden dat berekende Cl-gehalten een eenheid hebben van mg/l terwijl door het lab geanalyseerde Cl-gehalten een eenheid hebben van mg/kg. Beide eenheden zijn ongeveer gelijk daar de soortelijke dichtheid van water vrijwel gelijk is aan 1 kg/l.

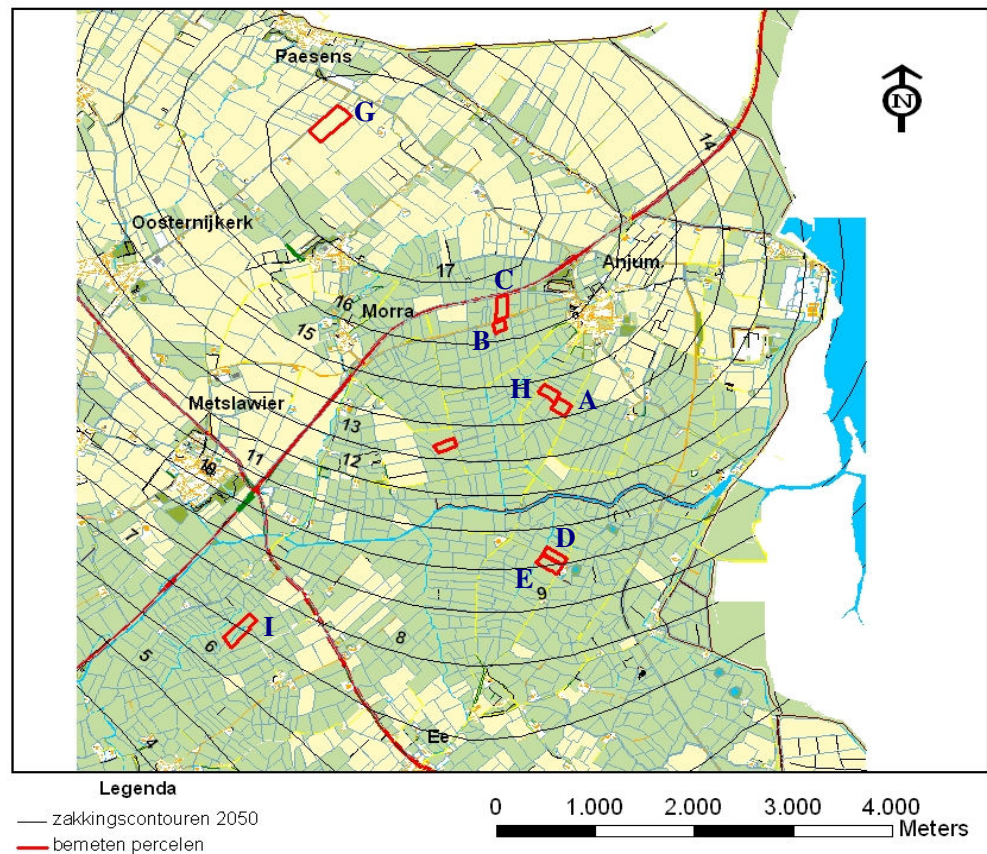
Een indicatie van de chloridegehalten per boorpunt wordt gegeven in de chloride grafiekjes in de bijlagen (b.v. bijlage K5). Alleen de grafiekjes van de tweede meetserie zijn weergegeven. Hiervoor is gekozen vanwege het feit dat vergelijken tussen de beide series moeilijk is op basis van de grafiekjes.

Klasse	Cl-concentratie (mg/l)
Zeer zoet	< 30
Zoet	30 - 150
Licht brak	150 - 300
Brak	300 - 1.000
Zout	1.000 - 5.000
Zeer zout	>5.000

5 Resultaten veldwerk

5.1 Inleiding

In totaal zijn er negen percelen bemeten, de percelen A tot en met I (tabel 5). De locatie van deze percelen is terug te zien op de locatiekaart in figuur 18. In deze figuur valt op dat alle percelen vrij dicht bij elkaar liggen, met uitzondering van G en I. Deze verschillen in een aantal eigenschappen duidelijk van de rest. Perceel G wijkt af qua bodemopbouw, maaiveldhoogte en afstand tot de zee. De bodem is zandiger, de afstand tot de zee kleiner en het maaiveld hoger dan de rest van de percelen. Perceel I onderscheidt zich vooral door de bodemopbouw en de bijzondere ligging. De bovenste laag van de bodem bestaat vrijwel volledig uit veen. Het perceel ligt ter plaatse van een oude slenk (zeearm) en is in gebruik als natuurgebied. De overige percelen liggen in het gebied De Kolken.



Figuur 18: Locatieoverzicht ligging percelen

Dit gebied, een oude zeearm, ligt globaal gezien tussen Anjum en Ee in. Op de locatiekaart is te zien dat in dit gebied de meeste bemeten percelen liggen. Al deze percelen liggen onder zeeniveau. Figuur 18 laat zien dat perceel C hierbij het hoogst ligt en perceel E het laagst. Qua bodemopbouw (de bovenste drie meter) lijken deze percelen erg op elkaar. Over het algemeen bestaat de bodem uit een toplaag van lichte tot matige klei, daaronder een laagje veen en daaronder een laag ongerijpt, zavelig materiaal.

Het chloridegehalte van het grond- en oppervlaktewater kan samenhangen met de afstand tot de zee. Deze afstand verschilt voor genoemde percelen sterk. Voor percelen B en C is de afstand tot de zee het kleinst, voor percelen D en E het grootst. De dikte van de Holocene deklaag hangt eveneens samen met de afstand tot de zee: hoe kleiner de afstand, des te dikker de deklaag. De dikte varieert van zo'n 6,5 m op perceel C tot zo'n 4 m op perceel E.

De percelen D en E zijn in eigendom van 'It Fryske Gea', een natuurvereniging. Landbouw speelt hier een minder belangrijke rol. In verband daarmee worden aan de ontwatering andere eisen gesteld. Op perceel D is de drooglegging minimaal. Het zomer- en winterpeil verschilt nauwelijks van de maaiveldhoogte. Op alle andere percelen wordt landbouw bedreven. De ontwatering is intensiever. Dit vertaalt zich in goed functionerende drainagesystemen en een grotere drooglegging. De percelen A, H en F zijn gedraineerd middels buisdrainage; op de overige percelen vindt drainage plaats met greppels.

Tabel 5: Karakteristieken van de bemeeten percelen

Perceel	Bodem	Drainage	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)	Hoogte maaiveld gemiddeld (m NAP)	Afstand tot zee (km)
A	Klei/zavel met veenlaag	Om de 5 m drains op 70 tot 90 cm	-1,80	-2,00	-0,75	4,40
B	Klei/zavel met veenlaag	Om de 10 m greppels	-1,65	-1,85	-0,75	3,73
C	Klei/zavel met veenlaag	Om de 10 m greppels	-1,40	-1,60	-0,70	3,46
D	Klei/zavel met veenlaag	Om de 10 m greppels	-1,50	-1,30	-1,30	6,03
E	Klei/zavel met veenlaag	Om de 10 m greppels	-1,80	-2,00	-1,35	6,13
F	Klei/zavel met veenlaag	Om de 10 m drains op 90 cm	-1,80	-2,00	-0,80	5,03
G	Lichte zavel/zand	Om de 5 m drains op 90 tot 120 cm	-0,60	-0,80	0,80	1,40
H	Klei/zavel met veenlaag	Om de 8 m drains op 60 tot 70 cm	-1,80	-2,00	-0,90	4,28
I	Veen	Om de 10 m greppels	-1,95	-1,75	-1,65	6,81

5.2 Perceel A

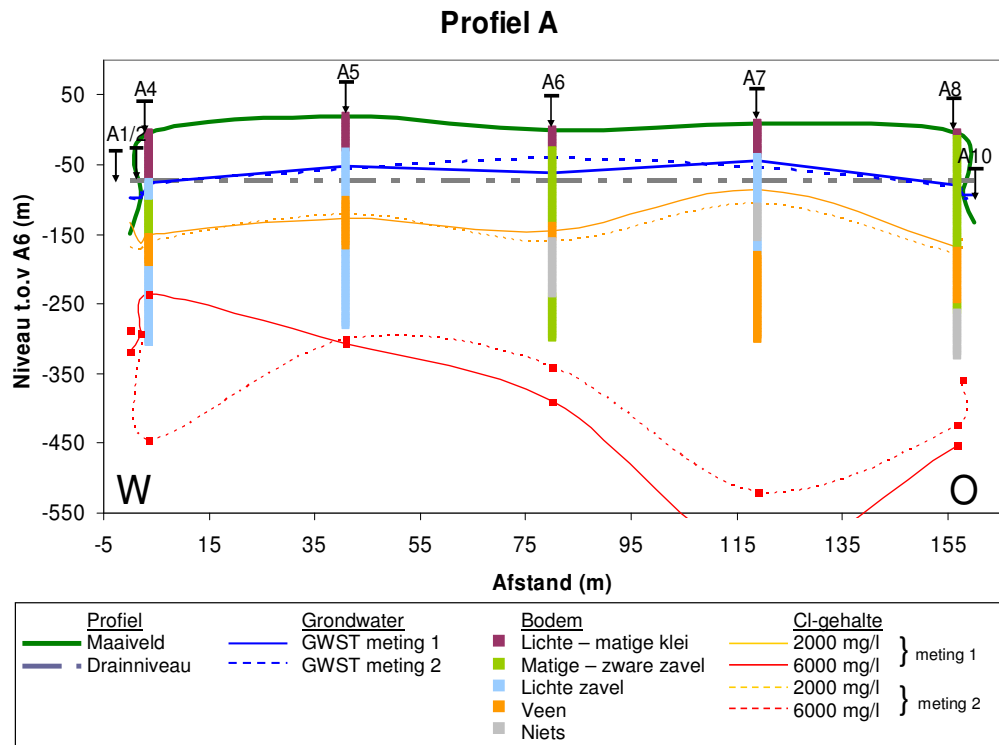
5.2.1 Algemeen

Op dit perceel zijn vijf boringen op het maaiveld gedaan en drie in de sloot. De vijf punten op het maaiveld zijn evenwijdig over het perceel verdeeld, zoals staat aangegeven in figuur 19.

De bodem van dit perceel is opgebouwd uit kleiig materiaal. Ook is over het hele perceel een veenlaag aanwezig. Bovendien bevindt zich hier een ongerijpte bodemlaag. Het bleek onmogelijk om met het beschikbare boormateriaal, grond uit deze laag omhoog te krijgen. Het is daarom niet bekend wat de samenstelling is van deze ongerijpte laag. Later zou ook blijken dat deze laag op nagenoeg alle percelen voorkwam (figuur 19).

Een aantal zaken valt aan dit perceel op. Zo is duidelijk te zien dat de drainage recent is aangelegd en dat de sloten goed onderhouden zijn. Verder valt op dat het perceel hoger ligt dan het westelijk grenzende perceel H.

Zie bijlage K voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.



Figuur 19: Dwarsdoorsnede perceel A

5.2.2

Resultaten

De grafieken in bijlage K2 en K3 geven duidelijk weer dat in en dichtbij de sloot de hoogste waarden voor de geleidbaarheid gemeten worden. In het midden van de sloot wordt zelfs op 0,5 meter onder het slootpeil al een (omgerekend) chloridegehalte van ruim 6500 mg/l gemeten. Ook het meetpunt aan de andere kant van het perceel, naast de sloot, geeft hogere waarden dan meetpunten die midden op het perceel liggen.

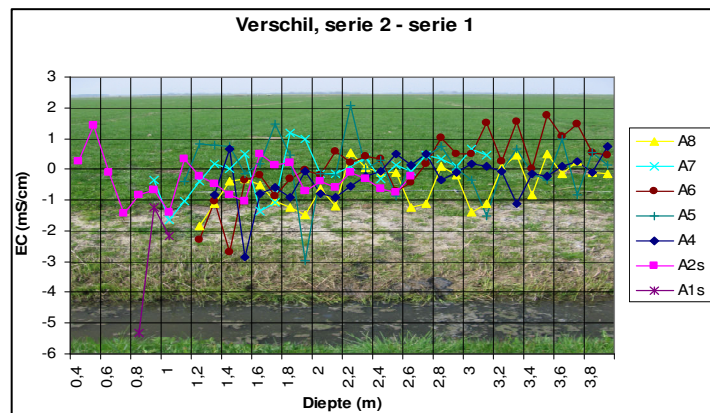
In het midden van het perceel liggen de chloridegrenzen van 2000 en 6000 mg/l over het algemeen het laagst (figuur 19). Bovendien zijn waarden aan de westkant van het perceel hoger dan aan de oostkant (bijlage K7 en K8).

Verder valt op dat alle gemeten waarden ruim boven de Stuyfzandklasse ‘zoet’ liggen (tabel 4). De grens van 2000 mg/l chloride ligt op meetpunt A7 maar 80 cm onder het maaiveld. De laagste gemeten waarden liggen rond de 1000, de hoogste rond de 9000 mg/l.

Zie bijlage V voor alle resultaten van watermonsters uit sloten en peilbuizen.

5.2.3 *Vergelijking resultaten tweede meetserie*

Over het algemeen lijken de resultaten van de tweede meetserie sterk op die van de eerste. In het “verschilgrafiekje” in figuur 20 is te zien dat alle lijnen rond de 0 schommelen. De schommeling is echter vrij groot. Verschillen van 2 mS/cm, zowel positief als negatief, vormen geen uitzondering.



Figuur 20: Verschil grafiek EC-metingen perceel A

De chloridegrenzen in figuur 19 geven hetzelfde beeld. Te zien is dat de grenzen van 2000 en 6000 mg/l op sommige plaatsen toch significant van elkaar afwijken, zowel positief als negatief. Met name het verschil in de 6000-grenzen aan de westelijke kant van het perceel valt op. De grens van de tweede serie ligt hier duidelijk dieper. Aan de oostelijke kant van het perceel is dit verschil opmerkelijk kleiner.

Ook de interpolatieprofielen in bijlage K7 en K8 bevestigen dit beeld. Hierin is tevens te zien dat tijdens de tweede serie meer “zoetig” water gemeten is dicht onder het maaiveld. Dit heeft echter vooral te maken met het feit dat de beginmeting tijdens de tweede serie ondieper lag dan tijdens de eerste.

Een ander opvallend feit is dat de gemeten EC-waarden tijdens de 2^e meetserie sneller oplopen. De ‘lensvorm’, die in het profiel van de eerste serie goed te herkennen is, ontbreekt nagenoeg in het profiel van de tweede meetserie.

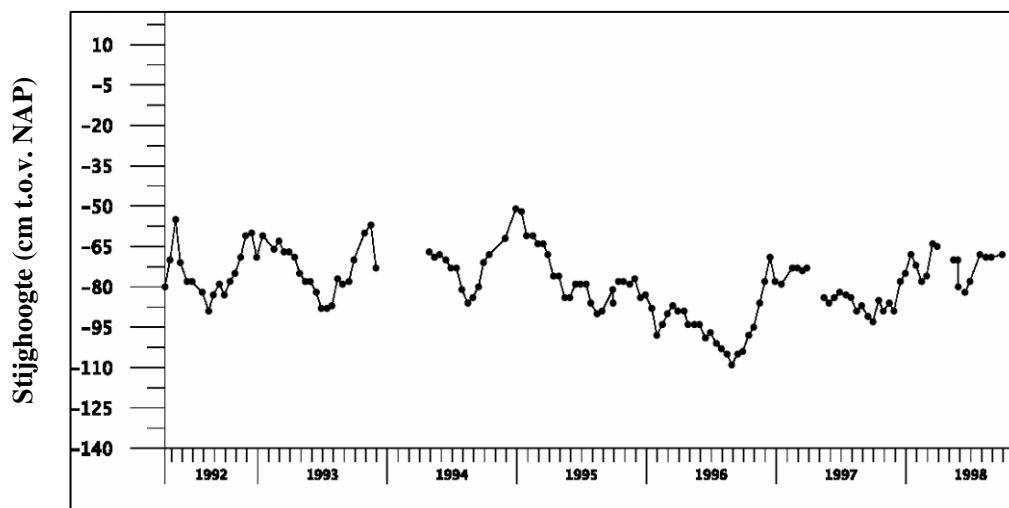
5.2.4 *Conclusies en discussie*

De ligging van het perceel onder zeeniveau, de geringe afstand tot de Waddenzee en de wetenschap dat in vroeger tijden de zee hier geweest is, doet zoute kwel vermoeden. Aan de hand van de meetresultaten kan geconcludeerd worden dat er inderdaad sprake is van zoute kwel. Deze conclusie geldt in meer of mindere mate voor alle percelen.

De hoogste waarden worden gemeten onder beide sloten. Dit bevestigt de bestaande theorie dat de sterkste kwelstroom en dus de hoogste zoutgehalten, gemeten worden onder en dichtbij de sloten. Daarbij valt op dat onder de westelijke sloot beduidend hogere waarden gemeten worden tijdens de eerste serie. Aangezien de bodemopbouw over het perceel vrij homogeen is en de slootpeilen nauwelijks verschillen kan het verschil te maken hebben met het feit dat het westelijk grenzende perceel aan de rand lager ligt (zo’n 35 cm). Omdat daar de grondwaterstand ten opzicht van NAP ook lager is dan op perceel A, ondervindt het opkwellende water minder weerstand en komt op deze plaats makkelijker naar boven. Een andere mogelijke verklaring is de slootdiepte. De westelijke slootbodem ligt zo’n 17 cm dieper dan de oostelijke.

Het verschil in kwelintensiteit richting de westelijke sloot tijdens de eerste en tweede meting wordt mogelijk veroorzaakt door een verandering (verlaging) van de stijghoogte in het watervoerende pakket. Hier zijn echter geen meetgegevens van, dus dit kan niet met zekerheid gezegd worden. Slootpeilen zijn vrijwel hetzelfde gebleven, dus daar ligt de oorzaak niet.

Opmerkelijk is ook dat het verschil in grondwaterstand nauwelijks effect lijkt te hebben op de zoutgehalten. De grotere verdamping tijdens de laatste meetserie heeft gevolgen voor de hoeveelheid infiltrerend regenwater. Deze wordt kleiner, waardoor de invloed van zout kwelwater groter zou moeten worden. Dit is echter nauwelijks gemeten. Ook hier kan een verlaging van de stijghoogte in het watervoerende pakket een oorzaak zijn. Mogelijk is de lagere stijghoogte in combinatie met minder infiltratie van regenwater, de oorzaak van de minder duidelijk zichtbare lensvorm. In figuur 21 is de stijghoogte weergegeven van een bestaande peilbuis in het onderzoeksgebied. Deze peilbuis is met het filter in het eerste watervoerende pakket geplaatst. Te zien is dat het verschil in stijghoogte in een tijdsbestek van een maand vrij groot kan zijn.



Figuur 21: Grafiek van het stijghoogteverloop in een peilbuis op 10 m diepte (bron: Dino, peilbuisnr. 206E0114)

5.3 Perceel B

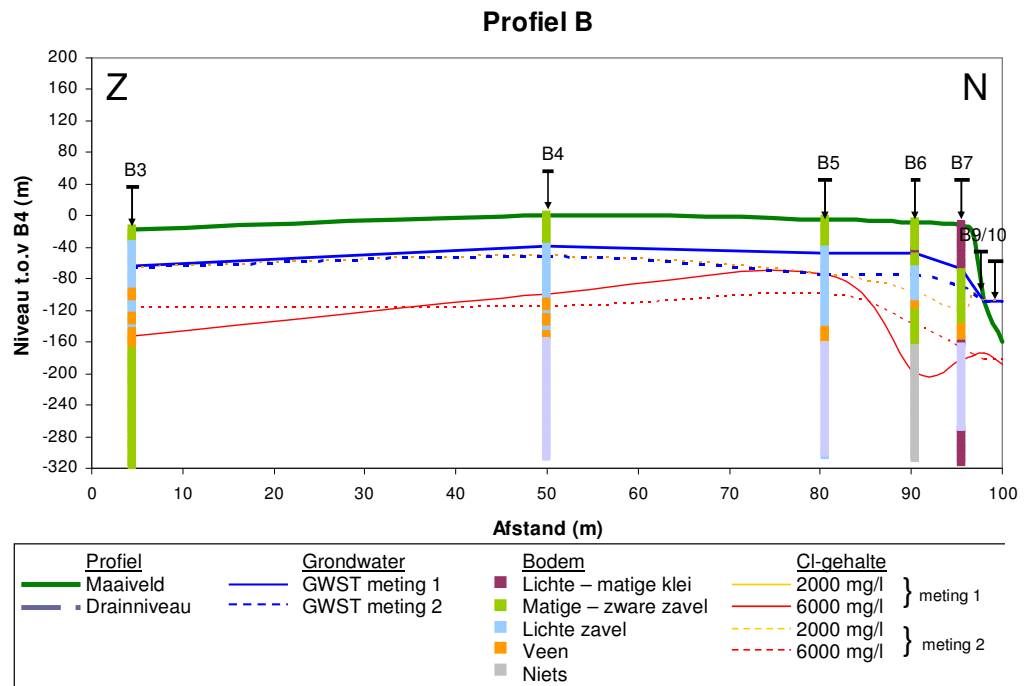
5.3.1 Algemeen

Op dit perceel is de “weidevogelregeling” van kracht. In deze regeling wordt betreding van het land binnen een bepaalde periode in lente en zomer verboden. Omdat in de winter een andere regeling geldt (ter bescherming van de ganzen) dient het land nauwelijks een agrarisch doel.

De bodem van dit perceel bestaat vooral uit zavel, variërend van licht tot zwaar. Naast zavel komt er ook vrij veel veen voor in de bodem. En ook hier is er een ongerijpte laag aanwezig waarvan de samenstelling niet bekend is (figuur 22).

Het perceel is bemeten op vijf punten op het maaiveld en twee in de sloot. De meetpunten op het maaiveld zijn verdicht aan de noordkant van het perceel (figuur 22). Tijdens beide metingen functioneerde de prikstok niet correct. EC-waarden van zowel de eerste als de tweede meetserie zijn handmatig gecorrigeerd naar een temperatuur van 25°C.

Zie bijlage L voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.



Figuur 22: Dwarsdoorsnede perceel B

5.3.2

Resultaten

Tijdens de eerste meetserie zijn op dit perceel nauwelijks waarden lager dan 15 mS/cm gemeten. Tijdens de tweede meetserie liggen de waarden bovenin het profiel beduidend lager, maar dit heeft vooral te maken met het feit dat bij de eerste serie de begindiepte van de metingen groter was dan bij de tweede. Dat we hier te maken hebben met een zout profiel wordt bevestigd door het hoge chloridegehalte van de sloot. Bij de tweede meetserie ligt dit rond de 3500 mg/kg.

Ook in figuur 22 is goed te zien dat dit perceel zout is. De 2000-grens is nauwelijks te zien en de 6000-grens ligt dicht onder het maaiveld. Het water uit de peilbuizen kent eveneens een hoge chlorideconcentratie. Het gehalte ligt voor beide buizen tussen de 11000 en 12000 mg/kg.

In het interpolatieprofiel (bijlage L6 en L7) en de perceeldoorsnede (figuur 22) is te zien dat de lijnen globaal in het midden hun hoogste punt hebben. De laagste waarden worden gemeten aan de noordkant van het perceel, richting de sloot en de weg. Zie bijlage V voor alle resultaten van watermonsters uit sloten en peilbuizen.

5.3.3

Vergelijking resultaten tweede meetserie

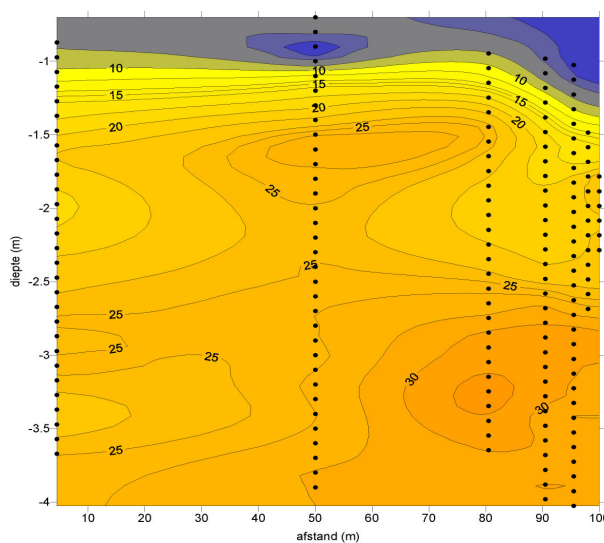
Het “verschilgrafiekje” in bijlage L4 laat niet echt een eenduidig verschil zien. Alle lijnen lopen rond de nul. Het gemiddelde lijkt daar net iets boven te zitten. Dit duidt op iets hogere waarden tijdens de tweede meetserie. Twee dingen vallen verder op:

- In het bovenste deel van het perceel nemen de waarden tijdens de tweede meetserie veel sneller toe met de diepte. Direct onder de grondwaterspiegel lijkt het water minder zout tijdens meting 2, terwijl het chloridegehalte met de diepte wel veel sneller oploopt;
- Tijdens de eerste meting hebben een aantal lijnen in het midden van het perceel hun hoogste punt (figuren).

Het water uit de sloot lijkt te infiltreren en zo te zorgen voor lagere waarden rondom de sloot. Bij meting 2 is er minder verschil te zien, maar ook hier worden rond de sloot lagere waarden gemeten.

5.3.4 *Conclusies en discussie*

Een oorzaak van het hoge zoutgehalte op dit perceel kan gezocht worden in de greppeldrainage. Het is mogelijk dat veel regenwater



Figuur 23: Ruimtelijke verdeling EC-waarden perceel B

door de opbolling van het maaiveld tussen de greppels en door de ondoorlatende toplaag oppervlakkig afstroomt. Er vindt dus minder infiltratie plaats. In combinatie met een hoge kweldruk, mogelijk veroorzaakt door de kleinere afstand tot de zee, kan dit leiden tot hoge zoutgehalten. Misschien speelt ook de weerstand van de deklaag een rol. Over het algemeen was de bodem op dit perceel vrij zandig, dus de weerstand van de deklaag kleiner. In bijlage E is te zien dat de kwelintensiteit hier inderdaad vrij groot is, maar niet groter dan bijvoorbeeld op de percelen A en H. Waarschijnlijk is de kwelintensiteit echter groter dan op de kaart aangegeven wordt.

Het is opmerkelijk dat de laagste waarden rond de sloot gemeten worden. Deze sloot lijkt geen kwel af te vangen. Gezien figuur 23 lijkt ook onder de sloot aan de andere kant van de weg geen opwaartse kwelstroom aanwezig te zijn. Een verklaring hiervoor is moeilijk te vinden.

Ook op dit perceel lijkt de daling van de grondwaterstand geen directe gevolgen te hebben gehad voor de chlorideconcentraties. Een kleiner geworden stijghoogte zou ook hier weer de oorzaak daarvan kunnen zijn.

5.4 **Perceel C**

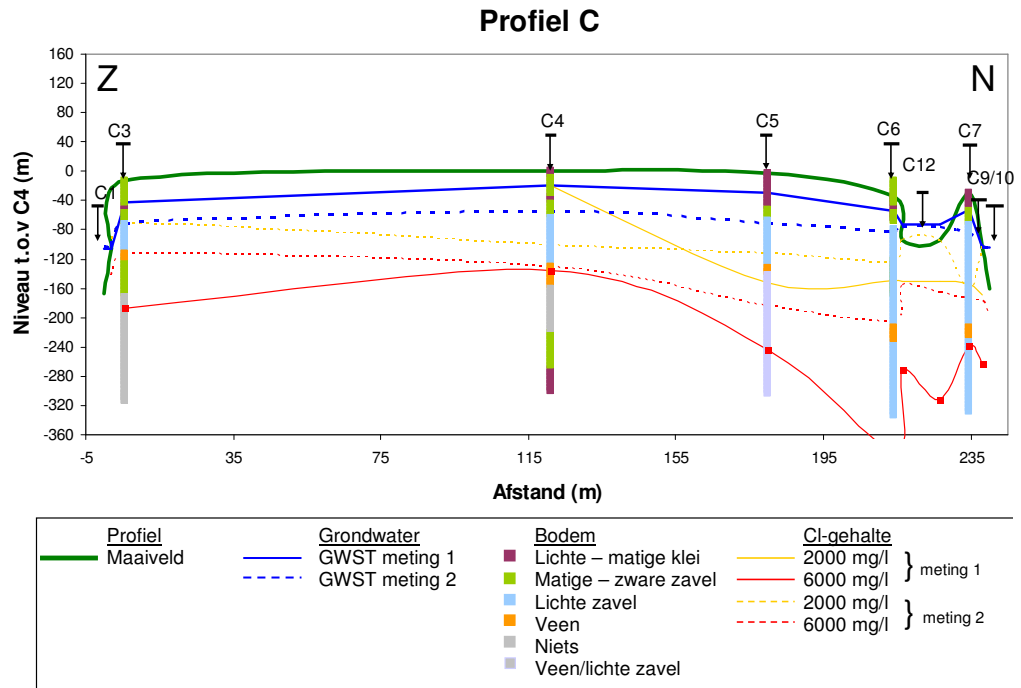
5.4.1 *Algemeen*

Het gebied rond Anjum staat bekend vanwege zijn “dobbes”. Dit zijn kleine uitgegraven veedrinkplaatsen met een doorsnee van zo’n tien meter. Ook op dit perceel is een dobbe aanwezig.

De bodem bestaat vooral uit zavel, variërend van licht tot zwaar. De bovenste bodemlaag bestaat op een aantal plaatsen uit lichte tot matige klei. Ook hier komt overal een veenlaagje en een ongerijpt, onsamenhangend laagje grond voor (figuur 24).

Op dit perceel zijn vijf metingen op het maaiveld gedaan en 2 in de sloten. Bovendien is tijdens de tweede meetserie een meting gedaan in de dobbe en een extra meting in de zuidelijke sloot.

Zie bijlage M voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.



Figuur 24: Dwarsdoorsnede perceel C

5.4.2

Resultaten

Gemeten waarden zijn aan de kant van de dobbe het laagst. Zeker in het interpolatieprofiel (bijlage M6) valt de minder zoute (blauwe vlek) op. Deze ligt globaal tussen het midden van het perceel en de sloot aan de uiterste noordkant. Tussen de dobbe en de sloot lopen de waarden weer sterk omhoog. Dit is met name terug te zien in de interpolatieprofielen van beide meetseries. Dit wijst erop dat er richting de sloot een kwelstroom plaatsvindt.

De hoogste EC-waarden worden gemeten aan de zuidkant van het perceel (bijlage). Het verloop van de lijnen wijst echter niet direct op een opwaartse kwelstroom richting de sloot.

Evenals perceel B is dit één van de zoutste percelen die gemeten is. Water uit de sloot heeft een chlorideconcentratie van rond de 2600 mg/kg, water uit de peilbuizen een concentratie van ruim 10000 mg/kg (bijlage T). De laagste waarden die gemeten zijn liggen rond de 1000 mg/kg.

5.4.3

Vergelijking resultaten tweede meetserie

Een vergelijking tussen de interpolatieprofielen van beide meetseries wijst uit dat resultaten van de tweede serie beduidend hoger liggen. Ook in het “verschillengrafiekje” in bijlage M4 is dit goed te zien. De verschillen liggen in een range van 0 tot 15 mS/cm. Infiltrerend water lijkt minder invloed te hebben tijdens de tweede serie. De blauwe vlek aan de noordkant van het perceel is duidelijk in diepte afgenomen, terwijl de oranje vlek onder de sloot juist omhoog is gekomen (bijlage M7). Tegenstrijdig hiermee het feit dat de gemeten waarden in de peilbuizen en de sloot vrijwel gelijk zijn gebleven. Alleen in de minst diepe peilbuis is het chloridegehalte toegenomen van 9000 naar 10000 mg/kg (bijlage T).

5.4.4 *Conclusies en discussie*

Het hoge zoutgehalte op dit perceel kan evenals bij perceel B verklaard worden door de greppeldrainage en de ondoorlatende toplaag in de bodem. Infiltratie vindt hierdoor minder plaats. Daarnaast kan ook de geringe afstand tot de zee een rol spelen. Deze kan gevolgen hebben voor de kwelintensiteit. Bijlage E laat zien dat er inderdaad sprake is van kwel, maar de intensiteit is volgens de kaart vrij laag. Ook hier is het waarschijnlijk dat de kwelintensiteit in werkelijkheid hoger is.

Water uit de dobbe lijkt te infiltreren. Gelet op de omstandigheden is dit goed mogelijk. De doorlatendheid van de bodem onder de dobbe is naar verwachting veel groter dan die in de toplaag van het maaiveld in de nabije omgeving. Infiltrerend water uit de dobbe hoeft niet eerst de grote weerstand van de kleilaag die op het maaiveld rondom de dobbe aanwezig is, te overwinnen. Echter, wanneer gekeken wordt naar het chloridegehalte van de dobbe (bijlage M2 en M3), kan geconstateerd worden dat het water niet alleen afkomstig is van neerslag. Het chloridegehalte is daarvoor te hoog. Er moet dus ook zoute kwel worden afgevangen door de dobbe. Het meest logisch lijkt de verklaring dat tijdens droogte in de zomer de dobbe gevoed wordt met zout kwelwater. Wanneer het neerslagoverschot toeneemt, stijgt het peil in de dobbe, stopt de aanvoer van kwelwater en begint het water uit de dobbe te infiltreren.

Het verschil tussen de eerste en de tweede meetserie kan verklaard worden door een daling van de grondwaterspiegel als gevolg van de toegenomen verdamping. Door de lagere grondwaterstand stroomt de zoute kwel versneld omhoog. Het is wel de vraag waarom op dit perceel het verschil tussen de eerste en tweede meting zo groot is vergeleken met de andere percelen

Voor de wat vreemde opbouw van de EC-waarden aan de zuidkant van het profiel, is op het eerste gezicht geen verklaring. Vanwege het hoge zoutgehalte aan deze kant van het perceel, lijkt de sloot kwel af te vangen, maar dit valt niet op te maken uit het verloop van de lijnen in het interpolatieprofiel. Misschien heeft één en ander te maken met een afwijkende bodemopbouw rond en onder de sloot.

5.5 **Perceel D**

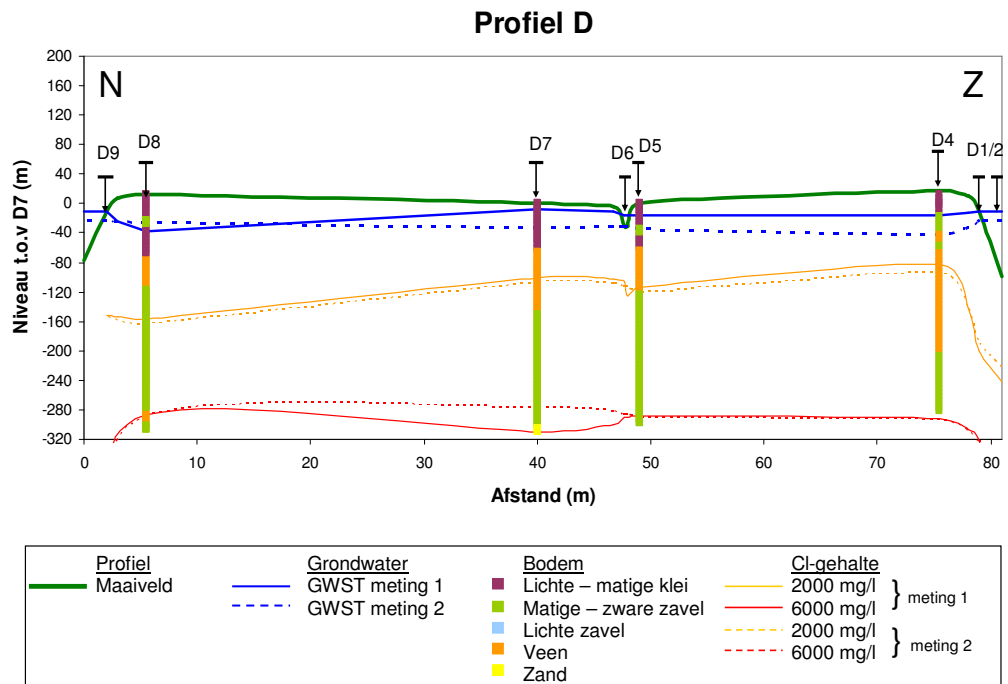
5.5.1 *Algemeen*

Tijdens de eerste meetserie viel meteen op dat het hier gaat om een erg nat perceel. Er stonden diverse plassen op het maaiveld, de greppels stonden vol en de drooglegging was erg klein. De grondwaterspiegel op punt D7 lag tijdens de eerste meetserie 8 cm onder het maaiveld.

