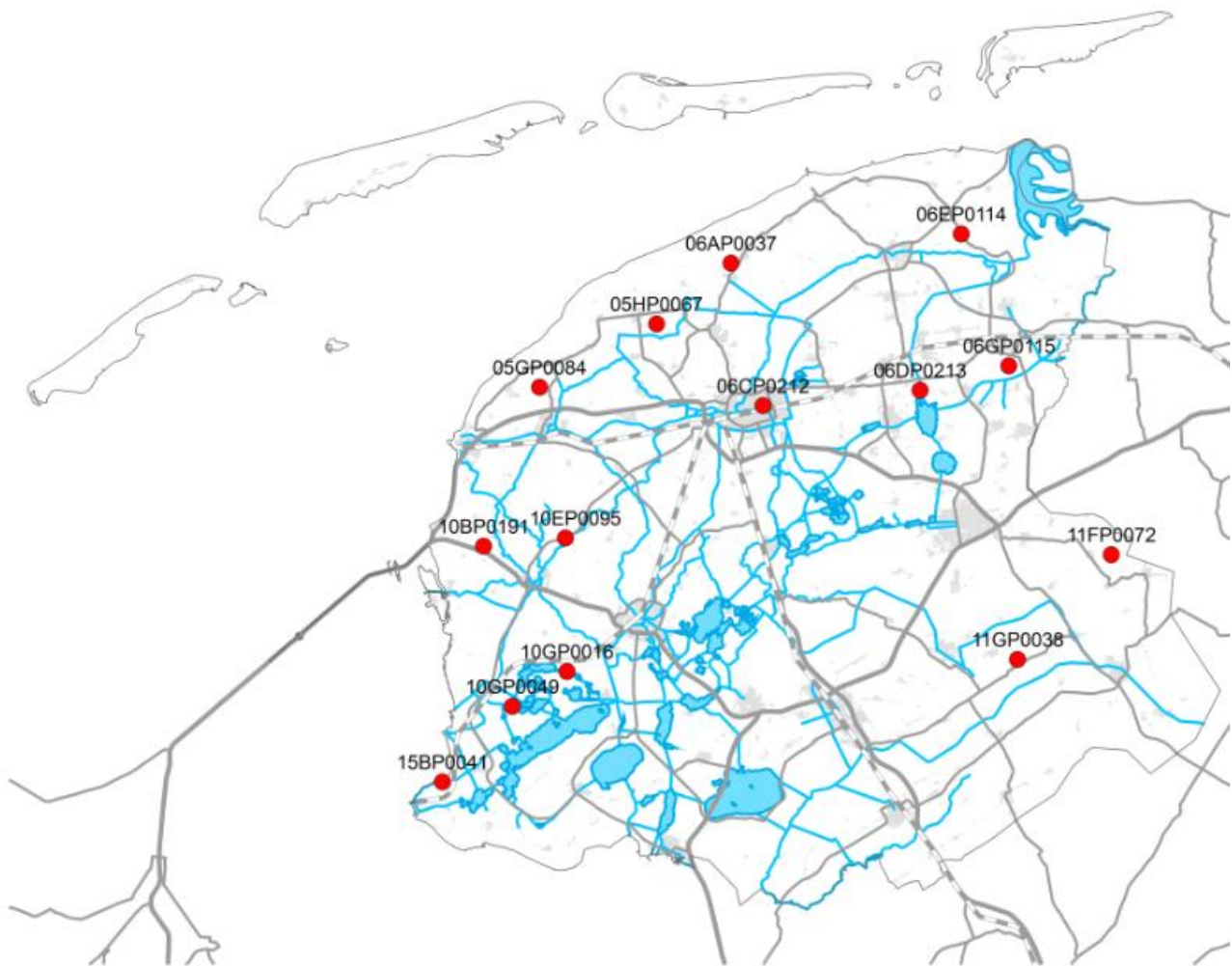


Zoet/zout correctie van stijghoogtemetingen

Waar en in welke mate moeten stijghoogtemetingen van het primaire grondwatermeetnet in Fryslân gecorrigeerd worden voor chloridegehalte zodat deze gebruikt kunnen worden voor de validatie van het MIPWA grondwater model?



Bachelor Eindopdracht

02-07-2015 Definitieve Versie

Auteur

Johannes Popma

s1352210

**Begeleiders Provincie
Begeleider Universiteit**

**dhr. H. Grobbe
dhr. G. Campmans**

dhr. W. Elderhorst

dhr. A. Venema

**provinsje fryslân
provincie fryslân** 

UNIVERSITEIT TWENTE.

Voorwoord

Dit onderzoek heb ik uitgevoerd in het kader van de afsluiting van de bachelor Civiele Techniek aan de universiteit Twente. Aangezien ik mijn opdracht graag in de richting water in combinatie met bodemeigenschappen uit zou willen voeren, kwam als snel het thema grondwater naar voren. Omdat ik zelf uit Fryslân kom, wilde ik graag de opdracht in Fryslân uitvoeren. Zo kwam ook de provincie Fryslân in beeld. Zij hadden een deelopdracht in de validatie van het MIPWA-model voor mij liggen. Omdat MIPWA over grondwater gaat leek mij dit direct een interessante opdracht. Na een eerste kennismaking wist ik gelijk dat deze opdracht in mijn straatje zou passen.

De stage/eindopdracht heb ik uitgevoerd in Leeuwarden. Ik heb dit als een mooie gelegenheid ervaren om bij een provincie een kijkje te kunnen nemen. Ik had nooit echt een beeld bij wat er zich allemaal afspeelde in het provinciehuis. Dit was een mooie gelegenheid om hier eens mee te kunnen draaien. Dit allemaal ook nog eens in Fryslân, dat kon wat mij betreft niet beter.

Als eerste wil ik graag Han Grobbe en Wilbert Elderhorst bedanken voor de begeleiding bij de provincie. Zij hebben mij een beeld gegeven over het reilen en zeilen bij de provincie en hebben deze opdracht eigenlijk beschikbaar gesteld. Verder wil ik in het speciaal graag Anne Venema bedanken voor het beschikbaar stellen van zijn veldwerkapparatuur. Ondanks zijn herstellende hernia was hij zeer enthousiast en wilde hij graag zijn medewerking verlenen.

Gedurende het veldwerk heb ik bijna 600 km door de provincie gemaakt. Ik vond het leuk om op deze manier in plaatsen te komen waar ik eigenlijk nog bijna nooit van gehoord had. Ook vond ik het prettig een 'praktisch' deel in de opdracht te hebben. Verder heb ik gedurende het onderzoek veel zelfstandig moeten werken, dit was in het begin wel een beetje zoeken. Uiteindelijk hoop ik dat mijn onderzoek bij zal dragen aan het uitvoeren van zoutcorrecties in Fryslân, zodat in toekomstig onderzoek de juiste stijghoogten gebruikt kunnen worden in modellen.

Samenvatting (Nederlands)

Het MIPWA (Methodiekontwikkeling Interactieve Planvorming ten behoeve van het Waterbeheer) model wordt gebruikt voor het modelleren van grondwaterprocessen. In het model worden deze processen op regionale schaal ook voor de provincie Fryslân gemodelleerd. Het MIPWA-model doet dit op basis van zoetwaterstijghoogten. Het probleem is dat de provincie Fryslân ook veel te maken heeft met zout grondwater. Dit zoute grondwater is door middel van transgressies, regressies en de laag liggende polders in de ondergrond gekomen. Doordat zout grondwater een grotere dichtheid heeft dan zoet grondwater kunnen de uitkomsten van het MIPWA-model niet direct vergeleken worden met de werkelijkheid. Om het MIPWA-model te kunnen valideren is daardoor waarschijnlijk een zoutcorrectie nodig. Met de zoutcorrectie wordt een equivalente zoetwaterstijghoogte berekend welke met de MIPWA-waarde vergeleken kan worden. Hierdoor kan het MIPWA-model gevalideerd worden. Het doel van dit onderzoek zal dan ook zijn om inzicht te verkrijgen in hoeverre een zoutcorrectie in Fryslân nodig is en of deze een significante invloed heeft op het valideren.

Een zoutcorrectie wordt uitgevoerd door de stijghoogten om te rekenen naar drukken. De equivalente zoetwaterstijghoogte moet eenzelfde druk in de ondergrond geven dan het zoute grondwater geeft. Om de drukken uit te rekenen is de dichtheid en stijghoogte van de betreffende zoute putten nodig. Met behulp van het relatieve dichtheidsverschil (t.o.v. zoet water) en de stijghoogte/filterdiepte wordt de correctie uitgevoerd.

Aan de hand van een analyse zijn de putten die in aanmerking komen voor een zoutcorrectie bepaald. Deze putten liggen nagenoeg allemaal langs de kust en in het zuidwesten van de provincie. In het zuidwesten van de provincie bevinden zich naar alle waarschijnlijkheid zoute lenzen. Dit zout zit hier van de vroegere Zuiderzee en de Marne. Ook zijn twee putten in het oosten van de provincie naar voren gekomen. Omdat zout grondwater zich in het oosten van Fryslân vrij diep in de ondergrond bevindt, betreft het hier diepe putten (>300m).

Om daadwerkelijk de correctie uit te kunnen voeren is veldwerk verricht. In dit veldwerk zijn EC-metingen verricht waarbij de geleidbaarheid gemeten is. Aan de hand van een verband tussen de geleidbaarheid en het chloridegehalte kan hieruit het chloridegehalte bepaald worden. Dit verband is opgesteld aan de hand van filters waarbij beide grootheden bekend zijn. Dit is vaak van putten uit het kwaliteitsmeetnet van de provincie.

In de putten in het oosten van de provincie wordt weinig zout gemeten. Dit geldt niet voor sommige putten in het zuidwesten en noorden. Hier zijn de chloridegehalten fors. Door de diepere ligging van de filters in het zuidwesten van Fryslân zijn de correcties hier ook aanzienlijk. De grootste correctie is hier bijna zes meter. Door de kleinere diepte van putten in het noorden van de provincie is de correctie hier kleiner. Echter, met een maximale correctie tot bijna 60 centimeter, is dit nog steeds een aanzienlijke correctie. Vooral de diepere gelegen filters hebben een aanzienlijke correctie voor hun equivalente zoetwaterstijghoogte.

Geconcludeerd kan worden dat de correcties een significante invloed zullen hebben op de stijghoogtes. Het is daardoor ook zeker noodzakelijk de correcties mee te nemen in de validatie van het MIPWA-model, en dan vooral op de diepere putten (>20 meter). Zonder deze correctie zou het MIPWA-model gevalideerd worden met onjuiste waardes. Aangezien de correcties oplopen tot bijna 6 meter, kan dit een heel ander beeld geven van de validatie.

Gearfetting (Frysk)

It MIPWA (Methodiekontwikkeling Interaktieve Planvorming ten behoeve van het Waterbeheer) model wurdt brûkt foar it modellearjen fan grûnwetter prosessen. Yn it model wurde dizze prosessen op regionale skaal ek foar de provinsje Fryslân modellearre. It model docht dit oan de hân fan swiet wetter stiichhichten. It probleem is echter dat de provinsje Fryslân ek in soad te meitsjen hat mei sâlt grûnwetter. Dit sâlte grûnwetter is troch middel fan transgresjes, regresjes en de leech lizzende polders de ûndergrûn ynkommen. Trochdat sâlt grûnwetter swierder is dan swiet grûnwetter kinne de útkomsten fan it MIPWA-model net direkt fergelike wurde mei de werklikheid. Om it MIPWA-model falidearje te kinnen is dêrom warskynlik in sâlt korreksje nedich. Mei de sâlt korreksje kin in ekwifalinte swietwetterstiichhichte berekkene wurde welke mei de MIPWA-waarde fergelike wurde kin. Hjirtroch kin it MIPWA-model falidearje wurde. It doel fan dit ûndersyk sil dan ek wêze om ynsicht te krijen yn hoefer in sâlt korreksje yn Fryslân nedich is en of dizze in signifikante ynfloed hat op it falidearjen.

In sâlt korreksje wurdt útfiert troch de stiichhichten om te rekkenjen nei drukken. De ekwifalinte swietwetterstiichhichte moat ienselde druk yn de ûndergrûn jaan as it sâlte grûnwetter jout. Om de drukken útrekkenje te kinnen binne de tichtens en de stiichhichte fan de oangeande putten nedich. Mei help fan it relative tichtensferskil (t.o.f swiet wetter) en de stiichhichte wurdt de korreksje útfiert.

Oan de hân fan in analyse binne de putten dy't yn oanmerking komme foar in sâlt korreksje bepaald. Dizze putten lizze fierhinne allegearre langs de kust en yn it súdwesten fan de provinsje. Yn it súdwesten fan de provinsje befine harren nei alle warskynlikhyd sâlte wetter linzen. Dit sâlt sit hjir fan de eardere Sudersee en de Marne. Ek binne twa putten yn it easten fan de provinsje nei foaren kaam. Omdat grûnwetter har yn it easten fan Fryslân frij djip yn de ûndergrûn befynt, betrefte it hjir djippe putten (>300m).

Om diedewerklik de korreksje útfiere te kinnen is fjildwurk dien. Yn dit fjildwurk binne EC-metingen dien wêrby de geleidbaarhyd mjitten is. Oan de hân fan in ferbân tusken it chloridegehalte en de geleidbaarhyd kin hjirút it chloridegehalte bepaald wurde. Dit ferbân is opsteld oan de hân fan filters wêrby beide grutheden bekend wiene. Dit is faak fan putten út it kwaliteitsmeenet fan de provinsje.

Yn de putten yn it easten fan de provinsje wurdt in bytsje sâlt mjitten. Dit jild net foar sommige putten yn it súdwesten en noarden fan Fryslân. Hjir binne de chloridegehaltes flink. Troch de gruttere djipten fan de filters yn it súdwesten fan Fryslân binne de korreksjes hjirre oansjenlik. De grutste korreksje is hjir hast seis meter. Troch de lytsere djipten fan de putten yn it noarden fan de provinsje is de korreksje hjir lytser. Echter mei in maksimale korreksje fan hast 60 sintimeter is dit noch altyd in oansjenlike korreksje. Foaral de djippere filters hawwe in oansjenlike korreksje foar hun ekwifalinte swietwetterstiichhichte.

Der kin konkludearre wurde dat de korreksjes in signifikante ynfloed hawwe sille op de stiichhichtes. It is dêrtroch ek wichtich dizze korreksjes mei te nimmen by it falidearjen fan it MIPWA-model, en dan foaral by de djippere putten (>20 meter). Sûnder dizze korreksje soe it MIPWA-model falidearre wurde mei ferkearde waarden. Omdat de korreksjes oprinne kinne oan't hast 6 meter kin dit in hiel oar byld jaan fan de falidearing.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Doelstelling.....	7
1.2	Onderzoeksvragen.....	8
2	Theoretisch kader.....	9
2.1	Peilbuizen in Fryslân	9
2.2	DAWACO.....	10
2.3	Zoet-Zout Grensvlak	11
2.4	Het chloridegehalte/zoutgehalte	12
2.5	De zoutcorrectie	14
2.6	Laagopbouw van de ondergrond	15
3	Onderzoek	17
3.1	Peilbuizen analyse	17
3.1.1	Verwachting.....	17
3.1.2	Analyse - Grensvlak	18
3.1.3	Analyse DAWACO	19
3.1.4	Analyse - Geohydrologische lagen	23
3.2	Overgebleven filters	24
3.3	Veldwerk.....	26
4	Resultaten.....	29
4.1	Lineair verband geleidbaarheid - chloridegehalte	29
4.2	Verband tussen correctie, geleidbaarheid en filterdiepte	30
4.3	Metingen	30
4.4	Correcties	31
4.5	Equivalente zoetwaterstijghoogten	32
5	Conclusie	33
6	Discussie	34
7	Aanbeveling.....	35
8	Bibliografie.....	36
	Bijlages.....	34

Bijlages

Bijlage A	Dwarsdoorsnedes.....	37
Bijlage B	Hydro geologische lagen	40
	Put 10BP0191	40
	Put 06DP0213.....	41
	Put 06AP0037	41
Bijlage C	Overgebleven filters	42
Bijlage D	Verband Variabelen met Correctie	45
Bijlage E	Vergelijking metingen met DAWACO.....	47
Bijlage F	Resultaten veldwerk.....	48
	B10G0084 // 05GP0084	48
	B05H0067 // 05HP0067.....	48
	B06A0037 // 06AP0037	49
	B06C0212 // 06CP0212	49
	B06D0213 // 06DP0213.....	49
	B06E0114 // 06EP0114.....	50
	B06G0115 // 06GP0115	51
	B10B0191 // 10BP0191	52
	B10D0065 // 10DP0065.....	52
	B10E0095 // 10EP0095.....	53
	B10G0016 // 10GP0016	54
	B10G0049 // 10GP0049	55
	B11F0113 // 11FP0072	56
	B11G0060 // 11GP0038	56
	B15B0041 // 15BP0041	57
Bijlage G	Data, metingen en resultaten.....	58
Bijlage H	Maximale Correcties per Peilbuis.....	61
	Súd-West Fryslân.....	62
	Noard Fryslân	62
	Súd-East Fryslân	63

Figurenlijst

Figuur 1: Reikwijdte MIPWA-model	6
Figuur 2: Vroegere ligging de Marne en de Middelsee	6
Figuur 3: Putten/Filters naar indeling in meetnetten	10
Figuur 4: Put 10BP0191 met zeven filters	10
Figuur 5: Duiding Marnegebied en Gaasterland	11
Figuur 6: Brak-Zout grensvlak beneden Maaiveld.....	11
Figuur 7: dichtheid als functie van temperatuur en zoutgehalte. BRON: (Mixzon Inc., sd).....	12
Figuur 8: Schematisatie voor zoutcorrectie	14
Figuur 9: Schematisatie zoutcorrectie.....	14
Figuur 10: Doorsnede met indeling naar hydrogeologie	15
Figuur 11: Locatie van figuur 2 in huidige tijd	17
Figuur 12: Doorsnede met zoutgrensvlak	18
Figuur 13: Diepte van buis beneden brak-zout grensvlak.....	18
Figuur 14: Aanbeveling voor het laten vervallen van putten/filters	19
Figuur 15: Meetpunten DAWACO met bekende chloride gehalten	21
Figuur 16: Voorbeeld voor (hydro)geologische ligging van filters voor put 05HP0073	23
Figuur 17: Overgebleven peilbuizen die interessant zouden kunnen zijn voor een zoutcorrectie inclusief LGM	24
Figuur 18: Diepte onder het maaiveld van overgebleven filters inclusief LGM	25
Figuur 19: Diepte beneden zoutgrens van overgebleven filters inclusief LGM	25
Figuur 20: Putten met filters dieper dan 20m. beneden maaiveld TNO benaming	27
Figuur 21: Putten met filters dieper dan 20m. beneden maaiveld OLGA code	28
Figuur 22: Lineaire regressie met uitschieters	29
Figuur 23: Lineaire regressie zonder uitschieters	29
Figuur 24: Verband tussen Filterdiepte, Geleidingsvermogen en Correctie.....	30
Figuur 25: Metingen in het verband tussen Filterdiepte, Geleidingsvermogen en Correctie	31
Figuur 26: Doorsnede 1	37
Figuur 27: Doorsnede 2	37
Figuur 28: Doorsnede 3	38
Figuur 29: Doorsnede 4	38
Figuur 30: Doorsnede 5	38
Figuur 31: Doorsnede 6	39
Figuur 32: Hydrogeologie put 10BP0191	40
Figuur 33: Hydrogeologie put 06DP0213	41
Figuur 34: Hydrogeologie put 06AP0037	41
Figuur 35: Overgebleven peilbuizen die interessant zouden kunnen zijn voor een zoutcorrectie exclusief LGM	42
Figuur 36: Diepte onder het maaiveld van overgebleven filters exclusief LGM	43
Figuur 37: Diepte beneden zoutgrens van overgebleven filters exclusief LGM.....	44
Figuur 38: Verband chloridegehalte en filterdiepte (<50m) met correctie	45
Figuur 39: Verband tussen chloridegehalte en filterdiepte met de correctie	45
Figuur 40: Verband tussen geleidingsvermogen en filterdiepte (<50m) met de correctie.....	46
Figuur 41: Maximale correctie per peilbuis.....	61
Figuur 42: Maximale correcties Súd-West Fryslân.....	62
Figuur 43: Maximale correcties Noard Fryslân.....	62
Figuur 44: Maximale correcties Súd-East Fryslân.....	63

Tabellenlijst

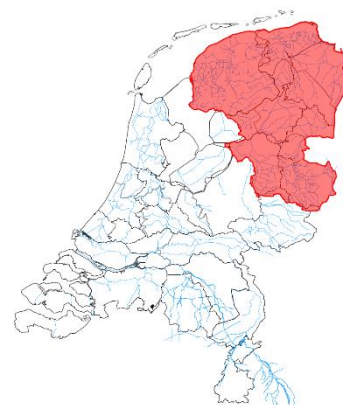
Tabel 1: Indeling in watervoerende pakketten en scheidende lagen	16
Tabel 2: Geen zout aanwezig, wel beneden grensvlak	20
Tabel 3: Wel zout aanwezig, niet beneden grensvlak	20
Tabel 4: Filters waar brak water gemeten is	22
Tabel 5: Filters waar zout water gemeten is	22
Tabel 6: Aantal putten met filters op aangegeven diepte	26
Tabel 7: Metingen put 05GP0084	30
Tabel 8: Correcties per filter per put	31
Tabel 9: Zoutwaterstijghoogten t.o.v. NAP per filter per put	32
Tabel 10: Equivalente zoetwaterstijghoogten t.o.v. NAP per filter per put.....	32
Tabel 11: Indeling naar hydrogeologie put 10BP0191	40
Tabel 12: Indeling naar hydrogeologie put 06DP0213.....	41
Tabel 13: Indeling naar hydrogeologie put 06AP0037	41
Tabel 28: Vergelijking metingen met DAWACO	47
Tabel 14: Metingen put 05GP0084	48
Tabel 15: Metingen put 05HP0067	48
Tabel 16: Metingen put 06AP0037.....	49
Tabel 17: Metingen put 06CP0212.....	49
Tabel 18: Metingen put 06EP0114	50
Tabel 19: Metingen put 06GP0115	51
Tabel 20: Metingen put 10BP0191.....	52
Tabel 21: Metingen put 10DP0065	52
Tabel 22: Metingen put 10EP0095	53
Tabel 23: Metingen put 10GP0016	54
Tabel 24: Metingen put 10GP0049	55
Tabel 25: Metingen put 11FP0072	56
Tabel 26: Metingen put 11GP0038	56
Tabel 27: Metingen put 15BP0041.....	57
Tabel 29: Alle data, metingen en resultaten	60

1 Inleiding

Momenteel is onderzoeksinstituut Deltares bezig met het ontwikkelen/updaten van het grondwatermodel MIPWA (Methodiekontwikkeling Interactieve Planvorming ten behoeve van het Waterbeheer). MIPWA is het regionaal grondwatermodel voor de provincies Groningen, Friesland, Drenthe en Overijssel (Figuur 1), wat rekent met zoet water. In het model zijn de belangrijkste processen voor grondwaterstroming gemodelleerd. Voor regionale projecten kan MIPWA gebruikt worden om zo een inzicht te krijgen in de processen van het grondwater. Intussen heeft MIPWA al een paar keer een update ondergaan. Momenteel is Deltares bezig met versie 3.0 en binnenkort wordt fase 1 afgerond. Fase 1 betreft het opleveren van het (grond)lagenmodel van MIPWA waarmee gewerkt gaat worden. Dit model bestaat uit negen modellagen die de watervoerende pakketten en scheidende lagen simuleren. Fase 2 bestaat uit het verder vullen van het grondwatermodel met de hydrologische gegevens. De periode 1989-2014 is hiervoor gekozen. Het gaat om gegevens van onttrekkingen, neerslag- en verdampingsgegevens en peilen van waterlopen. Vervolgens worden test-runs gedaan om te onderzoeken of de gemeten en berekende stijghoogtes overeenkomen.

De provincie Fryslân is als lid van het opdracht gevende consortium nauw betrokken bij de ontwikkeling van het MIPWA-model. De provincie wil daarom inzicht in de betrouwbaarheid van het grondwatermodel. Om de betrouwbaarheid vast te stellen worden verschillende checks gedaan. Eén van de belangrijkste checks is het bepalen in hoeverre de met het model bepaalde stijghoogtes overeenkomen met de in Fryslân gemeten stijghoogtes.

Omdat de provincie geïnteresseerd is in het Friese gedeelte, willen zij graag een onderzoek instellen naar de modeluitkomsten voor Fryslân. Om de gemeten waarden, die in de database DAWACO staan, te kunnen vergelijken met de modeluitkomsten speelt er echter nog een factor die in de overige provincies, behalve Groningen, niet echt van toepassing is; zout grondwater. Het is niet onwaarschijnlijk dat het Friese grondwater aan de kust zout bevat door de verbinding met de Waddenzee. Daarnaast komt zout water in de ondergrond voor als gevolg van mariene invloeden in het verleden van bijvoorbeeld de Marne en de Middelsee (Figuur 2). Omdat MIPWA alleen met zoet grondwater rekent ontstaat hier een probleem, de gegevens kunnen niet zomaar met elkaar vergeleken worden. Het vergelijken van waarden die zowel zoet als zout water bevatten is lastig omdat er andere dichtheden gelden. Om dit wel te kunnen doen is een zoet/zout correctie nodig. Om het MIPWA-model juist te kunnen valideren is het dus nodig deze correctie uit te voeren. De vraag is echter in welke mate dit een rol speelt in de peilbuizen in Fryslân.



Figuur 1: Reikwijdte MIPWA-model



Figuur 2: Vroegere ligging de Marne en de Middelsee

1.1 Doelstelling

Het onderzoek gaat zich bezighouden met het corrigeren voor zout van de stijghoogtemetingen die gebruikt kunnen gaan worden voor het valideren van het MIPWA-model. Er zal gekeken worden hoe dit het beste aangepakt kan worden, op welke peilbuizen dit van toepassing is en of dit een significante invloed heeft op de validatie van het MIPWA-model. De doelstelling van het onderzoek is daarom als volgt:

“Het bepalen van waar en hoe deze correctie uitgevoerd moet worden en of deze een significant effect heeft op de validatie van het MIPWA-model”

Begin juni komen de test-runs van Deltares beschikbaar en kunnen er vergelijkingen gemaakt worden tussen het model en de database. Hiervoor moeten de gemeten stijghoogtes van de provincie goed vergelijkbaar zijn. Aangezien sommige gemeten waarden in database DAWACO waarschijnlijk op metingen met zout water berusten, is het appels met peren vergelijken als men dit direct met de MIPWA uitkomsten valideert. Na dit onderzoek moeten conclusies kunnen worden getrokken over de zoet-zout correcties van de stijghoogtemetingen en of deze dan toegepast dienen te worden om de correctheid van het MIPWA-model voor de provincie Fryslân te testen. Zodoende kan er een uitspraak gedaan worden op de vraag of het model een goede basis is voor de provincie om zijn beleid op te kunnen baseren voor regionale projecten. Het valideren van het MIPWA-model valt buiten dit onderzoek. Dit onderzoek focust zich op de eventuele zoutcorrectie van grondwater in watervoerende pakketten in peilbuizen in Fryslân.h

1.2 Onderzoeksvragen

Het onderzoek gaat in op de correctie van zoutgrondwaterstijghoogtes. De hoofdvraag heeft dan ook betrekking op de manier, plaats en mate van corrigeren. Dit moet namelijk zo gebeuren zodat de zoutgrondwaterstijghoogtes in watervoerende pakketten te vergelijken zijn met de zoetgrondwaterstijghoogtes van het MIPWA-model. Het is de vraag of de correctie overal toegepast moet worden en of deze overal eenzelfde invloed zal hebben. Hiervoor dient onderzocht te worden waar de provincie peilbuizen heeft, in welke mate het grondwater zout bevat en op welke diepte zich dit grondwater bevindt. Deze diepte heeft betrekking op de laagopbouw van de ondergrond. Dit onderzoek zal zich richten op de waterrijke grondlagen. Kleilagen zullen hierdoor afvallen omdat hier weinig grondwaterstroming optreedt en dit zodoende van minder belang voor het MIPWA-model is.

Om een inzicht te verkrijgen in de problematiek zullen in dit hoofdstuk onderzoeksvragen geformuleerd worden. Deze onderzoeksvragen vormen de aanpak waarmee gewerkt zal worden om aan de hoofdvraag en het doel te voldoen. Het onderzoek zal een data-analyse zijn van de peilbuizen om zo inzichtelijk te krijgen welke peilbuizen te maken hebben met een zoutcorrectie. Vervolgens zal met behulp van aanvullende metingen de zoutcorrectie uitgevoerd worden en kan er gekeken worden naar de mate van corrigeren.

Hoofdvraag:

Waar en in welke mate moeten stijghoogten van het primaire grondwatermeetnet in Fryslân gecorrigeerd worden voor chloridegehalte zodat deze gebruikt kunnen worden voor de validatie van het MIPWA grondwater model?

Algemene onderzoeksvragen:

1. *Waar bevinden zich de Friese peilbuizen?*
2. *Waar bevindt zich het zoet/zoutgrensvlak?*
3. *Wat is een zoutcorrectie?*
4. *Wat is de geohydrologische laagopbouw van de provincie?*
 - a. *Waar bevinden zich de watervoerende en scheidende pakketten?*
 - b. *In welke laag worden de stijghoogtes gemeten?*
5. *Waar wordt een zoutcorrectie verwacht?*
 - a. *Wat zijn de chloriderijke (zoute) grondlagen vanuit het verleden?*
6. *Op welke buizen is een zoutcorrectie van toepassing en zullen aanvullende metingen verricht moeten worden?*
7. *Is deze zoutcorrectie van significante invloed op de validatie van MIPWA?*

Met de bovenstaande onderzoeksvragen moet het mogelijk zijn om de onderzoeksdoelstelling te behalen. Door alle onderzoeksvragen te beantwoorden en uiteindelijk aan de doelstelling te voldoen, kunnen de DAWACO waarden gebruikt worden voor validatie van het Friese deel van het grondwatermodel Noord-Nederland (MIPWA).