Het bovenste laagje van de bodem bestaat uit vrij zware klei. Daaronder komt met name zavel voor, maar op alle punten was ook een veenlaagje aanwezig (figuur 25). Tijdens de prikstokmetingen viel op dat bij een aantal meetpunten op een diepte van zo'n 3 tot 3,5 meter de prikstokmetingen abrupt eindigden door een bodemlaag die te veel weerstand bood. Het bleek te gaan om een zandlaag. Gelet op de dikte van de deklaag op dit perceel (figuur 4) is het mogelijk dat het hier gaat om zand uit het watervoerende pakket. Overigens zijn tijdens de eerste meetserie de EC-waarden handmatig gecorrigeerd naar de standaardtemperatuur van 25°C.

Dit perceel is één van de weinige percelen waarbij de meetraai loodrecht op de drains ligt. Hiervoor is gekozen om eventuele gevolgen die de greppels hebben op het zoutgehalte in kaart te brengen. In verband hiermee is één meting gedaan in een greppel. De overige metingen zijn gedaan op het maaiveld en in de sloten (figuur 24).

Zie bijlage N voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.



Figuur 25: Dwarsdoorsnede perceel D

5.5.2

Resultaten

Monsterneming heeft uitgewezen dat het bovenste laagje van het grondwater een chloridegehalte heeft van rond de 350 mg/kg. In tabel 4 is te zien dat deze waarde net niet thuishoort in de klasse ‘zoet’. Het water uit de sloot bezit een nog lagere chlorideconcentratie, namelijk 120 mg/kg. Deze waarde valt wel in de klasse ‘zoet’. In diepere lagen zijn maximale waarden gemeten van zo’n 10000 mg/l. Dit betekent dat het gehalte wel erg snel oploopt met de diepte. Zie bijlage U voor alle resultaten van watermonsters uit sloten en peilbuizen.

In de interpolatieprofielen (bijlage N6 en N7), is onder beide sloten een diepe, blauwe vlek aanwezig. Gemeten waarden liggen onder de sloten significant lager dan in het midden van het perceel. Dit beeld geeft ook de perceeldoorsnede (figuur 25); hoe dichter naar de sloot, hoe sterker de chloridegrenzen dalen. Eveneens is op deze tekeningen te zien dat de greppel invloed heeft op de gemeten waarden. De chloridegrenzen tonen een duidelijke verandering ter plaatse van de greppel.

5.5.3

Vergelijking resultaten tweede meetserie

Resultaten van beide meetseries lijken op dit perceel sterk op elkaar. Het beste is dit te zien in het “verschillengrafiekje” in bijlage N4 en aan de chloridegrenzen in figuur 25. Ook de interpolatieprofielen van beide meetseries zijn vrijwel hetzelfde. Opnieuw lijkt in het profiel van de tweede serie een grotere ‘zoetige’ laag aanwezig te zijn, maar dit wordt weer veroorzaakt doordat het beginpunt van de metingen tijdens de eerste meetserie dieper lag dan tijdens de tweede.

5.5.4

Conclusies en discussie

De lagere waarden die onder beide sloten gemeten zijn duiden op infiltratie. Met name in de interpolatieprofielen is terug te zien hoe sterk de invloed is van het zoete slootwater voor de diepere ondergrond; de blauwe vlek strekt zich uit tot op een diepte

van ruim 2 m onder maaiveld. Het kwel- en infiltratiekaartje in bijlage E bevestigt dat dit een infiltratieperceel is.

In het kopje resultaten staat vermeld dat de hoogste waarden die gemeten zijn rond de 10000 mg/l liggen. Dit is onwaarschijnlijk omdat het diepe grondwater op naastgelegen perceel E een veel lagere concentratie heeft dan 10000 mg/l (bijlage V). De fout wordt waarschijnlijk veroorzaakt door te hoge formatieconstanten. Ook hier blijkt weer hoe belangrijk het is om een beter beeld te verkrijgen van de relatie tussen geleidbaarheid en grondsoort. Nader onderzoek wordt aanbevolen.

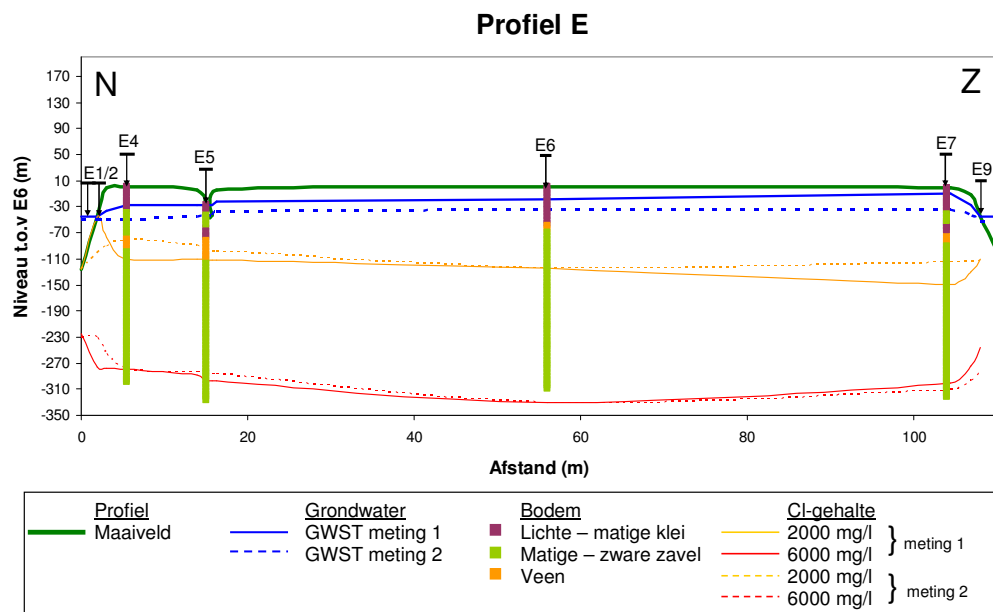
Het is opmerkelijk dat er zo weinig verschil te zien is tussen beide meetseries, In de dwarsdoorsnedetekeningen is te zien dat de grondwaterstand en het slootpeil aanmerkelijk zijn gedaald. Hierdoor zouden kweldruk en gemeten waarden moeten zijn toegenomen, maar dit is niet het geval. Een daling van de stijghoogte in het watervoerende pakket kan hiervan de oorzaak zijn. De invloed van de greppels op geleidbaarheid en chloridegehalte lijkt vrij groot gezien de veranderingen in de chloridegrenzen in de perceeldoorsnede. Deze resultaten kunnen echter in twijfel getrokken worden in verband met onnauwkeurigheden tijdens het inmeten van het greppelpeil en greppeldiepte.

5.6 Perceel E

5.6.1 Algemeen

Dit perceel ligt naast perceel D (figuur 18). De meetraai is gekozen in een rechte lijn met die van perceel D. Beide percelen zijn zo het beste met elkaar te vergelijken. Ook hier is gemeten loodrecht op de greppels. Van de zeven meetpunten liggen drie punten op het maaiveld, drie in de sloten en één in een greppel. De bodem op dit perceel komt sterk overeen met die op perceel D. De toplaag bestaat uit klei, daaronder komen zavel en veen voor (figuur 26).

Tussen de percelen D en E loopt de grens van een peilvak (bijlage F): slootpeilen op dit perceel liggen zo'n 35 cm lager dan op perceel D. Ondanks het lagere slootpeil ligt de grondwaterstand erg dicht onder maaiveld (bijlage T).



Figuur 26: Dwarsdoorsnede perceel E

Ook op dit perceel zijn EC-waarden van de eerste meetserie handmatig gecorrigeerd naar een standaardtemperatuur van 25°C.

Zie bijlage O voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.

5.6.2 *Resultaten*

Op dit perceel is ook een peilbuis geplaatst in het watervoerende pakket. Analyse door het laboratorium heeft uitgewezen dat water hieruit een chloridegehalte heeft van 6591 mg/kg (bijlage U). Dit is ook het hoogst gemeten berekende chloridegehalte van grondwater op dit perceel. De laagste gehalten liggen in een range van 800 tot 900 mg/l. Deze gehalten liggen vooral zuidelijk op het perceel. Ook in beide interpolatieprofielen is terug te zien dat vlak onder het maaiveld lagere waarden gemeten worden aan de zuidelijke kant van het perceel. De blauwe vlek is daar het grootst (bijlage O7). Bovendien valt op dat onder de sloten hogere waarden gemeten worden. De omhoog trekkende chloridegrenzen onder beide sloten (figuur 26) bevestigen dit.

Opvallend is ook het grote verschil in chloridegehalten tussen de noordelijke sloot van dit perceel en de zuidelijke sloot van perceel D (aan de andere kant van de weg). Deze gehalten bedroegen tijdens de tweede meetserie respectievelijk 2275 en 200 mg/kg.

5.6.3 *Vergelijking resultaten tweede meetserie*

Over het algemeen liggen waarden van de tweede meetserie iets hoger dan van de eerste. Dit is terug te zien in de perceeldoorsnede (figuur 26), in het verschilgrafiekje (bijlage O4) en in mindere mate in de interpolatieprofielen (bijlage O6 en O7). Ook blijkt het uit de watermonsters uit sloot en peilbuizen: de monsters van de tweede serie hebben een hoger chloridegehalte. Aan de noordkant van het perceel zijn EC-waarden in het bovenste grondwaterlaagje lager geworden. Waar de blauwe vlek in het interpolatieprofiel tijdens de eerste meetserie halverwege het perceel ophoudt, loopt deze tijdens de tweede serie door over het hele perceel. Verschillen tussen beide percelen zijn echter zeer klein.

5.6.4 *Conclusies en discussie*

Het verschil tussen de percelen E en D is treffend. Waar op perceel D duidelijk sprake is van infiltratie, vindt op perceel E duidelijk kwel plaats. Dit wordt ook bevestigd door de fluxkaart in bijlage E. Het hogere slootpeil bij D is de oorzaak van het grote verschil. Op basis van de oplopende lijnen richting de sloot in perceeldoorsnede en interpolatieprofielen, kan geconcludeerd worden dat er een kwelstroom plaatsvindt richting beide sloten. Deze kwelstroom is de oorzaak van het hoge chloridegehalte van het slootwater.

5.7 **Perceel F**

5.7.1 *Algemeen*

In tegenstelling tot andere percelen wordt de grens aan de westelijke kant van dit perceel (rechts op de tekeningen) gevormd door een hek. Er is dus niet gemeten van sloot tot sloot.

Op het maaiveld zijn hier vier punten bemeten; in de sloot twee.

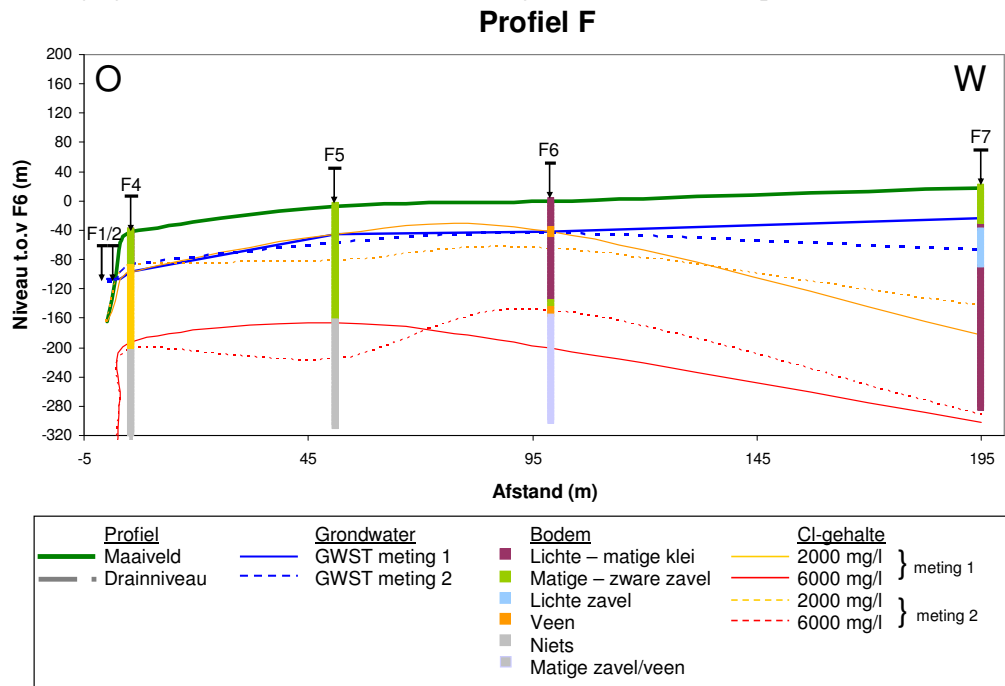
Grofweg is het perceel op te delen in twee bodemtypes: een veenbodem en een klei/zavelbodem. De veenbodem is te vinden nabij de sloot en bestaat vermoedelijk tot op een diepte van ongeveer 2,6 m onder maaiveld uit veen. Daaronder bevond zich het gebruikelijke ongerijpte bodemlaagje met onbekende samenstelling. De

klei/zavelbodem bevindt zich meer westelijk op het perceel. De grens tussen beide bodemtypen ligt ergens tussen boorpunt F4 en F5 (figuur 27).

De eigenaar van dit perceel gaf aan dat op een aantal plaatsen in het perceel het gras nauwelijks groeide. Na het analyseren van grondmonsters bleek dit te maken te hebben met een te hoog zoutgehalte.

Zowel tijdens de eerste als tijdens de tweede meetserie zijn EC-waarden handmatig gecorrigeerd naar een standaardtemperatuur van 25°C.

Zie bijlage P voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.



Figuur 27: Dwarsdoorsnede perceel F

5.7.2 Resultaten

Beide interpolatieprofielen in bijlage P6 en P7 laten zien dat de EC-waarden op dit perceel inderdaad sterk verschillen. De waarden zijn aan de oostkant (links op de profielen in bijlage) van het perceel erg hoog ten opzichte van de westkant. Het zou echter verkeerd zijn hier zonder meer conclusies uit te trekken met betrekking tot het chloridegehalte. Dit kan, in de wetenschap dat de bodemopbouw sterk verschilt op het perceel, anders uitpakken dan verwacht.

De laagste chloridegehalten in het grondwater zijn te vinden bij meetpunt F7 en liggen rond de 700 mg/kg. De hoogste gehalten komen voor rond de sloot en liggen rond de 11000 mg/kg. Het gehalte van het slootwater zelf is 2065 mg/kg. Water uit beide peilbuizen heeft een gehalte tussen de 5500 en 6100 mg/kg.

Zie bijlage V voor alle resultaten van watermonsters uit sloten en peilbuizen.

5.7.3 Vergelijking resultaten tweede meetserie

In principe lijken eerste en tweede meting sterk op elkaar. Bij beide metingen is de opbouw van de EC-waarden over het profiel identiek. De “zoetere”, blauwe vlek is in beide interpolatieprofielen zichtbaar. Wel valt op dat deze vlek tijdens de tweede meetserie groter is dan tijdens de eerste. Tegelijkertijd lopen de waarden onder de vlek, vanaf een diepte van zo'n 2,7 m sneller op bij de tweede serie. In het

“verschillengrafiekje” in bijlage P4 liggen bijna alle lijnen iets boven de nul. Ook dit is een directe aanwijzing dat hogere waarden gemeten zijn tijdens de tweede meetserie.

5.7.4 *Conclusies en discussie*

Perceel F ligt in een kwelzone (bijlage E). Volgens de kaart is de kwelintensiteit echter niet heel groot. De resultaten van de verschillende metingen en labanalyses bevestigen dit.

De hoge waarden aan de oostkant van het perceel worden waarschijnlijk veroorzaakt door de bodemopbouw. In tabel 3 wordt de formatieconstante weergegeven van de veenlaag ter plaatse van boorpunt F4. Deze is erg laag. Omdat de klei/zavelbodem op de rest van het perceel veel grotere formatieconstanten kent, zal het chloridegehalte op dit perceel veel minder verschillen dan op basis van resultaten aangenomen was. Conclusies over chlorideconcentraties op dit perceel berusten echter te veel op aannames. Om een beter beeld te krijgen van de werkelijke situatie is het van belang om uitgebreider onderzoek te doen naar bodemopbouw en formatieconstanten. In figuur 27 is te zien dat het grondwaterpeil in het midden van het perceel nauwelijks gedaald is in de tijd tussen de twee meetseries. Dit in tegenstelling tot het peil aan de westkant (rechts) van het perceel, dat wel aanmerkelijk gedaald is. De interpolatieprofielen laten aan deze kant van het perceel een vrij duidelijk verschil zien. Dit zal echter veroorzaakt worden door verschillen in meetdiepte omdat het verschilgrafiekje aangeeft dat er van verschillende waarden nauwelijks sprake is.

5.8 Perceel G

5.8.1 *Algemeen*

Op een aantal manieren onderscheidt dit perceel zich van de andere percelen:

- De ligging. Het perceel is van alle percelen het meest noordelijk gelegen; de afstand tot de Waddenzee is het kleinst;
- Het bodemgebruik. Waar alle andere percelen uit grasland bestonden, vindt op dit perceel akkerbouw plaats. Op het moment van meten stond op het perceel wintertarwe;
- De grondsoort. De bodem bestaat uit sterk zandige, lichte zavel. Dit maakte het ook onmogelijk om het perceel met de prikstok te bemeten. Als gevolg hiervan is er erg weinig informatie beschikbaar over dit perceel;
- De maaiveldhoogte. In tegenstelling tot alle andere percelen, ligt dit perceel ruim (zo'n 80 cm) boven NAP.

Genoemde factoren zorgen ervoor dat eventuele gevolgen van een bodemdaling naar verwachting weinig invloed zullen hebben voor dit perceel.

Zie bijlage Q voor een situatieschets van dit perceel.

5.8.2 *Resultaten*

Opvallend was ook de grote drooglegging. In combinatie met intensieve drainage (om de vijf meter drains) zou dit vrij makkelijk kunnen leiden tot droogteschade in de droge seizoenen. Dit zou beregening noodzakelijk maken, terwijl beregening uit sloten vaak niet mogelijk is in brakke kustgebieden. Echter, de eigenaar gaf aan dat er tijdens droogte wel gewoon beregend wordt met slootwater. Dit wekte het vermoeden dat het chloridegehalte van sloot- en grondwater hier relatief laag zou zijn. Resultaten van watermonsters bevestigden dit (bijlage V). Het chloridegehalte van water uit de beide peilbuizen en uit de sloot ligt globaal tussen de 50 en 500 mg/kg. Dit is voor een aantal gewassen laag genoeg om te gebruiken als beregeningswater.

5.8.3 *Vergelijking resultaten tweede meetserie*

De grafiek van de diver in bijlage T laat zien dat de grondwaterstand is gedaald. Wanneer er op dit perceel sprake is van kwel, doet dit hogere EC- en chloridewaarden vermoeden. Dit blijkt echter niet het geval te zijn. Bijlage P5 laat zien dat de chloridegehalten zowel in de sloot als in het grondwater (uit de peilbuizen) nauwelijks veranderd zijn.

5.8.4 *Conclusies en discussie*

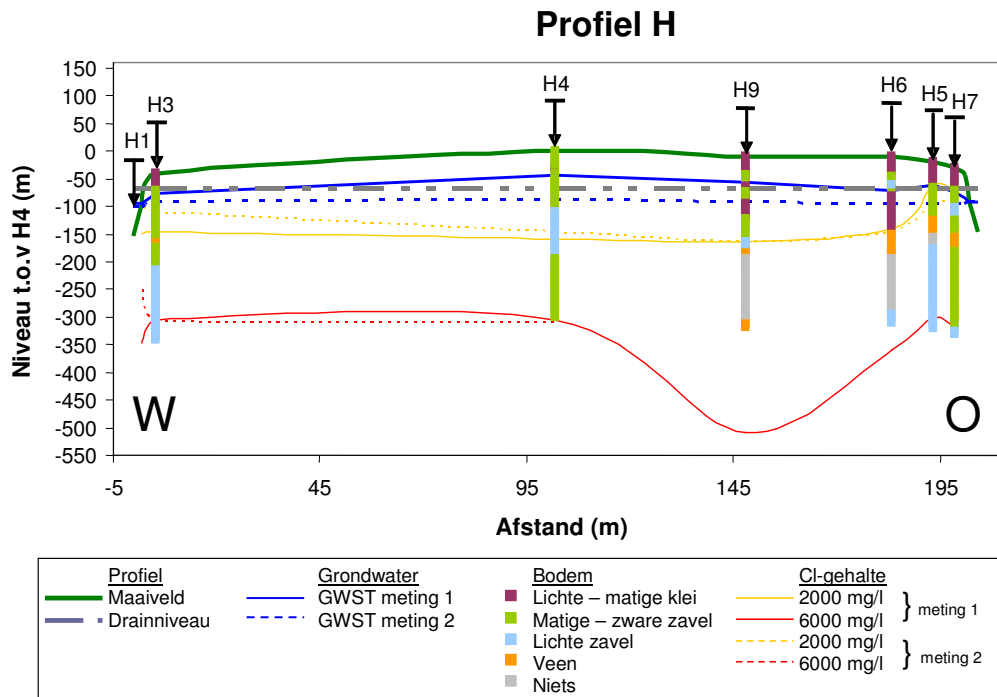
Door de hoge ligging in combinatie met de doorlatende bodem, vindt op dit perceel infiltratie plaats. Het bovenste laagje van het grondwater valt in de klasse 'zoet' getuige het chloridegehalte van 58 mg/kg uit de minst diepe peilbuis (bijlage V). Water uit de diepere peilbuis (0,6 m dieper) heeft echter al een gehalte van 482 mg/kg. Het chloridegehalte neemt dus snel toe met de diepte.

5.9 **Perceel H**

5.9.1 *Algemeen*

De EC-waarden zijn op dit perceel handmatig gecorrigeerd naar een standaardtemperatuur van 25°C. Tijdens de eerste meetserie varieerde het getal op de EC-meter bovendien zo sterk dat er getwijfeld kan worden aan de betrouwbaarheid van gemeten waarden. Het gaat hierbij met name om meetpunt H3. Tijdens de tweede meting is een aantal meetpunten overgeslagen. De aanwezigheid van weidevogelnesten zorgde ervoor dat de eigenaar van het perceel geen toestemming verleende om te lang op het perceel bezig te zijn. Hierdoor zijn beide meetseries moeilijk met elkaar te vergelijken.

De bodem bestaat voor het grootste deel uit klei en zavel, maar ook veen komt er in voor.



Figuur 28: Dwarsdoorsnede perceel H

Ten tijde van de eerste meetserie was er een hoefijzervormige plas op het perceel te zien. Het bleek hier te gaan om een dichtgegooide dobbe (veedrinkplaats). De bodemopbouw in de bovenste laag hiervan was ook duidelijk anders dan op de rest van het perceel. Meetpunt H9 ligt ter plaatse van de oude dobbe (figuur 28).

De drains liggen hier 60 tot 70 cm onder het maaiveld. Ten tijde van beide metingen lagen uiteinden van de drains onder slootpeil.

Zie bijlage R voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.

5.9.2 *Resultaten*

Aan het interpolatieprofiel (bijlage R6 en R7) en aan de perceeldoorsnede (figuur 28) is te zien dat ook hier de EC-waarden oplopen naar de rand van de percelen. Zeker in het profiel is te zien dat de hogere waarden (geel) aan de rand van het perceel dicht bij het maaiveld liggen dan in het midden van het perceel. Verder valt op dat onder de oude dobbe een aantal interpolatielijnen hun laagste punt hebben. In perceel C is al gebleken dat ter plaatse van de dobbe lagere EC-waarden en chloridegehalten gemeten worden dan elders op het perceel.

Er zijn geen waarden gemeten die vallen in de klasse 'zoet' (figuur 28). De laagste omgerekende chloridegehalten liggen rond de 600 mg/l, de hoogste rond de 7000 mg/l. In figuur 28 en in bijlage R6 en R7 is te zien dat de EC- en de chloridegrenzen vrij ver uit elkaar liggen. Dit wordt ook bevestigd door de gemeten chloridegehalten uit de drie peilbuizen in het midden van het perceel. De waarden hiervan verschillen niet veel terwijl de drie buizen op verschillende diepten geplaatst zijn.

Zie bijlage V voor alle resultaten van watermonsters uit sloten en peilbuizen,

5.9.3 *Vergelijking resultaten tweede meetserie*

Het eerste wat zowel opvalt in bijlage R6 en R7 als in de perceeldoorsnede (figuur 28), is dat tijdens de eerste meetserie een duidelijkere lensvorm te onderscheiden is. Gemeten waarden lopen tijdens de eerste meting minder snel op. De invloed van infiltrerend regenwater lijkt groter. Dit wordt onderbouwd door het feit dat in het "verschillengrafiekje" in bijlage R4 voornamelijk positieve verschillen te vinden zijn. De waarden liggen dus hoger tijdens de tweede meetserie.

Daarnaast is opmerkelijk dat de sloot tussen de percelen A en H ook hier minder zoute kwel lijkt aan te trekken tijdens de tweede meting. Dit was ook al te zien bij perceel A.

In de perceeldoorsnede is verder te zien dat aan de westkant van het perceel de chloridegrenzen bij de tweede meetserie lager liggen dan bij de eerste. Echter, wegens de onnauwkeurigheid van de prikstok tijdens de eerste meetserie en de beperkte hoeveelheid metingen tijdens de tweede serie, is het moeilijk om hieruit conclusies te trekken.

5.9.4 *Conclusies en discussie*

Het is niet helemaal duidelijk waarom de oostelijke sloot meer zoute kwel opvangt dan de westelijke sloot tijdens de eerste meetserie. Verschillen in bodemopbouw, maaiveldhoogte en slootpeil zijn gering. De slootbodem van de westelijke sloot ligt zelfs zo'n 10 cm lager dan die van de oostelijke. Mogelijke oorzaak is een andere bodemopbouw in de diepere ondergrond. Ook is het mogelijk dat de resultaten hier een verkeerd beeld geven omdat de prikstok niet goed functioneerde.

De lagere waarden onder de oostelijke sloot en de in de diepte sneller oplopende, hogere waarden in het midden van het perceel tijdens de tweede serie lijken tegenstrijdig. Net zoals op perceel A kan ook hier een verklaring gezocht worden in een vermindering van de stijghoogte in combinatie met een lagere weerstand tegen kwel in het midden van het perceel door de lagere grondwaterstand.

Evenals op perceel C blijkt ook hier ter plaatse van de dobbe sprake te zijn van een minder sterke kwelstroom ten opzichte van de rest van het perceel. De invloed van infiltrerend regenwater is groter. Dit is echter niet logisch, gezien het feit dat tijdens de eerste meting zich een plas gevormd had ter plaatse van de oude dobbe. Regenwater lijkt dus te stagneren in plaats van makkelijker te infiltreren.

5.10 Perceel I

5.10.1 *Algemeen*

Dit perceel is gelegen ter plaatse van een oude slenk (zeearm). Restanten hiervan zijn nog overgebleven en zichtbaar in het landschap. Op een klein kleilaagje in de wortelzone na, bestaat de bodem van dit perceel tot op een diepte van zo'n 3,5 m uit veen. Op deze diepte begint een zandlaag. Aan de bovenkant van het veenpakket is veen te vinden met grote stukken heel organisch materiaal, vermoedelijk resten van riet en zegge. Hoe verder naar onder, hoe donkerder en kleiiger het wordt en hoe minder plantenresten er in voorkomen. Als gevolg van één en ander neemt ook de formatieconstante toe met de diepte (tabel 3). Belangrijk is het om hiermee rekening te houden bij de omrekening van EC naar chloridegehalte.

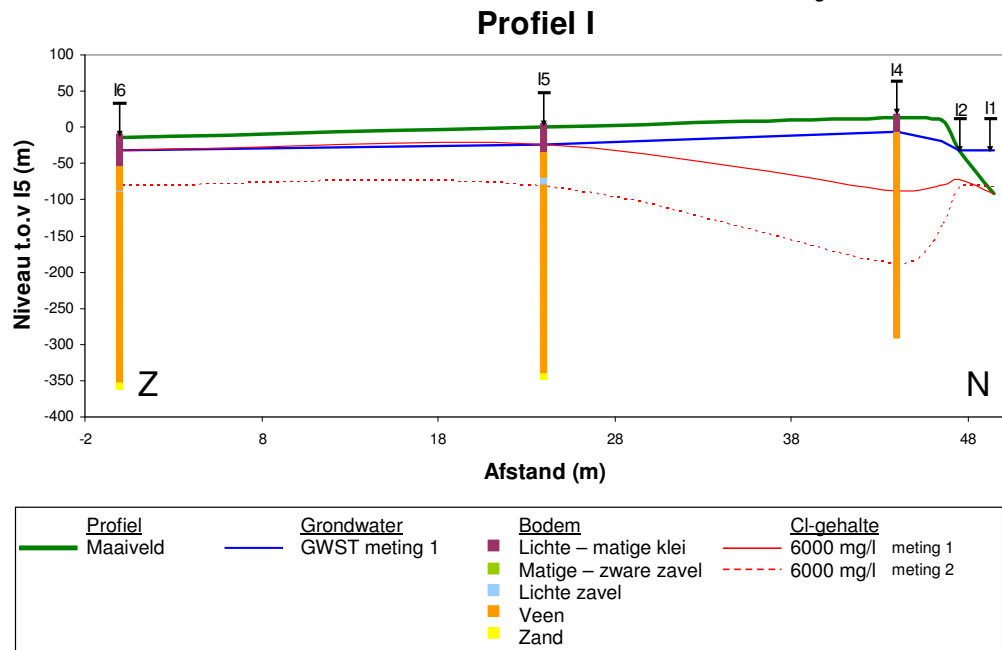


Figuur 29: Slenk bij perceel I, locatie Jouswier

Aan de vegetatie is goed te zien dat het perceel hoge chloridegehalten kent. Dat water (voor een deel) afkomstig is van kwel is te zien aan de aanwezige ijzerbacterie op het oppervlaktewater. Oorspronkelijk is dit perceel gedraineerd met behulp van greppels, Deze zijn echter zo ver dichtgegroeid dat ze hun functie grotendeels zijn kwijtgeraakt. De grondwaterstand ligt erg dicht onder maaiveld (bijlage G).

Op dit perceel zijn 5 punten bemeten waarvan 2 in de sloot en 3 op het maaiveld (figuur 30). Tijdens de eerste meetserie functioneerde de prikstok niet goed. Het is dus mogelijk dat resultaten hiervan niet correct zijn. De EC-waarden van de tweede meetserie zijn op dit perceel handmatig gecorrigeerd naar een standaardtemperatuur van 25°C.

Zie bijlage S voor een situatieschets en overige informatie van dit perceel.



Figuur 30: Dwarsdoorsnede perceel I

5.10.2 Resultaten

De verwachtingen over het hoge zoutgehalte blijken te kloppen. Op dit perceel liggen de laagste waarden rond de 5000, de hoogste rond de 12000 mg/l chloride. Wanneer gekeken wordt naar de interpolatieprofielen van dit perceel in bijlage S6 en S7 blijken de hoogste EC-waarden gemeten te zijn op een diepte van zo'n 1 tot 2 m. Hierbij is ook te zien dat rondom de slenk, aan de linkerkant van de profielen, hogere waarden gemeten worden dan bij de sloot.

Zie bijlage V voor alle resultaten van watermonsters uit sloten en peilbuizen.

5.10.3 Vergelijking resultaten tweede meetserie

Meteen valt op dat waarden van de tweede meetserie veel lager liggen dan die van de tweede. Dit komt naar voren in interpolatieprofielen (bijlage S6 en S7), in het "verschillengrafiekje" (bijlage S4) en in de perceeldoorsnede (figuur 30).

Tegenstrijdig hieraan is het feit dat het chloridegehalte van beide peilbuizen vrijwel gelijk is gebleven. De gehalten in de sloot en de slenk zijn zelfs gestegen.

De verdeling van de waarden over het perceel is wel vrij identiek. Tijdens de eerste serie lopen de lijnen in de diepere bodem iets meer op richting de sloot.

5.10.4 Conclusies en discussie

Dit perceel is erg zout. De verklaring hiervoor kan gezocht worden in de grote stijghoogte in het watervoerende pakket en de daardoor veroorzaakte hoge kwelintensiteit. In bijlage G is de grondwaterstandenkaart weergegeven met daarbij een aantal bestaande peilbuizen. De kleur van de peilbuizen geeft een indicatie van de gemiddelde stijghoogte. Op perceel I staat ook een peilbuis. De gemiddelde stijghoogte van deze buis (die met het filter in het watervoerende pakket geplaatst is) komt zo'n 30 cm hoger dan het maaiveld. Op basis hiervan kan gesteld worden dat er kwel plaatsvindt op dit perceel. De ligging van het perceel, ter plaatse van een oude zeearm zorgt er bovendien voor dat het diepere grondwater hier van nature al een hoog zoutgehalte heeft.

De dwarsdoorsnede van het meetgebied in figuur 4 laat zien dat de dikte van de deklaag over het algemeen kleiner wordt als de afstand tot de zee groter wordt. Dit perceel ligt

het verst verwijderd van de Waddenzee. Het is mogelijk dat de zandlaag die is aangetroffen op 3 tot 4 m diep, behoort tot zand uit het watervoerende pakket. Dit betekent dat de deklaag hier erg dun is. Ook kan worden aangenomen dat de doorlatendheid van het veenpakket iets groter is dan die van de klei- en zavelgronden op de andere percelen. De weerstand tegen omhoog kwellend water is door genoemde parameters dus klein.

Het verschil in gemeten waarden tussen eerste en tweede meetserie zal vooral veroorzaakt zijn door niet correcte metingen van de prikstok. Zoals eerder gezegd werd, kan op basis van de monsterresultaten uit de peilbuizen geconcludeerd worden dat het chloridegehalte van het grondwater nauwelijks is afgenomen. Wel valt op dat de sloot en de slenk aanmerkelijk zouter zijn geworden. Wellicht is het zoute water uit de diepere lagen dat tijdens de eerste meetserie werd aangetroffen (water uit peilbuizen) tussen de eerste en tweede meting naar het maaiveld toegestroomd. Daardoor heeft het water uit sloot en slenk een hogere concentratie aangenomen tijdens de tweede meting. De interpolatieprofielen van dit perceel wekken het vermoeden dat de hoogste chlorideconcentraties gemeten worden tussen 1 en 2 m beneden maaiveld. Dit is echter een vergissing. Als gevolg van hogere formatieconstanten in de diepere lagen, neemt het chloridegehalte toe met de diepte.