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de factoren die komen kijken bij de uit te voeren correctie. Er zal ingegaan worden op de eerste onderzoeksvragen over de peilbuizen in Fryslân, de database DAWACO, het zoet-zout grensvlak, het chloridegehalte en uiteindelijk op de manier van corrigeren. Met deze theoretische kennis zal vervolgens het onderzoek/de data analyse op de peilbuizen plaatsvinden.

2.1 Peilbuizen in Fryslân

Een aantal begrippen die gedurende dit onderzoek steeds terugkomen zijn peilbuizen en stijghoogten.

Onder een peilbuis wordt verstaan (Alterra & Wageningen UR, 2015):

Geperforeerde buis waarin een grondwaterstand wordt gemeten; het geperforeerde gedeelte (filter) bestrijkt minimaal de zone waarin de grondwaterstand fluctueert.

Het zal in dit onderzoek vooral gaan over een geperforeerde buis waarin stijghoogten gemeten worden. Volgens (Alterra & Wageningen UR, 2015) is de definitie van stijghoogte:

Totale potentiaal van het water, uitgedrukt als energiehoogte-equivalent (m). Bij het gebruik van de stijghoogte dient een referentieniveau gekozen te worden en worden andere deelpotentialen dan de drukhoogte en de plaatshoogte vaak verwaarloosd.

Kort door de bocht is dit de hoogte tot waar het grondwater in de geperforeerde buis stijgt. Aan de hand van stijghoogtes kan er gekeken worden naar grondwater op lokaal of regionaal niveau. Met stijghoogtes kan berekend worden hoe het grondwater zich zal gedragen, bijvoorbeeld de richting van stromingen en hoeveelheden kwel en infiltratie.

Om deze eenheden te kunnen meten beschikt de provincie Fryslân over een eigen meetnet. Dit wordt het primaire meetnet genoemd. In 1986 is de volgende definitie gegeven voor het primaire meetnet (Grontmij, 2014):

Onder een primair netwerk wordt een regionaal provinciaal netwerk met referentiefunctie verstaan. Het bestaat uit meetpunten, die elk voor zich representatief zijn voor een nader aan te geven gebied, en gezamenlijk in grote lijnen een goed beeld geven van de grondwatersituatie in de ruimte en de tijd.

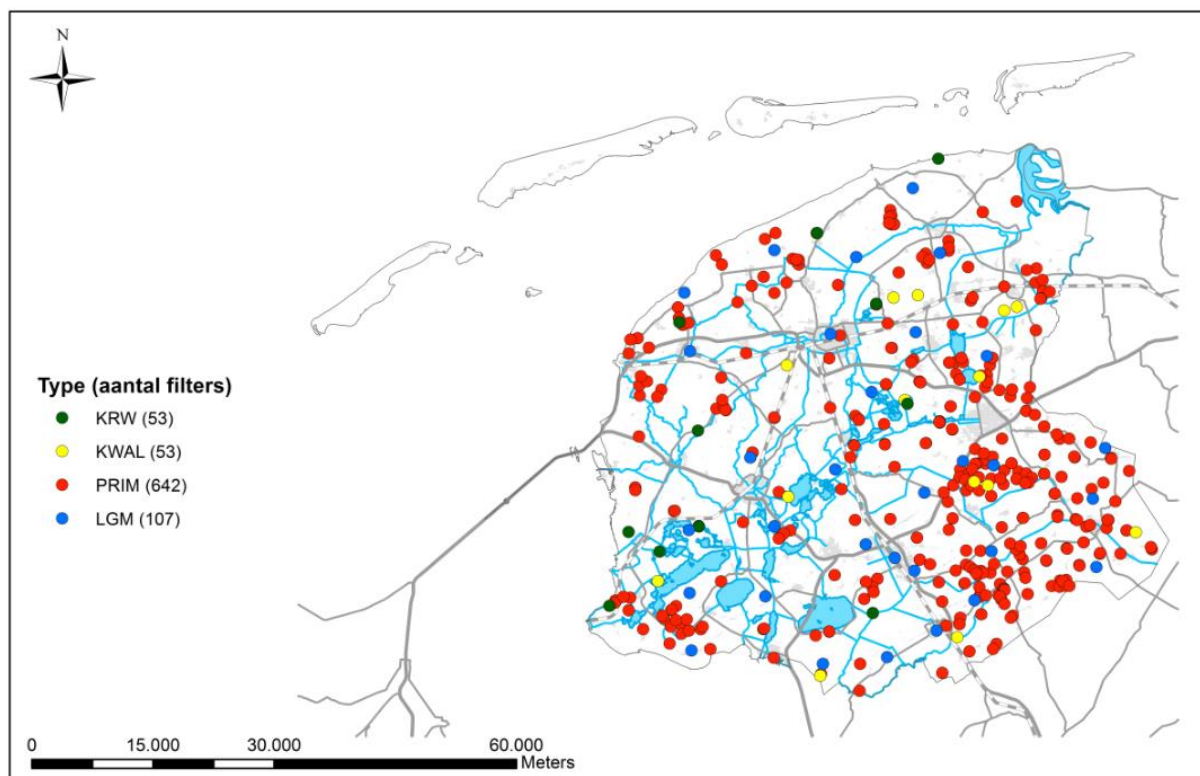
De provinciale meetnetten zijn vooral bedoeld voor ondersteuning van het beleid en beheer van de provincies. Daarnaast leveren zij informatie voor het rijksbeleid. Het primaire meetnetwerk legt de nadruk op regionale schaal en lange termijn. Voor specifieke projecten met een lokaal of tijdelijk karakter is verdichting noodzakelijk. Deze verdichte meetnetten worden als secundair of tertiair beschreven (Grontmij, 2014).

Het primaire meetnet wordt gebruikt voor grondwaterstanden en stijghoogte metingen. De provincie beschikt ook over een kwaliteitsmeetnet, welke gebruikt wordt om de kwaliteit van grondwater te monitoren. Daarnaast zijn er nog twee meetnetten in de provincie Fryslân te onderscheiden; te weten het KRW netwerk en het LGM netwerk.

Het KRW (KaderRichtlijnWater) netwerk zijn putten waar zowel kwantiteit als kwaliteit een rol spelen. Deze putten dienen voor controle voor de Europese kaderrichtlijn water. De putten dienen voor het uitvoeren van de karakterisering van de grondwaterlichamen en de beoordeling van de toestand van grondwater (Grontmij, 2014).

Het LGM (LandelijkGrondwaterMeetnet) netwerk wordt gemonitord door het RIVM. Hier wordt de kwaliteit van het grondwater bepaald voor een landelijk beeld.

Waar de eerste drie meetnetten in beheer zijn van de provincie Fryslân, beheert het RIVM het LGM meetnet. Er zijn echter wel uitzonderingen. Zo zijn er ook putten in het primaire meetnet van de provincie welke door waterbedrijf VITENS beheerd worden. In Figuur 3 zijn de verschillende putten met filters per meetnet uitgezet, in dit figuur is tevens aangegeven uit hoeveel filters het betreffende meetnet in totaal bestaat. Het primaire meetnet is verreweg het grootst.



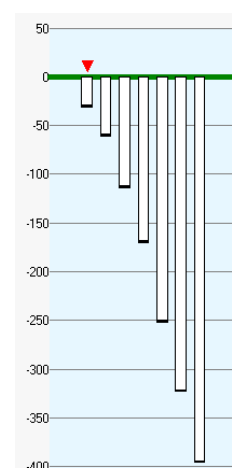
Figuur 3: Putten/Filters naar indeling in meetnetten

2.2 DAWACO

In de database DAWACO van de provincie, waar metingen opgeslagen worden, staan het primaire, kwaliteit en KRW meetnet allen als Primair opgeslagen. Hierdoor is een onderscheid moeilijker te maken. Het LGM netwerk staat als Secundair opgeslagen en hierdoor is deze scheiding wel te maken. In DAWACO staat alle beschikbare informatie over de peilbuizen opgeslagen. Veel peilbuizen bestaan uit meerdere filters die in verschillende grondlagen geplaatst zijn. Bijvoorbeeld put 10BP0191 bestaat uit zeven filters (Figuur 4). Deze put is een van de diepste putten in het netwerk en gaat tot een diepte van 396 meter beneden het maaiveld.

Naast gegevens over de filterstellingen staan in DAWACO ook kwaliteitsmetingen van een bepaald aantal putten. Zo zijn er bijvoorbeeld chloridegehalten en EC-metingen. Uiteraard zijn in DAWACO ook de grondwaterstanden opgeslagen, hieruit kan de stijghoogte afgeleid worden door de filterdiepte met deze grondwaterstand te vergelijken. De grondwaterstanden zijn voor alle filters bekend en worden regelmatig uitgelezen met behulp van divers.

De putten waar de chloridegehalten en EC-metingen bekend zijn maken vaak deel uit van het kwaliteitsmeetnet. Voor het primaire meetnet is slechts voor een enkele filter het chloridegehalte bekend. Hierdoor is er ook nog geen zicht op de mate van eventuele zoutcorrecties.



Figuur 4: Put 10BP0191 met zeven filters

2.3 Zoet-Zout Grensvlak

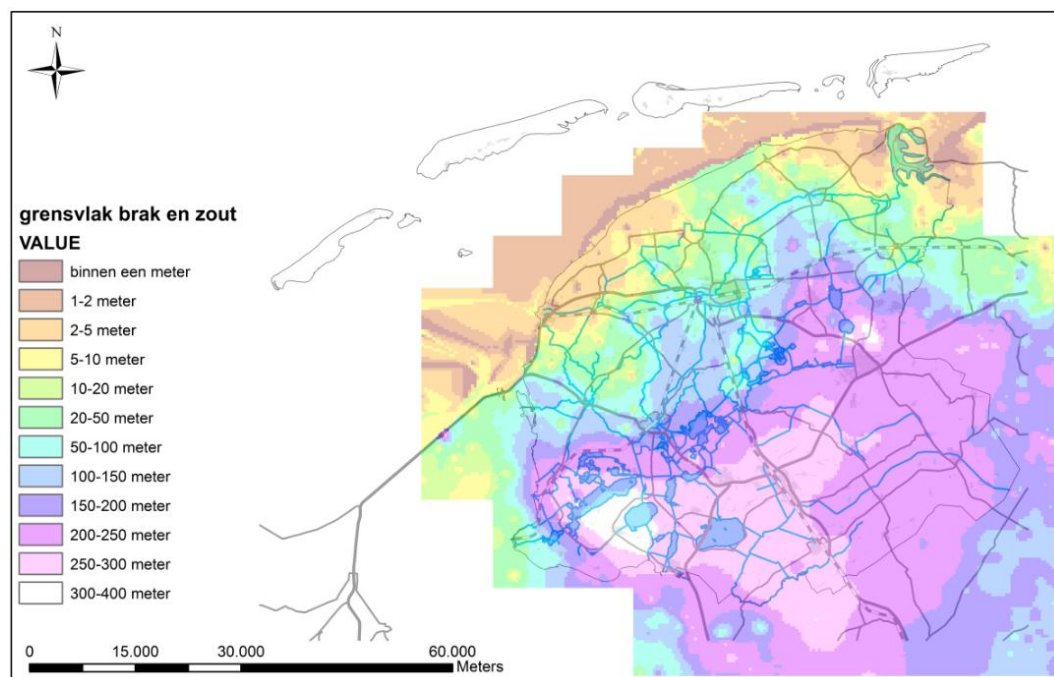
Vanuit de zoute Waddenzee zal water via de ondergrond het binnenland insijpelen omdat de waterhoogtes in de Waddenzee hoger zijn dan het maaiveld en de polderpeilen achter de dijken. Dit proces wordt versneld door transgressie, wat inhoudt dat de zeespiegel stijgt en/of de bodem daalt. Hierdoor wordt het hoogteverschil groter. De huidige zoutverdeling in Noord en Noordwest Fryslân komt overeen met de transgressies en regressies van de zee in het Holocene tijdperk (afgelopen 10.000 jaar) (TNO Bouw en Ondergrond, 2015). Ook historische getijden hebben hier invloed op gehad. Het zoute water kan het zoete grondwater verdringen en andersom (van Staveren & Velstra, 2011). Omdat zout water een hogere dichtheid heeft dan zoet water (1025 kg/m^3 vs. 1000 kg/m^3) zit dit dieper in de bodem. Er ontstaat een grensvlak, het zoet-zout grensvlak, waar het zoete grondwater in de bovenlagen wordt afgewisseld met het zoute water in de diepere lagen.

Vanuit de provincie is er met behulp van een beperkt aantal chloride metingen een gebiedsdekkende kaart opgesteld van het brak-zout grensvlak (Figuur 6). Er wordt hier specifiek gekeken naar het brak-zout grensvlak en niet naar het zoet-brak grensvlak omdat in dit onderzoek alleen gekeken zal worden naar de buizen waar de correctie het grootst zal zijn. De correctie zal in zout water groter zijn dan in brak water.

Wat in de figuur direct duidelijk wordt is dat het grensvlak aan de kust veel minder diep ligt dan in de rest van de provincie. Dit is te verklaren door de ligging. Zoals in de inleiding al besproken heeft het zoute Waddenzeewater een grotere en directere invloed aan de kust. Zo op het eerste gezicht lijkt het grensvlak in het Marnegebied (Figuur 5) toch aardig diep te liggen. Dit wordt veroorzaakt door afstroming van zoet grondwater vanuit het Gaasterland gebied (Figuur 5). Vanwege de hoge stuwwal, een opstuwing van in dit geval keileem, is Gaasterland een infiltratiegebied. In een infiltratiegebied infiltreert zoet water (Alterra & Wageningen UR, 2015).



Figuur 5: Duiding Marnegebied en Gaasterland



Figuur 6: Brak-Zout grensvlak beneden Maaiveld

2.4 Het chloridegehalte/zoutgehalte

Diepere grondlagen bevatten vaker zout grondwater, hogere lagen zijn meestal gevuld met zoet grondwater. Dit is te wijden aan het zoete regenwater wat infiltreert in de hogere gronden. Daartussen bevindt zich brak water wat niet geheel zoet of zout is. Volgens de definitie van Stuyfzand bevat zoet water een chloridegehalte van minder dan 150 mg/L. Grondwater met een concentratie tussen 150-1000 mg/L wordt brak water genoemd. Zout grondwater heeft volgens de definitie een chloride concentratie van meer dan 1000 mg/L. (Stuyfzand, 1986)

De dichtheid van het zoute grondwater staat in directe relatie met het chloridegehalte wat aanwezig is. Stijgt het chloridegehalte dan zal ook de dichtheid stijgen. Er zijn verscheidene manieren om met behulp van het chloridegehalte de dichtheid te bepalen. Daarnaast kunnen ook nog andere zouten in het grondwater opgelost zitten. Dit wordt uitgedrukt in de TDS (Total Dissolved Solids), wat een maat is voor alle opgeloste vaste stoffen in het water. Ook deze TDS staat in verband met de dichtheid. De TDS wordt ook wel het zoutgehalte genoemd.