5.11 Vergelijking percelen

Tabel 6: Vergelijking perceels eigenschappen

Perceel	Bodem	Drainage	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)	Hoogte maaiveld (m NAP)	Afstand tot zee (km)	Labresultaten Clmin_grondwater (mg/kg)	Labresultaten Clmax_grondwater (mg/kg)
A	Klei/zavel met veenlaag	Om de 5 m drains op 70 – 90 cm	-1,80	-2,00	-0,75	4,40	229	3686
B	Klei/zavel met veenlaag	Greppels	-1,65	-1,85	-0,75	3,73	4301	12569
C	Klei/zavel met veenlaag	Greppels	-1,40	-1,60	-0,70	3,46	1356	11140
D	Klei/zavel met veenlaag	Greppels	-1,50	-1,30	-1,30	6,03	317	5742
E	Klei/zavel met veenlaag	Greppels	-1,80	-2,00	-1,35	6,13	547	2480
F	Klei/zavel met veenlaag	Om de 10 m drains op 90 cm	-1,80	-2,00	-0,80	5,03	4252	6331
G	Lichte zavel/ zand	Om de 5 m drains op 90 – 120 cm	-0,60	-0,80	0,80	1,40	51	482
H	Klei/zavel met veenlaag	Om de 8 m drains op 60 -70 cm	-1,80	-2,00	-0,90	4,28	430	4735
I	Veen	Greppels	-1,95	-1,75	-1,65	6,81	6395	11122

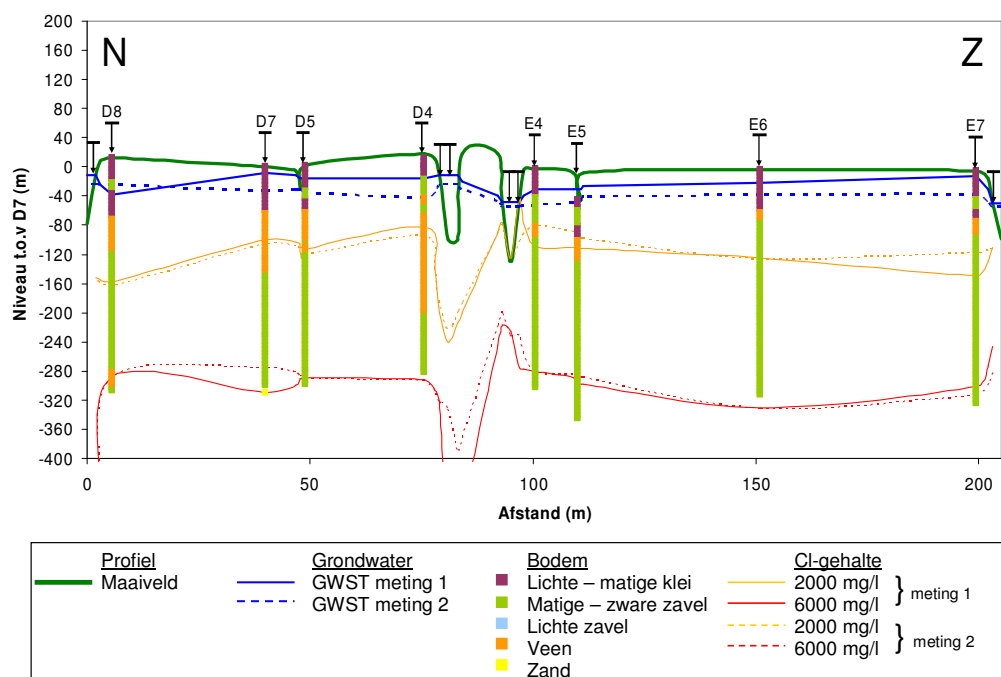
In de tabel 6 staan de door het lab bepaalde minimum en maximum chlorideconcentraties per perceel. De minimumconcentraties zijn gemeten in het bovenste laagje van het grondwater, net onder het grondwaterpeil (zie ook hoofdstuk 4). De maximumconcentraties zijn afkomstig van water uit de peilbuizen, geanalyseerd in het laboratorium. Over het algemeen geldt dat hoe dieper het filter van de peilbuis onder maaiveld zit, hoe hoger het chloridegehalte van het water in de buis.

De laagste waarden worden gemeten op perceel G. Dit perceel wijkt af van de andere door de andere hoogteligging. Deze zorgt ervoor dat opkwellend zout grondwater bovenin het bodemprofiel, ondanks de kleine afstand tot de zee, niet veel invloed heeft. Daarnaast biedt de zandige bodem minder weerstand tegen infiltrerend regenwater. De hoeveelheid infiltrerend water zal dus groter zijn en het chloridegehalte lager.

Perceel I is erg zout. Waarschijnlijk is de ligging ter plaatse van een oude slenk hiervan de oorzaak. Het diepe grondwater is hier van nature zouter. Daarnaast is hier de Holocene deklaag vrij dun door de grotere afstand tot de zee. Combinatie van beide factoren zorgt voor een grote kwelintensiteit met een hoog zoutgehalte op dit perceel. Het is niet precies bekend wat de invloed van de veenbodem is op het zoutgehalte. Het is mogelijk dat het veen, dat vroeger doordrenkt is geweest met zout zeewater, het zout vasthoudt. Grondwater in veenbodems zou daarom van nature zouter kunnen zijn. Omdat perceel I het enige perceel is met een volledige veenbodem, kan er niet vergeleken worden met andere veenpercelen.

Het zoutgehalte van het diepere grondwater op de percelen B en C is vergeleken met percelen D en E erg hoog. Op beide percelen is een diepe peilbuis geplaatst waaruit een monster genomen is. Er lijkt een verband te zijn tussen afstand tot de zee en zoutgehalte van diep grondwater, aangezien deze afstand bij B en C veel kleiner is. Echter, dit kan pas met zekerheid gezegd worden wanneer meer gegevens bekend zijn over chloridegehalten van diep grondwater op andere percelen.

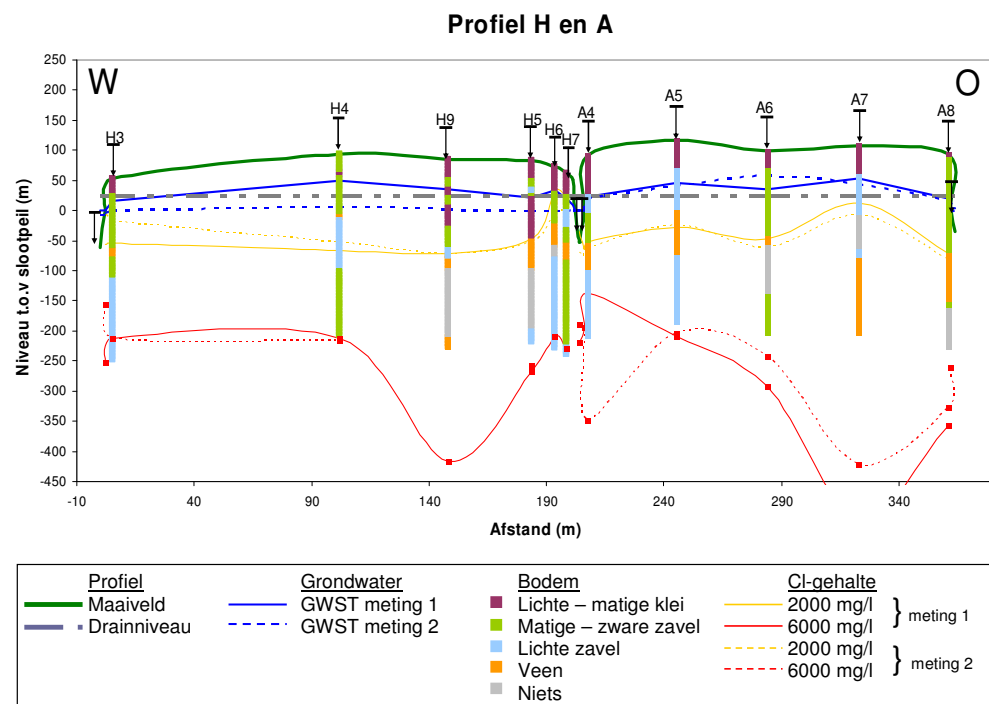
Profiel D en E



Figuur 31: Dwarsdoorsnede percelen D en E

De percelen D en E liggen naast elkaar, maar worden gescheiden door een weg. Aan weerszijden van de percelen liggen sloten. Wanneer de percelen D en E met elkaar vergeleken worden (bijlagen N en O) valt op dat EC-waarden onder de sloten bij perceel D veel lager liggen dan onder de sloten bij E. In de figuur 31 is te zien dat onder de sloten bij perceel D de chloridegrenzen zeer sterk naar beneden lopen, terwijl ze bij

E omhoog lopen richting de sloten. Water uit de sloten bij D infiltreert en heeft een erg laag zoutgehalte. De sloten op perceel E trekken daarentegen een kwelstroom aan en kennen een hoog zoutgehalte. Het grote verschil tussen deze percelen wordt veroorzaakt door het grote peilverschil tussen de sloten. Tijdens beide meetseries lag het slootpeil van perceel D zo'n 35 cm hoger. Zeer opmerkelijk is echter het feit dat het midden van perceel D veel zouter is dan het midden van E. Dit is, waarschijnlijk door het kiezen van niet correcte formatieconstanten, in mindere mate terug te zien in de perceeldoorsnede (figuur 31). Op D is het bovenste grondwaterlaagje nog iets minder zout dan op E, maar water uit de peilbuizen is op D duidelijk zouter. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het zoutgehalte op perceel veel sneller oploopt dan op E. Dit is ook heel goed te zien in de interpolatieprofielen in bijlage N6 en N7. Zoet, infiltrerend slotwater verdringt de opkomende zoute kwelstroom onder de sloten, waardoor deze op andere plaatsen sterker is (in het midden van het perceel dus).



Figuur 32: Dwarsdoorsnede percelen H en A

De percelen A en H liggen tegenover elkaar en worden gescheiden door een sloot. In tabel 6 is te zien dat de bodemopbouw op beide percelen niet veel verschilt. Verschillen zijn er wel in maaiveldhoogte en drainagecapaciteit: Het maaiveld van perceel H ligt gemiddeld zo'n 15 cm lager dan dat van A; op perceel A liggen er om de vijf m drains, op perceel H om de 10 m. Ondanks de grotere drainagecapaciteit ligt de grondwaterstand op perceel H dieper onder maaiveld dan op perceel A. Het verschil in chloridegehalte is hiermee te verklaren: perceel H is iets zouter dan perceel A. In figuur 32 zijn beide percelen naast elkaar te zien.

5.12 Algemene conclusie

Op basis van de verkregen resultaten kan een aantal algemeen geldende conclusies getrokken worden. Wanneer gekeken wordt naar de mate van verzilting in het totale onderzoeksgebied kan gesteld worden dat het aandeel zoet grondwater zeer gering is. Alleen op het zandige en hooggelegen perceel G zijn waarden gemeten die vallen

binnen de klasse 'zoet'. Op de overige percelen variëren de chloridegehalten sterk, maar het grondwater valt altijd in de klasse 'brak' of 'zout'. Het blijkt dat infiltrerend regenwater niet, zoals werd aangenomen, zorgt voor een zoete lens bovenop het zoute kwelwater. Er vindt menging van zoet en zout water plaats. Beiden vormen afhankelijk van het chloridegehalte van het opkwellende water, een brakke of zoute bovenlaag. Op een drietal percelen (B, F en I) werd in deze bovenlaag zelfs een zoutgehalte gemeten van ruim 4000 mg/kg.

Het chloridegehalte van het diepe grondwater bepaalt dus voor een belangrijk deel de zoutbelasting van ondiep grondwater. Dit chloridegehalte bleek sterk te verschillen per perceel. Afstand tot de zee en ligging van het betreffende perceel lijken bepalende factoren. Hoe kleiner de afstand tot de zee, des te hoger het chloridegehalte van het diepe grondwater. Ook is het gehalte hoger wanneer percelen liggen ter plaatse van oude slenken (zeearmen).

Doorgaans werden onder de sloot de hoogste waarden gemeten. Over het algemeen geldt dus dat op perceelsniveau de sterkste kwelstroom zich richt op de sloot. Zoutgehalten in de sloten lagen dan ook hoog: in de meeste sloten tussen de 1000 en 3500 mg/kg. Resultaten van de eerste meetserie wijzen uit dat in het midden van het perceel de invloed van infiltrerend regenwater het grootst is. Chloridegrenzen en EC-lijnen hebben hier hun laagste punt. De sterkte van de kwelstroom bleek afhankelijk te zijn van het slootpeil. Vergelijking van percelen D en E, die naast elkaar liggen maar waarvan het slootpeil sterk verschilt, laat dit duidelijk zien. Water uit de sloot met het hoge peil is zoet en infiltreert. Dit zorgt voor relatief lage waarden onder deze sloot. Echter, tegelijk is te zien dat de kwelstroom zich hier veel meer richt op het midden van het perceel. Hoge slootpeilen lijken dus een nadelige invloed te hebben op chloridegehalten in het grondwater in het midden van het perceel.

De omslag van het weer tussen de eerste en tweede meetserie zorgde ervoor dat op vrijwel alle percelen de grondwaterstand gedaald is. Als gevolg hiervan is er een verschil te zien tussen de eerste en de tweede meetserie. Waarden van de tweede serie liggen over het algemeen iets hoger; de invloed van infiltrerend regenwater is iets kleiner geworden en de invloed van zoute kwel iets groter. Dit blijkt ook uit chloridegehalten die gemeten zijn in de sloot: in alle sloten werd een hoger gehalte gemeten tijdens de tweede serie.

Het is bijzonder dat op de percelen B, F en I, waar het bovenste grondwaterlaagje al extreem zout is, toch gewoon gras kan groeien. Gras is een gewas met een relatief hoge zouttolerantie, maar gemeten waarden op deze percelen liggen voor gras te hoog. Het gras zou groeischade moeten ondervinden wanneer het gevoed wordt door dit grondwater. Het is mogelijk dat het gras alleen grondwater onttrekt uit de onverzadigde zone. Dit water heeft misschien een aanmerkelijk lager chloridegehalte dan het bovenste grondwaterlaagje. Onderzoek naar de zouttolerantie van gras en de samenstelling van het bodemvocht in het onderzoeksgebied wordt aanbevolen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Inleiding

In het onderzoeksgebied in Noordoost Friesland zijn negen percelen (A t/m I) geselecteerd om bemeten te worden. Deze selectie vond plaats op basis van een aantal factoren. Maaiveldhoogte, bodemopbouw en afstand tot de zee waren het belangrijkste. Bovendien liggen alle percelen in het gebied dat als gevolg van de aardgaswinning nabij Anjum, te maken zal krijgen met bodemdaling. Zeven van de negen percelen liggen in De Kolken, een gebied waar vroeger de zee is geweest. Dit gebied kenmerkt zich onder meer door de ligging van het maaiveld beneden NAP en door een vrij homogene bodemopbouw. Twee percelen wijken qua ligging af. Het betreft hier perceel G en I. Perceel G ligt als enige boven NAP, heeft een zeer zandige bodem en ligt op geringere afstand van de Waddenzee. Perceel I ligt ter plaatse van een slenk. De afstand tot de Waddenzee is relatief groot en de bovenste drie tot vier meter van de bodem bestaat uit veen.

Alle negen percelen zijn bemeten gedurende twee meetseries. De eerste serie vond plaats begin maart, de tweede serie eind april.

6.2 Conclusies

Op basis van resultaten van beide meetseries kan een aantal conclusies getrokken worden. Deelvragen die gesteld zijn in de inleiding van dit rapport zullen in dezelfde volgorde behandeld worden.

Deelvraag 1 Wat zijn de afmetingen en de vorm van regenwaterlenzen?

Op nagenoeg alle percelen bleek geen echte regenwaterlens aanwezig te zijn. Direct onder de grondwaterspiegel werden al waarden gemeten die vielen binnen de categorie 'brak' of 'zout' (tabel 4). Daarbij liepen EC- en chloridewaarden vrij gelijkmatig op. Net als tussen zoet en brak water was er tussen brak en zout grondwater geen scherpe grenslaag te onderscheiden. Op een aantal percelen werden direct onder de grondwaterspiegel al waarden gemeten van meer dan 4000 mg chloride/kg. Hieruit kan geconcludeerd worden dat sprake is van menging van zoet regenwater en zout kwelwater.

Alleen op het hoger gelegen en zandige perceel G werden zoete chloridegehalten gemeten. Hier is de invloed van infiltratie groter dan die van kwel. Echter, omdat hier niet gemeten is met de prikstok vanwege de te hoge wrijvingsweerstand van de bodem, is niet bekend hoe de regenwaterlens er hier uitziet. Watermonsters uit twee peilbuizen op verschillende diepten laten wel zien dat het chloridegehalte snel oploopt met de diepte.

De vorm en afmetingen van een regenwaterlens waren dus niet vast te stellen.

Deelvraag 2 Komen afmeting en vorm van de regenwaterlenzen overeen met de verwachtingen, gebaseerd op grond van analytische formules?

Een formule waarmee afmetingen en vorm van de lenzen kan worden uitgerekend is de formule van Kees Maas (Raaijmakers, 1999). Evenals alle andere analytische formules gaat ook deze formule ervan uit dat de lens het dikst is midden op het perceel. Wanneer parameters ingevoerd worden die representatief zijn voor het onderzoeksgebied, wordt een maximale lensdikte van ongeveer 30 cm berekend. Aangezien er geen lenzen

gemeten zijn, kan geconcludeerd worden dat deze formule niet bruikbaar is voor het bepalen van de afmeting en vorm van regenwaterlenzen in het onderzoeksgebied. Verwachtingen op grond van deze formule komen dus niet overeen met de werkelijkheid.

Deelvraag 3 Is er een relatie tussen de locatie in het perceel en de zoet-zout verdeling van het grondwater?

In de meeste gevallen worden onder sloten hogere EC- en chloridewaarden gemeten dan op de rest van het perceel. De grootste kwelstroom richt zich op de sloot. Over het algemeen geldt dat in het midden van de percelen de laagste waarden gemeten worden. Echter, wanneer het slootpeil hoog is ten opzichte van het maaiveld worden in het midden van het perceel juist de hoogste waarden gemeten. Slootwater infiltreert dan en zorgt voor lage zoutgehalten onder de sloot.

Op de percelen C en H valt op, dat ter plaatse van de dobben, lagere zoutgehalten gemeten worden. Water uit de dobben infiltreert, maar staat tegelijk ook onder invloed van de zoute kwel gezien het hoge chloridegehalte ervan. Of de dobbe kwel afvangt of juist water infiltreert, is per seizoen verschillend.

Voor de meeste situaties geldt dus, hoe verder van de sloot af, des te kleiner de invloed van brakke/zoute kwel.

Deelvraag 4 Wat is de dynamiek van de regenwaterlenzen als gevolg van seizoensveranderingen?

Zoals hierboven al vermeld staat zijn zowel tijdens de eerste als de tweede meetserie geen zoete regenwaterlenzen gemeten. Er zijn wel verschillen waar te nemen tussen de resultaten van beide series. Het veranderde weer zorgde ervoor dat de grondwaterstand aanzienlijk lager stond tijdens de tweede serie. De grondwateraanvulling door infiltrerend regenwater is kleiner geworden. Dit is ook te merken aan de gemeten waarden in het grondwater. Deze liggen op de meeste percelen tijdens de tweede meetserie iets hoger. Bovendien lagen chloridegehalten in alle sloten hoger tijdens de tweede meetserie. Dit wijst op een sterkere kwelstroom richting de sloten.

Tijdens de tweede meetserie was er op een aantal percelen een afvlakking van de EC- en chloridelijnen waar te nemen. Het verschil in zoutgehalten tussen sloot en midden van perceel bleek kleiner te zijn geworden.

Deelvraag 5 Zijn op regionaal niveau (tussen de percelen) verschillen waar te nemen in zoutgehalten van het grondwater en wat zijn factoren die hierin een rol spelen?

Er zijn duidelijke verschillen waar te nemen. Het blijkt dat het zoutgehalte van het diepe grondwater in sterke mate bepalend is voor de zoutbelasting in het ondiepe grondwater. Er blijkt een samenhang te zijn tussen het zoutgehalte in het diepe grondwater en de afstand tot de zee: hoe kleiner deze afstand, des te hoger het zoutgehalte. De mate van zoutbelasting in het ondiepe grondwater is daarnaast ook afhankelijk van de kwelsterkte: hoe meer kwel, des te hoger het zoutgehalte in het ondiepe grondwater.

Ook bleek het zoutgehalte van het grondwater ter plaatse van een oude slenk zeer hoog te zijn (perceel I). De geologie en het landgebruik in het verleden zijn dan ook bepalend voor het huidige zoutgehalte van het grondwater.

Het blijkt dus dat regenwaterlenzen niet voorkomen op de percelen waar kwel plaatsvindt. Regenwater en kwelwater mengen met elkaar en vormen zo een brak of zout geheel. Het is niet duidelijk wat de oorzaak is van het niet voorkomen van de lenzen. Analytische modellen geven aan dat de afmetingen van de lens met name

afhangen van kwelsterkte, hoeveelheid infiltrerend water en doorlatendheid van de bodem. Er blijken dus nog andere bepalende factoren te zijn. Mogelijk speelt het hoge zoutgehalte van het diepe grondwater in het onderzoeksgebied een rol.

De mate van verzilting in het onderzoeksgebied is vastgesteld: nagenoeg alle percelen kennen hoge chlorideconcentraties in het grondwater en in de sloten. Net onder de grondwaterspiegel worden de laagste gehalten gemeten, maar deze vallen, uitgezonderd op perceel G, allen in de klasse brak of zout. Het chloridegehalte neemt toe met de diepte.

6.3 Aanbevelingen

Dit onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat het erg moeilijk is om op basis van EC-waarden van de prikstok uitspraken te doen over chloridegehalten. Om het chloridegehalte te kunnen berekenen uit de EC, is een formatieconstante nodig. Deze is afhankelijk van de grondsoort waarin gemeten is. De formatieconstante bleek sterk te variëren, ook binnen één bepaalde grondsoort. Het is dus uitermate belangrijk om een gedetailleerde bodembeschrijving te maken tijdens de metingen. Onderzoek naar de samenhang tussen grondsoort en formatieconstante wordt aanbevolen.

Vanwege de beperkte tijd die beschikbaar was voor dit onderzoek, was het tijdsverschil tussen beide meetseries klein. Verschillen in resultaten tussen beide series waren dan ook niet groot. Om meer gegronde uitspraken te kunnen doen over de dynamiek van de zoet-zout verdeling in het grondwater, wordt aanbevolen nog een extra meetserie uit te voeren aan het einde van de zomer.

In het onderzoeksgebied zijn geen regenwaterlenzen aanwezig in het grondwater. Waardoor dit wordt veroorzaakt is niet duidelijk. Nader onderzoek hiernaar wordt aanbevolen. Bovendien is niet duidelijk hoe gras kan groeien op percelen waar in het bovenste grondwaterlaagje al chloridegehalten van ruim 4000 mg/l gemeten worden. Onderzoek naar zouttolerantie van gras en samenstelling van grondwater uit de onverzadigde zone wordt aanbevolen.

Door onnauwkeurigheden in het inmeten van de hoogte van greppelpeil en greppelbodem, is niet met zekerheid te zeggen of de greppels invloed hebben op de zoet-zout verdeling van het grondwater. Aanbevolen wordt om hier aandacht aan te besteden tijdens een volgende meetserie.

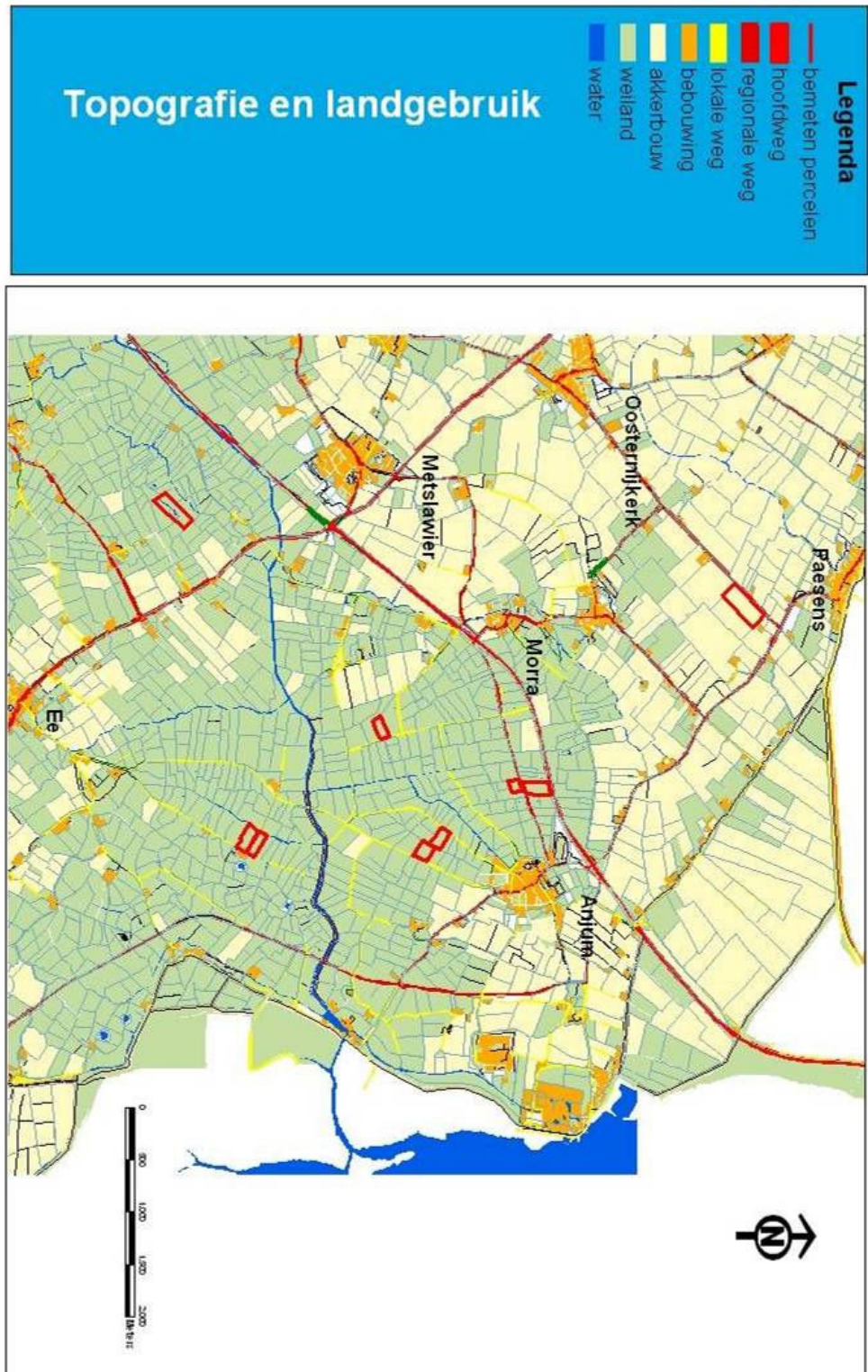
7 Literatuuropgave

- Appelo, C.A.J. en Postma, D. (1996) *Geochemistry groundwater and pollution*. Rotterdam, A.A. Balkema.
- DLG (2005) *Startnotitie integrale gebiedsontwikkeling Dongeradeel*.
- DLG (2004) *Verkenning van de Friese boezem, advies over de uitbreiding van het boezemareaal en de rol van landinrichting*. 48 p.
- Dufour, F.C. (1998) *Grondwater in Nederland onzichtbaar water waarop wij lopen* NITG-TNO-Delft, pp. 29–107.
- Gedeputeerde Staten van Friesland (2005) *Ontwerp Streekplan Fryslân 2006: Om de kwaliteit fan de romte*. 200 p.
- Groot, T.A.M. de e.a. (1987) *Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000 inclusief toelichting bij de kaartbladen 6 West Leeuwarden en 6 Oost Leeuwarden*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 251 p.
- Heer, E. de e.a. (1996) *Landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelrapport 7. Deelgebied Noord-Nederland*. TNO rapport GG-R-95-29 (B) 113 p.
- Kuijper, M.J.M (2001) *Neerslaglenzen en verzilting in landbouwgebieden*. Afstudeerverslag Faculteit der Aardwetenschappen, VU Amsterdam en Grontmij.
- Louw, P.G.B. de en Griffioen, J. (1995) *Hydrogeochemie van fosfaat bij kwel van grondwater in polders. Deelrapport IV. Kwantificering van de ruimtelijke en temporele variabiliteit van lokale kwel in Polder K, Schermer (Provincie Noord-Holland)* TNO-rapport GG-R-95-87 (A), 46 p.
- Maas, K. (2001) *Kwelvensters onder gebouwen en in het vrije veld*. *Stromingen*, jrg. 7, nr. 4, p. 15-31.
- Ministerie van VROM, LNV, VNW en EZ (2006) *Nota Ruimte - Ruimte voor ontwikkeling/deel 4*. VROM rapport 5160, 200 p.
- Morris, D.A. & Johnson, A.I. (1997) *Summary of hydrologic and physical properties of rocks and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the US Geological Survey, 1948-60*. US Geol. Survey Water supply paper 1839-D, Washington. In: Dufour, F.C. (1998) *Grondwater in Nederland*. NITG-TNO-Delft.
- NAM (2005) *Bodemdaling door aardgaswinning. NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drente. Status rapport 2005 en prognose tot het jaar 2050*. NAM-rapport EP200512202238
- Pomper, A.B. en Weerts, H.J.T. (1996) *Doorlatendheidsmetingen: Absolute noodzaak of luxe uit het verleden?* *Stromingen*, jrg. 2, nr. 1, p. 27-37.

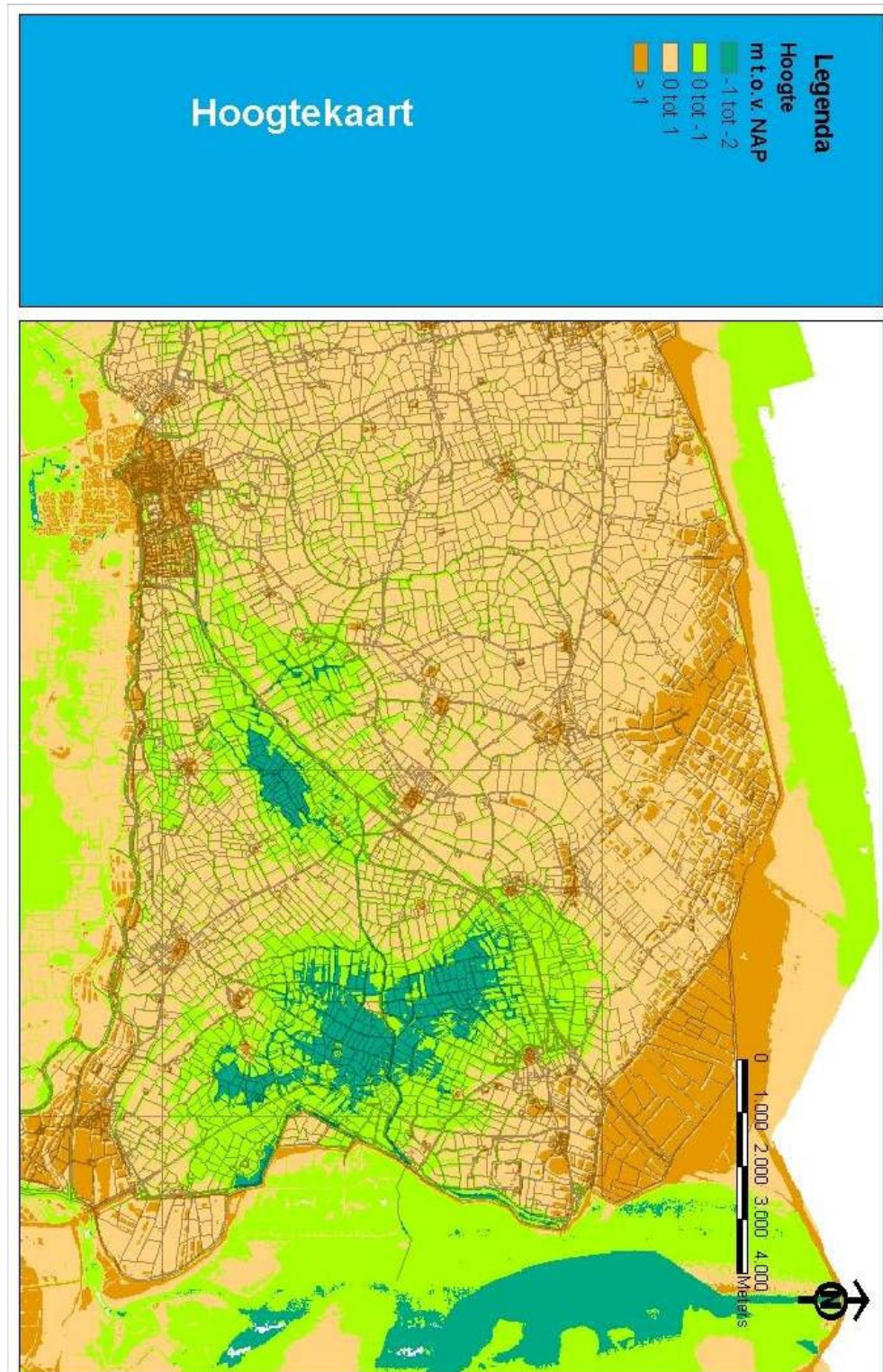
- Poot, A. en Schot, P.P. (2000) Neerslaglenzen: vorm en dynamiek. *Stromingen*, jrg. 6, nr. 4, p. 13-26.
- Post, V. (2004) Groundwater salinization processes in the coastal area of the Netherlands due to transgressions during the Holocene. Academisch proefschrift. Vrije Universiteit, Amsterdam, 138 p.
- Stichting voor Bodemkartering (1981) Bodemkaart van Nederland Schaal 1:50.000 inclusief toelichting bij de kaartbladen 6 West Leeuwarden en 6 Oost Leeuwarden. Wageningen, 181 p.
- Stuyfzand, P. (1993) Hydrochemistry and hydrology of coastal dunes of the Western Netherlands; proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Stuyt, L.C.P.M., Akker, J. van der, Bruil, D.W. en Bakel, P.J.T. van (2006) Transparantie effecten zoutwinning Friesland. *Alterra-rapport 1264*, Wageningen, 126 p.
- Termes, A.P.P en Eysink, W.D. (2005) Watervisie Lauwersmeer, Quick Scan Gedempt getij. HKV lijn in water rapport PR 958, 46 p.
- Tysma, S., e.a., (1994) Poly-Technisch Zakboekje, Koninklijke PBNA, Arnhem.
- Vugt, A. van, Oude Essink, G. en Biesheuvel, A. (2003) Modellerings van het zoet-zout grondwatersysteem op Texel. *Stromingen*, jrg. 9, nr. 1, p. 33-46.
- Weerts, H.J.T., Ebbing, J.H.J., Bosch, J.A.H., Busschers, F.S. (2003) Beschrijvingen lithostratigrafische eenheden. *Dino TNO*
- Wetterskip Fryslân, Arcadis, TNO (2005) Bodemdaling Barradeel II, *Arcadis-rapport 110315/NA5/110/000056*, 51 p.
- Wirdum, G. van (2004) Investigation into the direction and magnitude of water flow through peat at Thorne Moors, UK. *TNO rapport*.
- Zoetendal, J.R., Leeuw, Y. de en Zwaanswijk, M.J. (2006) Effectenstudie aardgaswinningen Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen Waterhuishouding. *Grontmij-rapport 06/0033*, Drachten, 75 p.