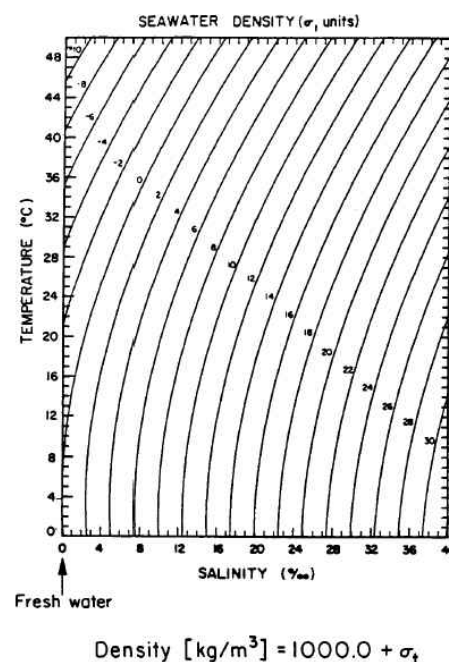
Om het zout- en chloridegehalte te bepalen wordt een indirecte methode gebruikt. De geleidbaarheid van het water staat in direct verband met het zoutgehalte. Het verband tussen de eenheden is lineair. Hoe groter de geleidbaarheid, hoe groter het zoutgehalte. Dit komt door de aanwezigheid van ionen. Naarmate er meer zouten, en dus ionen, in het water aanwezig zijn, geleidt het water elektrische stroom beter. De geleidbaarheid zal, naast de chloride-ionen, ook beïnvloed worden door andere ionen. Echter, de chloride-ionen zullen waarschijnlijk de boventoon voeren. De verhoging van de geleidbaarheid wordt als maat gehanteerd voor de hoeveelheid opgeloste zouten in het water (Stichting Infrastructuur Kwaliteitsboring Bodembeheer (SIKB), 2001). De geleidbaarheid kan gemeten worden met een EC-meter (Electrical Conductivity). Met behulp van een elektrode wordt gemeten hoeveel stroom er geleid wordt.

Het lineaire verband tussen de twee grootheden zou in laboratoriumomstandigheden reeds bekend zijn. Het kan echter zo zijn dat in de praktijk dit verband locatieafhankelijk is door andere opgeloste stoffen naast de chloride-ionen. Hierdoor is het verband niet overal hetzelfde. Om het verband voor de provincie Fryslân te schatten wordt lineaire regressie toegepast op punten waar metingen hebben plaatsgevonden naar zowel de geleidbaarheid als het chloride en/of zoutgehalte. Geleidbaarheid wordt hier uitgedrukt in mS/m (millisieverts per meter) en het zoutgehalte in mg/L.

Als het chloride en/of zoutgehalte bekend is, al dan niet door een meting of door lineaire regressie, kan de dichtheid van het grondwater berekend worden. De dichtheid kan op twee manieren bepaald worden; als functie van zoutgehalte en temperatuur of als formule vorm met chloridegehalte of TDS. Als functie van zoutgehalte en temperatuur kan de dichtheid in Figuur 7 afgelezen worden. De temperatuur kan hier geschat worden aan de hand van de volgende formule (Lokhorst & Wonge, 2007):

$$T (^{\circ}C) = 10^{\circ}C + 0.03 * \text{diepte (m)}$$

De waarde die verkregen wordt uit deze methode moet opgeteld worden bij de dichtheid van zoet water (1000 kg/m³)



Figuur 7: dichtheid als functie van temperatuur en zoutgehalte. BRON: (Mixzon Inc., sd)

De tweede mogelijkheid om de dichtheid van het zoute water te schatten is met behulp van de volgende formule waarin men rekent met het chloridegehalte (de Vries, 2008) (van Baaren, et al., 2012) of de TDS (Total Dissolved Solids) (Oude Essink G. , 2001). Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen chloridegehalte en zoutgehalte.

$$\rho_{zout} = \rho_{zoet} * \left(1 + \alpha * \frac{C}{C_s}\right)$$

$$\rho_{zout} = \rho_{zoet} * \left(1 + \alpha * \frac{TDS}{TDS_s}\right)$$

Hierin is:

$\alpha = 0.025$

$C_s = 18630 \text{ mg/L}$

$TDS_s = 35000 \text{ mg/L}$

Omdat het bepalen van het chloridegehalte (C) aan de hand van een EC-meting, betrouwbaarder wordt bevonden dan een TDS bepaling (dit blijft een schatting door de variërende dichtheden van zouten), zal er in dit onderzoek gerekend worden met het zoutgehalte C. De bovenstaande formules zullen wel beide een dichtheid genereren van dezelfde grootte. De dichtheid blijft ook altijd een schatting omdat niet precies bekend is welke andere zouten zijn opgelost. In de formules wordt hiervoor min of meer gecorrigeerd. Een exacte dichtheid is onmogelijk, tenzij het grondwater in het lab onderzocht wordt.

2.5 De zoutcorrectie

Onder normale omstandigheden, als overal gerekend kan worden met de dichtheid van zoet grondwater, kan gewerkt worden met stijghoogten. Dit is echter niet het geval in een situatie met zoet, brak en zout grondwater. De gemeten stijghoogten moeten worden gecorrigeerd voor de dichtheid. Om dit aspect mee te nemen moet de stijghoogte omgerekend worden naar een zogenaamde equivalente zoetwaterstijghoogte. Deze equivalente zoetwaterstijghoogte is een fictieve parameter zonder fysische betekenis, zo staat de stijghoogte niet meer loodrecht op de grondwaterstroming en betekent een gradiënt in equivalente stijghoogtes niet automatisch dat er grondwater gaat stromen bij een variërende dichtheid (de Vries, 2008).

Om zoete en zoute stijghoogtes met elkaar te kunnen vergelijken moeten deze omgerekend worden naar drukken. Hiervoor geldt dat de druk die het zoute water levert, hetzelfde moet zijn als dat het zoete water zou leveren. Omdat zout water een grotere dichtheid heeft dan zoet water moet het zoete water een grotere hoogte aannemen om dezelfde druk te kunnen leveren (Post, Kooi, & Simmons, 2007) (Oude Essink G. , 2001) (Oude Essink, Delsman, Vermeulen, Janssen, & van Baaren, 2011).

Als de stijghoogtes in NAP gemeten zijn, is het handig om voor de correcties een referentiepunt te kiezen (bijvoorbeeld: Om NAP) (Figuur 8). De formule wordt afgeleid aan de hand van de druk. (de Vries, 2008)

$$\rho_{zout} * g * h_{zout} = \rho_{zoet} * g * h_{zoet}$$

$$\rho_{zout} * h_{zout} = \rho_{zoet} * h_{zoet}$$

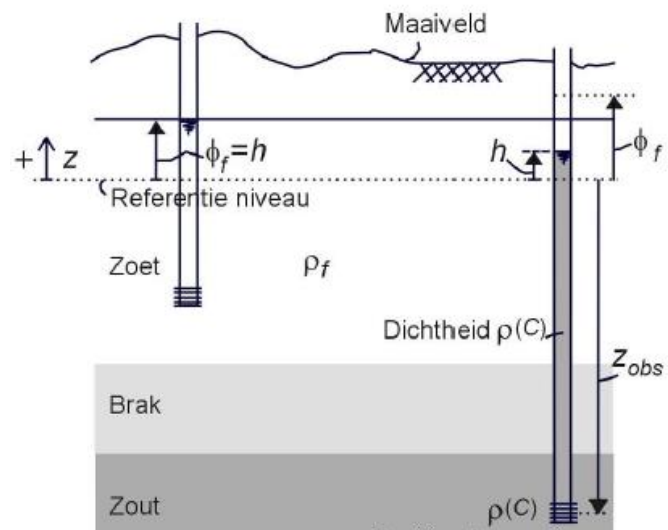
$$h_{zoet} = \frac{\rho_{zout} * h_{zout}}{\rho_{zoet}}$$

$$h_{zoet} = \phi_f + z_{observatie}$$

$$h_{zout} = h + z_{observatie}$$

$$\phi_f = -z_{observatie} + \frac{\rho_{zout}}{\rho_{zoet}} * (h + z_{observatie})$$

$$\phi_f = \frac{\rho_{zout}}{\rho_{zoet}} * h + \frac{\rho_{zout} - \rho_{zoet}}{\rho_{zoet}} * z_{observatie}$$



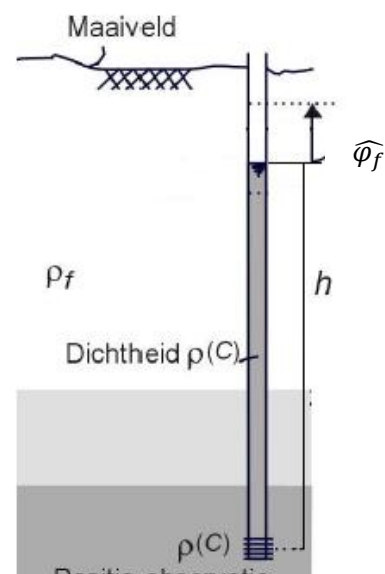
Figuur 8: Schematisatie voor zoutcorrectie

Er kan ook gekozen worden om de correctie direct vanaf de zoute stijghoogte te berekenen (Figuur 9). In dat geval is de correctie $\widehat{\phi}_f$ de hoogte die bij de zoutwaterstijghoogte opgeteld moet worden. Deze methode wordt in dit onderzoek verder gebruik. Deze methode geeft niet eenzelfde waarde voor ϕ_f als de vorige methode, maar wel dezelfde uiteindelijke equivalente zoetwaterstijghoogte. Opnieuw wordt de formule afgeleid aan de hand van de formule voor druk:

$$h_{zoet} = h_{zout} + \widehat{\phi}_f$$

$$\widehat{\phi}_f = \frac{\rho_{zout} * h_{zout}}{\rho_{zoet}} - h_{zout}$$

$$\widehat{\phi}_f = \frac{\rho_{zout} - \rho_{zoet}}{\rho_{zoet}} * h_{zout}$$



Figuur 9: Schematisatie zoutcorrectie

Doordat zout water een hogere dichtheid heeft dan zoet water, zal de equivalente zoetwaterstijghoogte een grotere hoogte moeten hebben dan de zoutwaterstijghoogte. De zoutcorrectie zal in dit onderzoek zodoende niet negatief uit kunnen vallen. Om eenzelfde druk te behouden zal over de gehele natte stijgbuisinhoud gecorrigeerd moeten worden. Hierbij is de aanname dat de dichtheid van het (zoute) water binnen de stijgbuis niet varieert. Dit zal waarschijnlijk ook niet het geval zijn omdat de filter in één watervoerende laag gepositioneerd is. Het grondwater binnen eenzelfde grondlaag op één specifieke locatie zal uit eenzelfde dichtheid bestaan. Dit water wat vervolgens door de stijgbuis omhoog komt is daardoor van eenzelfde dichtheid. Het kan echter voorkomen dat regenwater en/of grondwater uit een andere grondlaag de filterbuis binnendringt, waardoor er geen constante dichtheid is. Om dit te voorkomen wordt vóór metingen de stijgbuis inhoud eerst drie maal leeggepompt, zodat de stijgbuis zich gaat vullen met het grondwater uit de beoogde grondlaag.

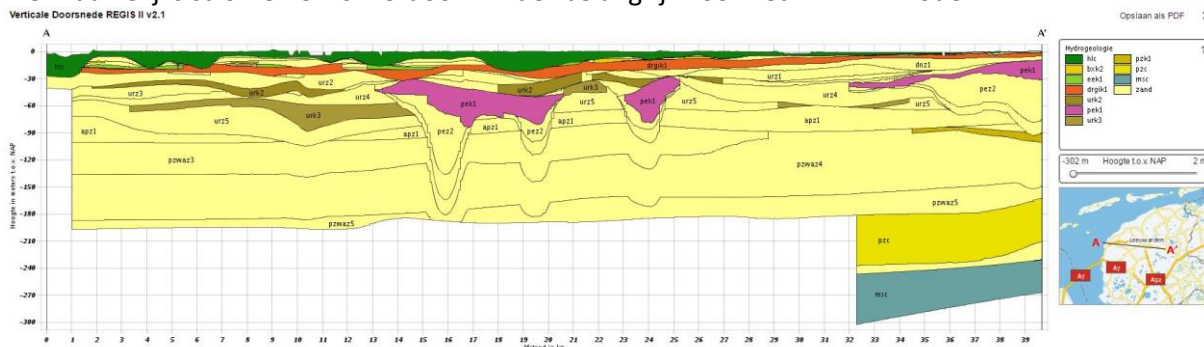
De zoutcorrectie zal grotere waarden aannemen naarmate de dichtheid van het te corrigeren grondwater groter is. Hoe groter de dichtheid, hoe groter de correctie zal zijn. Dit is omdat bij een grotere dichtheid het water zwaarder is en het grondwater zodoende minder stijgt dan zoet grondwater. De correctie zal ook groter worden naarmate de filterdiepte van het zoute water toeneemt (h_{zout}). Hoe groter de stijghoogte van het zoute grondwater, hoe meer water er zich in de stijgbuis bevindt en dus hoe meer zout er zich in de stijgbuis bevindt. Tussen de stijghoogte van het zoute grondwater en de correctie zit een lineair verband (als de dichtheid hetzelfde blijft). Daardoor geldt; hoe dieper de filter, hoe groter de zoutcorrectie. Tussen het chloridegehalte en de correctie geldt ook een lineair verband. Hoe hoger het chloridegehalte, hoe groter de correctie zal zijn.

2.6 Laagopbouw van de ondergrond

De ondergrond is in de loop der tijd opgebouwd uit verschillende geologische lagen (Stafleu, et al., 2013). De provincie Fryslân wordt gekenmerkt door een afwisseling van zandige en kleiige gronden van verschillende oorsprong (Gunnink, Sanchez, de Louw, & van Baaren, 2012). De verschillende lagen zijn van fluviatiele (afgezet door stromend water), mariene (afgezet door zeestroming), eolische (afgezet door wind) of glaciaire (afgezet door landijs) oorsprong. Door een opeenvolging van afzettingen van verschillende oorsprong is de laagopbouw van de ondergrond ontstaan. Voor dit onderzoek is de geologie van minder belang. Van groter belang is de hydrogeologie en geohydrologie.

In de hydrogeologie worden de geologische lagen ingedeeld naar doorlaatbaarheid. Een hydrogeologische indeling wordt gegeven in Figuur 10. De lichtgele lagen zijn zandlagen. Deze zandlagen hebben min of meer eenzelfde doorlaatbaarheid waardoor het grondwater zich in de lagen hetzelfde zal gedragen. In deze lagen speelt de horizontale doorlaatbaarheid een grotere rol dan de verticale doorlaatbaarheid.