Bijlagen

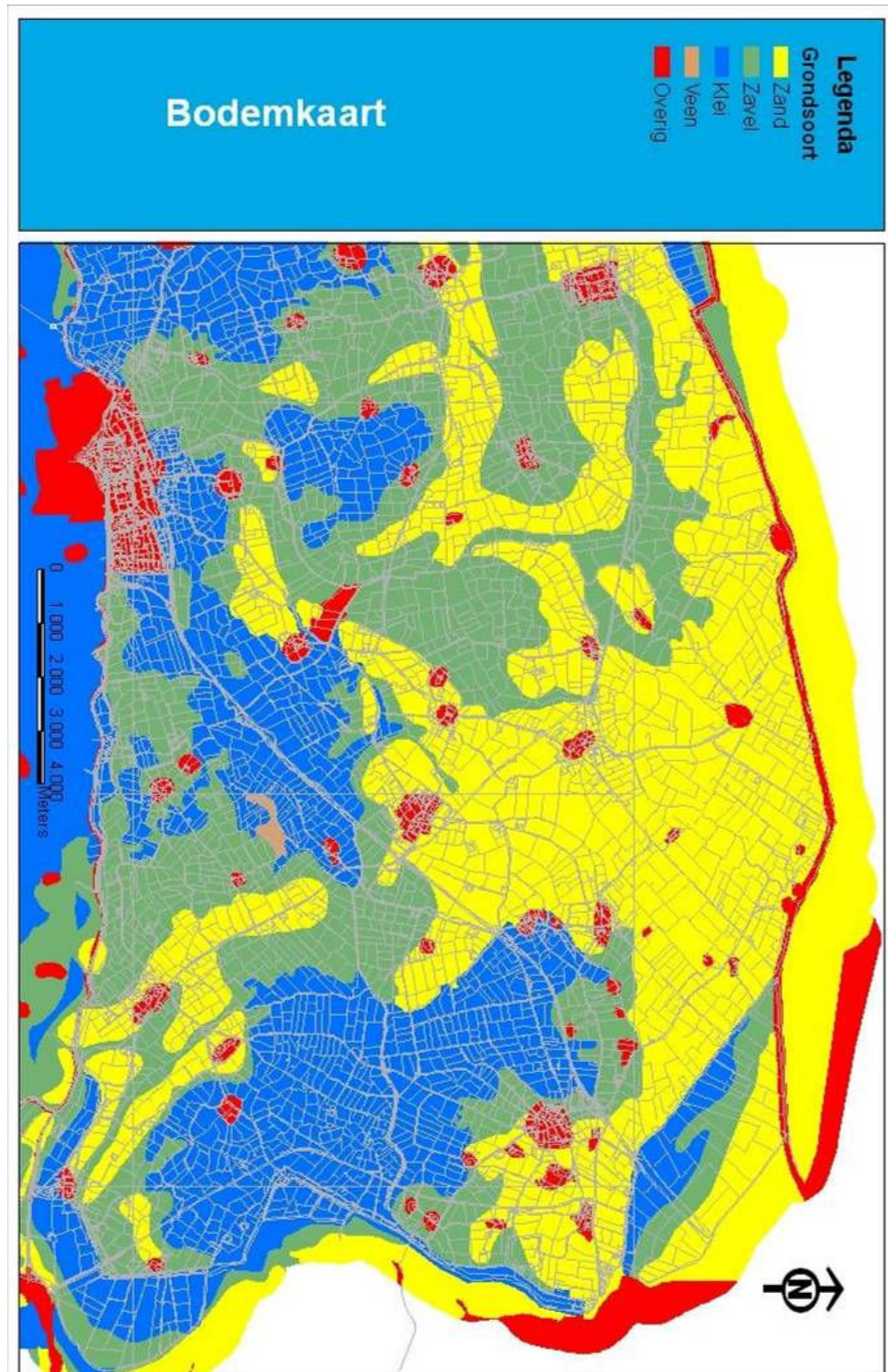
A Topografische kaart



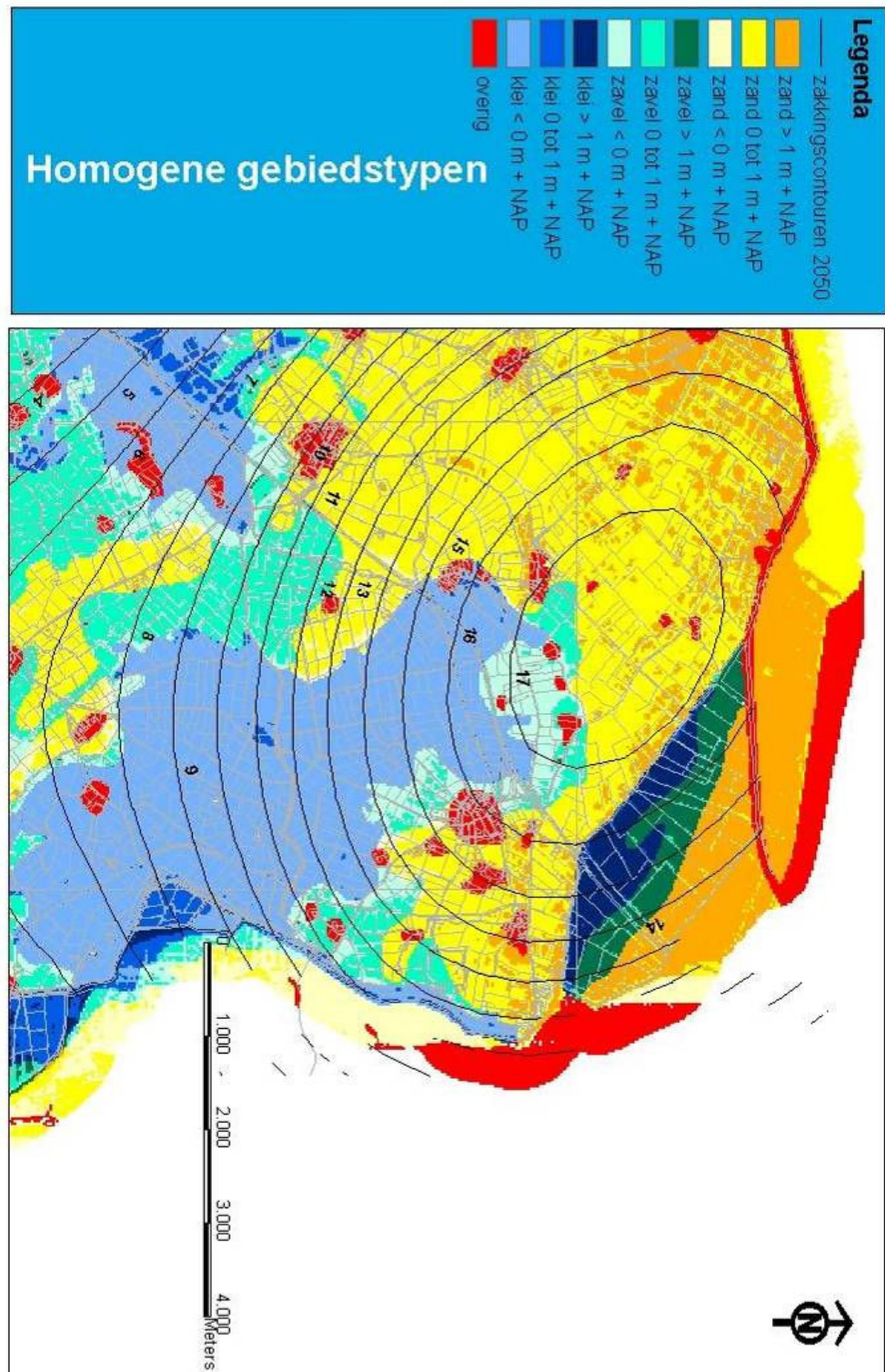
B Hoogtekaart



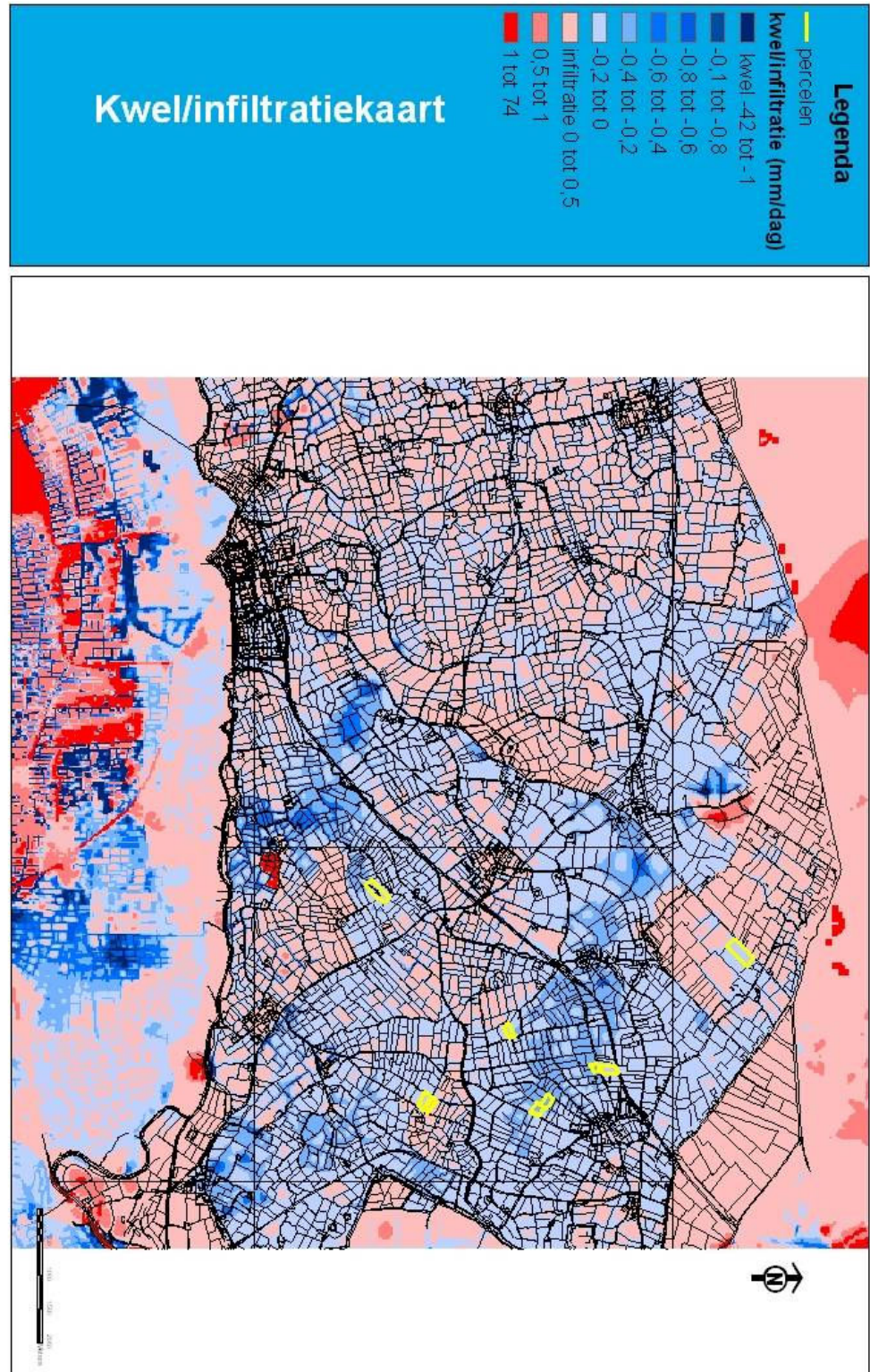
C Bodemkaart



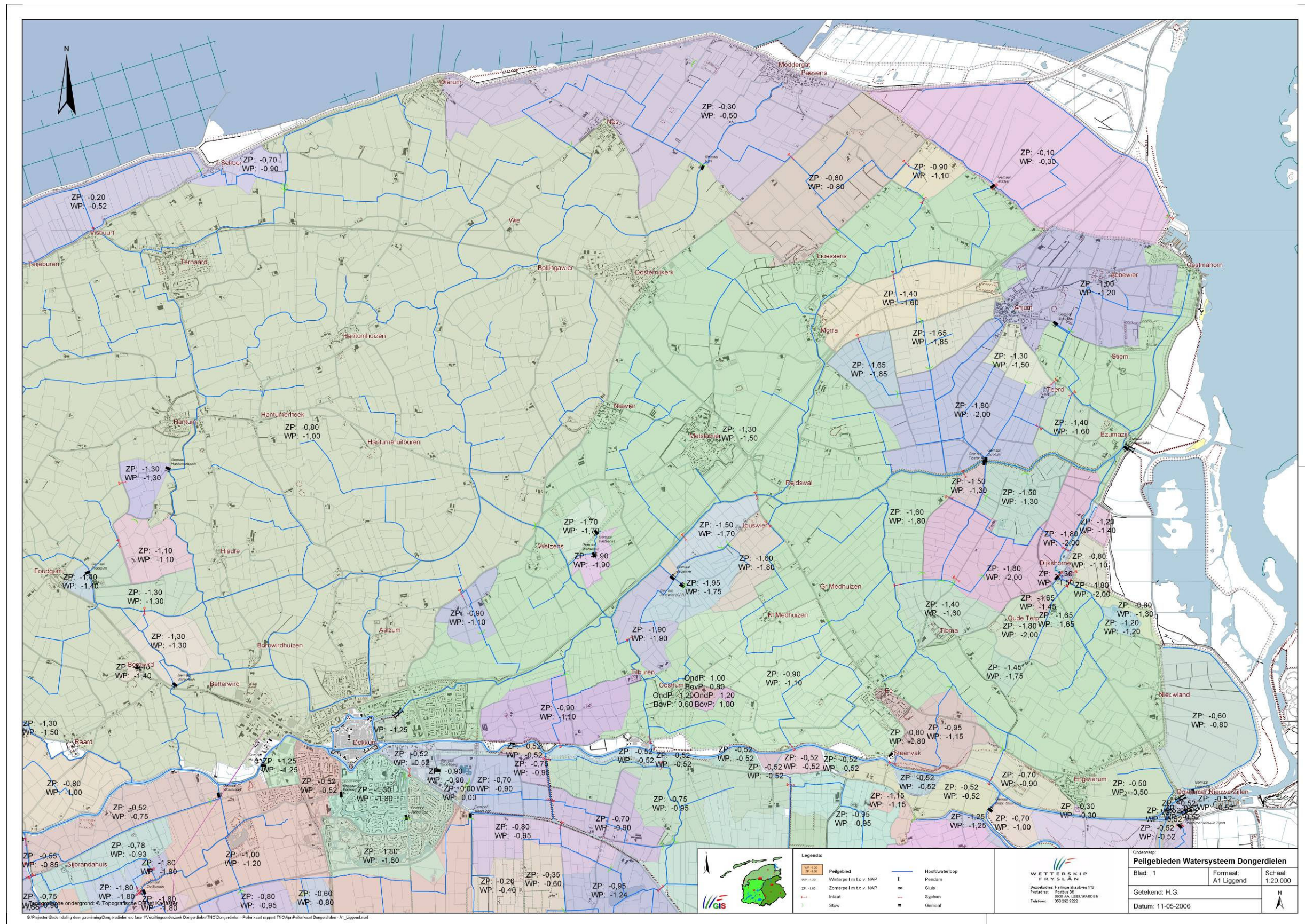
D Homogene gebiedstypen en zakkingscontouren



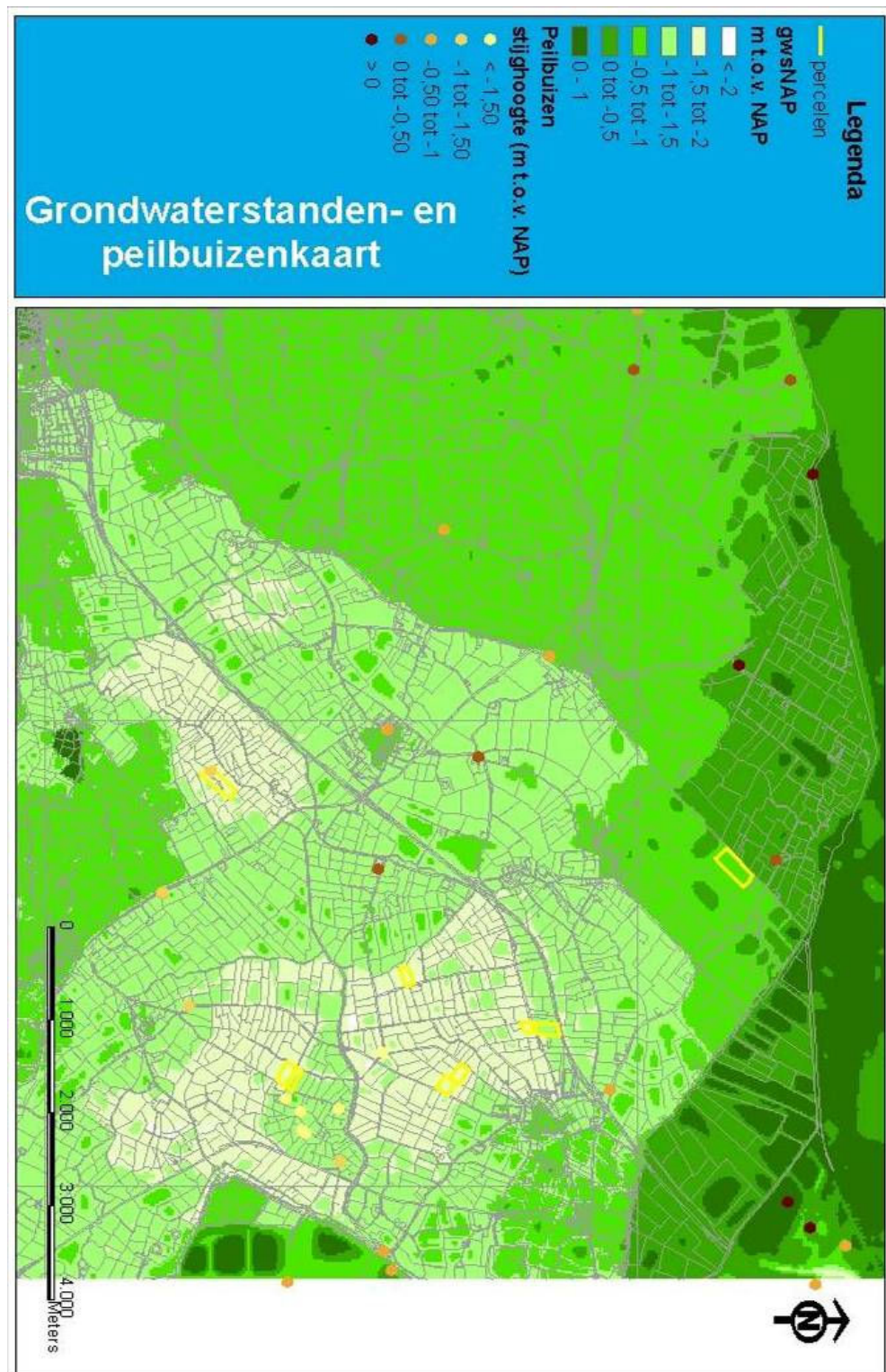
E Kwel en infiltratiekaart



F Peilgebieden gemeente Dongeradeel

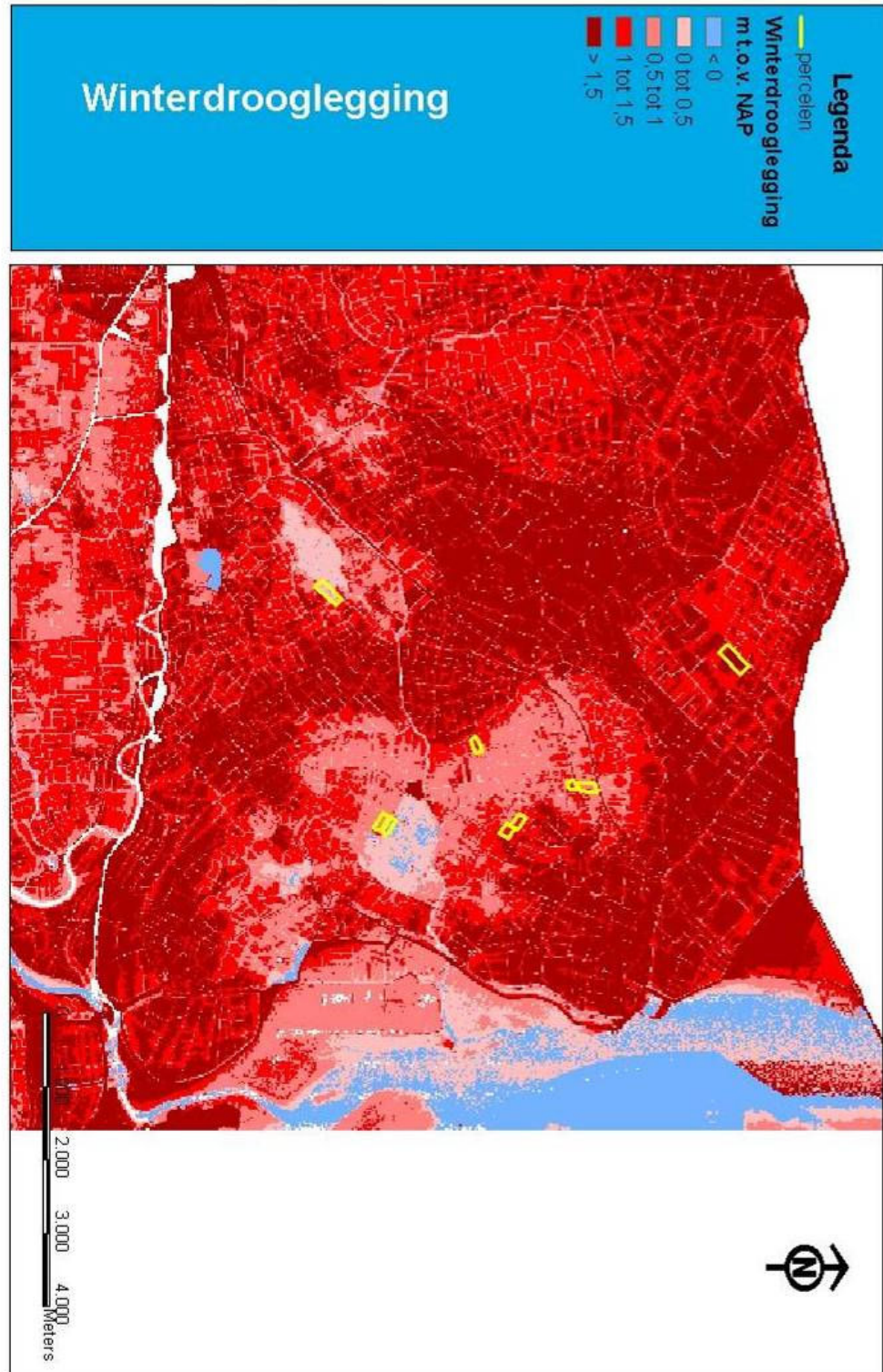


G Grondwaterstandenkaart en stijghoogtes peilbuizen

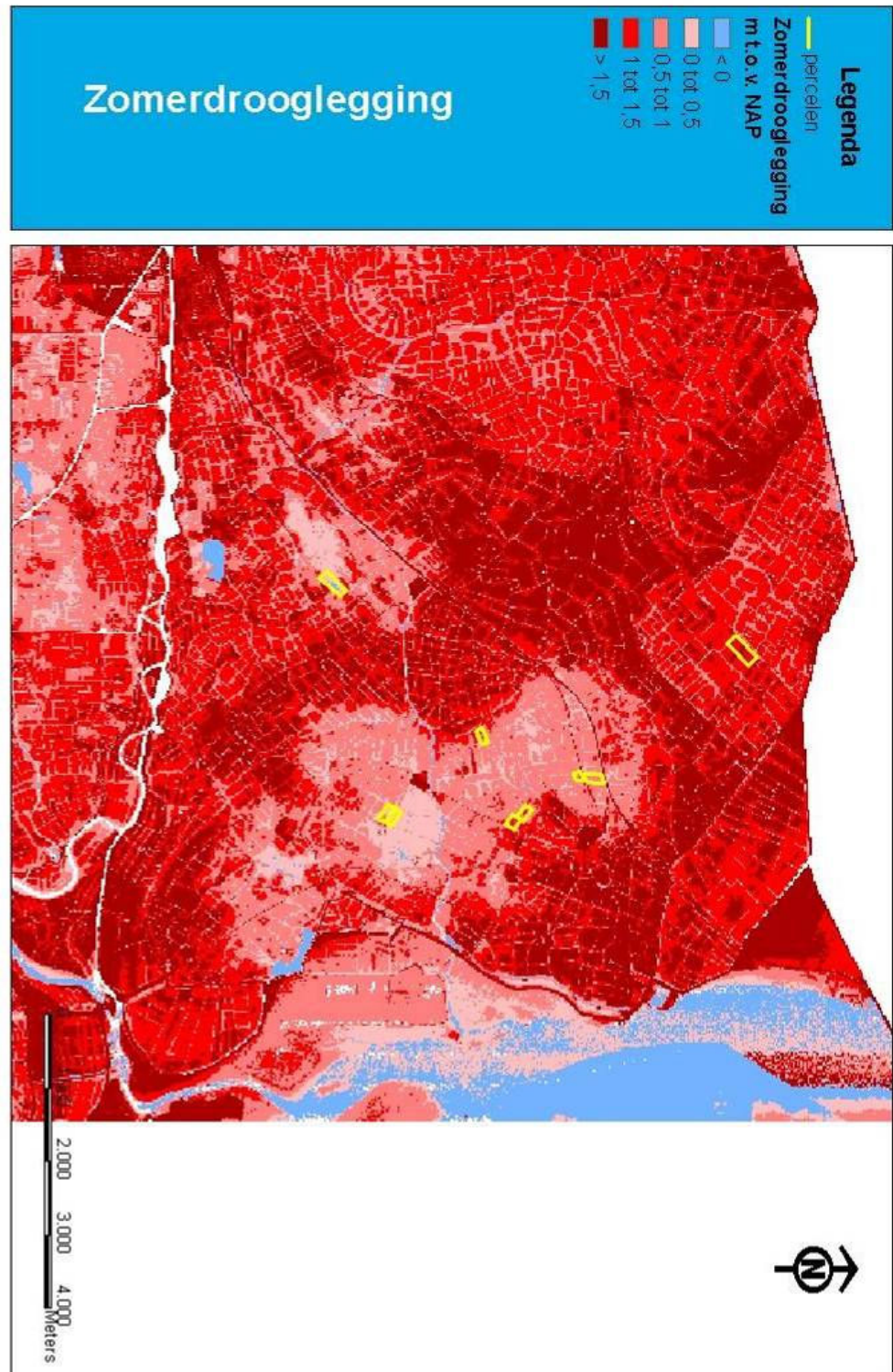


H Drooglegging

H.1 Drooglegging winter

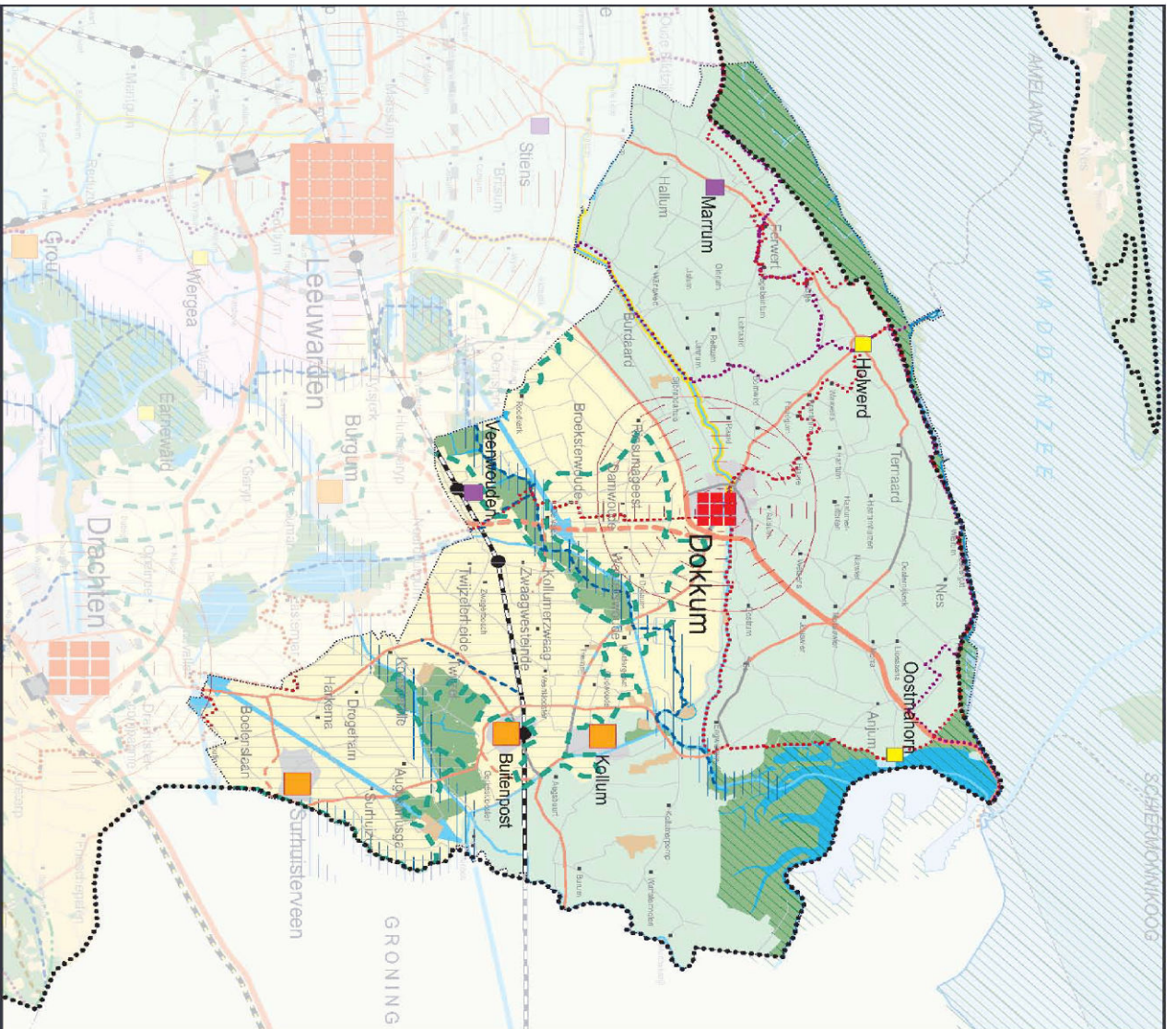
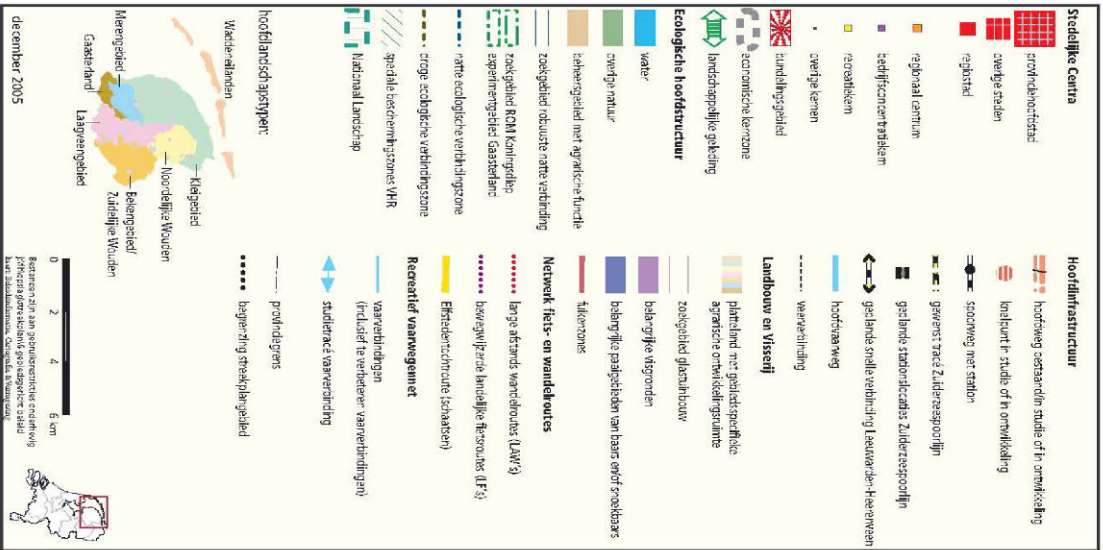


H.2 Drooglegging zomer

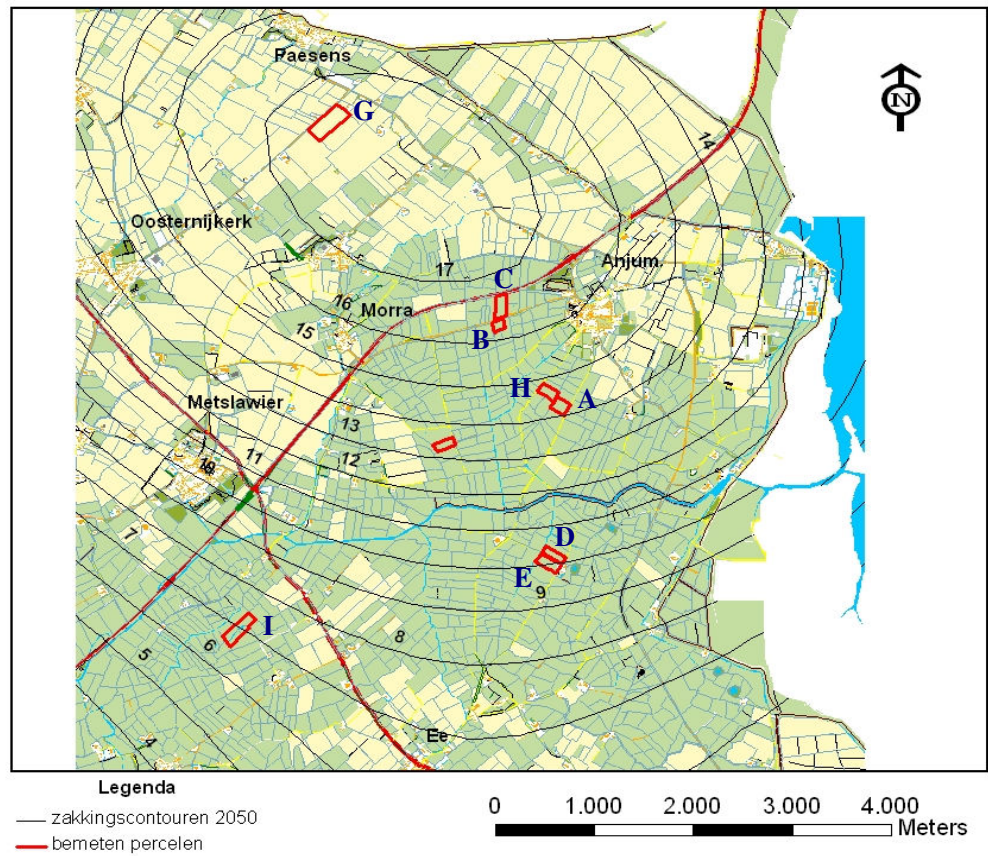


I Gebiedsgericht beleid Noordoost Friesland

Ontwerp Streekplan Fryslân 2006
Gebiedsgericht beleid Noordoost Fryslân
Kaart 27

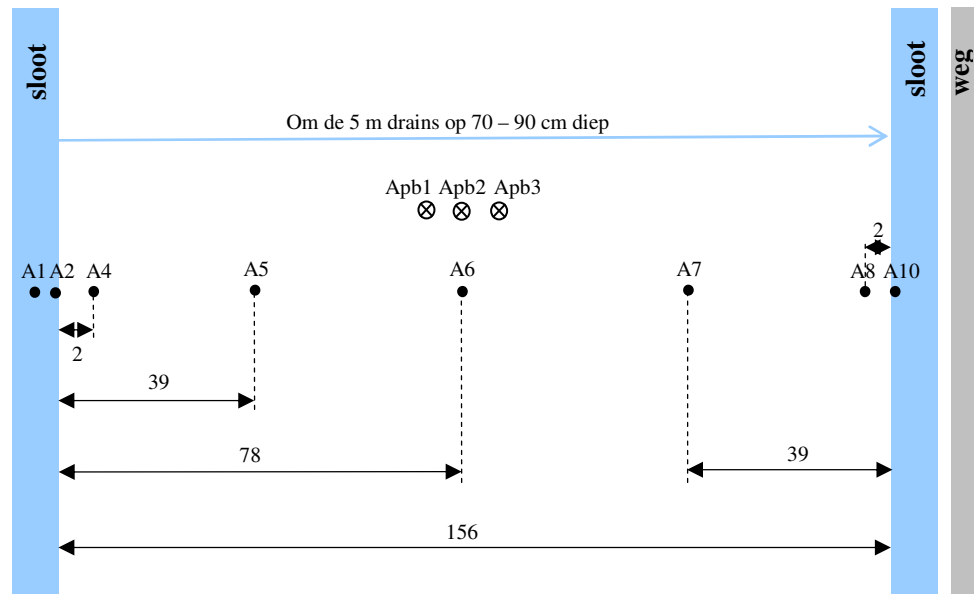


J Locatie overzicht percelen



K Perceel A

K.1 Perceeltekening perceel A



Diver: geen

Grondmonster: A6 50 – 60 cm – maaiveld

Slootpeil: 24 (24,5) cm onder bovenkant drain

**Grondwaterstanden
cm – maaiveld**

A4: 70 (73)