De verschillende geologische formaties worden op deze manier ingedeeld op doorlaatbaarheid. De gekleurde lagen in Figuur 10 zijn klei- of veenlagen, deze hebben een slechte doorlaatbaarheid. In deze lagen zal verticale stroming meer invloed hebben dan horizontale stroming. Het grondwater zal hier nauwelijks stromen en is hierdoor minder belangrijk voor het MIPWA-model.



Figuur 10: Doorsnede met indeling naar hydrogeologie

In de geohydrologie worden de hydrogeologische lagen verder ingedeeld. Hier wordt onderscheid gemaakt tussen watervoerende pakketten en scheidende lagen. In watervoerende pakketten kan het grondwater vrij stromen, deze bestaan dan ook uit zandlagen. Omdat de doorlaatbaarheid van klei- en veenlagen laag is, vormen deze de scheidende lagen. In Tabel 1 wordt de indeling naar geohydrologie gegeven voor Fryslân (Grontmij, 2014). Wat hierin opvalt, is dat bijvoorbeeld de formatie van Naaldwijk zowel in een scheidende laag valt (DKL) als in een watervoerend pakket (WVP1a).

Het zout grensvlak (Hoofdstuk 2.3) hangt samen met de laagopbouw. Zo kan in een scheidende laag zout water zitten wat nauwelijks stroomt en zo vast gehouden wordt in de klei. Door transgressies kan het zoute water wel door de watervoerende pakketten landinwaarts stromen.

Laag	Afzetting	Formatie
DKL	klei	Formatie van Naaldwijk
	veen	Formatie van Nieuwkoop
WVP1a	zand	Formatie van Naaldwijk
SDL1a	leem/veen	Formatie van Naaldwijk
WVP1b	zand	Formatie van Bostel
	zand	Eemformatie
SDL1b	klei	Eemformatie
	keileem	Formatie van Drenthe
WVP1c	zand	Eemformatie
		Formatie van Drachten
		Formatie van Urk, laagpakket van Tijnje
		Formatie van Peelo
SDL1	klei	Formatie van Urk, laagpakket van Tijnje
	klei	Formatie van Peelo
WVP2a	zand	Formatie van Peelo
	zand	Formatie van Urk, laagpakket van Veenhuizen
SDL2a	klei	Formatie van Urk, laagpakket van Veenhuizen
WVP2b	zand	Formatie van Appelscha
	zand	Formatie van Peize
SDL2 (basis)	klei	Formatie van Peize
WVP3	zand	Formatie van Peize
	zand	Formatie van Maassluis
SDL3	klei	Formatie van Maassluis

Tabel 1: Indeling in watervoerende pakketten en scheidende lagen

3 Onderzoek

In dit hoofdstuk zal het onderzoek aan de hand van het theoretisch kader uitgevoerd worden. Dit onderzoek bestaat uit drie delen. In het eerste deel wordt een analyse uitgevoerd op de peilbuizen in Fryslân. Er wordt zo een selectie gemaakt van de peilbuizen die in aanmerking komen voor een zoutcorrectie. Het tweede deel van het onderzoek bestaat uit aanvullend veldwerk. Dit veldwerk wordt uitgevoerd op de gemaakte selectie van peilbuizen om zo de gegevens te verzamelen voor een daadwerkelijke zoutcorrectie. In het derde deel is een relatie tussen geleidbaarheid en chloridegehalte bepaald welke nodig zal zijn om de data van het veldwerk te kunnen verwerken. Deze is terug te vinden in het hoofdstuk Resultaten.

3.1 Peilbuizen analyse

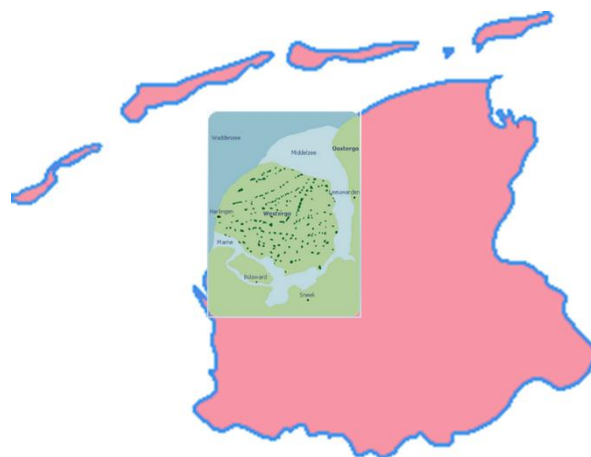
Om in kaart te kunnen brengen welke peilbuizen of filters in aanmerking komen voor een zoutcorrectie is het noodzakelijk een analyse uit te voeren. Kort door de bocht zijn de peilbuizen met filters in een watervoerend pakket en die zout bevatten het meest interessant. In deze analyse worden alle peilbuizen geanalyseerd en bekeken of ze als ‘interessant’ aangemerkt zouden kunnen worden. De analyse wordt aan de hand van drie punten gedaan; het eerder benoemde brak-zout grensvlak, de database DAWACO en hieruit gehaald onderzoek en de ligging van de filters in geohydrologische lagen. Na deze analyse op de benoemde punten zijn de filters in kaart gebracht waar eventueel vervolg onderzoek/veldwerk nodig is voor een zoutcorrectie.

De putten van zowel het primair, kwaliteit, LGM en KRW meetnet worden meegenomen in dit onderzoek (Figuur 3). De punten van de meetnetten op de Waddeneilanden zijn weggelaten. De eilanden hebben waarschijnlijk een lokaal grondwatersysteem welke moeilijk mee te nemen is in de validatie van MIPWA. Daarnaast is het brak-zout grensvlak niet bekend voor de Waddeneilanden (Figuur 6).

3.1.1 Verwachting

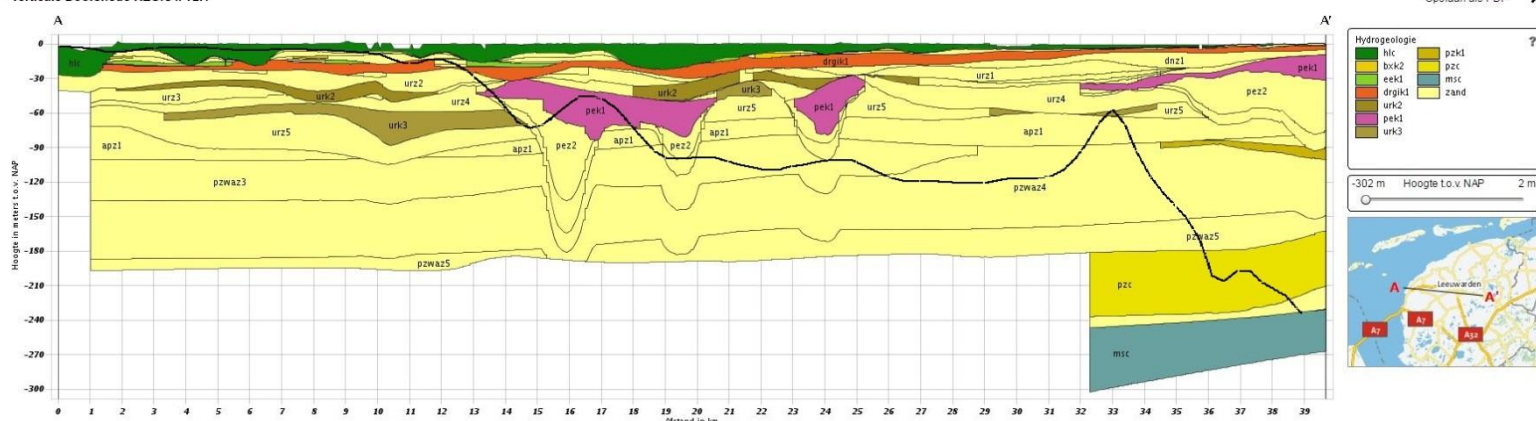
De verwachting is dat de putten/filters die zout bevatten vooral in het noorden van de provincie gevonden zullen worden. Dit gebied grenst namelijk direct aan de zoute Waddenzee en ondervindt zodoende de meeste invloed van de transgressie van zout zeewater. Waarschijnlijk zullen er ook zoute peilbuizen/filters aangetroffen worden in Zuidwest Fryslân (Súd-West Fryslân). Hier is waarschijnlijk nog zout aanwezig door de vroegere Middelsee, de Marne en de Zuiderzee (Figuur 2), deze regio's zijn in Figuur 11 weergegeven bij de locatie in de huidige tijd. In de regio rond Bolsward en Sneek (Súd-West Fryslân) zal zodoende waarschijnlijk zout grondwater aangetroffen worden, dit zout is ingetrokken in het land en is door slecht doorlatende lagen blijven “zitten”.

Het is niet te verwachten dat in het Zuidoosten van de provincie zout grondwater aangetroffen wordt in de bovenste 200 meter van de ondergrond. Het grondwater is daar afkomstig van afstromend water van het Drents Plateau, wat betreft zoet grondwater (Vegter, 2015). Het zoute grondwater is wel aanwezig maar zal veel dieper in de bodem zitten dan in het Noorden en Zuidwesten. Dit wordt ook duidelijk aan de hand van een doorsnede waar het zoutgrensvlak is ingetekend (Figuur 12). Het grensvlak bevindt zich, op één punt na, steeds dieper in de ondergrond naarmate men verder de provincie in gaat. Dit éne uitzonderlijke punt wordt waarschijnlijk veroorzaakt door grondwaterwinning van VITENS. Hierdoor wordt ook zout grondwater mee omhoog getrokken. Willen de peilbuizen in het Zuidoosten zout bevatten dan zullen de filters erg diep moeten zitten. Voor andere doorsnedes met zoutgrensvlak en toelichting wordt verwezen naar Bijlage A.



Figuur 11: Locatie van figuur 2 in huidige tijd

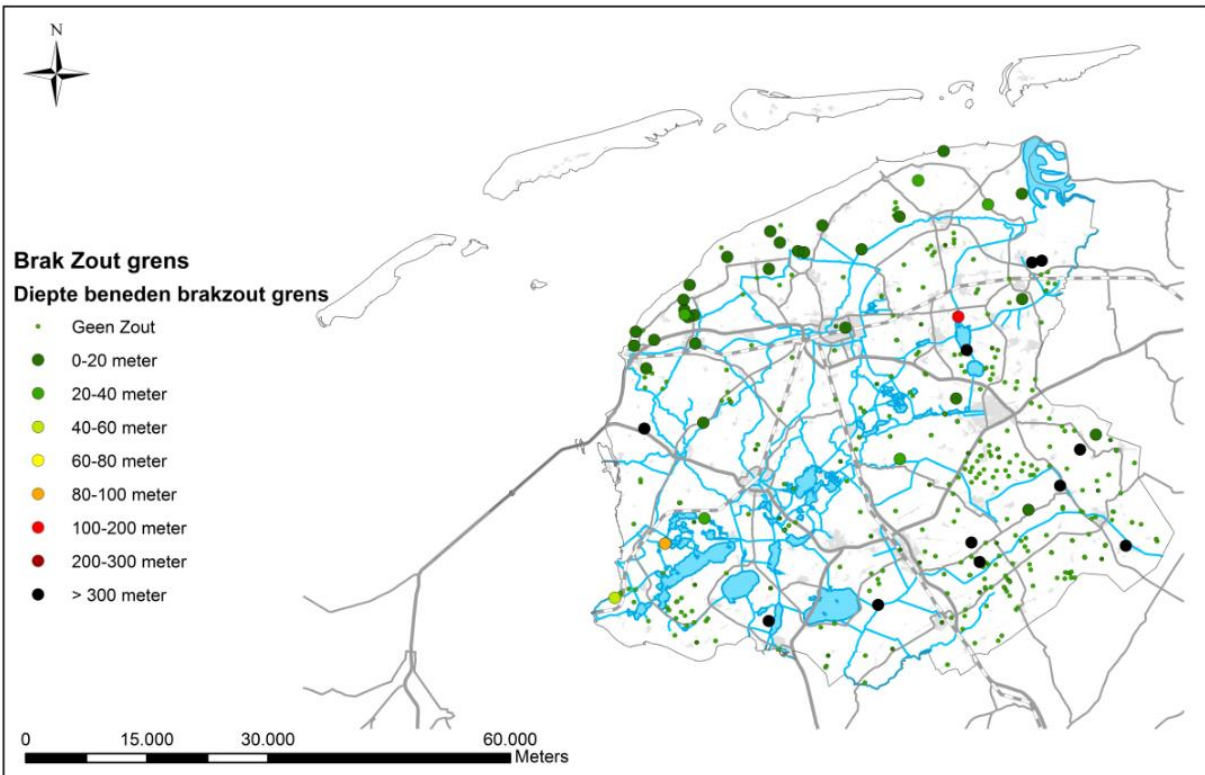
Verticale Doorsnede REGIS II v2.1



Figuur 12: Doorsnede met zoutgrensvlak

3.1.2 Analyse - Grensvlak

De peilbuizen in de verschillende meetnetten bevatten meerdere filters op verschillende dieptes onder het maaiveld. Door een vergelijking te maken van deze dieptes met de diepte van het brak-zout grensvlak, worden de filters in kaart gebracht welke, volgens dit grensvlak, zout zouden moeten bevatten. Bij deze analyse wordt aangenomen dat als een filter zich beneden het grensvlak bevindt, er hier zout aanwezig moet zijn. Voor elke put is de waarde van het grensvlak uit Figuur 6 bepaald. De diepte beneden het maaiveld van elke filter is uit de database DAWACO gehaald. Deze dieptes zijn vervolgens met elkaar vergeleken om te kijken of de filters voldoende diep gelegen zijn om beneden het zoute grensvlak te vallen. De uiteindelijk verkregen waarde is de lengte (in meters) dat een filter zich beneden het zoute grensvlak bevindt. Kort door de bocht kan er gezegd worden dat dit de hoeveelheid meters is die de buis in het zoute grondwater staat (Figuur 13). Hoe groter deze waarde, hoe dieper de filter zich onder het grensvlak bevindt.



Figuur 13: Diepte van buis beneden brak-zout grensvlak

Wat hierin direct opvalt, is dat er buizen in het Zuidoosten van Friesland zijn die een diepte van meer dan 300 meter beneden het brak-zoutgrensvlak hebben. Dit zouden erg diepe putten moeten betreffen omdat het brak-zout grensvlak in het Zuidoosten van Fryslân ook erg diep ligt. Het lijkt echter niet aannemelijk dat deze putten zulke diepe filters bevatten. De dieptes voor deze putten zijn terug te vinden in de database DAWACO, hier is te vinden dat deze putten 999 meter diep zouden zijn. 999 wordt als dummy waarde verondersteld (in overleg met dhr. H. Grobbe), de werkelijke diepte is daardoor onbekend. Omdat de werkelijke dieptes niet bekend zijn, worden deze filters in het vervolg van de analyse niet meer meegenomen. Dit betekent niet dat er bij de desbetreffende putten geen filters aanwezig zijn die wel meegenomen kunnen worden.

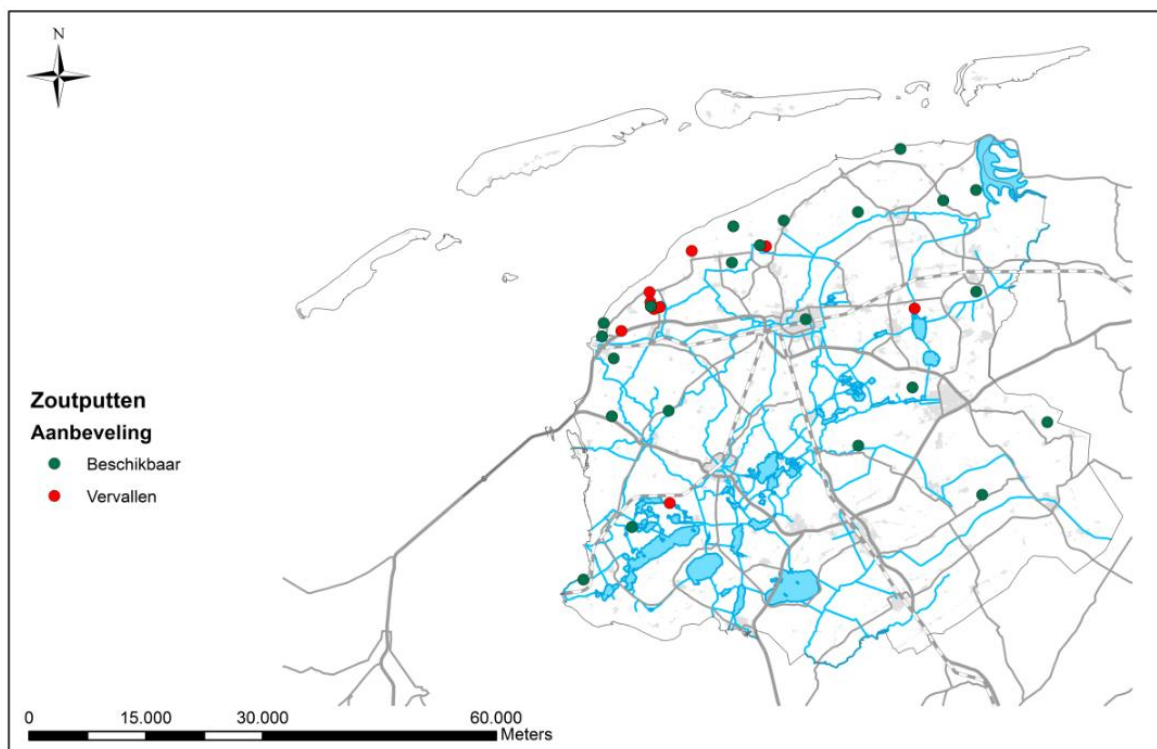
3.1.3 Analyse DAWACO

Behalve de vergelijking met het brak-zout grensvlak is er ook onderzoek gedaan naar de putten in DAWACO. DAWACO is de database van de provincie Fryslân waarin zij alle gegevens van de Peilbuizen bewaren. Er wordt kort ingegaan op de beschikbaarheid van filters, de aanwezigheid van zout en chloridemetingen uit het verleden.

Beschikbaarheid

Om de zoveel tijd worden alle filters in het primair meetnet heroverwogen. In het bij deze optimalisatie- en evaluatieonderzoek meegeleverde bestand "*primairDawaco19052014.xlsx*" zijn aanbevelingen gedaan over het al dan niet laten vervallen van sommige filters/putten. Er is hierbij gekeken naar de staat van de putten en of deze behouden dienen te worden voor het primaire meetnet. In Figuur 14 zijn de putten welke, als aanbeveling, zouden moeten vervallen weergegeven. Er is nog niet besloten deze putten ook daadwerkelijk te laten vervallen. Daarom worden eerst wel alle putten meegenomen.

Ook zijn er een aantal filters welke in dit bestand als 'kapot' aangegeven zijn. Deze filters bevatten grondwater dat niet afkomstig is uit de grondlaag waarin de filter gepositioneerd is. Er bevindt zich hier grondwater uit andere/ hoger gelegen grondlagen.



Figuur 14: Aanbeveling voor het laten vervallen van putten/filters

Aanwezigheid zout

Na de analyse met het grensvlak zijn er nog 49 filters over, verdeeld over 25 putten. In hetzelfde bestand als in hoofdstuk 3.1.3 beschreven is, is ook gekeken naar de aanwezigheid van zout. Per filter is gekeken of er zout grondwater aanwezig zou zijn. In het bestand is vervolgens met “ja, hoogstwaarschijnlijk, waarschijnlijk, mogelijk of nee” beantwoord of er zout aanwezig is. In de overgebleven selectie van 49 filters, zijn filters aanwezig waarbij deze vraag met nee beantwoord is maar welke toch beneden het brak-zout grensvlak liggen. Omdat het grensvlak een interpolatie van metingen, en dus een schatting, is en er vanuit wordt gegaan dat het onderzoek van het bestand betrouwbaar is, wordt aangenomen dat er bij de putten waar ‘nee’ geantwoord is ook écht geen zout aanwezig is. Het betreft hier tien filters verdeeld over zeven putten, vrijwel allemaal in het noorden van de provincie. Vijf van deze putten kunnen helemaal weggelaten worden, de andere twee putten hebben diepere filters waar wel zout grondwater aanwezig zou zijn. Omdat het onderzoek betrouwbaarder wordt bevonden dan de analyse met het grensvlak worden deze filters verder buiten beschouwing gelaten (Tabel 2). Deze filters zijn in tabel 2 weergegeven voor eventueel aanvullend onderzoek naar deze putten. Voor dit onderzoek zijn deze putten echter een onzekerheidsfactor. Door de beperkt beschikbare tijd worden alleen de putten meegenomen waarvan bijna zeker is dat deze zout grondwater bevatten.

Er zijn ook filters aanwezig waarbij de aanwezigheid van zout als ‘ja’ wordt aangegeven maar welke boven de zoutgrens liggen. Het gaat in dit geval om negen filters verdeeld over zeven putten. Zes van deze zeven putten zijn al opgenomen in de eerdere selectie met diepere filters. Eén put zou nog toegevoegd kunnen worden (*put: 05FP9004*). Omdat het onderzoek betrouwbaarder wordt bevonden dan de analyse met het grensvlak wordt ervoor gekozen deze filters op te nemen in de analyse (Tabel 3).

Omdat dit onderzoek zich richt op de locaties waar de zoutcorrecties zeer waarschijnlijk toegepast zullen moeten worden, worden de filters waar de aanwezigheid van zout met ‘mogelijk’ is beantwoord niet meegenomen. Van deze filters is het niet zeker of er zout aanwezig zal zijn. Daarnaast zijn veel van deze filters deel van putten die al wel meegenomen zijn in de eerdere selectie. Putten die als mogelijk zijn beantwoord en niet meegenomen zijn, zijn de putten 05EL0002 en 05GP0070.

Afgevalen filters	Toevoegen filters
05FP9003_2	05GP9003_1
05FP9009_1	05FP9004_1
05GP0084_1	05FP9004_2
06GP0115_1	06AP0037_3
06GP0115_2	06BP0092_1
06GP0115_3	06BP0092_2
10EP0095_3	06EP0115_1
11BP0025_4	10BP0191_1
11BP0078_6	10BP0191_2
11BP0078_7	10GP0016_4

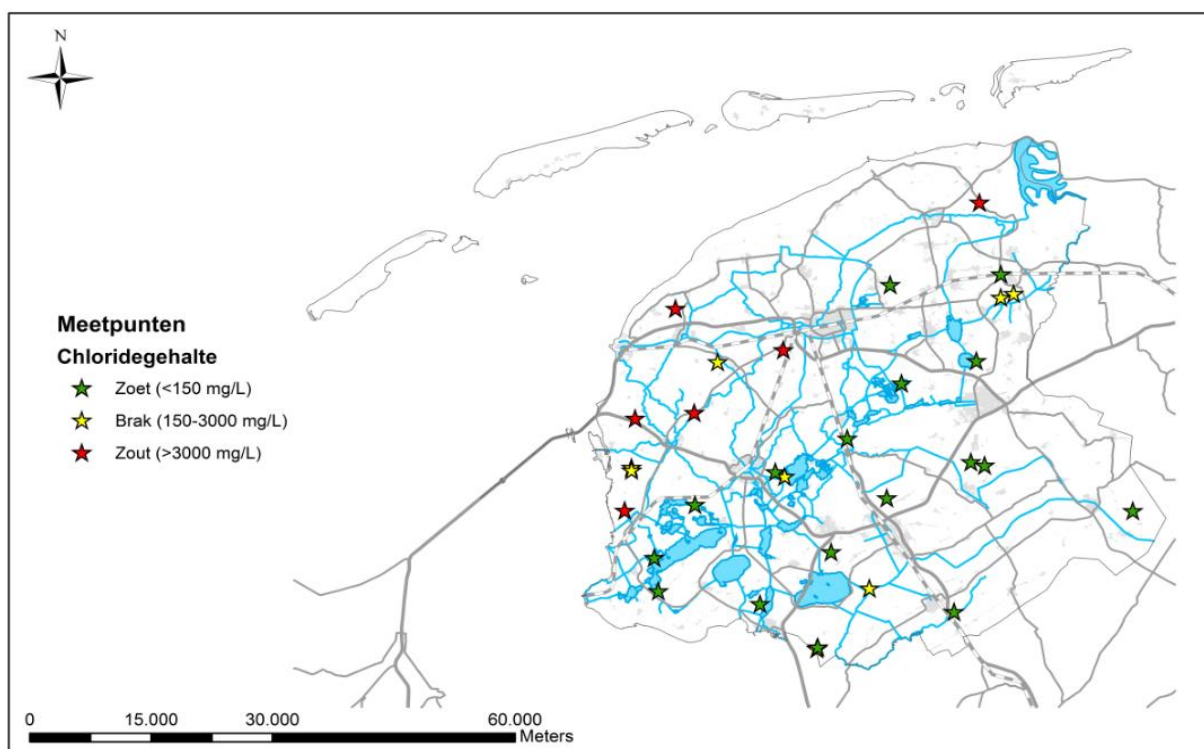
Tabel 2: Geen zout aanwezig, wel beneden grensvlak Tabel 3: Wel zout aanwezig, niet beneden grensvlak

Chloride metingen

Van een aantal putten in DAWACO zijn chloridemetingen beschikbaar, waardoor het chloridegehalte in deze putten bekend is. Als voor deze putten ook de geleidbaarheid bekend is, kunnen deze putten gebruikt worden voor het onderzoek naar het lineaire verband tussen de geleidbaarheid en het chloridegehalte. De metingen kunnen ook aanleiding zijn om putten, welke in de vorige analyses nog niet meegenomen zijn, alsnog toe te voegen. De provincie Fryslân wil graag de peilbuizen in kaart brengen waar de zoutcorrecties het grootst zullen zijn. Zoals in hoofdstuk 2.5 beschreven is, zal de correctie groter worden naarmate er een groter chloridegehalte gemeten wordt. Putten waarin een fors chloridegehalte gemeten is maar niet meegenomen zijn in de vorige analyse, kunnen daarom alsnog toegevoegd worden.

In Figuur 15 worden alle putten, waarvoor een chloride meting beschikbaar is, weergegeven. In de figuur zijn deze gerangschikt naar de klasse indeling van Stuyfzand, met als uitzondering dat de zoutgrens op 3000 mg/L is gesteld. Dit is dezelfde grens als in de provincie Zeeland aangehouden wordt (Oude Essink & van Baaren, 2009). In Zeeland heeft men van nature weinig zoet grondwater en daarom heeft men de grenzen hier verschoven. Het lijkt aannemelijk dat in het noorden van de provincie Fryslân ook veel zout grondwater gemeten wordt, vandaar dat er gekozen is deze waarde van de provincie Zeeland over te nemen. De grens van 3000 mg/L wordt zo gebruikt om inzicht te geven in peilbuizen waar forse chloridegehalten gemeten zijn.

In de metingen wordt direct een scheiding zichtbaar tussen het kustgebied en Zuidoost Fryslân. De meetpunten aan de kust zijn zouter dan de andere. Deze conclusie kan direct getrokken worden omdat de metingen in Noordwest Fryslân, zelfs op geringe diepte, al een hoog chloridegehalte laten zien. In Zuidoost Fryslân komen hoge chloridegehalten pas voor op grotere diepte. Er kan gekeken worden of er misschien nog interessante putten zijn waar hoge chloridegehalten gemeten worden, die in eerdere analyses nog niet meegenomen zijn. De putten die in de figuur als zoet aangemerkt worden zijn voor dit onderzoek niet interessant, hier zal geen zoutcorrectie plaats hoeven vinden. Bij een paar putten wordt brak of zout water gemeten welke zich boven de zoutgrens bevinden, deze putten zijn daardoor niet meegenomen in de eerdere selectie maar wellicht wel interessant.



Figuur 15: Meetpunten DAWACO met bekende chloride gehalten

In de analyse voor de keuze van peilbuizen worden de filters, waar een chlorideconcentratie van boven de 1000 mg/L gemeten is, alsnog toegevoegd. Dertien putten zijn, in de figuur, als 'brak' te omschrijven. Vier filters van deze putten hebben chloride gehalten van boven de 1000 mg/L (wat volgens de klasseindeling van Stuyfzand zout water zou betekenen) en zouden het waard kunnen zijn om verder te onderzoeken (Tabel 4). Opvallend bij deze putten is dat in het bestand van Grontmij wordt aangegeven dat deze geen zout zouden bevatten (*10EP0095_2 en put 06GP0115*).

Tien filters verdeeld over zes putten zijn als erg zout (>3000 mg/L) te beschrijven. Het betreft hier twee putten met filters die zich boven het zoutgrensvlak bevinden maar wel heel erg zout zijn. Een verklaring hiervoor is waarschijnlijk dat deze filters in klei gepositioneerd zijn en het zoute grondwater hier niet stroomt zodat het zout blijft 'zitten'. De bedoelde filters (*05HP0073_3, 10DP0065_2 en 10DP0065_3*) bevinden zich inderdaad in of tussen kleilagen. Door deze ondoorlatende lagen kan het zout lang op zijn plek blijven.