A5: 70 (75)

A6: 62 (40)

A7: 54 (63)

A8: 75 (78)

**Diepte peilbuisfilter
cm – maaiveld**

Apb1: 200 - 300

Apb2: 170 - 270

Apb3: 140 - 240

**Maaiveldhoogte t.o.v. A6
cm**

A1 (slootbodem): -149,81

A2 (slootpeil): - 98 (-97,8)

A4 (boorpunt + rand mv): - 5,5

A5 (boorpunt): 18,5

A6 (boorpunt): 0

A7 (boorpunt): 9,5

A8 (boorpunt + rand mv): - 4

A10 (slootpeil): - 93,5 (-98,4)

A10 (slootbodem): -132,8

Drain: - 74

Apb1: 10,8

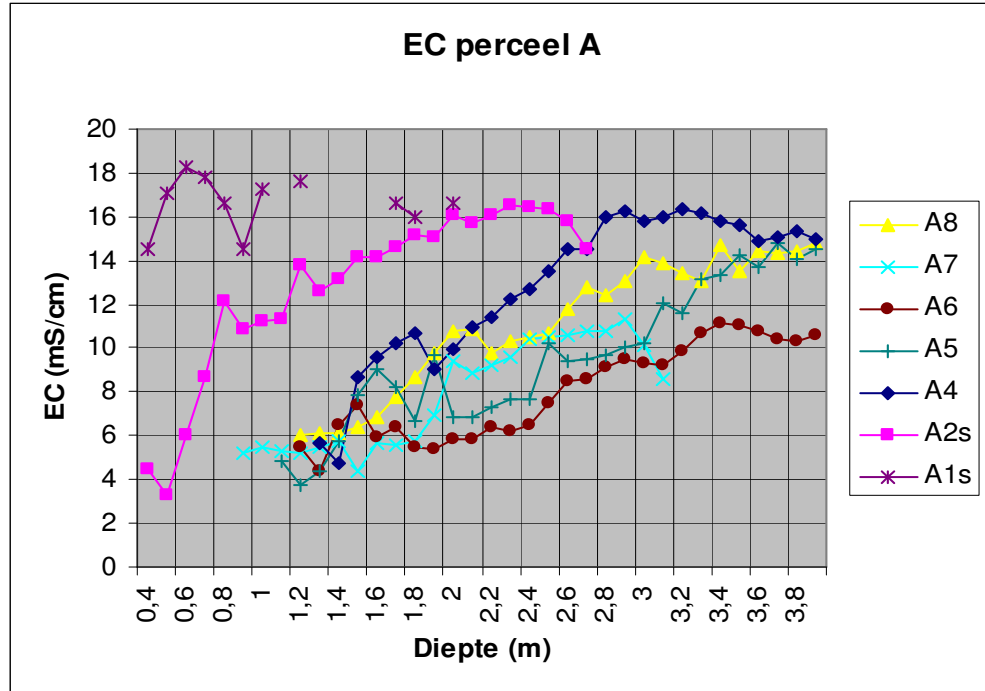
Apb2: 13,8

Bijzonderheden

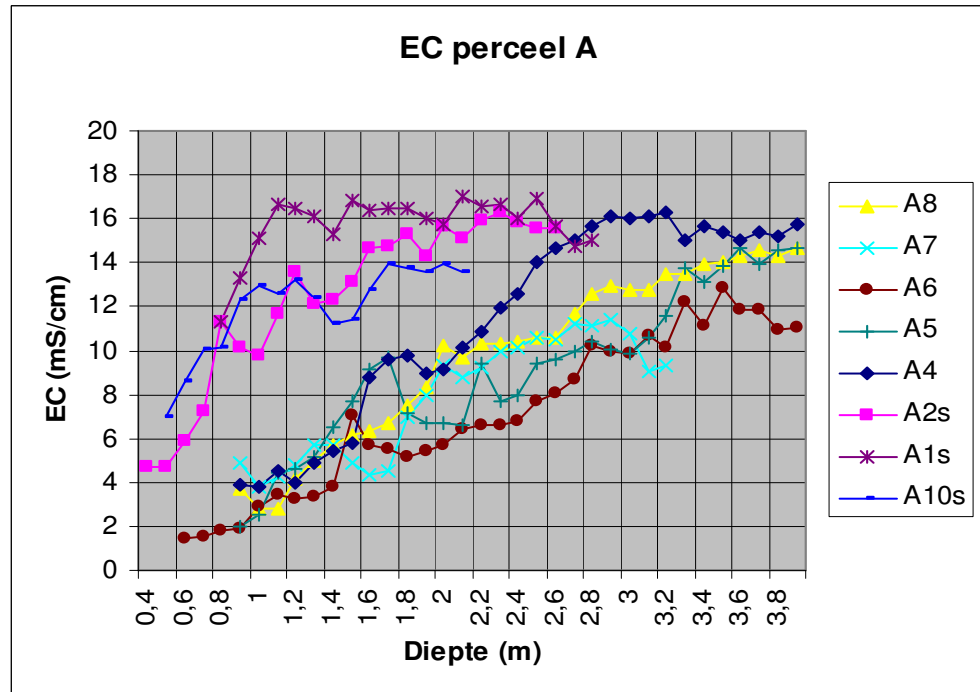
Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 75

- Afstand tot zee (km): 4,40
- Dit perceel ligt tegenover perceel H.
- Rand maaiveld van perceel H ligt 35,9 cm lager dan rand maaiveld van perceel A
- Peilbuizen liggen (in tegenstelling tot andere percelen) circa 10 m boven meetlijn.
- De waarden van de tweede serie zijn in het rood aangegeven.

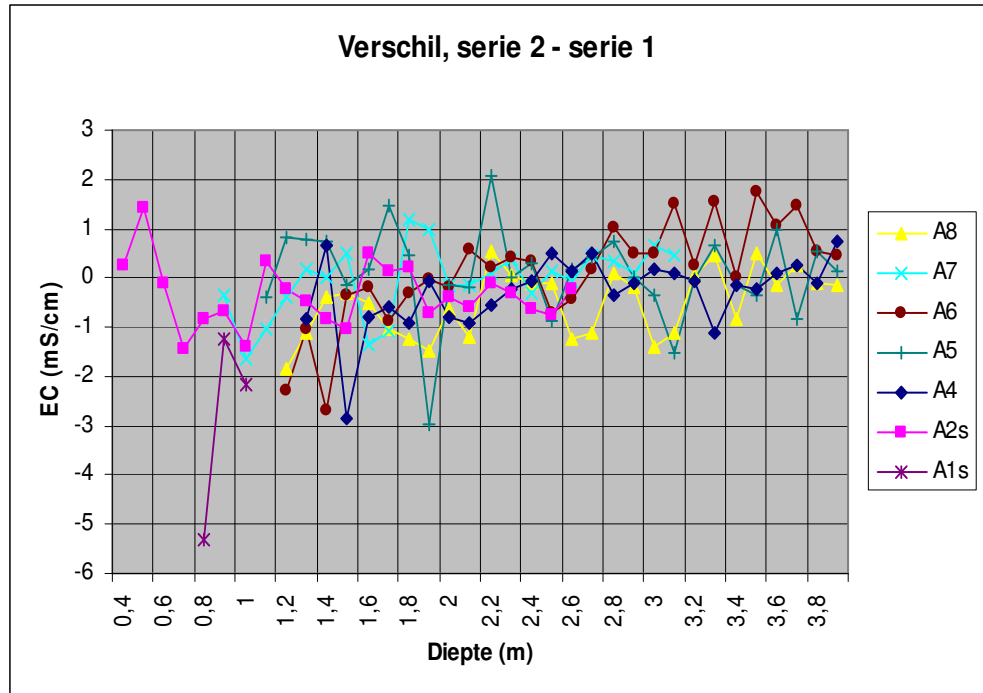
K.2 EC-waarden eerste serie perceel A



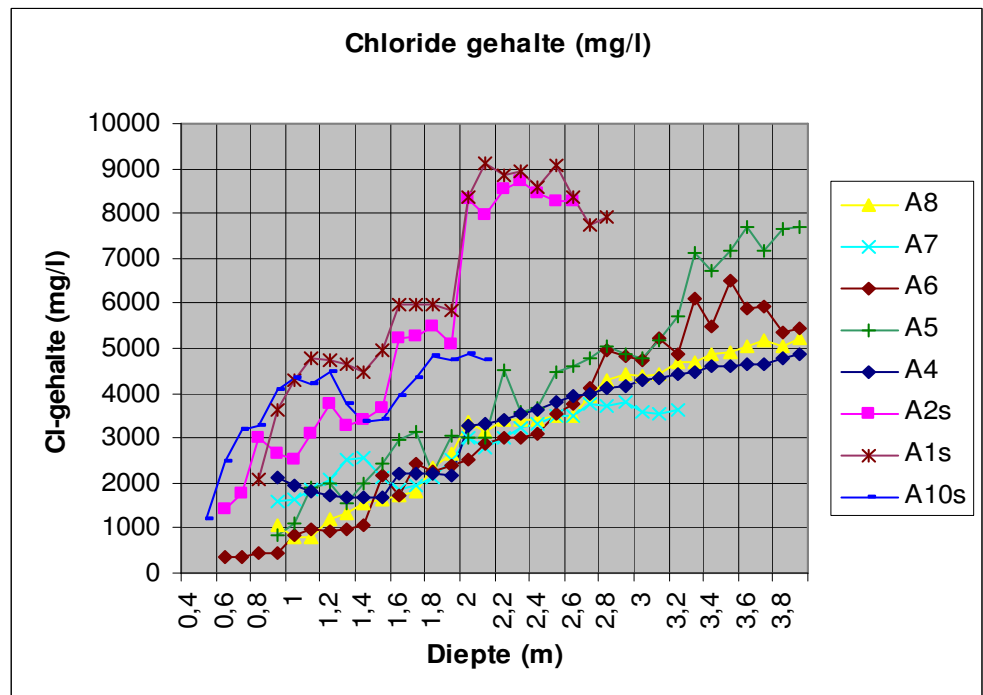
K.3 EC-waarden tweede serie perceel A



K.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel A



K.5 Chloride gehalte serie 2 perceel A



K.6 Grafiekwaarden perceel A

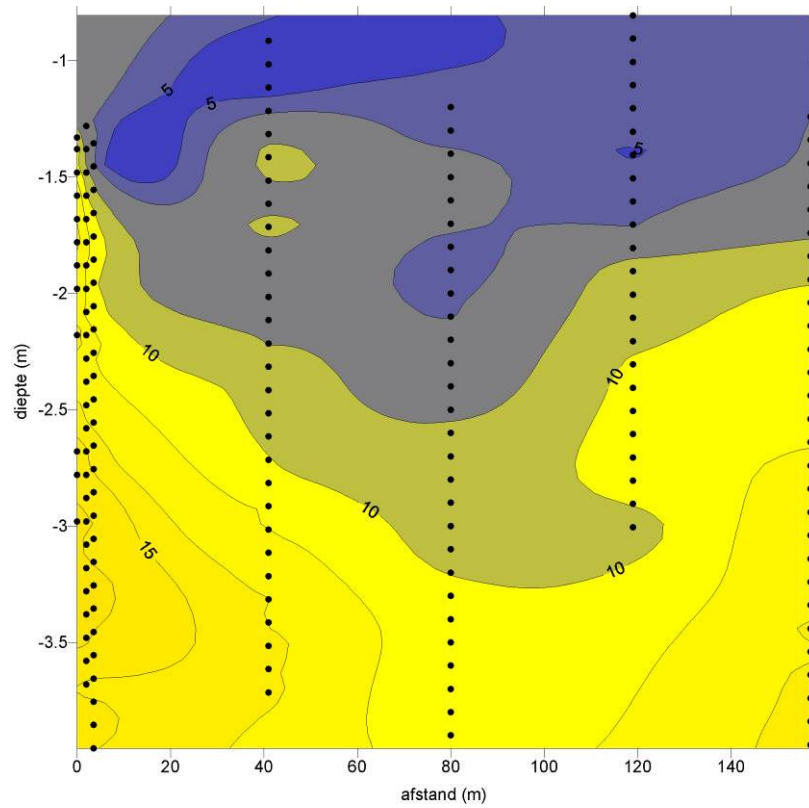
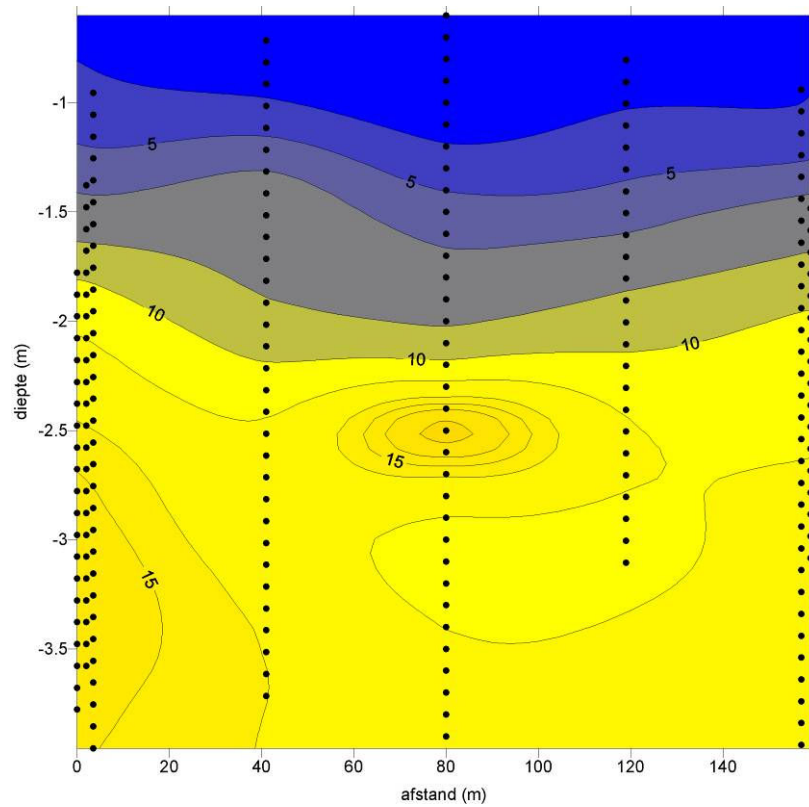
Boring A6: midden perceel

Meting: 25 april 2006

Diepte (m)	EC (mS/cm)	T (°C)	Bodemtype	Formatieconstante	Gecorrigeerde EC (mS/cm)	Omrekeningsfactor	Cl-gehalte mg/l
0,6	1,47	9,4	Zware zavel	2,21	3,2	0,400	346,0
0,7	1,52	8,8	"	2,21	3,4	0,400	357,8
0,8	1,84	8,4	"	2,21	4,1	0,400	433,1
0,9	1,92	8,2	"	2,21	4,2	0,400	451,9
1	2,89	8,0	Matige zavel	2,66	9,2	0,400	819,1
1,1	3,41	7,8	"	2,66	10,8	0,400	966,5
1,2	3,22	7,9	"	2,66	10,2	0,400	912,6
1,3	3,36	7,5	"	2,66	10,7	0,400	952,3
1,4	3,80	7,5	Veen	2,66	12,1	0,400	1077,0
1,5	7,07	7,4	"	2,73	19,3	0,426	2186,9
1,6	5,73	7,2	"Niets"	2,73	15,6	0,414	1725,9
1,7	5,55	7,2	"	4,02	28,6	0,413	2455,5
1,8	5,16	7,3	"	4,02	26,6	0,410	2265,0
1,9	5,39	7,2	"	4,02	27,8	0,412	2377,0
2	5,66	7,3	"	4,02	29,1	0,414	2509,8
2,1	6,42	7,3	"	4,02	33,1	0,420	2890,3
2,2	6,61	7,5	"	4,02	34,0	0,422	2987,0
2,3	6,63	7,5	"	4,02	34,1	0,422	2997,3
2,4	6,79	7,5	Lichte zavel	4,02	35,0	0,423	3079,3
2,5	7,70	7,9	"	4,02	39,6	0,431	3551,9
2,6	8,08	8,3	"	4,02	41,6	0,434	3757,4
2,7	8,73	8,1	"	4,02	45,0	0,439	4110,3
2,8	10,20	8,0	"	4,02	52,5	0,452	4936,2
2,9	10,00	8,0	"	4,02	51,5	0,450	4821,6
3	9,86	8,0	"	4,02	50,8	0,449	4741,7
3,1	10,69	8,1	"	4,02	55,1	0,456	5220,1
3,2	10,11	8,1	"	4,02	52,1	0,451	4884,5
3,3	12,19	8,2	"	4,02	62,8	0,468	6115,8
3,4	11,16	8,2	"	4,02	57,5	0,460	5496,4
3,5	12,81	8,3	"	4,02	66,0	0,473	6497,7
3,6	11,83	8,4	"	4,02	60,9	0,465	5897,2
3,7	11,85	8,5	"	4,02	61,0	0,465	5909,2
3,8	10,91	8,7	"	4,02	56,2	0,458	5348,9
3,9	11,05	8,7	"	4,02	56,9	0,459	5431,4

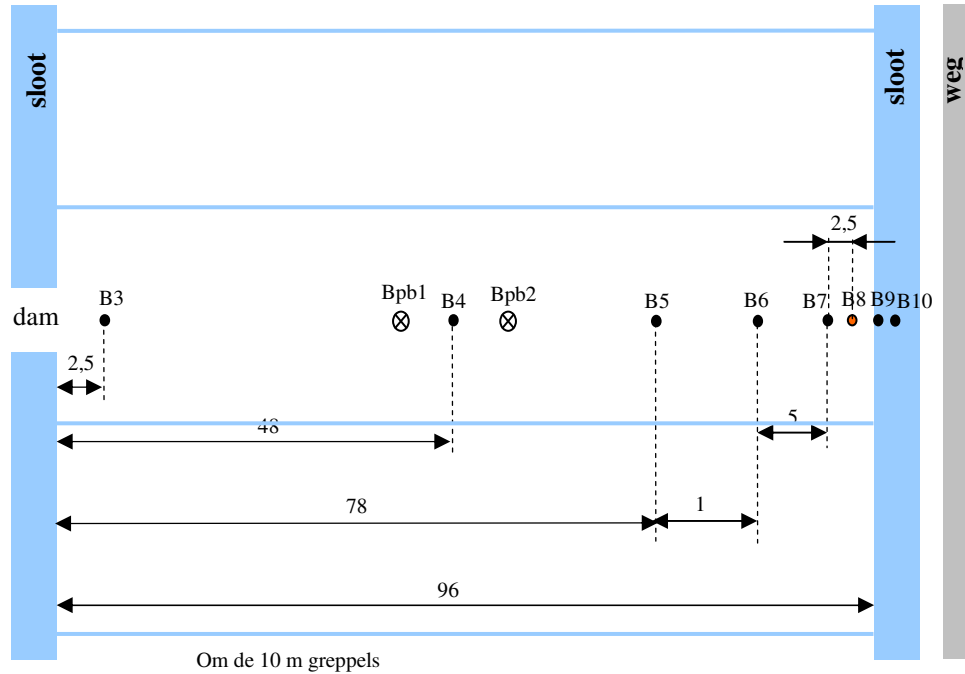
Gebruikte formules (bron: Wirdum, G. van, 1987)

Formatieconstante	afgeleid uit de EC's van bodemonsters
Gecorrigeerde EC	afgelezen EC * formatieconstante
Omrekeningsfactor	gebaseerd op de ijkljn van de verhouding prikstok/dompelcel
Cl-gehalte	$35,5 * 0,75 * 0,1 * (\text{bepaling omrekeningsfactor}/10) * (1000 * \text{gecorrigeerde EC})$

K.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel A**K.8 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel A**

L Perceel B

L.1 Perceeltekening perceel B



Diver: Geen
Grondmonster: B4 70 – 80 cm - maaiveld
Slootpeil: Niet ingemeten

Grondwaterstanden cm-maaiveld:	Diepte peilbuisfilter cm-maaiveld:
B3: 46 (49)	Bpb1: 200 - 250
B4: 38 (51)	Bpb2: 150 - 200
B5: 42 (70)	Bpbdiep: 588 - 638
B6: 40 (67)	
B7: 55 (78)	

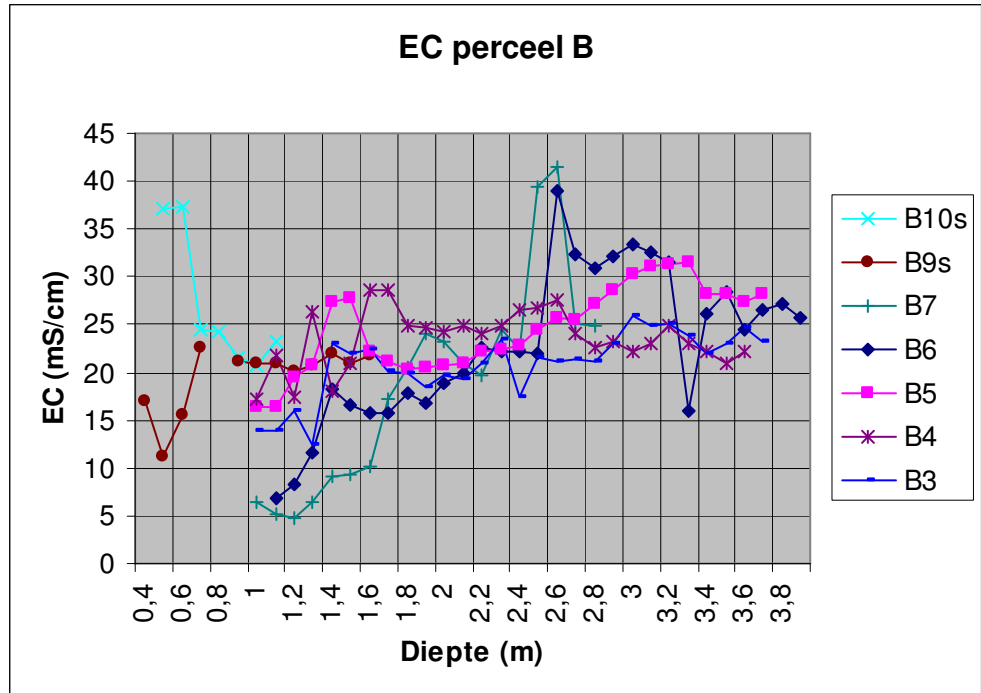
Maaiveldhoogte t.o.v. B4 cm

B3 (boorpunt): - 17,2
B4 (boorpunt): 0
B5 (boorpunt): - 4,7
B6 (boorpunt): - 8,1
B7 (boorpunt): - 12,6
B8 (rand maaiveld): - 22,3
B9 (slootpeil): - 108,7 (-108,5)
B10 (slootbodemp): - 159

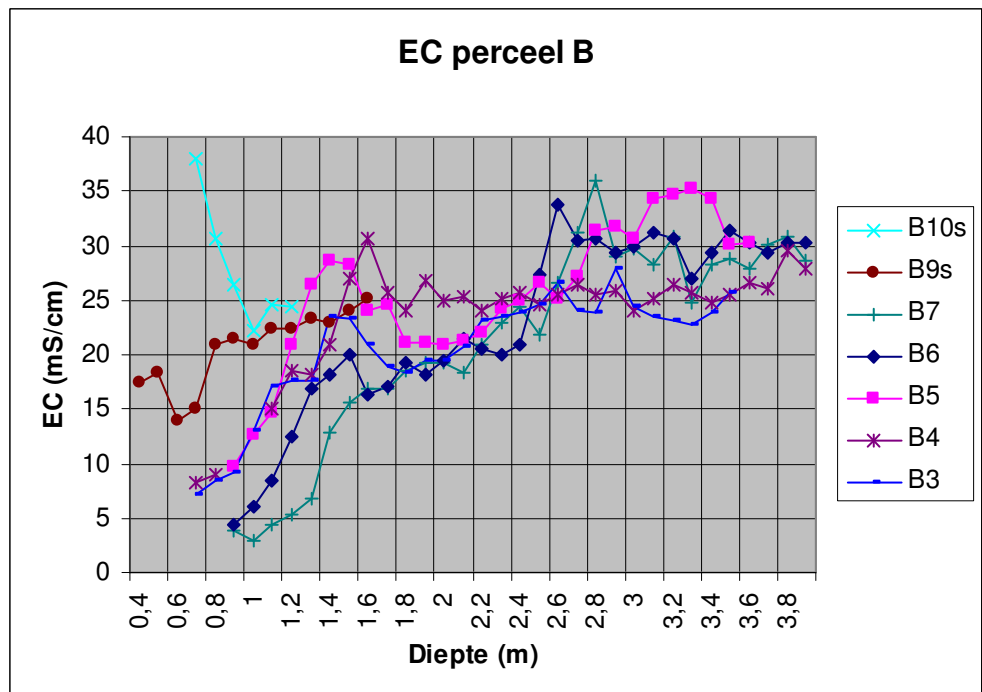
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 75
- Afstand tot zee (km): 3,73
- Aan de andere kant van de weg ligt perceel C.
- De waardes van de tweede serie zijn in het rood aangegeven.

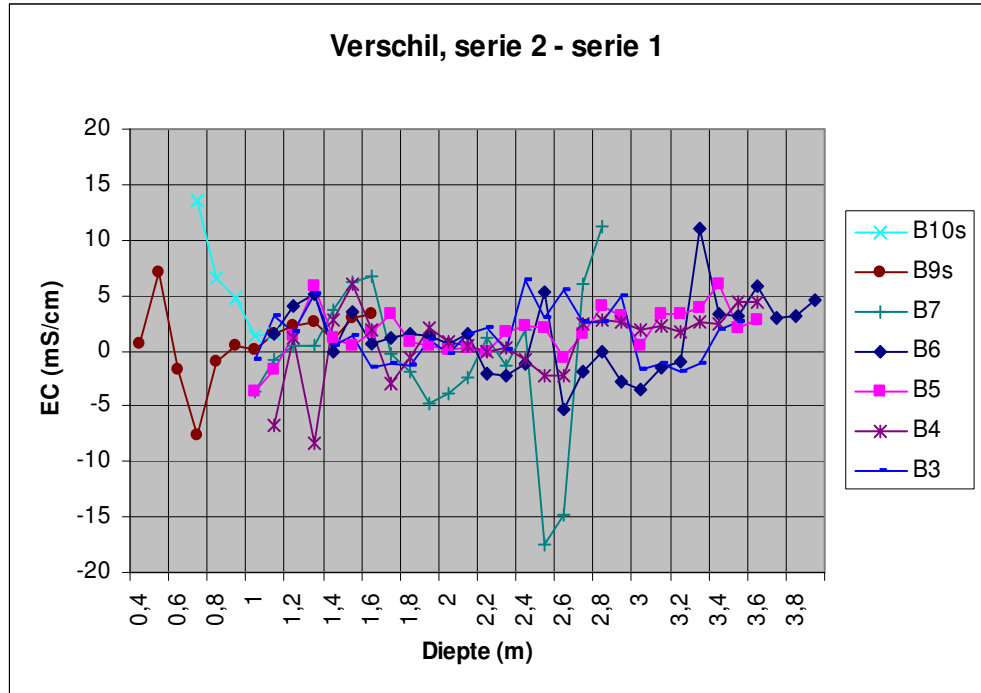
L.2 EC-waarden eerste serie perceel B



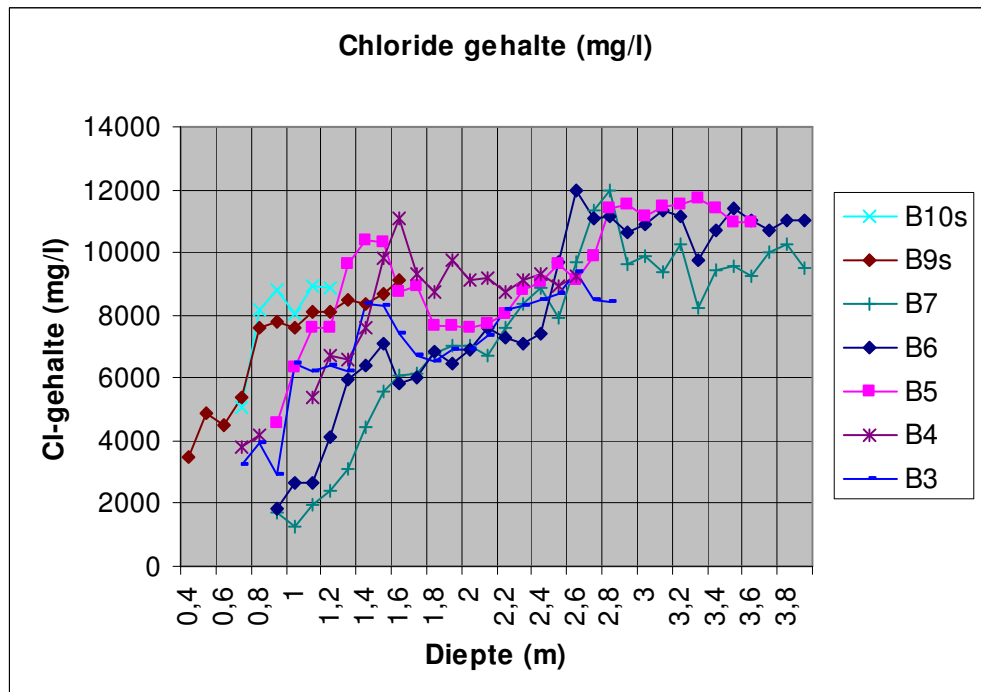
L.3 EC-waarden tweede serie perceel B

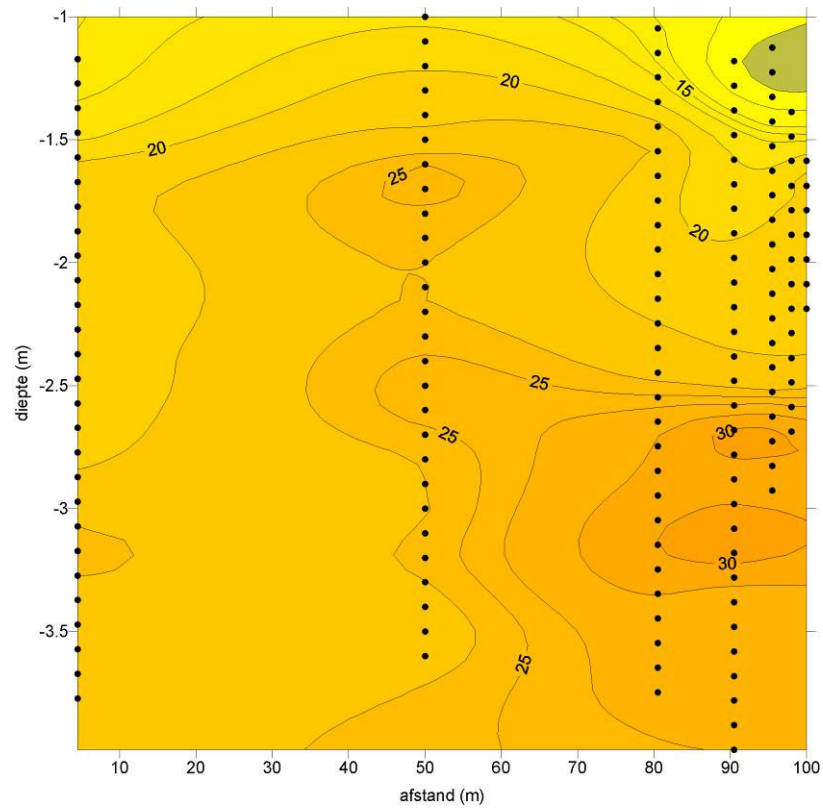
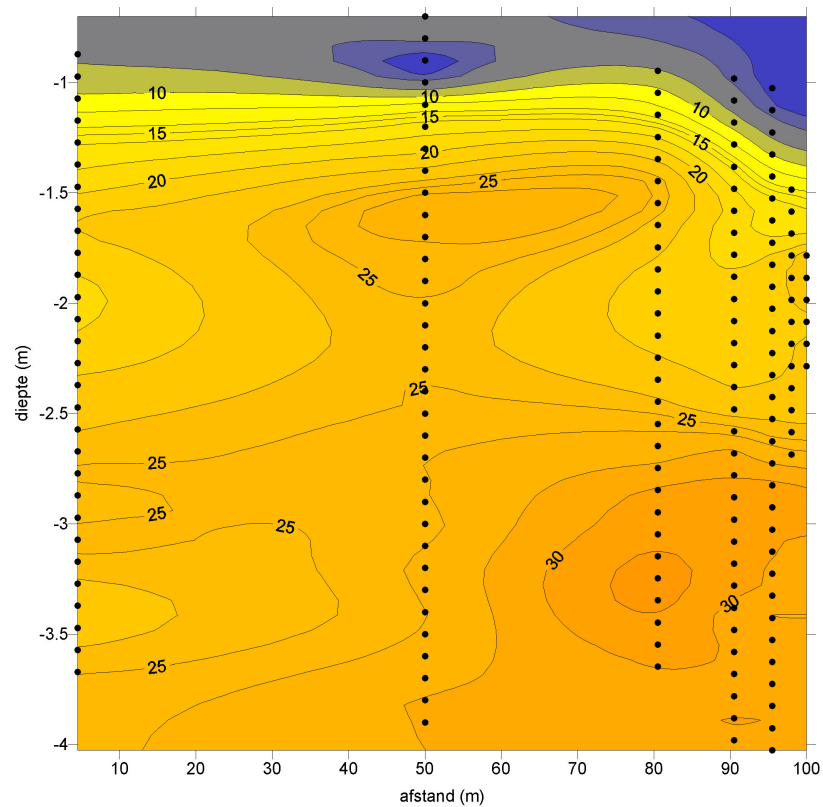


L.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel B



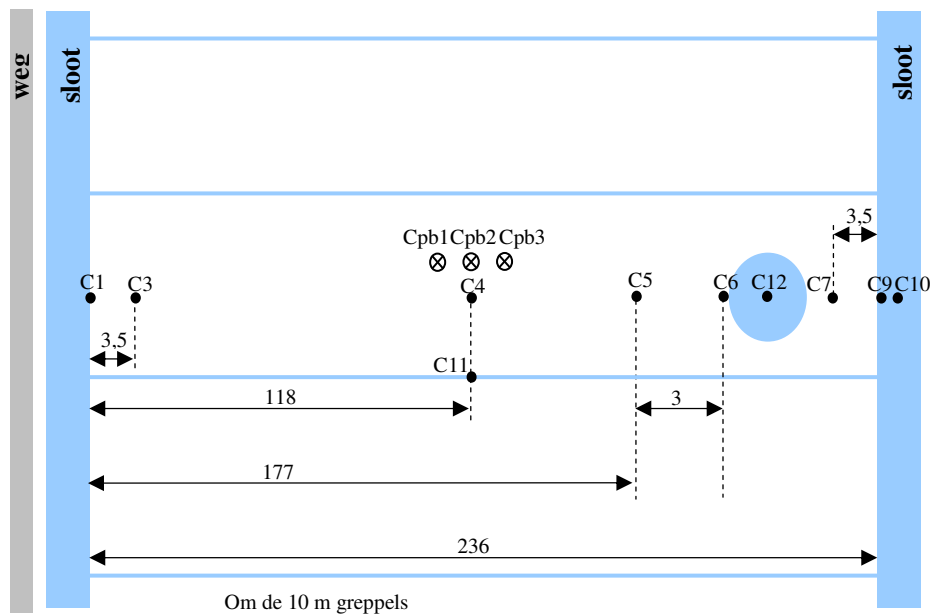
L.5 Chloride gehalten serie 2 perceel B



L.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel B**L.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel B**

M Perceel C

M.1 Perceeltekening perceel C

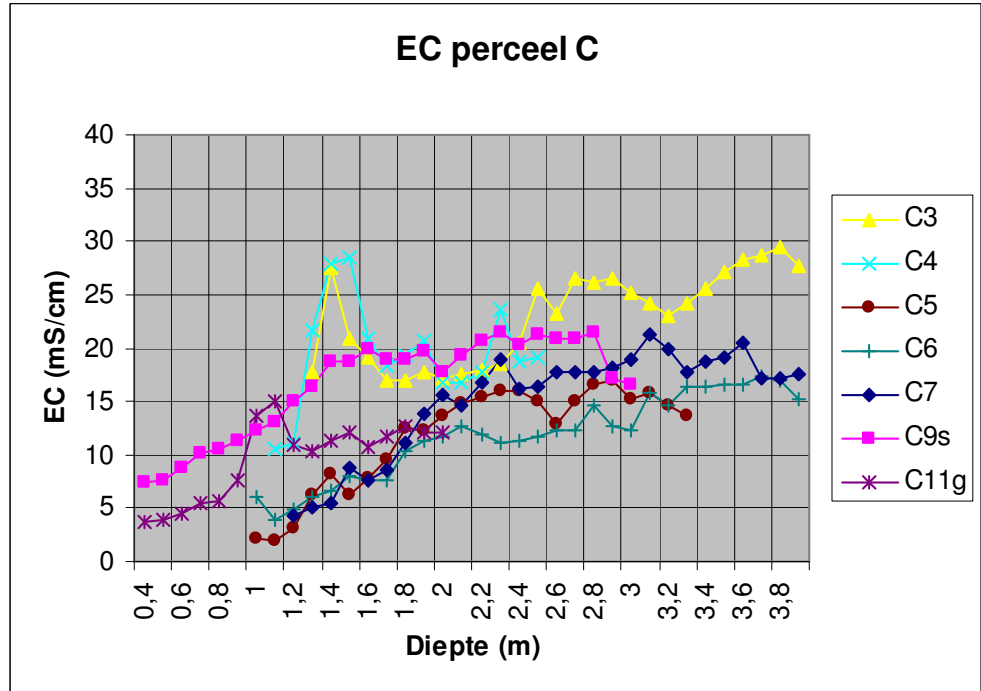


Diver:	Cpb2 150 cm - dop peilbuis	Maaiveldhoogte t.o.v. C4 cm
Grondmonster:	C4 50 - 60 cm - maaiveld	C1 (slootpeil): - 105,5 (-102,8)
Slootpeil:	77 (74) cm vanaf bovenkant bruggetje rechts naast paal	C3 (boorpunt): -12,7
		C4 (boorpunt): 0
		C5 (boorpunt): - 3,1
		C6 (boorpunt): - 34
		C7 (boorpunt): - 28,7
Grondwaterstanden	Diepte peilbuisfilter	C9 (slootpeil): - 104 (-102,3)
cm - maaiveld	cm - maaiveld	C10 (slootbodem): - 161,1
C3: 30 (58)	Cpb1: 100 - 200	C11 (peil greppel): - 33,5
C4: 20 (54)	Cpb2: 150 - 250	C12 (peil dobbe): - 73,3 (-76,4)
C5: 27 (67)	Cpb3: 200 - 300	
C6: 20 (49)		
C7: 24 (55)		

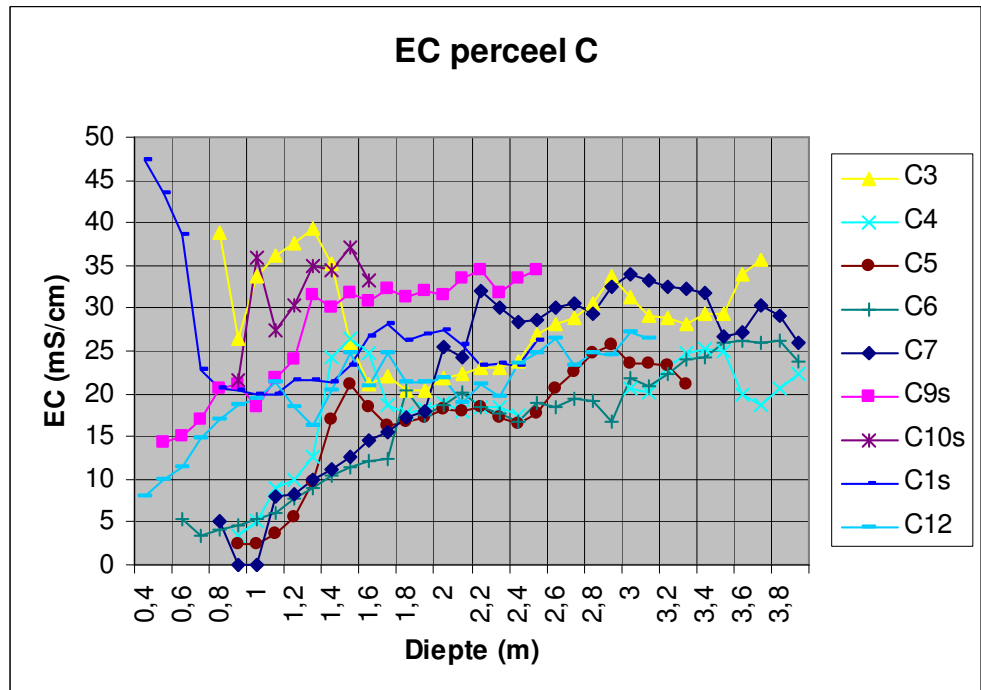
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 70
- Afstand tot zee (km): 3,46
- Boorpunt C6 ligt aan de rand van de dobbe (veedrinkplaats).
- Aan de andere kant van de weg ligt perceel B.
- De waarden van de tweede serie zijn in het rood aangegeven.

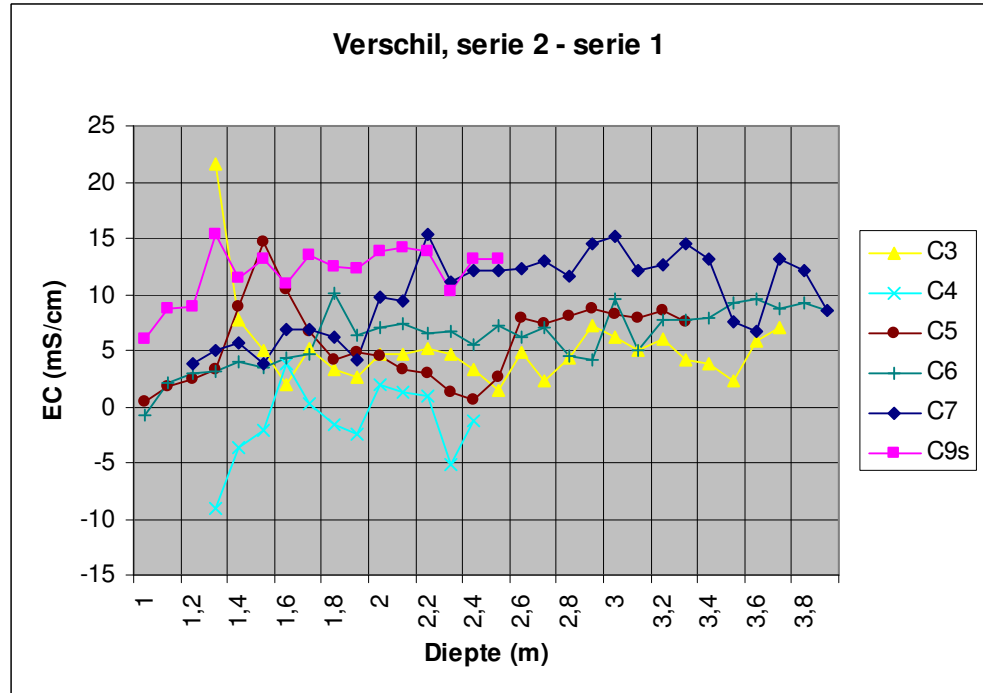
M.2 EC-waarden eerste serie perceel C



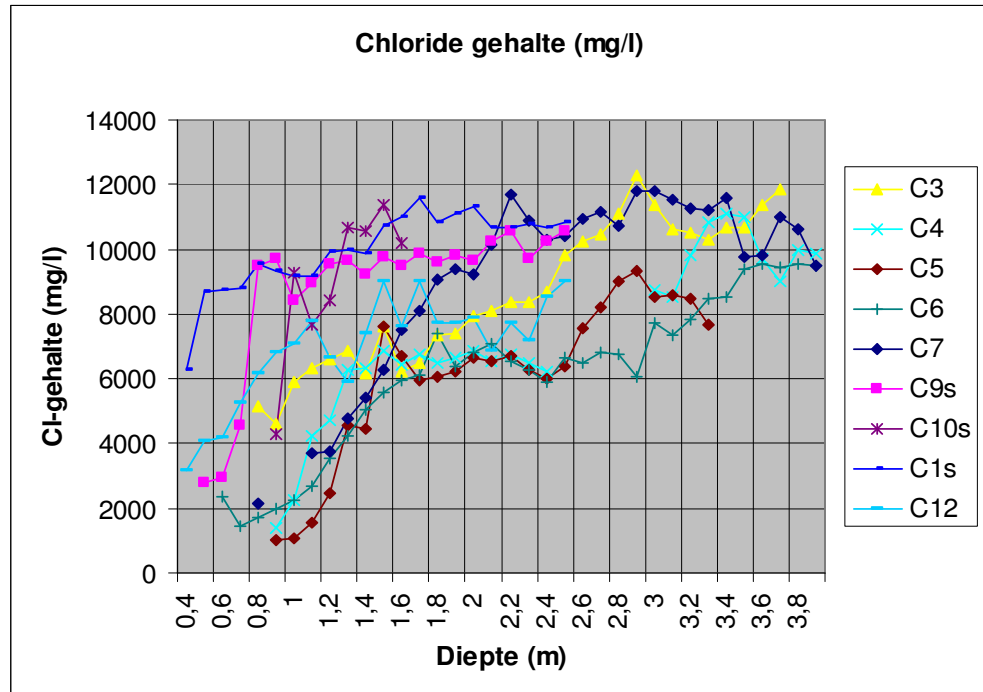
M.3 EC-waarden tweede serie perceel C

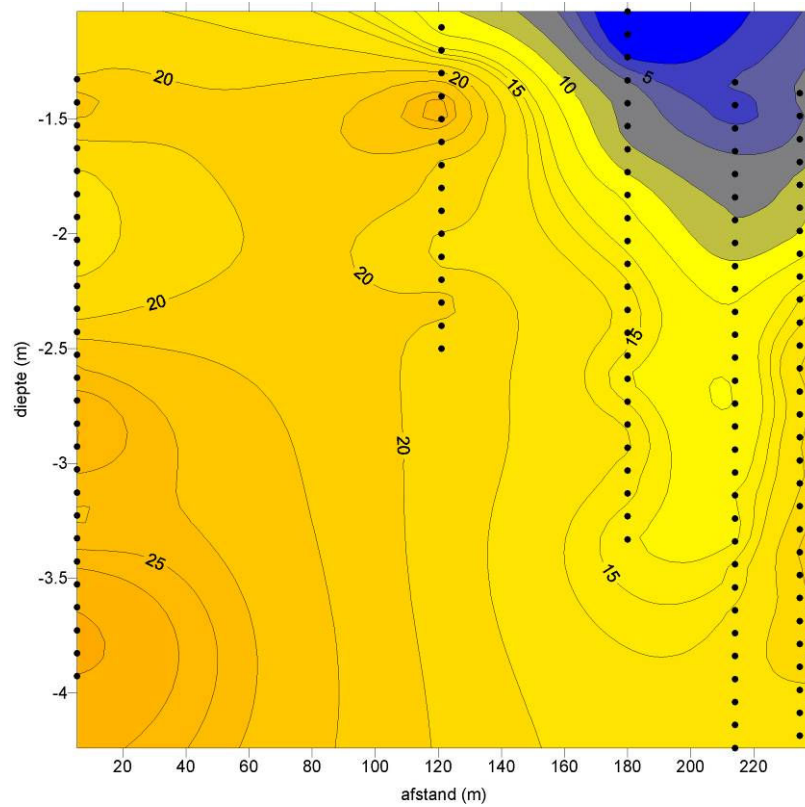
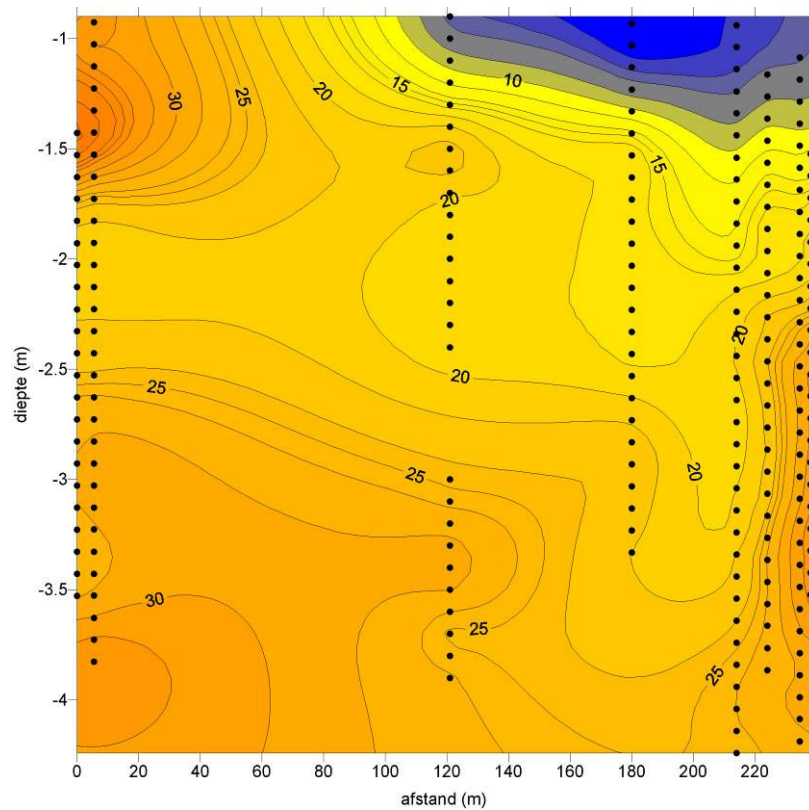


M.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel C



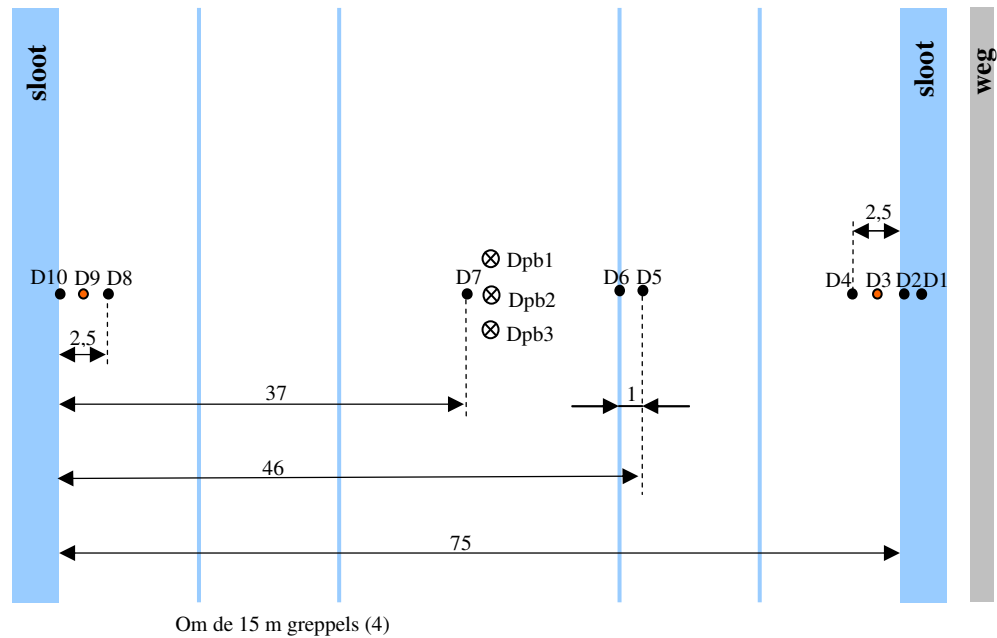
M.5 Chloride gehalten serie 2 perceel C



M.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel C**M.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel C**

N Perceel D

N.1 Perceeltekening perceel D



Diver: Geen
Grondmonster: D7 55 – 65 cm – maaiveld
Slootpeil: niet ingemeten

Grondwaterstanden cm – maaiveld	Diepte peilbuisfilter cm – maaiveld
D4: 33 (60)	Dpb1: 200 - 250
D5: 17 (36)	Dpb2: 150 - 200
D7: 8 (32)	Dpb3: 100 - 150
D8: 51 (38)	

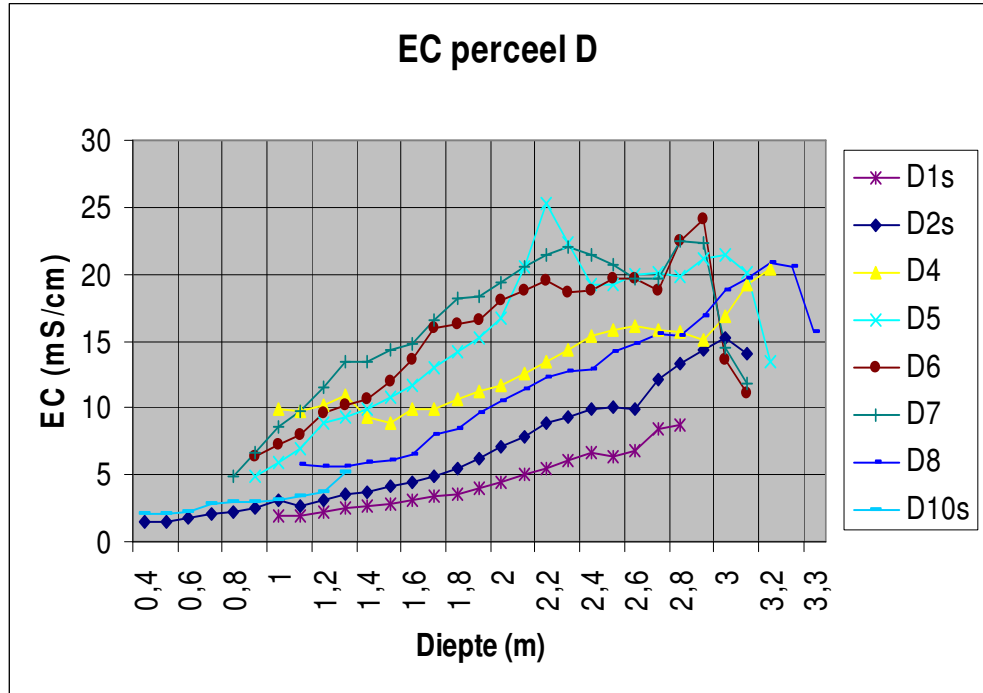
**Hoogte t.o.v. D7
cm**

D1 (slootbodem): - 99,8
 D2 (slootpeil): - 11,1 (-23,2)
 D3 (rand maaiveld): 10,9
 D4 (boorpunt): 17,5
 D5 (boorpunt): 1,3
 D6 (greppelpeil): - 15,2
 D7 (boorpunt): 0
 D8 (boorpunt): 12,7
 D9 (rand maaiveld): 7,4
 D10 (slootpeil): - 11,8 (-23,3)
 D10 (slootbodem): - 77,4

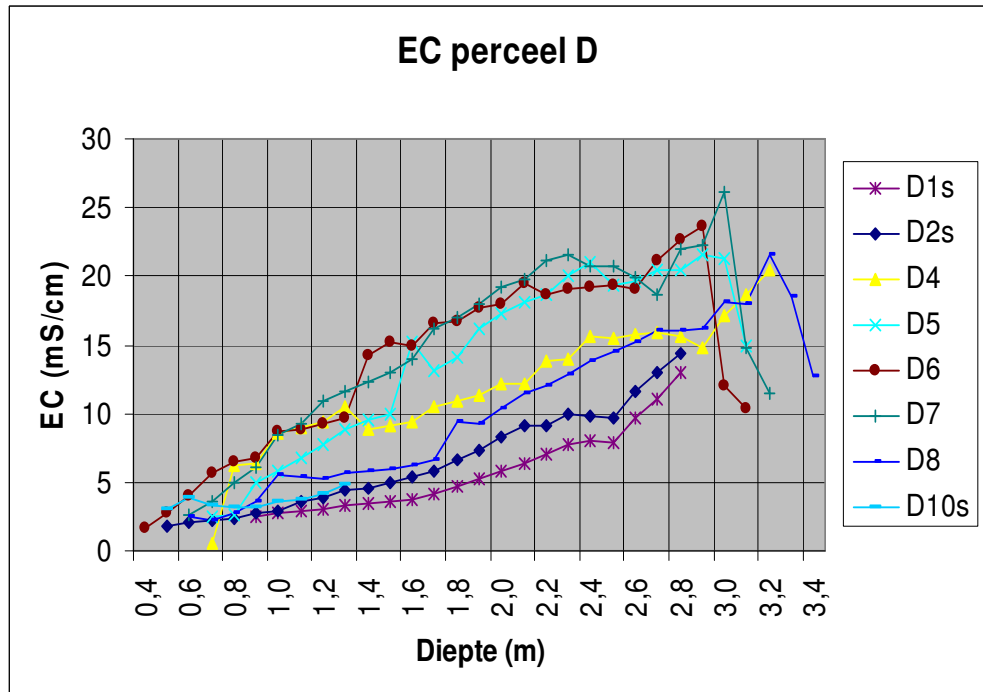
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 130
- Afstand tot zee (km): 6,03
- Het midden van dit perceel ligt 3,4 cm hoger dan het midden van perceel E dat aan de andere kant van de weg ligt.
- De sloot van dit perceel ligt 37,7 (31,3) hoger dan de sloot van perceel E.
- De waardes van de tweede serie zijn in het rood aangegeven.

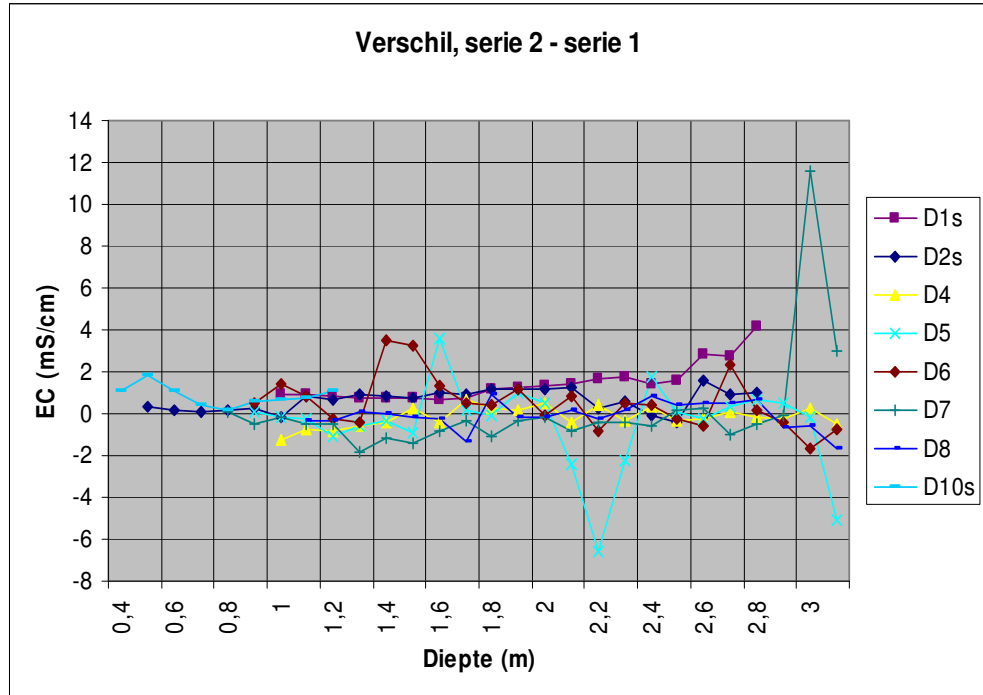
N.2 EC-waarden eerste serie perceel D



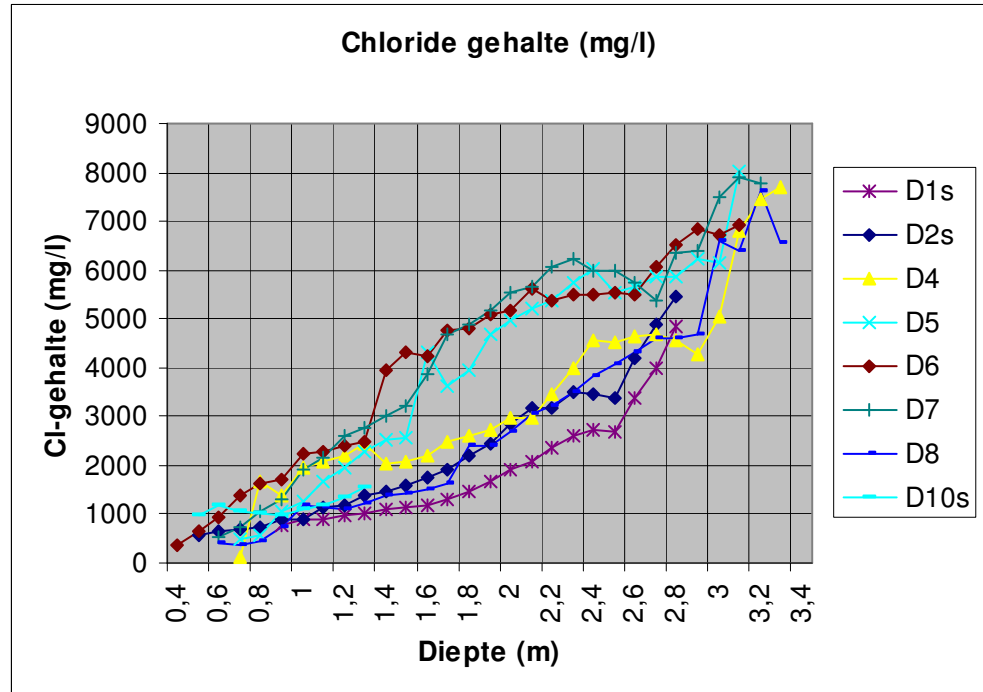
N.3 EC-waarden tweede serie perceel D

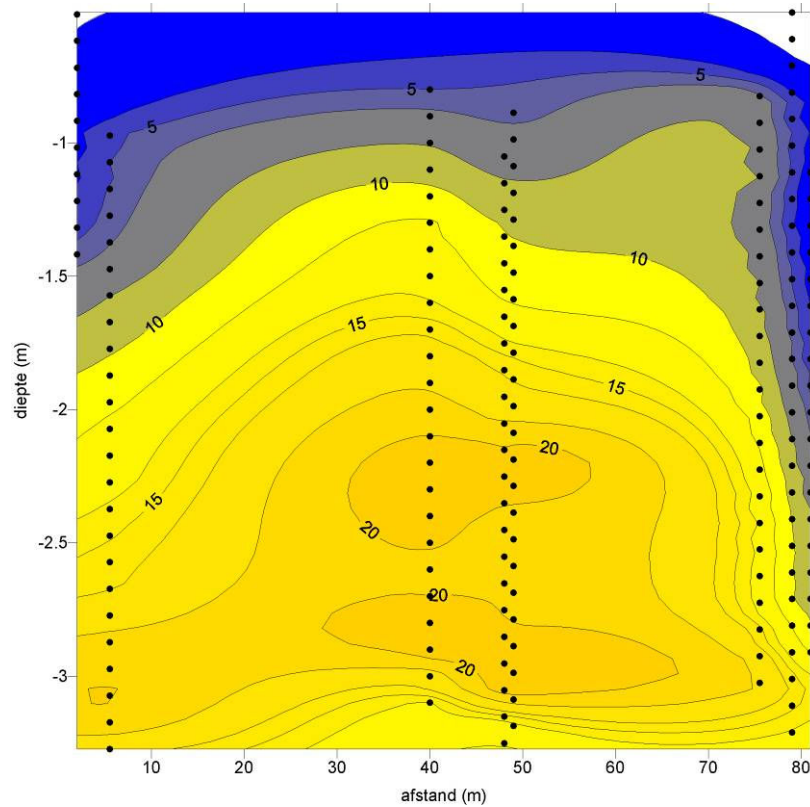
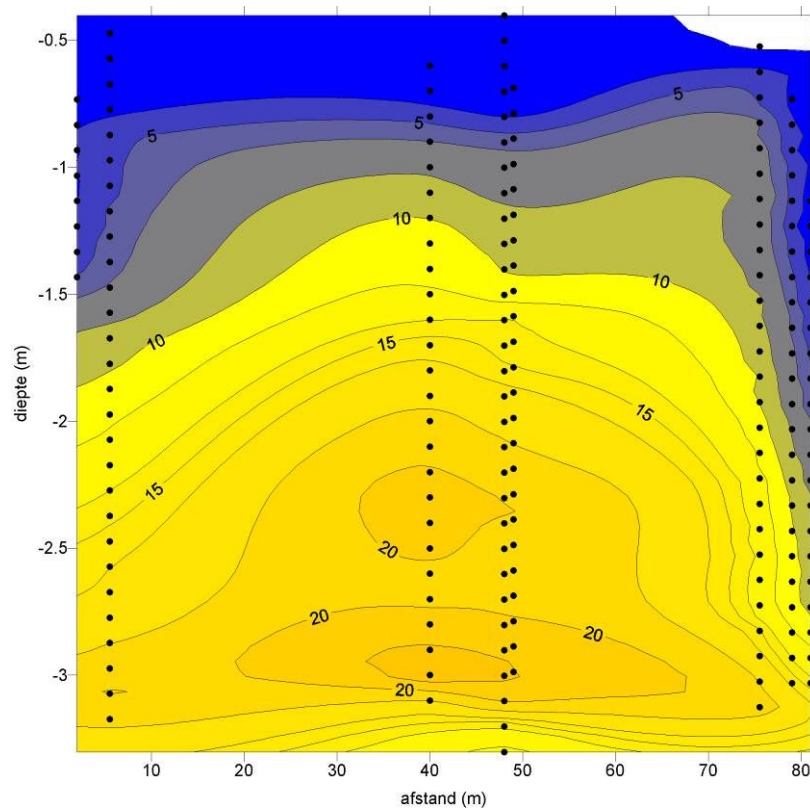


N.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel D



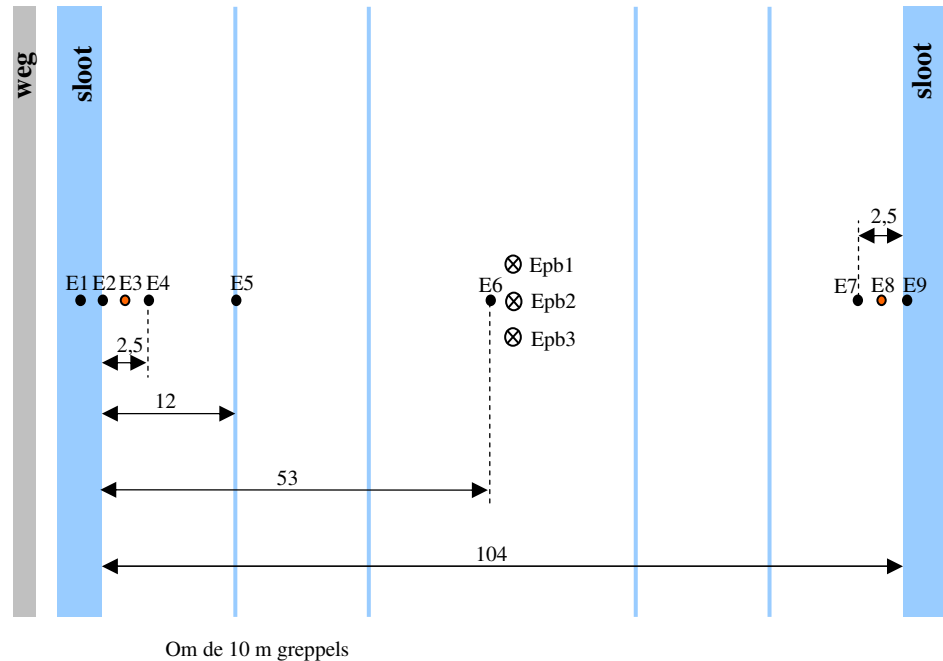
N.5 Chloride gehalten serie twee perceel D



N.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel D**N.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel D**

O Perceel E

O.1 Perceeltekening perceel E



Diver: Epb2 150 cm – dop peilbuis
Grondmonster: E6 70 – 80 cm - maaiveld
Slootpeil: 40 (47) cm t.o.v. bovenste rand duiker in dam

Grondwaterstanden cm – maaiveld	Diepte peilbuisfilter cm – maaiveld
E4: 28 (49)	Epb1: 200 - 250
E6: 18 (34)	Epb2: 150 - 200
E7: 8 (33)	Epb3: 100 - 150

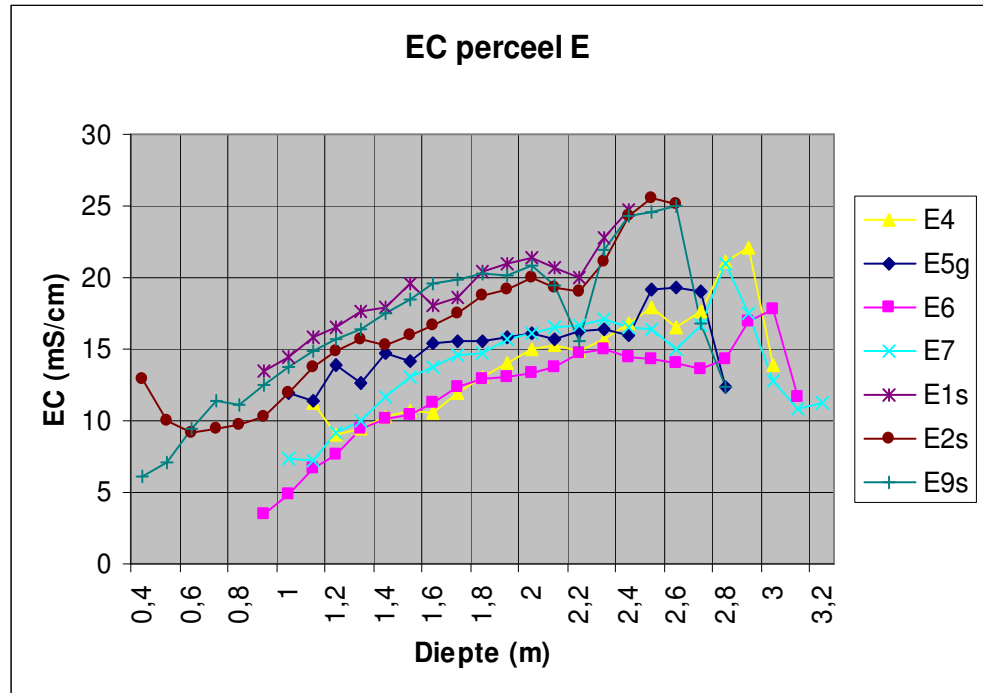
**Hoogte t.o.v. E6
cm**

E1 (slootbodem): - 125,6
E2 (slootpeil): - 45,4 (-50,6)
E3 (rand maaiveld): - 0,3
E4 (boorpunt): 0,4
E5 (greppelpeil): - 27,4
E6 (boorpunt): 0
E7 (boorpunt): - 1,3
E8 (rand maaiveld): - 11,8
E9 (slootpeil): - 45,8 (-51,4)
E9 (slootbodem): - 95,8

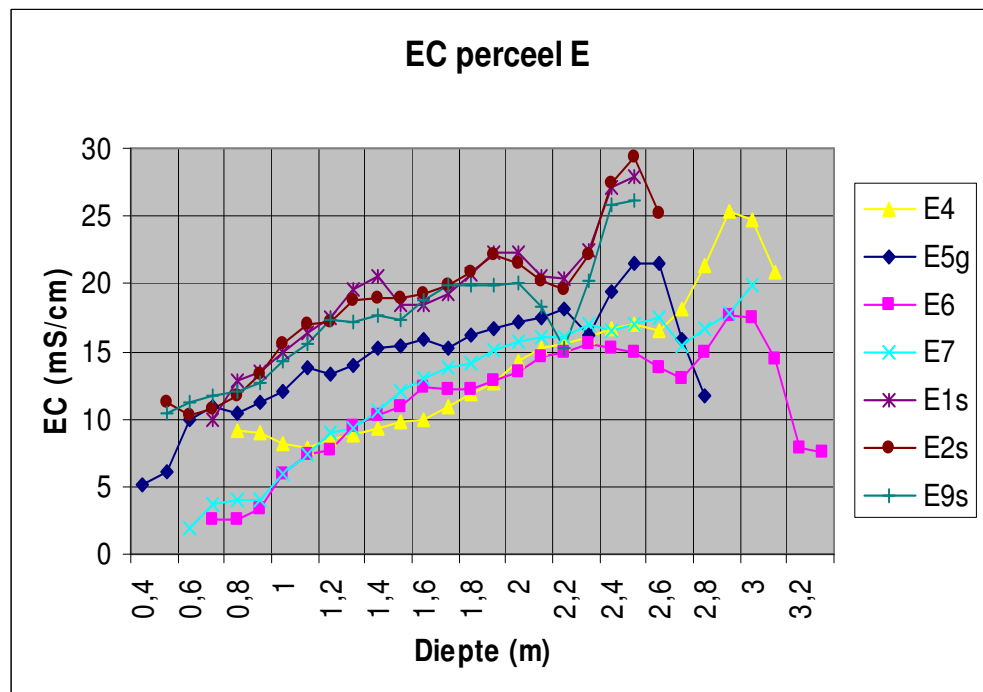
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 135
- Afstand tot zee (km): 6,13
- Het midden van dit perceel ligt 3,4 cm lager dan het midden van perceel D dat aan de andere kant van de weg ligt.
- De sloot van dit perceel ligt 37,7 (31,1) lager dan de sloot van perceel D.
- De waarden van de tweede serie zijn in het rood weergegeven.