De andere zeven filters betreffen filters in putten die al in de eerdere selectie zijn meegenomen. Opvallend is dat ook hier putten aanwezig zijn waar volgens het bestand van Grontmij geen zout zou zitten maar waar dit wel gemeten is (*put 10EP0095, 10DP0065 en 05HP0073*). Deze filters zijn door hun hoge chloridegehalte wél interessant voor een zoutcorrectie (Tabel 5)

Toevoegen Filters (Brak)
06GP0115_1
06GP0115_3
10DP0065_1
10EP0095_2

Tabel 4: Filters waar brak water gemeten is

Toevoegen Filters (Zout)
05GP0084_1
05HP0073_3
10BP0191_1
10DP0065_2
10DP0065_3
10EP0095_3

Tabel 5: Filters waar zout water gemeten is

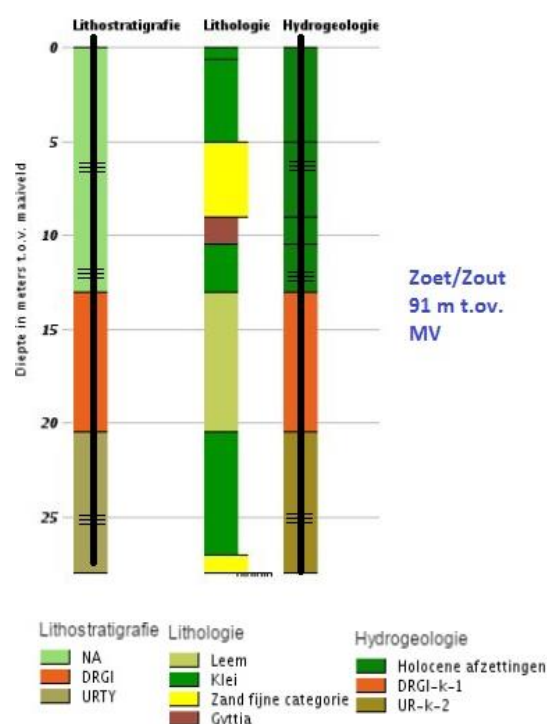
3.1.4 Analyse - Geohydrologische lagen

De laatste analyse op de putten vindt plaats op de overgebleven filters na de voorgaande analyses. Na de vorige analyses zijn er 59 filters als interessant gemarkeerd. Door diepere filters van dezelfde putten ook mee te nemen komt dit aantal op 68 filters. Deze laatste analyse richt zich op de geohydrologie. In de geohydrologie zijn de geologische lagen ingedeeld naar lagen waarin het grondwater zich hetzelfde lijkt te gedragen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen watervoerende pakketten en weerstand biedende lagen. Grondwaterfilters staan vrijwel altijd uitsluitend in watervoerende pakketten, anders zou er namelijk geen toestroom van water plaatsvinden. Het kan voorkomen dat een filter is geplaatst in een erg dun watervoerend pakket wat omringd is door weerstand biedende lagen (Kleilagen). In dit geval staat de filter praktisch in de weerstand biedende laag en zal er weinig toestroom van grondwater plaatsvinden. Doordat het zout zich in deze laag nauwelijks verplaatst kunnen hier wel hoge chloridegehalten gemeten worden. Het zout in de ondergrond is hoofdzakelijk zout formatiewater, dat al aanwezig is vanaf de afzetting van de betreffende grondlagen onder zoute omstandigheden. Het zout verplaatst zich hier uitermate traag, in de diepere lagen zelfs vrijwel niet.

Dit onderzoek richt zich op de watervoerende pakketten. Filters die in een kleilaag gepositioneerd zijn, zijn van minder belang in dit onderzoek naar grondwaterstromingen. Als voorbeeld wordt hier put 05HP0073 weergegeven (Figuur 16). Zoals in analyse Chloride metingen al belicht, zou deze put veel zout bevatten, zonder dat het zich onder het zoutgrensvlak bevindt. Bodemonderzoek levert op dat de filter, waar het hoge chloridegehalte gemeten is, inderdaad in een kleilaag gepositioneerd is (Groene kleur). Filter 3 ligt ver boven de zoutgrens (25m. t.o.v. de zoutgrens op 91 m. onder het maaiveld), maar toch wordt er wel een uitzonderlijk groot chloridegehalte gemeten. Dit kan verklaard worden door de ligging in de klei. Zout heeft zich hier opgestapeld en kan moeilijk door de klei stromen door de grote weerstand.

Door de geringe grondwaterstroming in deze kleilagen is dit grondwater minder van belang voor het MIPWA-model, er wordt er daarom voor gekozen deze filters buiten beschouwing te laten. Het kan een verkeerd beeld schetsen van de situatie door bijvoorbeeld niet representatieve stijghoogtemetingen weer te geven. Daarnaast is het door de beperkte tijd een onzekerheidsfactor. Putten met veel kleifilters kunnen door de beperkte tijd beter niet meegenomen worden zodat zoveel mogelijk goede filters wél meegenomen kunnen worden.

Zeventien van de overgebleven 68 filters bevinden zich in een klei of deklaag. Bij deze 15 filters zal niet aangeraden worden om veldonderzoek te verrichten omdat deze waarschijnlijk weinig water zullen pompen door de geringe toestrooming. Voor andere voorbeelden van boringen zoals in Figuur 16, wordt verwezen naar Bijlage B. In deze bijlage is, in tabelvorm, tevens de indeling naar watervoerende- en scheidende pakketten opgenomen.



Figuur 16: Voorbeeld voor (hydro)geologische ligging van filters voor put 05HP0073

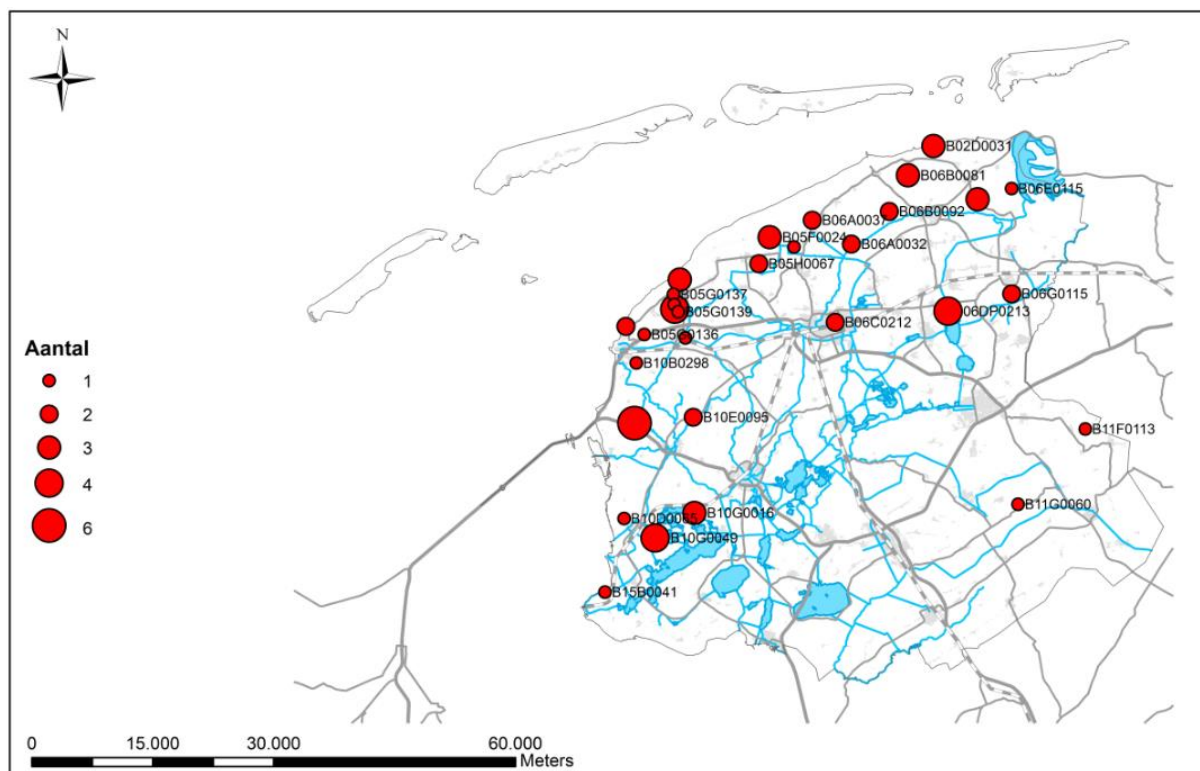
3.2 Overgebleven filters

De putten die filters bevatten waar, volgens de analyse, en met enige zekerheid, zout grondwater in zou zitten, worden weergegeven in Figuur 17. De putten zijn gesymboliseerd naar de hoeveelheid filters die zout zouden bevatten. Op deze putten is een zoutcorrectie hoogstwaarschijnlijk van toepassing. Om een verder inzicht te geven in de overgebleven putten zijn in Figuur 18 de putten gerangschikt naar diepte van de diepste filter. In Figuur 19 zijn de putten gerangschikt naar de lengte dat de filter zit beneden het brak-zout grensvlak.

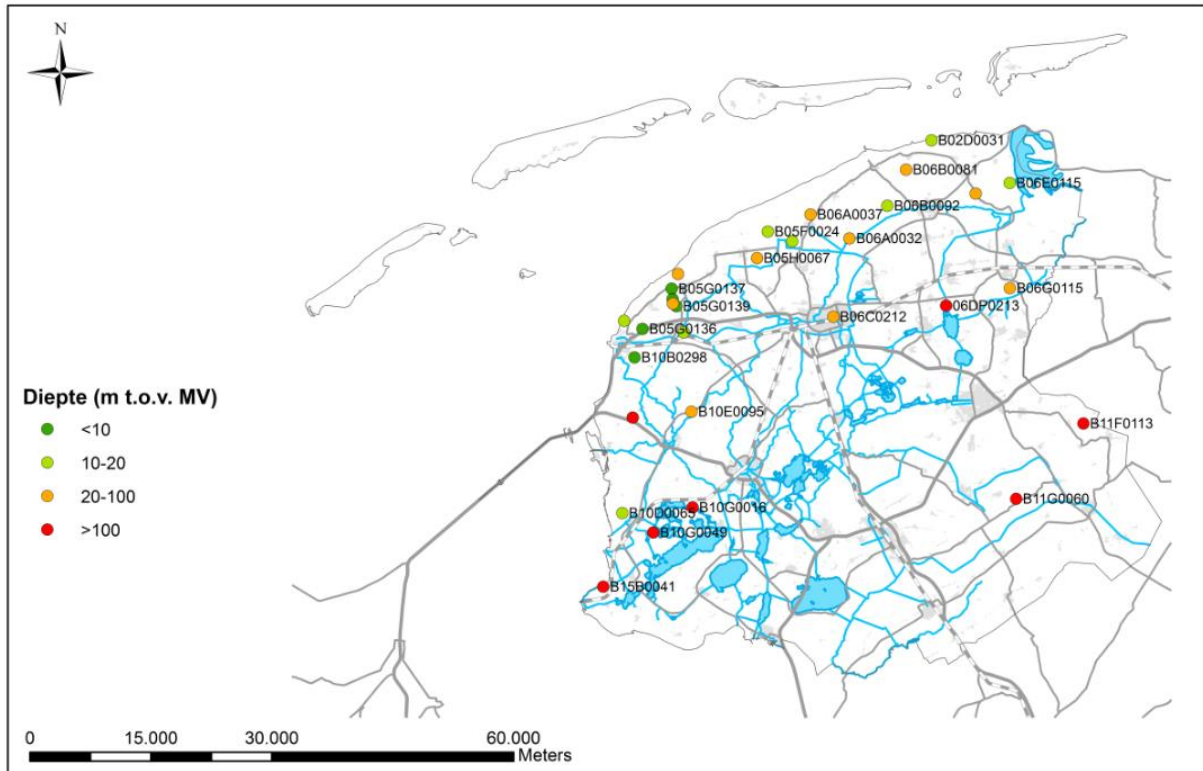
De in de inleiding gestelde hypothese lijkt inderdaad aardig te kloppen. De meeste putten waar een zoutcorrectie van toepassing zou kunnen zijn liggen in het Noorden en Zuidwesten van Fryslân. Twee putten, *B11F0113* en *B11G0060*, zijn hier een uitzondering op en zijn in het oosten gepositioneerd. Dit betreffen diepe putten die filters hebben welke diep genoeg zitten om beneden het brak-zoutgrensvlak te komen. Uit Figuur 19 blijkt ook dat deze twee filters niet erg diep onder het grensvlak vallen. Beide keren betreft het ook enkel één filter, de diepste, welke zout zou kunnen bevatten. Door de grote diepte kan een correctie hier ondanks een laag chloridegehalte wel aanzienlijk zijn.

In het Noorden van de provincie zijn putten aanwezig met meerdere filters in het 'zoutvlak'. Deze filters zitten op een relatief kleinere diepte (Figuur 18). Omdat het zout grensvlak hier minder diep zit, kunnen de hoger gelegen filters ook al zout bevatten. Wat meer opvalt, zijn de relatief diepe filters in Zuidwest Fryslân. Deze filters zitten ook redelijk ver beneden de zoutgrens. Een laatste punt dat opvalt, is de put *B10D0065* welke zich boven de zoutgrens bevindt maar waar wel zout gemeten is.

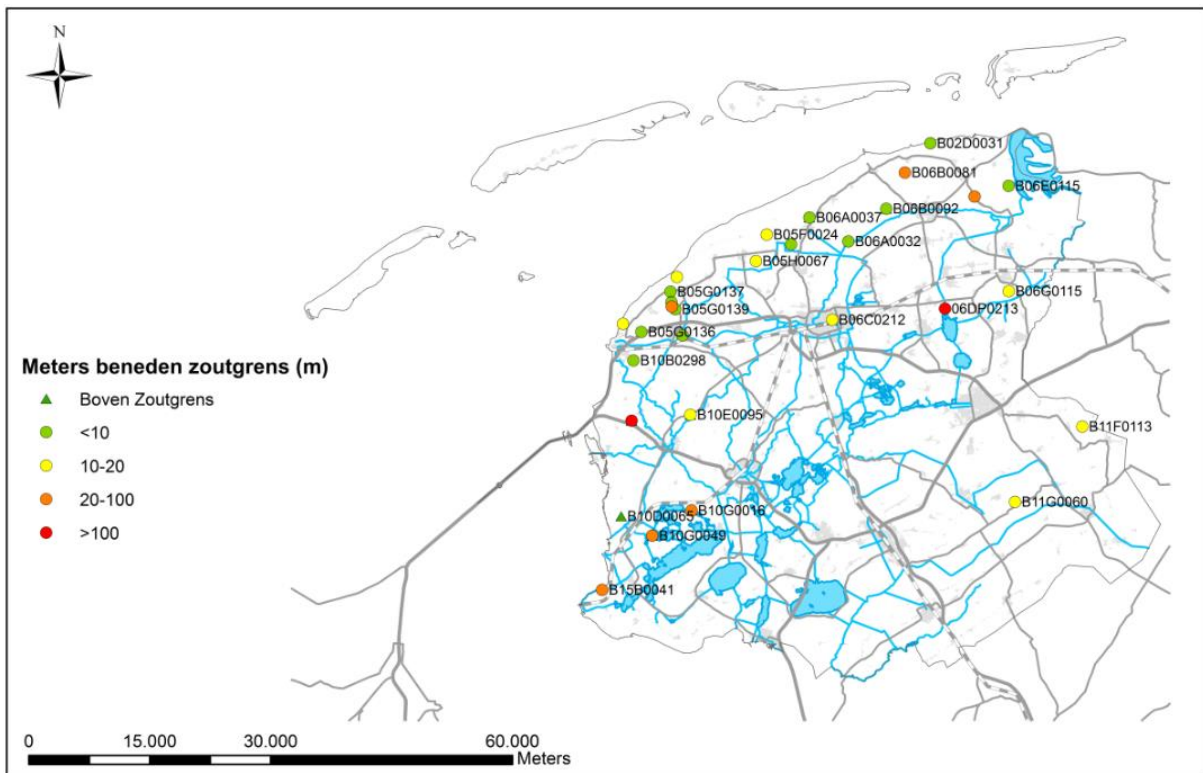
Omdat de putten van het LGM beheerd worden door het RIVM zijn deze niet vrij beschikbaar voor de provincie Fryslân. Deze putten kunnen voor het veldwerk in deze fase daarom beter niet meegenomen worden. Wél is er door de analyse zicht op alle putten in Fryslân waar een eventuele zoutcorrectie van toepassing zou kunnen zijn. In Bijlage C zijn dezelfde overzichtskaarten gegeven van putten, die in aanmerking komen voor een zoutcorrectie, exclusief de LGM putten.