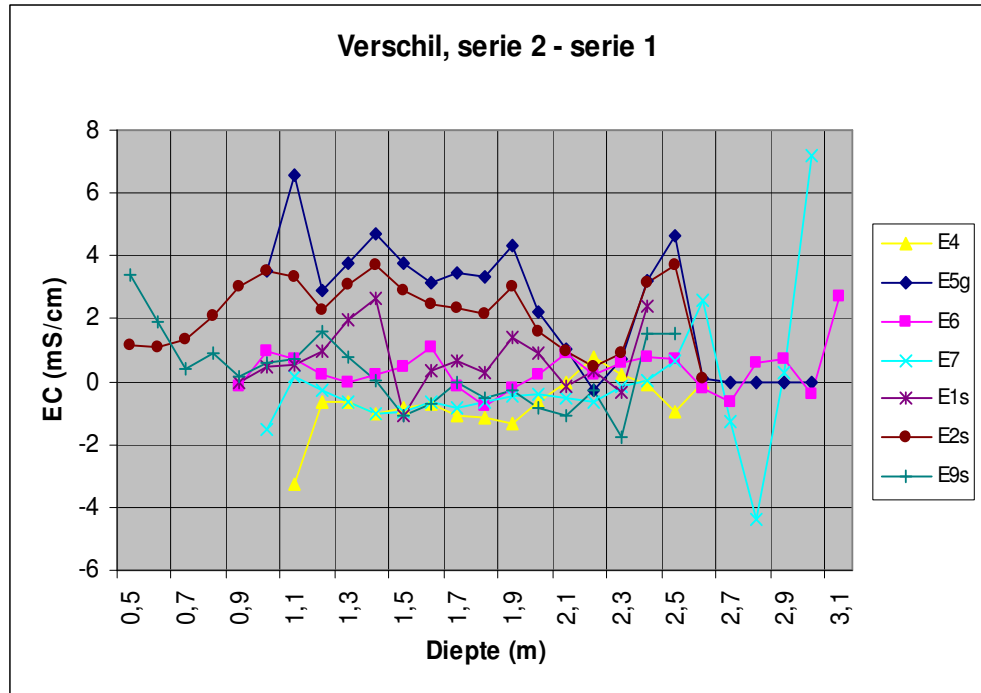
O.2 EC-waarden eerste serie perceel E



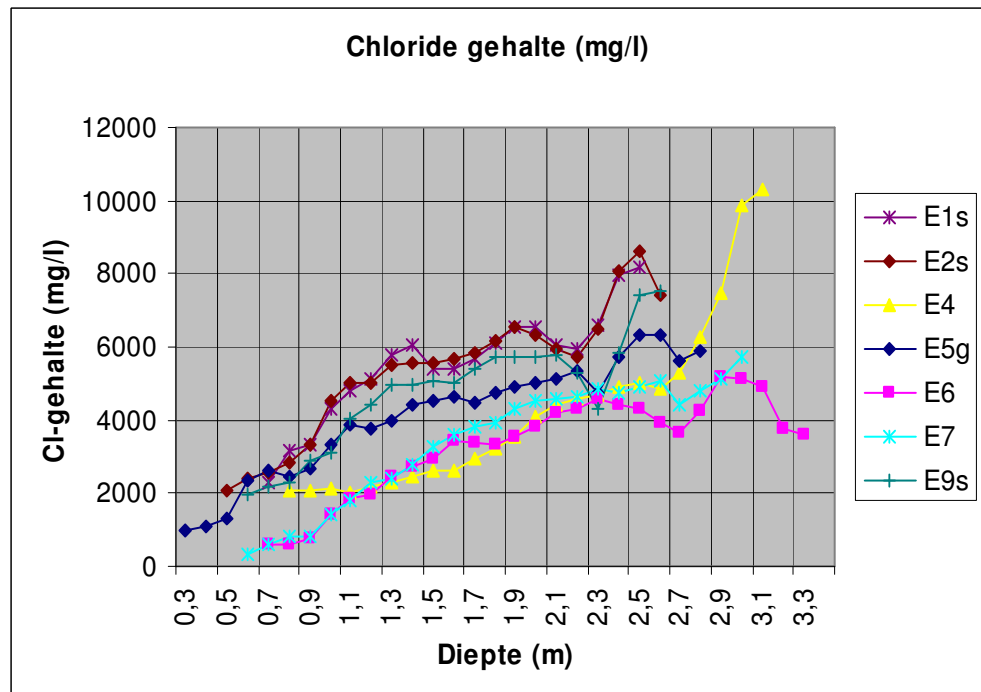
O.3 EC-waarden tweede serie perceel E



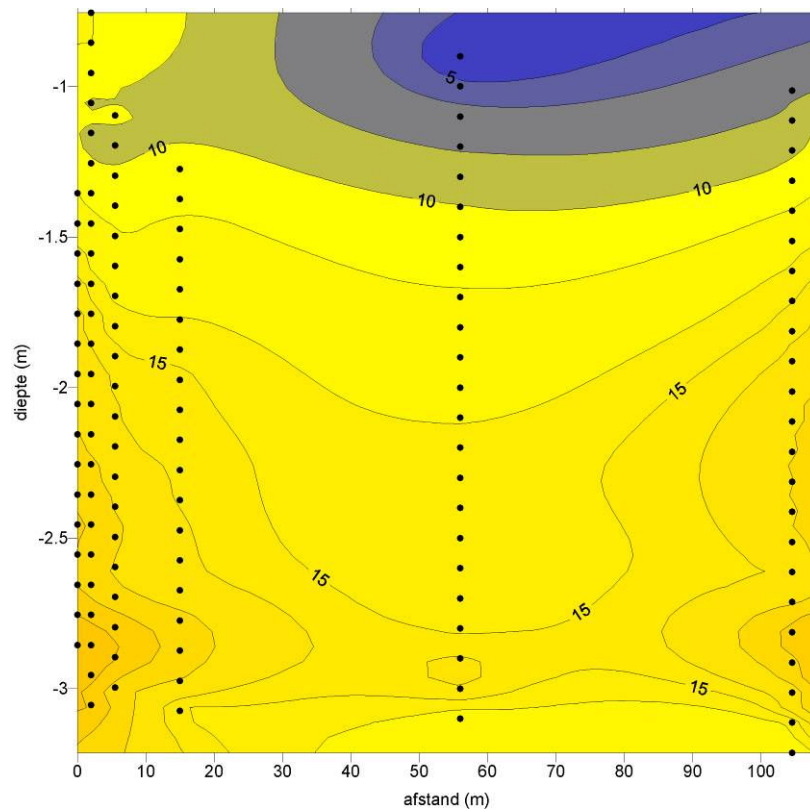
O.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel E



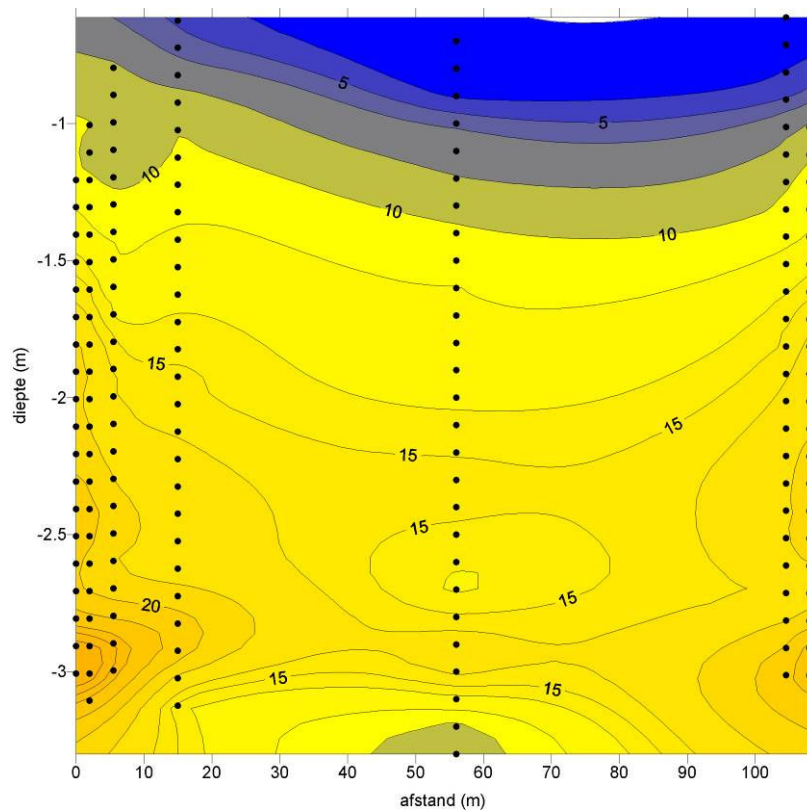
O.5 Chloride gehalten serie twee perceel E



O.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel E

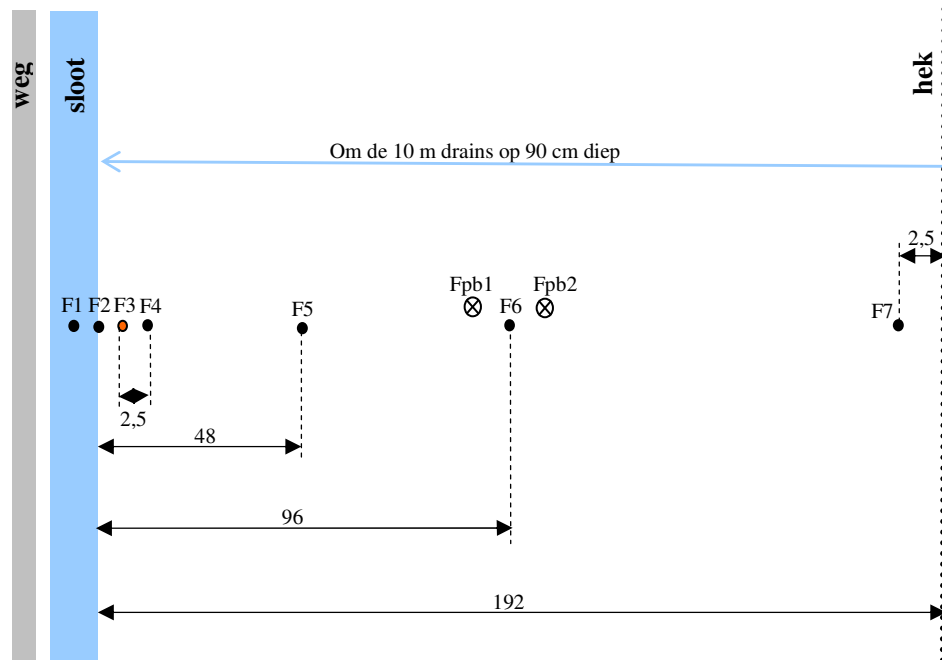


O.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel E



P Perceel F

P.1 Perceeltekening perceel F



Diver: Fpb1 150 cm – dop peilbuis
Grondmonster: F6 50-60
Slootpeil: 65 (62) cm tov zuidkant dam naast ijzeren ding en bij gat

Grondwaterstanden cm – maaiveld	Diepte peilbuisfilter cm – maaiveld
F4: 54 (45)	Fpb1: 180 - 230
F5: 38 (50)	Fpb2: 250 - 300
F6: 42 (43)	
F7: 42 (85)	

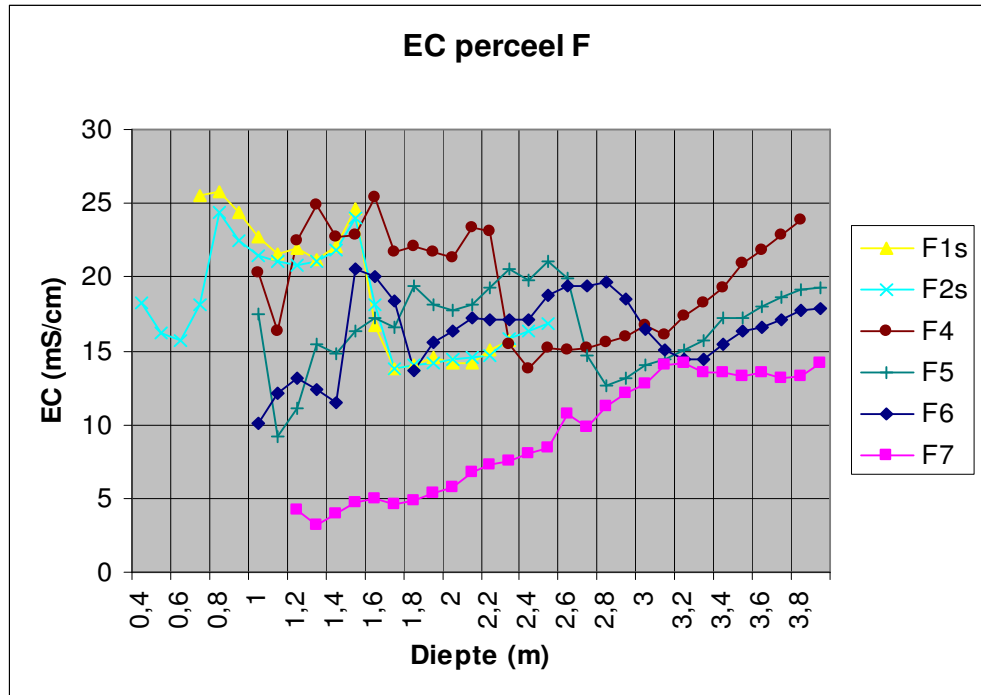
**Maaiveldhoogte t.o.v. F6
cm**

F1 (slootbodem): - 164,7
 F2 (slootpeil): - 106,5 (-109,7)
 F3 (rand maaiveld): - 56,7
 F4 (boorpunt): - 41,9
 F5 (boorpunt): - 6,3
 F6 (boorpunt): 0
 F7 (boorpunt): 17,8

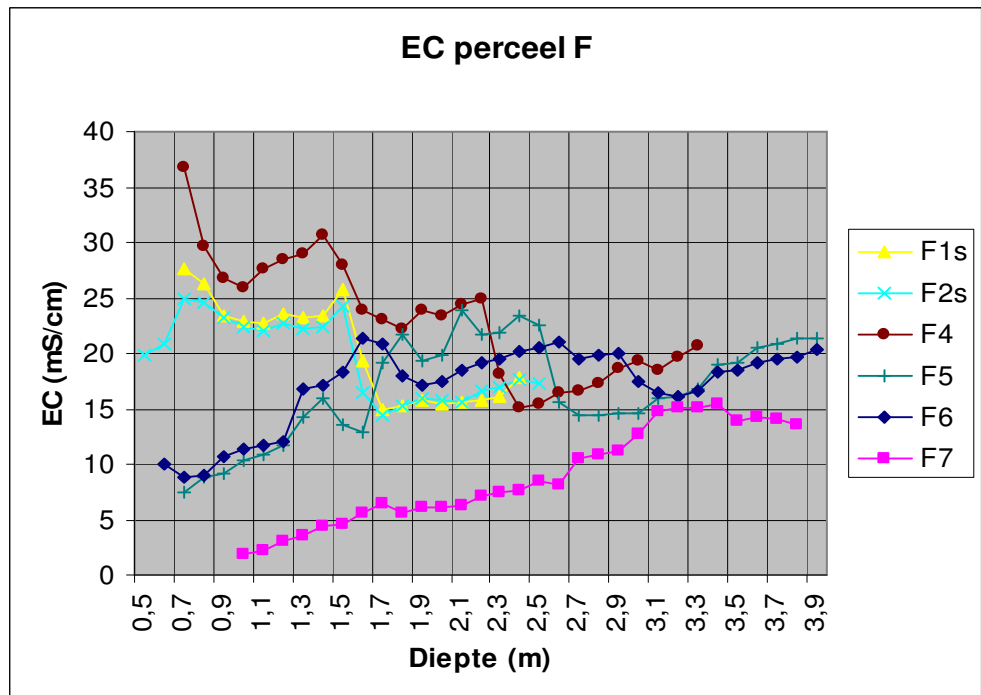
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 80
- Afstand tot zee (km): 5,03
- De eigenaar gaf aan dat er in het perceel grote verschillen waren in zoutgehalte.
- De waarden van de tweede serie zijn in het rood weergegeven.

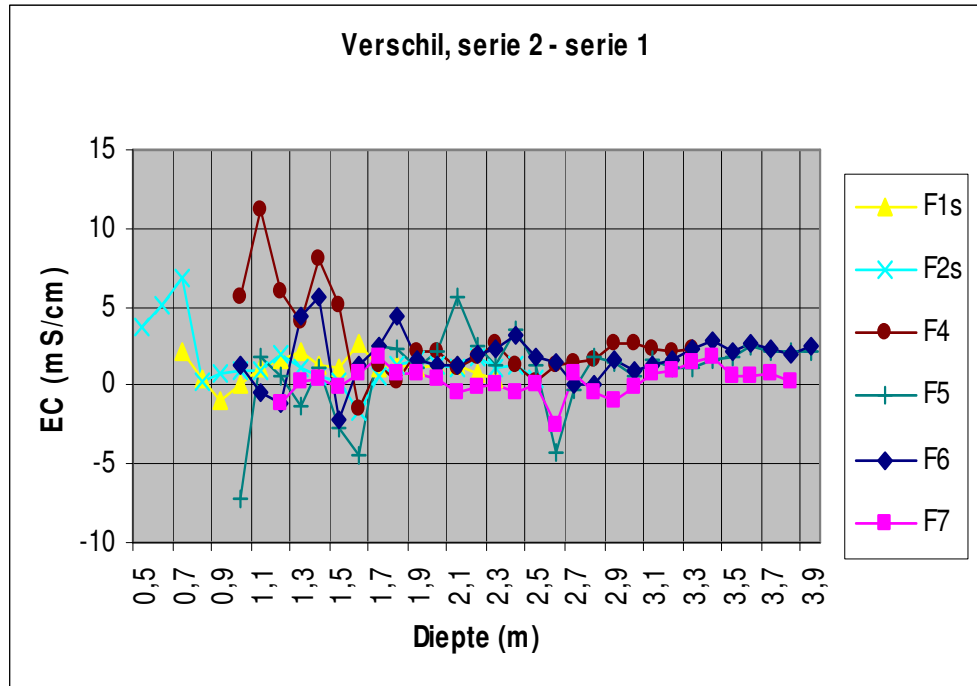
P.2 EC-waarden eerste serie perceel F



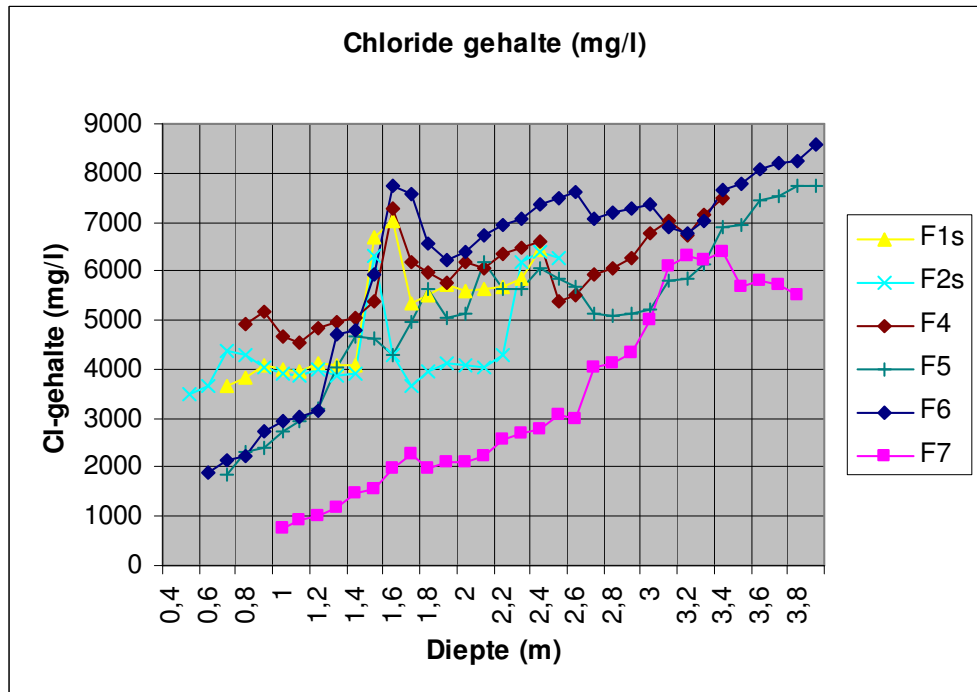
P.3 EC-waarden tweede serie perceel F



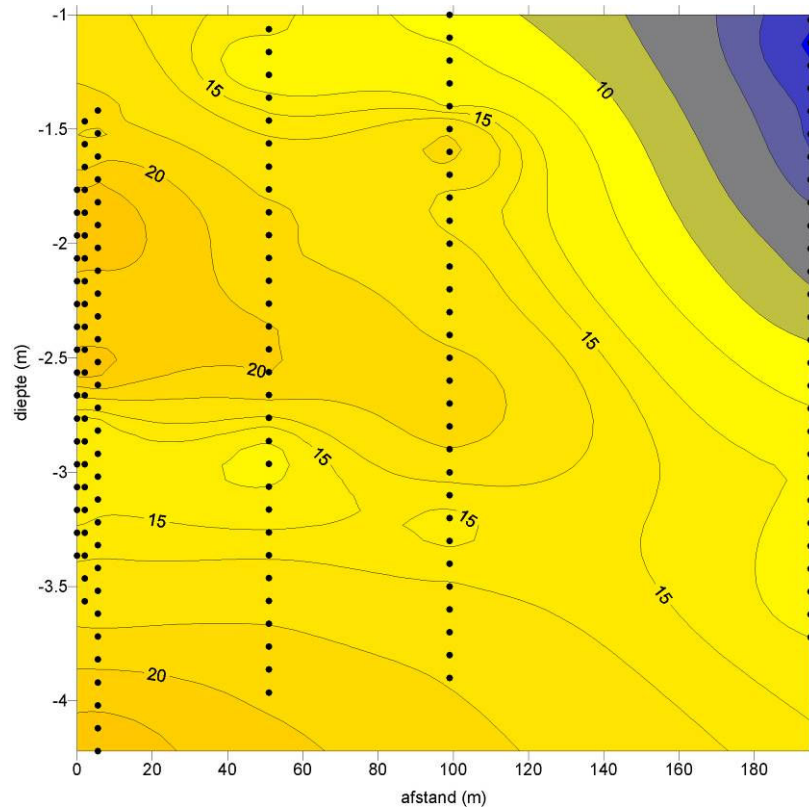
P.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel F



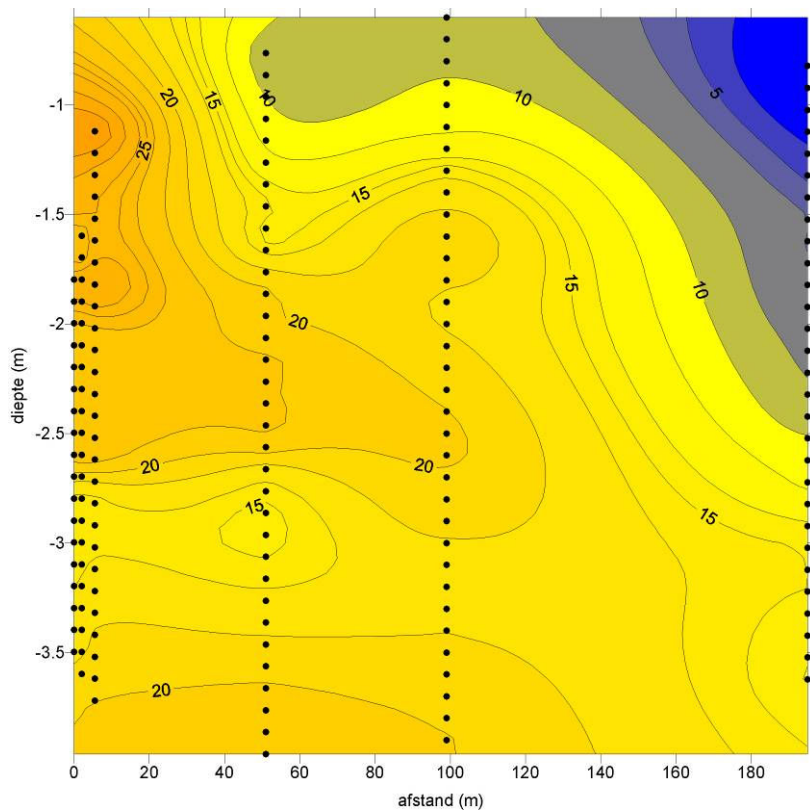
P.5 Chloride gehalten serie 2 perceel F



P.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel F

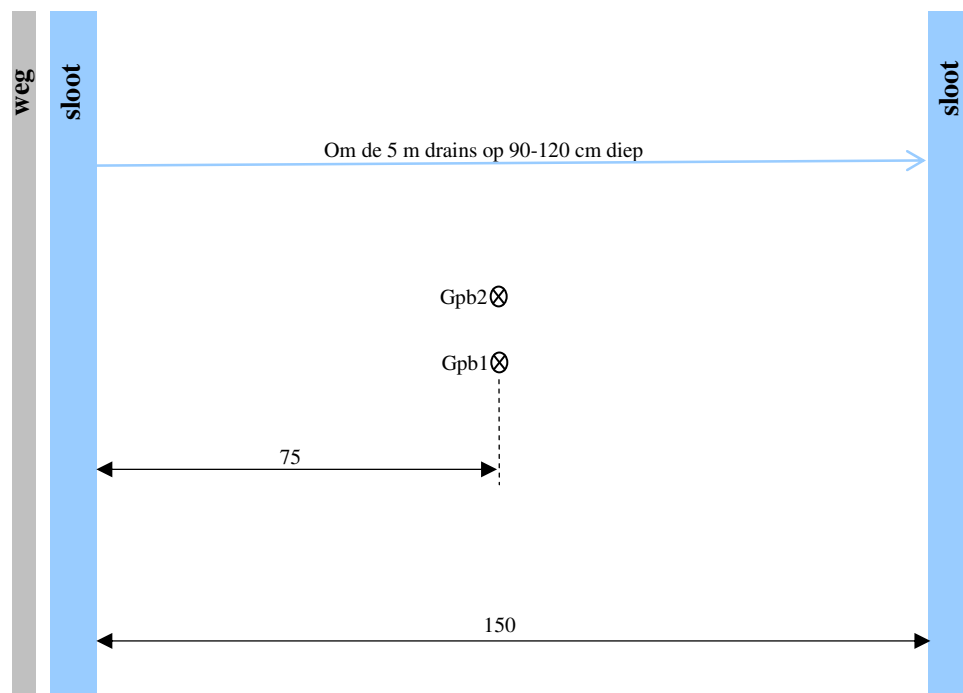


P.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel F



Q Perceel G

Q.1 Perceeltekening perceel G



Diver: Gpb1 150 cm – dop peilbuis

Grondmonster: H4 50 – 60 cm - maaiveld

Slootpeil: niet ingemeten

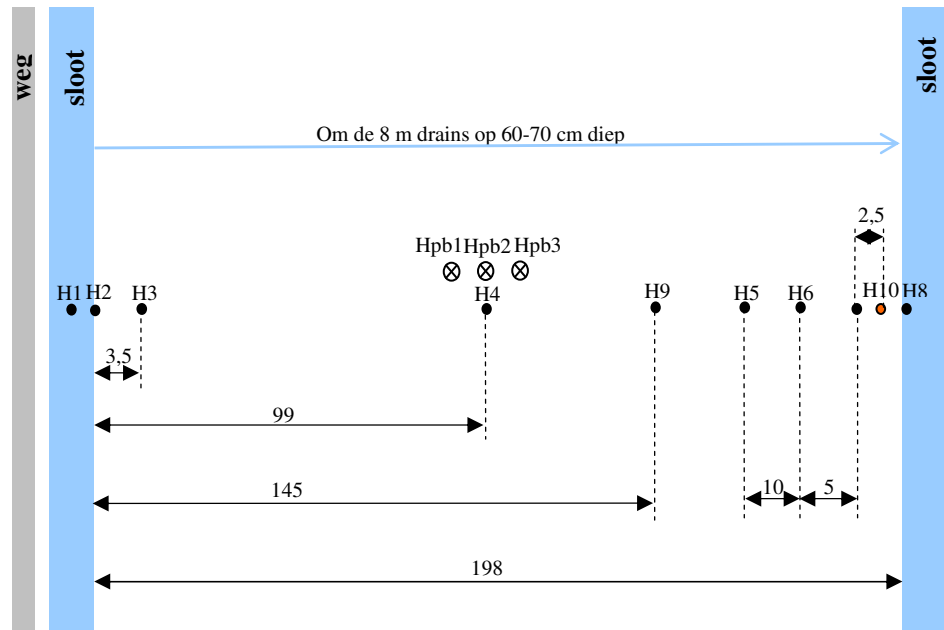
Grondwaterstanden cm – maaiveld	Diepte peilbuisfilter cm – maaiveld	Maaiveldhoogte t.o.v. H4 cm
Gpb1 130	Gpb1: 200 – 250 Gpb2: 140 - 190	geen hoogten gemeten

Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): 80
- Afstand tot zee (km): 1,4
- De zandige ondergrond maakte werk met prikstok onmogelijk.
- Perceel is ingezaaid met wintertarwe.
- De waardes van de tweede serie zijn in het rood weergegeven.

R Perceel H

R.1 Perceeltekening perceel H



Diver: Hpb2 200 cm – dop peilbuis
Grondmonster: H4 50 – 60 cm - maaiveld
Slootpeil: Niet ingemeten

Grondwaterstanden cm – maaiveld	Diepte peilbuisfilter cm – maaiveld
H3: 37 (52)	Hpb1: 250 - 300
H4: 43 (88)	Hpb2: 200 - 250
H5: 61 (85)	Hpb3: 150 - 200
H6: 39	
H7: 42	

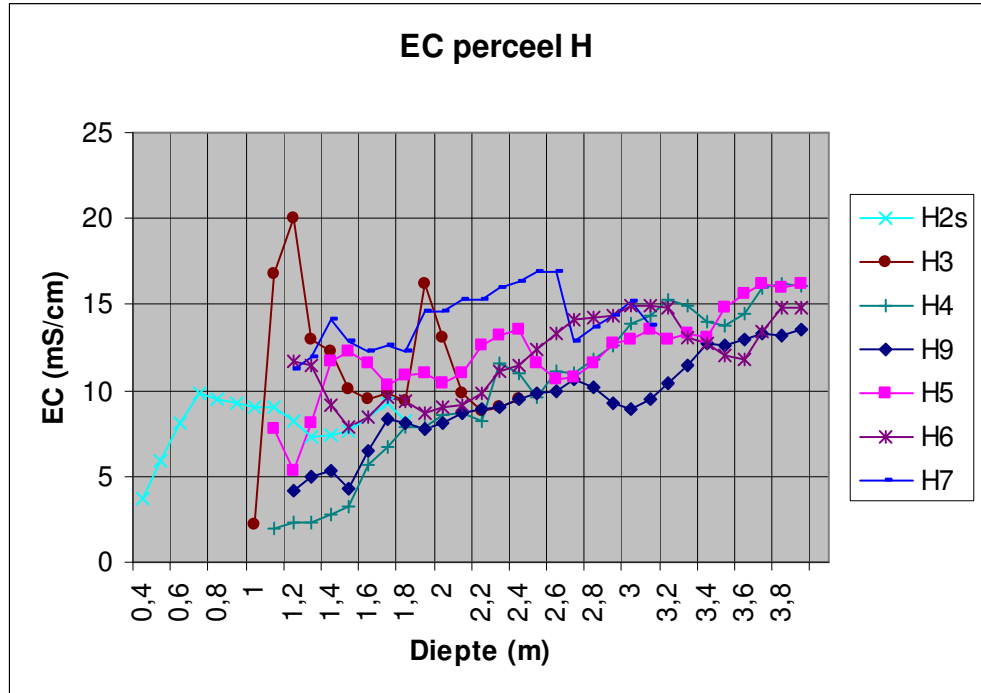
Maaiveldhoogte t.o.v. H4 cm

H1 (slootbodem): - 155
 H2 (slootpeil): - 93,5 (-99,8)
 H3 (boorpunt): - 40,4
 H4 (boorpunt): 0
 H5 (boorpunt): - 10,1
 H6 (boorpunt): - 21,3
 H7 (boorpunt): - 31,4
 H8 (slootpeil): - 93,2 (-93)
 H8 (slootbodem): - 145
 H9 (boorpunt): - 9,1
 H10 (rand maaiveld): - 42,2

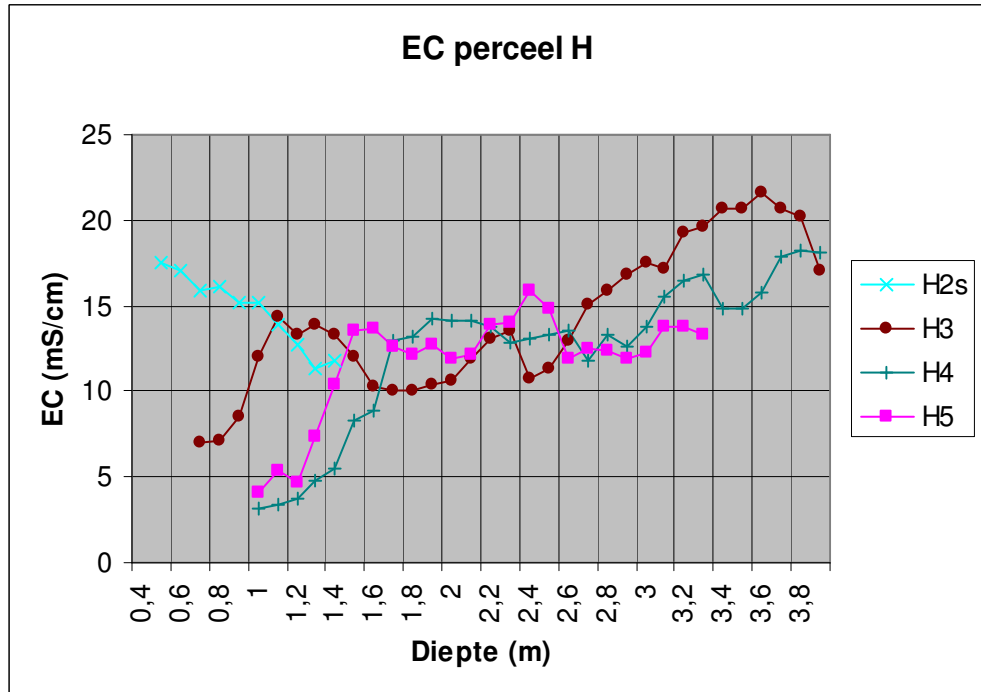
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 90
- Afstand tot zee (km): 4,28
- Boorpunt H9 ligt t.p.v. een dichtgegooide dobbe (veedrinkplaats). Op het maaiveld stond hier tijdens de eerste meetserie een hoefijzervormige plas.
- Aan de andere kant van de sloot (rechts) ligt perceel A.
- De waarden van de tweede meetserie zijn in het rood weergegeven.

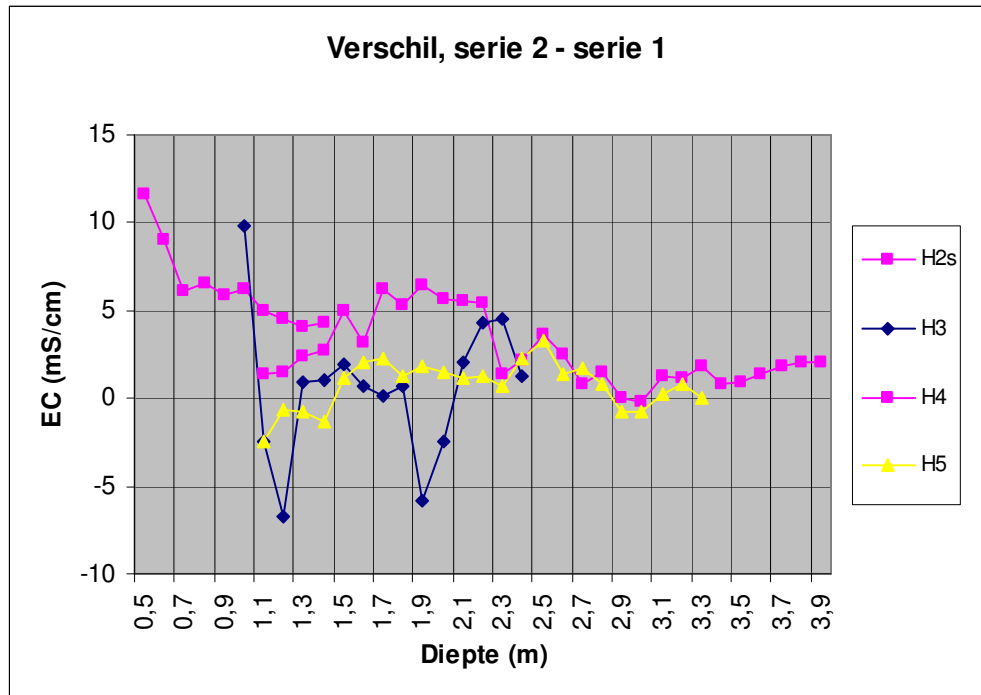
R.2 EC-waarden eerste serie perceel H



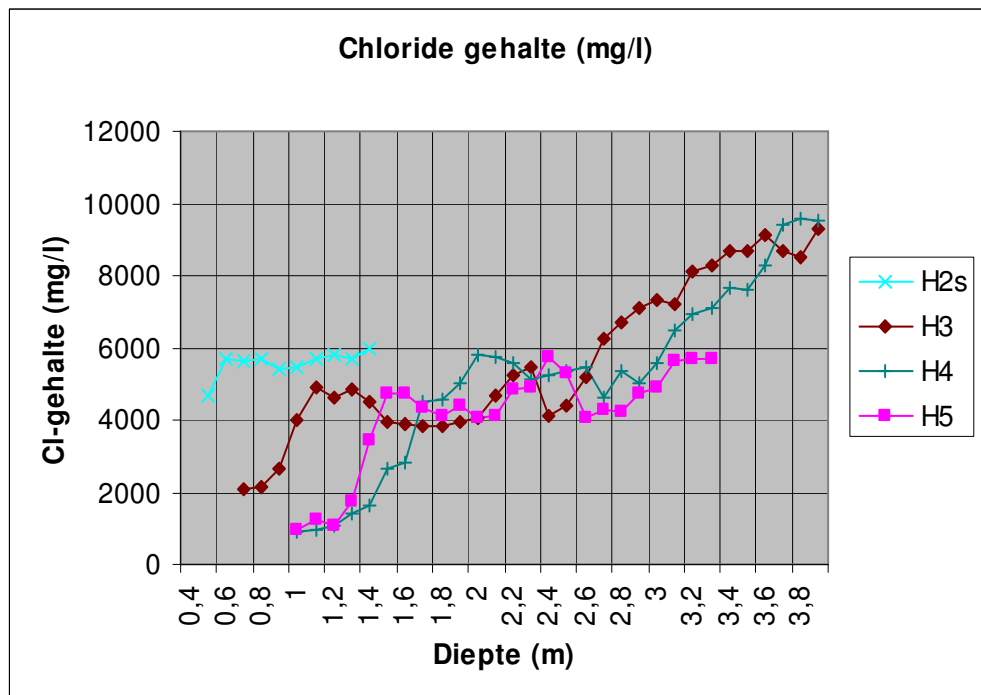
R.3 EC-waarden tweede serie perceel H



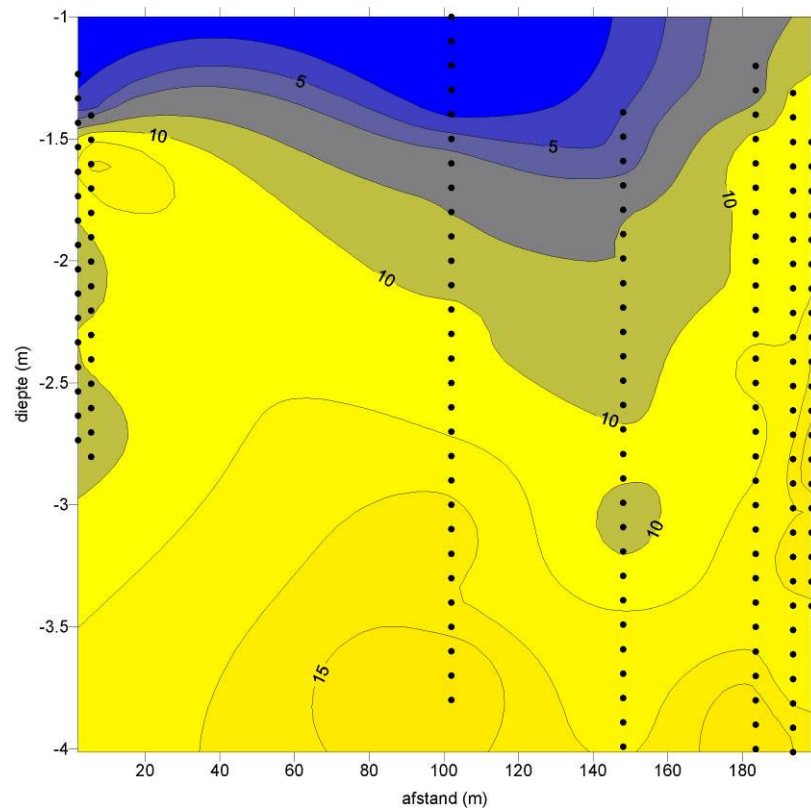
R.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel H



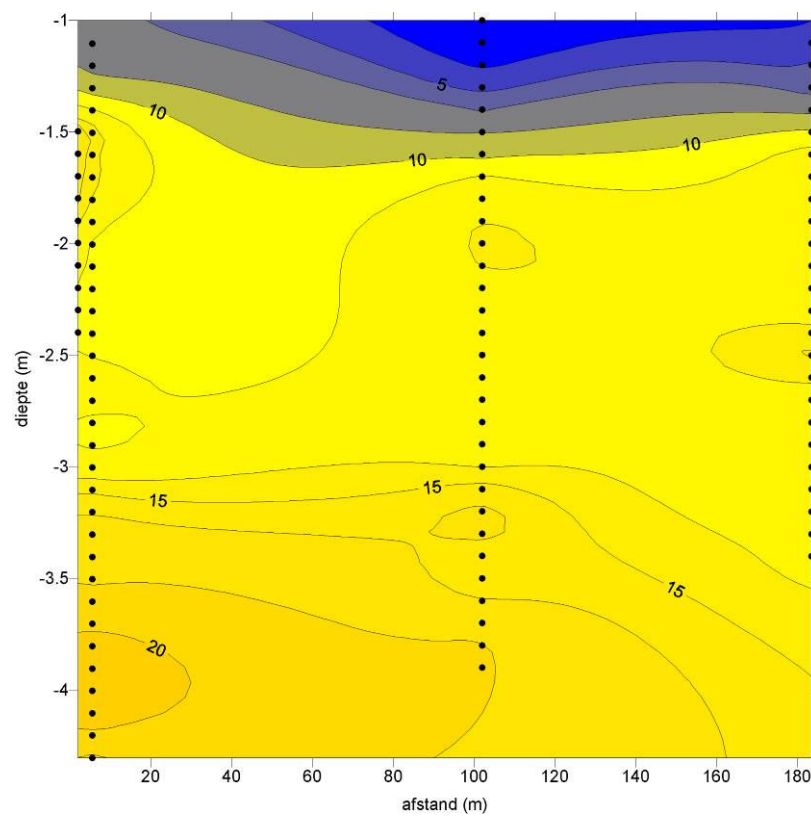
R.5 Chloride gehalten serie 2 perceel H



R.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel H

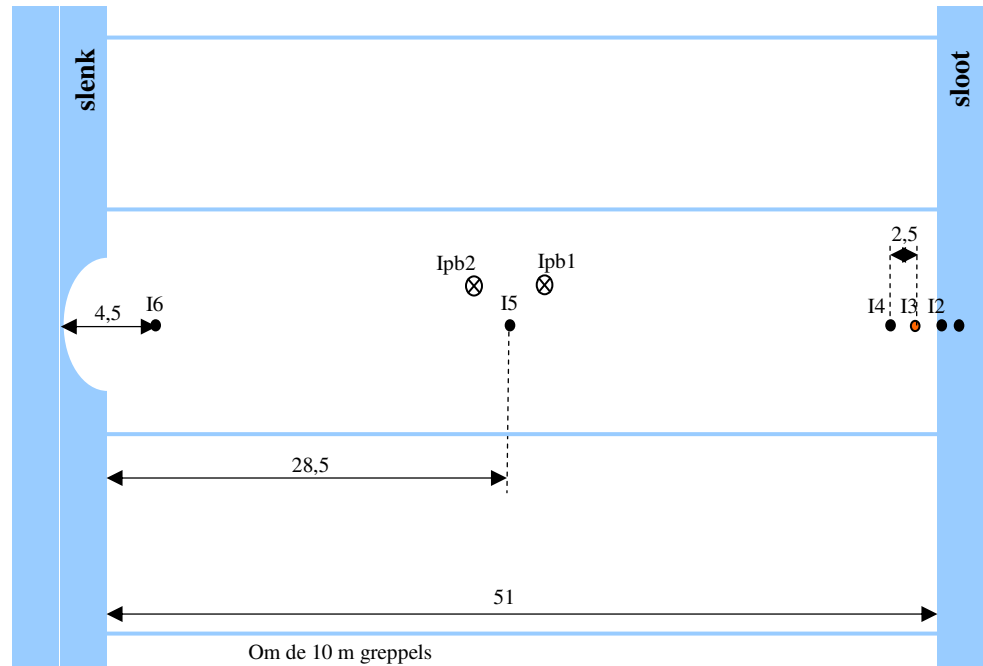


R.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel H



S Perceel I

S.1 Perceeltekening perceel I



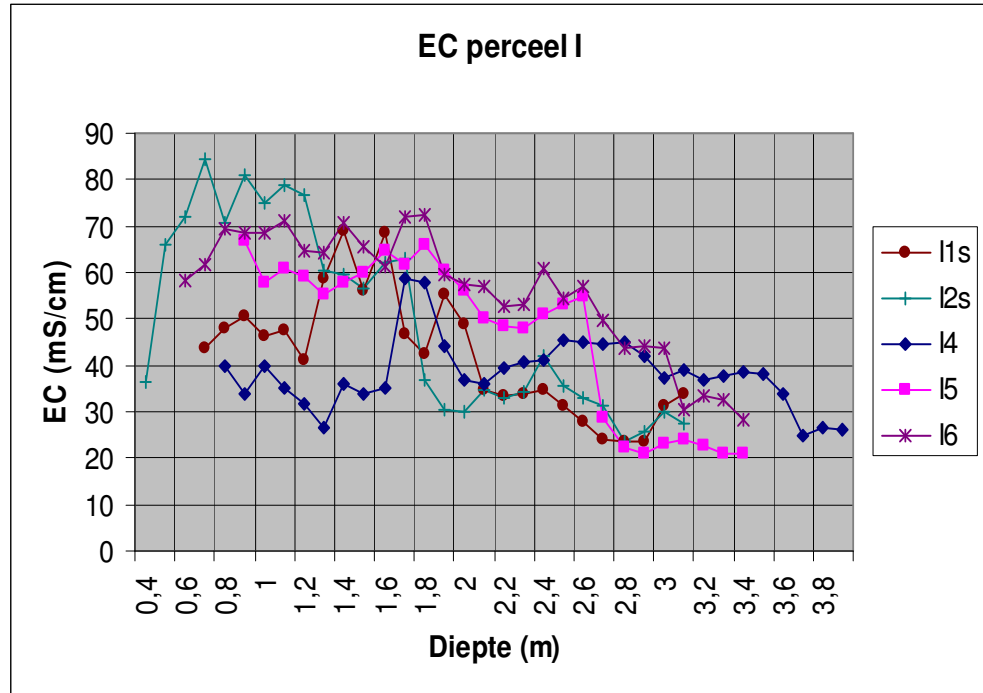
Diver: Ipb2 150 cm – dop peilbuis
Grondmonster: I5 60 – 80 cm – maaiveld
Slootpeil: niet ingemeten

Grondwaterstanden cm	Diepte peilbuisfilter cm – maaiveld	Maaiveldhoogte t.o.v. I5
cm – maaiveld	cm – maaiveld	I1 (slootbodem): - 92,9
I4: 18	Ipb1: 150 – 200	I2 (slootpeil): - 31,4 (-30,9)
I5: 23	Ipb2: 200 – 250	I3 (rand maaiveld): 10
I6: 18		I4 (boorpunt): 12,6
		I5 (boorpunt): 0
		I6 (boorpunt): - 13,9

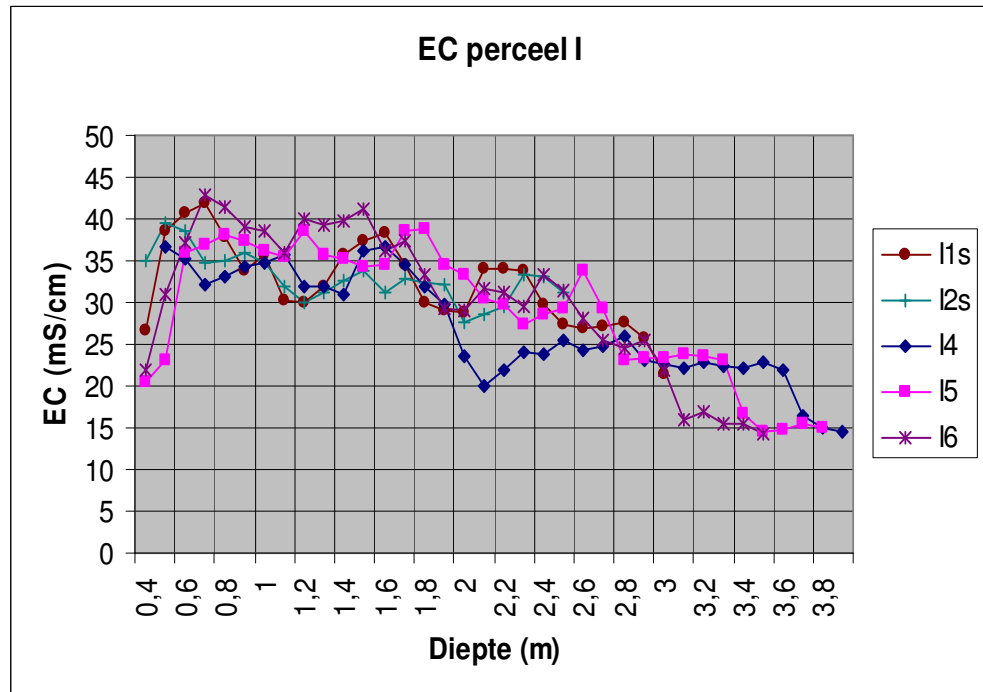
Bijzonderheden

- Gemiddelde maaiveldhoogte (cm NAP): - 165
- Afstand tot zee (km): 6,81
- Natuurgebied Jouswier, bodem: ruim 3 m veen.
- De waardes van de tweede meetserie zijn in het rood weergegeven.

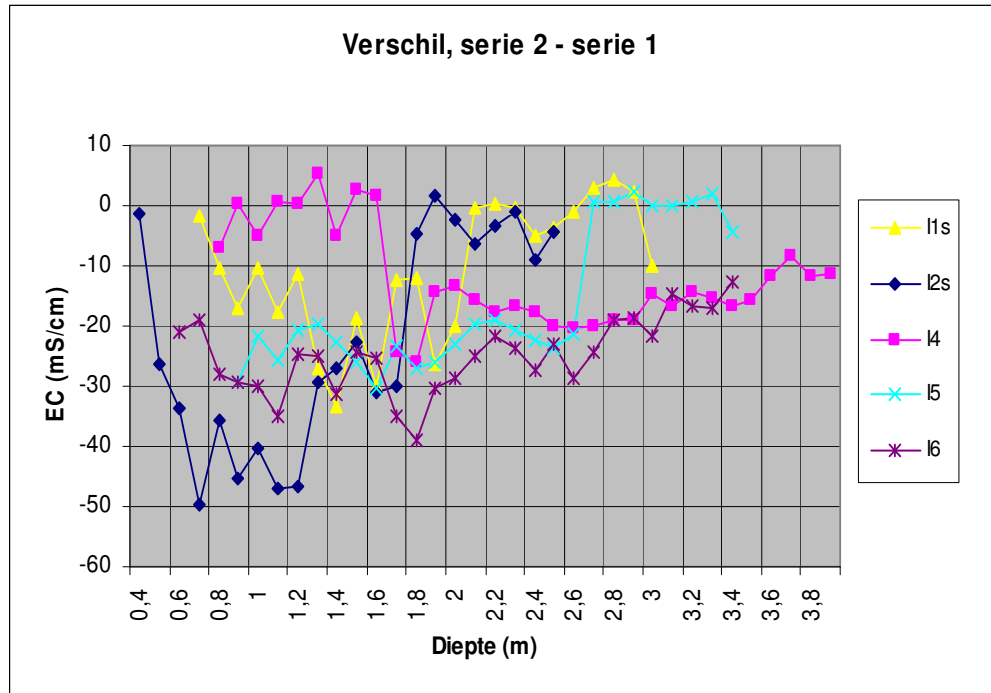
S.2 EC-waarden eerste serie perceel I



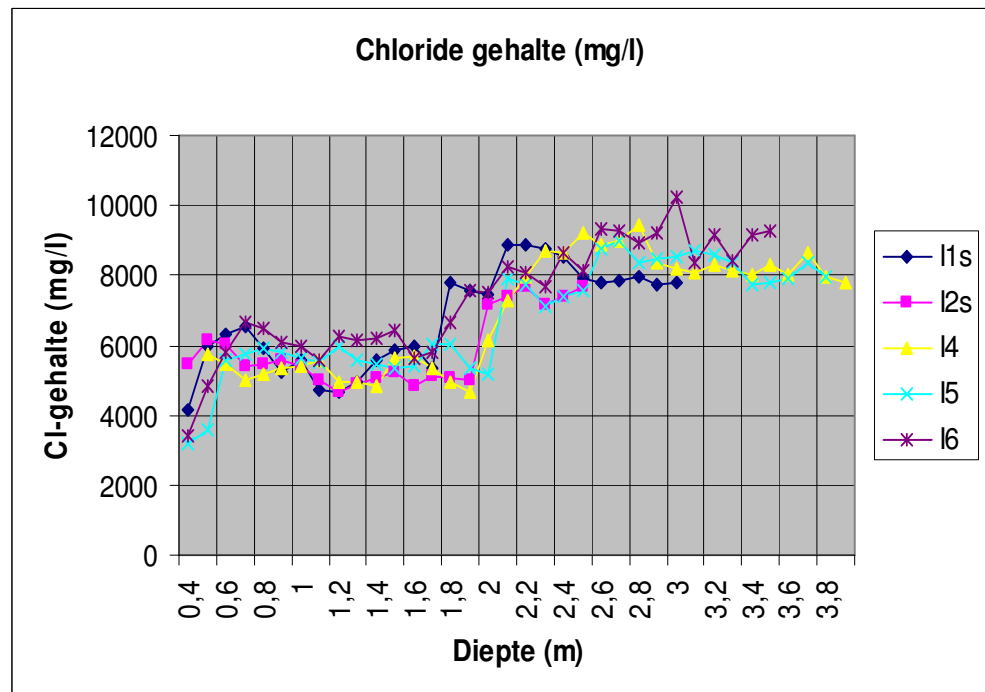
S.3 EC-waarden tweede serie perceel I



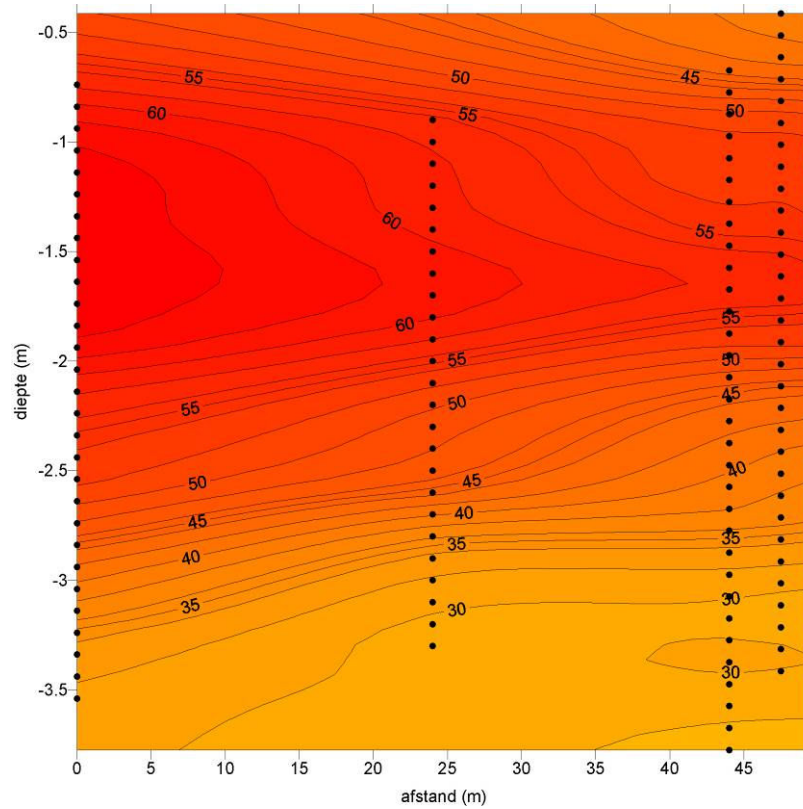
S.4 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel I



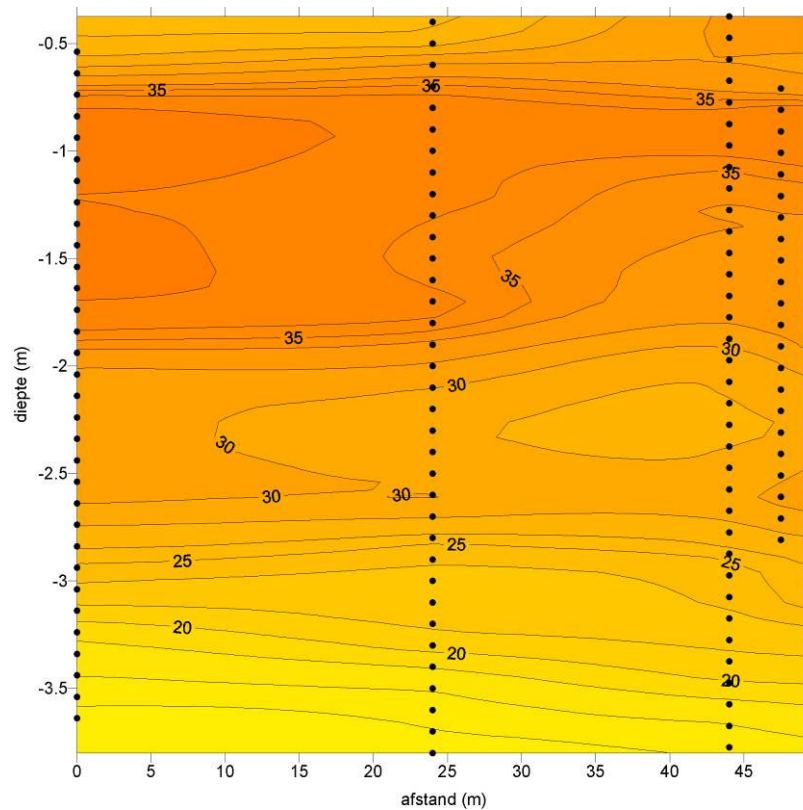
S.5 Chloride gehalten serie 2 perceel I



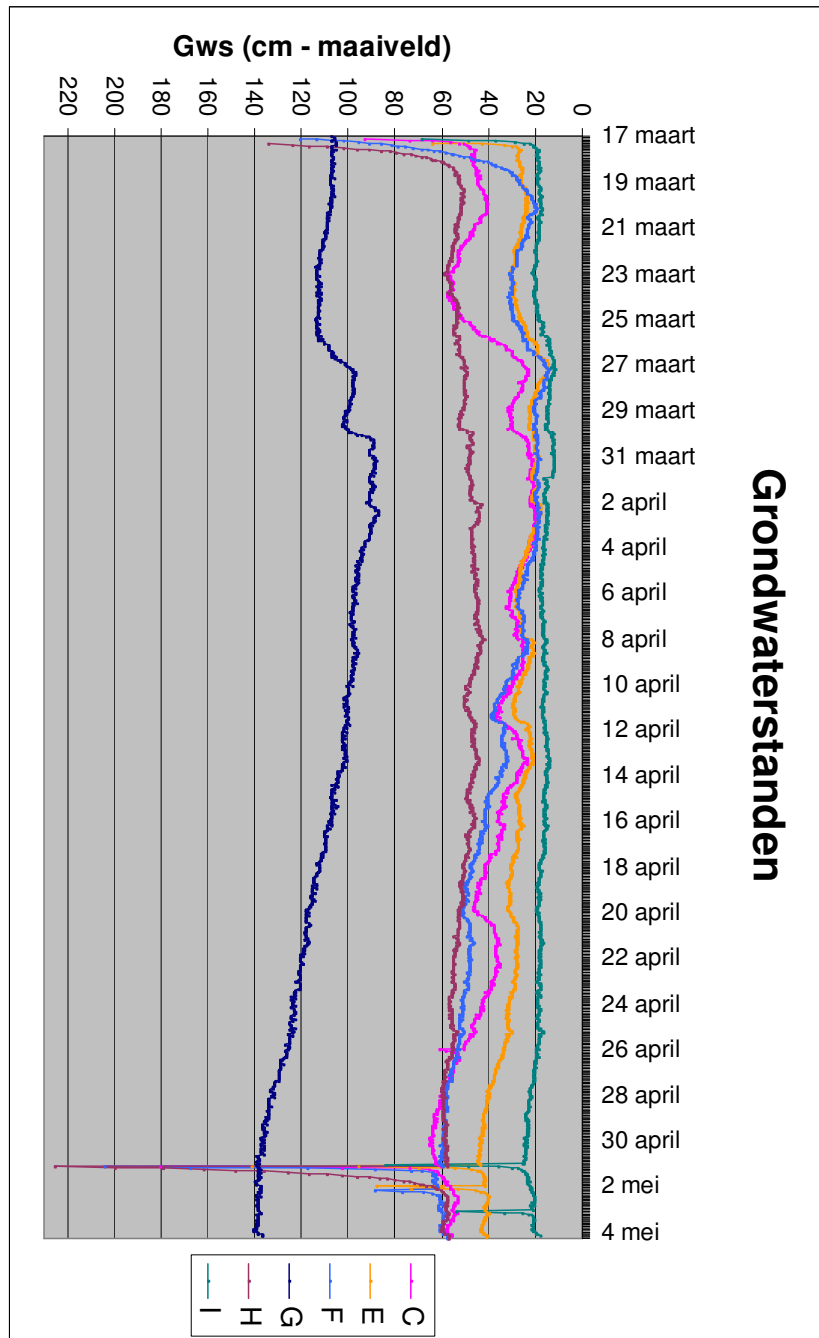
S.6 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel I



S.7 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel I



T Diveruitlezingen



V Lab resultaten anionen serie 1 en serie 2

Minimale detectiegrens

F (ppm)	Cl (ppm)	NO2 (ppm)	Br (ppm)	NO3 (ppm)	SO4 (ppm)
0,11	0,09	0,07	0,08	0,06	0,12

Legenda

Serie 1

Serie 2

* Monster is vooraf niet gefilterd

Monsterpunt	F (ppm)	F (ppm)	Cl (ppm)	Cl (ppm)	NO2 (ppm)	NO2 (ppm)	Br (ppm)	Br (ppm)	NO3 (ppm)	NO3 (ppm)	SO4 (ppm)	SO4 (ppm)
App1	< 0,11	< 0,11	3604,97	3686,04	< 0,07	214,29	11,95	23,75	< 0,06	< 0,06	8,43	< 0,12
App2	< 0,11	-	2346,00	-	< 0,07	-	9,04	-	< 0,06	-	93,14	-
App3*	1,94	< 0,11	873,93	845,48	< 0,07	29,10	3,33	4,10	< 0,06	< 0,24	285,55	268,15
Asloot	1,11	< 0,11	726,09	1117,41	< 0,07	35,46	2,65	3,18	< 0,06	< 0,06	73,36	28,92
Adrain	< 0,22	-	1064,54	-	< 0,07	-	4,57	-	11,93	-	184,09	-
Agat*	-	0,79	-	229,30	-	< 0,07	-	2,29	-	1,26	-	129,75
Bpb1	< 0,11	< 0,11	11822,10	12475,98	< 0,07	661,98	50,78	63,41	< 0,06	< 0,06	1158,57	1134,18
Bpb2	< 0,11	< 0,11	12132,07	12568,87	< 0,07	708,01	55,71	67,67	< 0,06	< 0,06	1174,86	1178,43
Bpbdiep*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bsloot	< 1,1	< 0,11	2379,80	4497,96	< 0,07	217,61	8,37	21,35	< 0,06	< 0,06	280,22	425,66
Bgreppel*	< 0,5	< 0,11	1656,07	1844,25	< 0,07	37,87	6,67	6,43	< 0,06	< 0,06	160,90	49,29
Bgat*	-	7,91	-	4300,57	-	150,54	-	27,32	-	< 0,06	-	545,66
Cpb1	< 0,78	< 0,11	9672,39	11139,93	< 0,07	606,79	45,05	56,98	< 0,06	< 0,06	896,51	924,76
Cpb2	< 0,4	-	11345,34	-	< 0,07	-	46,35	-	< 0,26	-	896,77	-
Cpb3	< 0,66	< 0,11	11122,44	11076,22	< 0,07	333,89	50,12	30,79	< 0,06	< 0,06	873,59	900,47
Csloot	< 0,76	< 0,11	2523,82	2531,84	< 0,07	86,96	9,29	7,53	< 0,06	< 0,06	237,38	186,31
Cdobbe*	< 0,87	< 0,11	1083,74	1256,42	< 0,07	27,92	4,12	4,05	< 0,06	< 0,06	117,50	18,52
Cgat*	-	< 0,11	-	1355,96	-	27,43	-	4,34	-	< 0,06	-	177,01
Dpb1*	-	< 0,11	-	5742,44	-	58,94	-	7,41	-	< 0,06	-	995,09
Dpb2	< 0,62	-	4524,36	-	< 0,07	-	15,13	-	< 0,06	-	1573,44	-
Dpb3	< 0,62	< 1,05	3922,12	2578,39	< 0,07	> 296,37	13,61	36,12	< 0,06	< 0,06	1471,42	1532,62
Dsloot*	< 0,71	0,42	154,11	199,90	< 0,07	< 0,07	< 0,48	0,81	< 0,06	< 0,06	99,94	76,11
Dgat*	-	< 0,11	-	316,61	-	< 0,07	-	1,53	-	7,37	-	296,27
Epb1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epb2	< 0,36	< 0,11	2171,23	2442,18	< 0,07	110,89	8,38	12,42	< 0,06	< 0,06	431,30	415,40
Epb3	1,10	< 0,11	1822,62	2480,26	< 0,07	121,91	7,04	11,88	< 0,06	4,64	454,24	378,81
Epbdiep	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esloot*	< 0,71	< 0,11	1139,35	2275,28	< 0,07	76,56	4,16	11,33	< 0,06	< 0,06	180,37	234,19
Egat*	-	1,10	-	547,29	-	< 0,07	-	2,19	-	10,06	-	345,87
Fpb1	1,26	< 0,11	5860,75	5575,11	< 0,07	262,20	21,49	30,35	< 0,06	< 0,06	38,25	23,39
Fpb2	< 0,73	< 0,11	6330,76	6210,47	< 0,07	170,20	22,60	16,28	< 0,06	< 0,06	40,24	< 0,12
Fsloot	1,11	< 0,11	1335,39	2065,19	< 0,07	106,56	5,87	12,44	< 0,31	< 0,06	92,43	74,36
Fdrain*	< 0,25	-	2649,19	-	< 0,07	-	10,93	-	< 0,06	-	234,22	-
Fgat*	-	< 0,11	-	4252,20	-	136,83	-	24,01	-	< 0,06	-	221,43
Gpb1	< 0,79	< 0,11	4766,87	482,24	< 0,07	16,01	1,16	1,68	< 0,06	< 0,06	118,07	108,29
Gpb2	1,23	0,97	50,96	58,14	< 0,07	< 0,07	< 0,08	0,34	30,21	6,90	121,61	162,86
Gsloot	1,61	< 0,11	275,00	432,05	< 0,07	19,16	< 0,3	0,80	11,18	< 0,06	80,03	32,87
Ggat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hpb1	< 0,87	< 0,11	10593,83	4734,79	< 0,07	117,12	17,94	14,80	< 0,06	< 1,05	9,08	< 0,12
Hpb2	< 0,93	-	4526,64	-	< 0,07	-	18,09	-	< 0,06	-	11,48	-
Hpb3	-	4,44	-	3611,62	-	151,94	-	18,98	-	< 0,06	-	< 0,12
Hsloot	< 0,88	< 0,11	1078,05	1493,82	< 0,07	< 0,07	3,66	4,77	< 0,06	< 0,06	80,43	51,87
Hgat*	-	1,18	-	429,66	-	< 0,07	-	2,75	-	12,48	-	113,78
lpb1	1,21	< 0,11	11122,44	10679,38	< 0,07	366,54	49,46	54,39	< 0,06	< 0,06	602,21	663,13
lpb2	< 0,86	< 0,11	10607,46	10505,96	< 0,07	263,25	47,45	29,29	< 0,06	< 0,06	600,16	675,43
lsloot	< 0,11	< 0,11	1721,42	3024,05	< 0,07	117,72	6,86	16,86	< 0,06	< 0,06	76,00	79,57
lplasje	< 0,21	-	1663,15	-	< 0,07	-	5,55	-	< 0,06	-	18,08	-
lslenk*	< 0,36	16,80	8987,52	11155,89	< 0,07	< 0,07	38,97	32,88	< 0,06	< 2,06	386,22	528,55
lgat*	-	< 0,11	-	639,48	-	< 0,07	-	< 0,08	-	223,55	-	326,25