Figuur 17: Overgebleven peilbuizen die interessant zouden kunnen zijn voor een zoutcorrectie inclusief LGM



Figuur 18: Diepte onder het maaiveld van overgebleven filters inclusief LGM



Figuur 19: Diepte beneden zoutgrens van overgebleven filters inclusief LGM

3.3 Veldwerk

Uit de analyse zijn 52 filters, verdeeld over 25 putten, naar voren komen die in aanmerking komen voor een zoutcorrectie. Het is onmogelijk in de beschikbare tijd, om alle putten mee te nemen voor veldwerk metingen. Daarom is het noodzakelijk de selectie verder in te korten. Er moet gefocust worden op de putten waar de zoutcorrectie het grootst zou zijn. Zoals in hoofdstuk 2.5 vermeld is, zal de zoutcorrectie groter zijn naarmate het relatieve dichtheidsverschil of de stijghoogte/filterdiepte toeneemt. Beide parameters zijn recht evenredig met de correctie. Stijgen de parameters met 1% dan zal ook de correctie met 1% stijgen. Aannemende dat de dichtheid van het zoute grondwater niet veel zal verschillen in de verschillende peilbuizen, zullen de diepe filters het meest interessant zijn. Hierbij moet aangenomen worden dat bij een diepe filter een grotere druk heerst en zodoende een grotere stijghoogtecorrectie het gevolg zal zijn.

In Tabel 6 zijn de putten weergegeven die één of meer filters hebben die dieper zijn dan de aangegeven diepte. Hieruit blijkt dat er 14 putten zijn die filters bevatten die zich dieper dan 20 meter onder het maaiveld bevinden en volgens de analyse zout grondwater zouden moeten bevatten. Omdat er voor het veldwerk ongeveer één week beschikbaar is, is ervoor gekozen om de putten op een diepte van meer dan 20 meter onder het maaiveld mee te nemen. Bij deze putten zullen metingen naar het chloridegehalte verricht worden. Het is daarbij wel verstandig om bij elke put alle aanwezige filters te bekijken en niet alleen de filters die uit de analyse naar boven komen. Zo worden ook de minder diepe zoute filters meegenomen, hoewel deze filters kleinere correcties zullen geven dan de diepere filters. Dit is belangrijk voor een juiste berekening van bijvoorbeeld kwel en infiltratie in de ondergrond van dezelfde put.

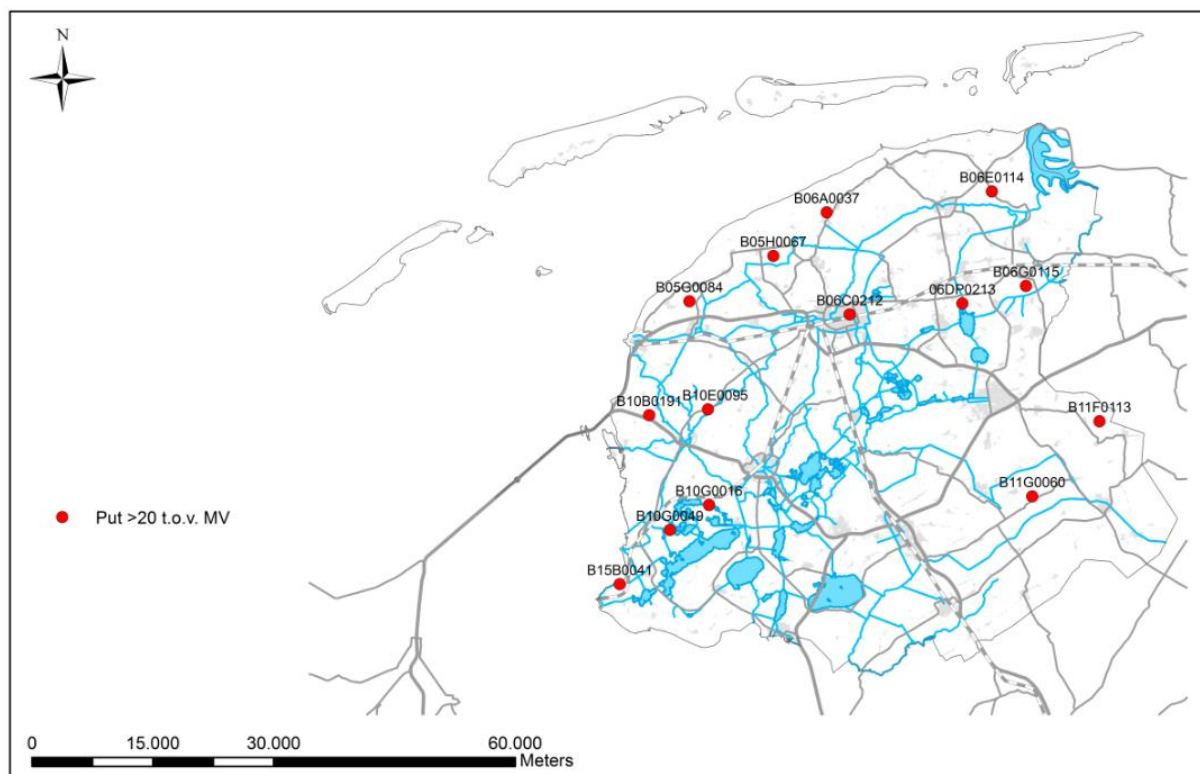
In Figuur 20 en Figuur 21 zijn alle putten met filters dieper dan 20 meter beneden het maaiveld weergegeven. De putten in Zuidoost Fryslân zijn interessant omdat deze erg diep zijn. De putten in het Noorden langs de kust zijn interessant omdat het zoutgrensvlak hier erg ondiep zit en de putten een hoog chloridegehalte bevatten. De putten in Zuidwest en Midden Fryslân zijn waarschijnlijk putten waar filters zich in een zoute 'lens' bevinden. Deze lenzen liggen bovenop het zoete water en bevinden zich tussen scheidende lagen zodat dit zoute water nauwelijks weg kan stromen. Dit grondwater bevindt zich tussen zoet grondwater in, het is interessant om te kijken hoe zout en dus hoe hoog de correctie hier zal zijn. In Figuur 17 is per put het aantal filters weergegeven dat volgens de analyse zout zou moeten bevatten.

Aan de selectie van veertien putten worden nog twee wijzigingen aangebracht. Put *B10D0065* wordt toegevoegd. Filter twee is in de analyse meegenomen en hier is zout gemeten (dieper dan 10m). Filters vier en vijf zijn niet door de analyse gekomen omdat hier geen zout gemeten is en deze zich boven het brak/zout grensvlak bevinden. Deze zijn echter wel dieper dan 20 m en het is aannemelijk dat hier ook zout grondwater aangetroffen wordt door het hoge chloridegehalte van filter twee en drie (>4905 mg/L).

Put *06DP0213* wordt weggehaald omdat deze put beheerd wordt door waterbedrijf VITENS, hierdoor heeft de provincie deze put niet direct in het beheer en het lijkt niet handig om bij een put van VITENS metingen te verrichten.

Alle	>10 m	>20 m	>30 m
06DP0213	06DP0213	06DP0213	06DP0213
B02D0031	B02D0031	B05G0084	B05G0084
B05D0139	B05D0139	B05H0067	B05H0067
B05F0073	B05F0073	B06A0037	B06C0212
B05G0084	B05G0084	B06C0212	B06E0114
B05G0136	B05H0067	B06E0114	B10B0191
B05G0137	B06A0037	B06G0115	B10G0016
B05G0138	B06B0092	B10B0191	B10G0049
B05G0139	B06C0212	B10E0095	B11F0113
B05H0067	B06E0114	B10G0016	B11G0060
B06A0037	B06E0115	B10G0049	B15B0041
B06B0092	B06G0115	B11F0113	
B06C0212	B10B0191	B11G0060	
B06E0114	B10B0298	B15B0041	
B06E0115	B10D0065		
B06G0115	B10E0095		
B10B0191	B10G0016		
B10B0298	B10G0049		
B10D0065	B11F0113		
B10E0095	B11G0060		
B10G0016	B15B0041		
B10G0049			
B11F0113			
B11G0060			
B15B0041			
25	21	14	11

Tabel 6: Aantal putten met filters op aangegeven diepte



Figuur 20: Putten met filters dieper dan 20m. beneden maaiveld TNO benaming

Tijdens het veldwerk zal in ieder geval een EC meting plaats moeten vinden. Aan de hand van deze EC-meting kan het chloridegehalte en daardoor de dichtheid bepaald worden (Hoofdstuk 2.4).

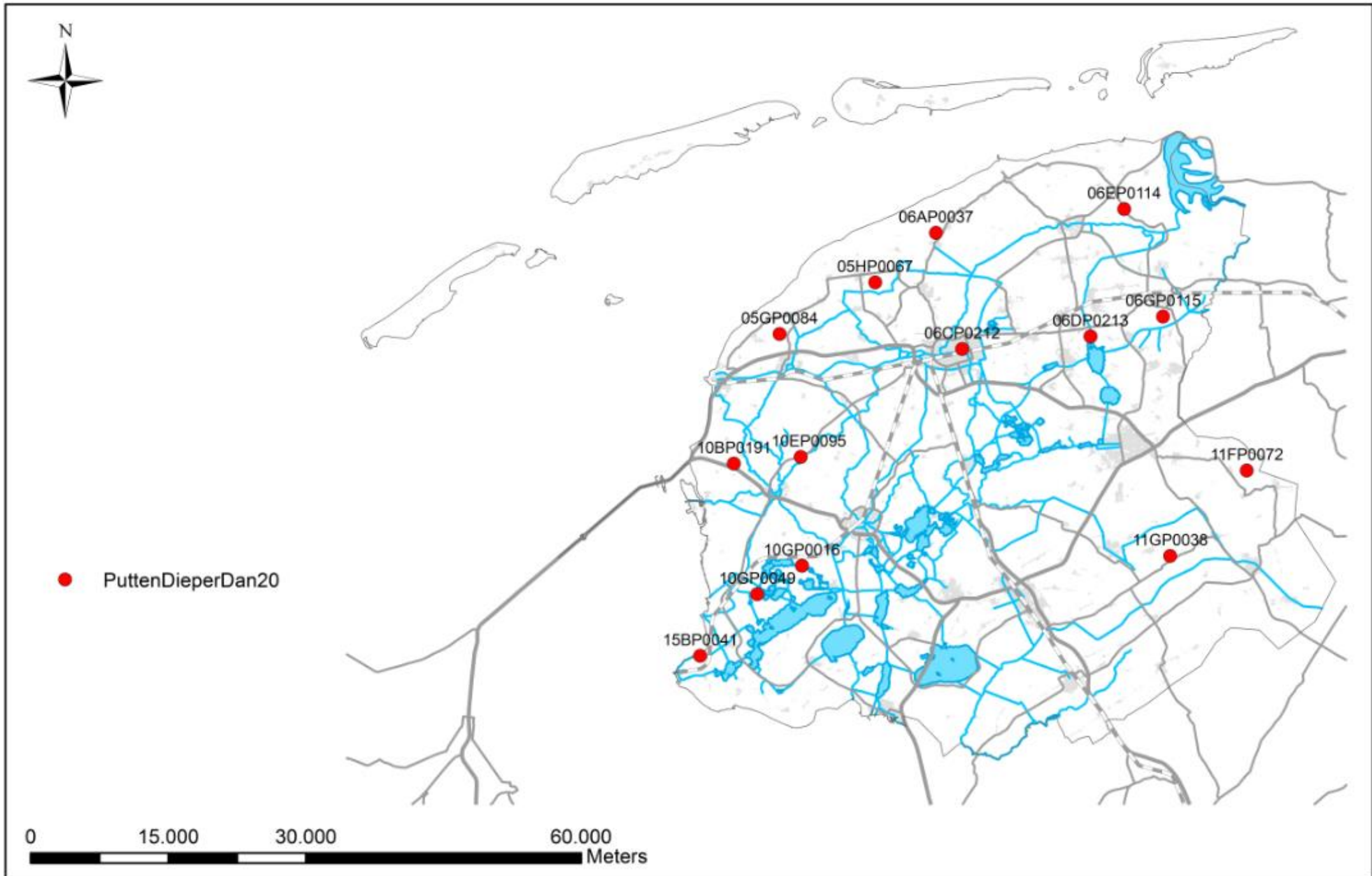
Stijghoogtemetingen zijn beschikbaar in DAWACO. Vanuit DAWACO kan met de mediaan van de gegevens gerekend worden. De mediaan wordt gebruikt om zo uitschieters uit te sluiten. In sommige gevallen zijn namelijk onverklaarbare hoge/lage stijghoogten gemeten die later weer terug naar hun 'oude' niveau kwamen. Met behulp van de mediaan wordt direct gerekend met dit niveau.

De gebruikte EC-meter meet naast de geleidbaarheid ook de TDS (*Total Dissolved Solids*). Dit zijn de totaal opgeloste hoeveelheden stoffen in mg/L. Hiermee zou ook de dichtheid van het grondwater bepaald kunnen worden. Doordat de metingen van de geleidbaarheid (EC) en het daarmee afleiden van de dichtheid betrouwbaarder wordt bevonden (De geleidbaarheid is geijkt en getest op een proefmonster), wordt hiermee gerekend. De 'TDS-dichtheid' zal echter niet veel verschillen.

Om het veldwerk goed uit te kunnen voeren dient het volgens een aantal vaste protocollen uitgevoerd te worden. De volgende protocollen, afkomstig van VKB (Vereniging Kwaliteitsboring Bodembeheer) en SIKB (Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer), zijn voor dit onderzoek van belang:

- | | |
|-----------------|---|
| - Protocol 2001 | Afpompen peilbuizen voor monsternamen |
| - Protocol 2002 | Het nemen van grondwatermonsters |
| - Protocol 2003 | Bepaling van het elektrisch geleidingsvermogen in grond- en/of oppervlaktewater |

Het belangrijkste hierbij is dat de filters eerst afgepompt worden, en wel drie maal de natte stijgbuisinhoud. Dit om te voorkomen dat verontreinigingen mee gemeten worden. Door de filter leeg te pompen moet deze zich opnieuw vullen met grondwater uit de grondlaag/het watervoerend pakket waar de filter in gepositioneerd is.



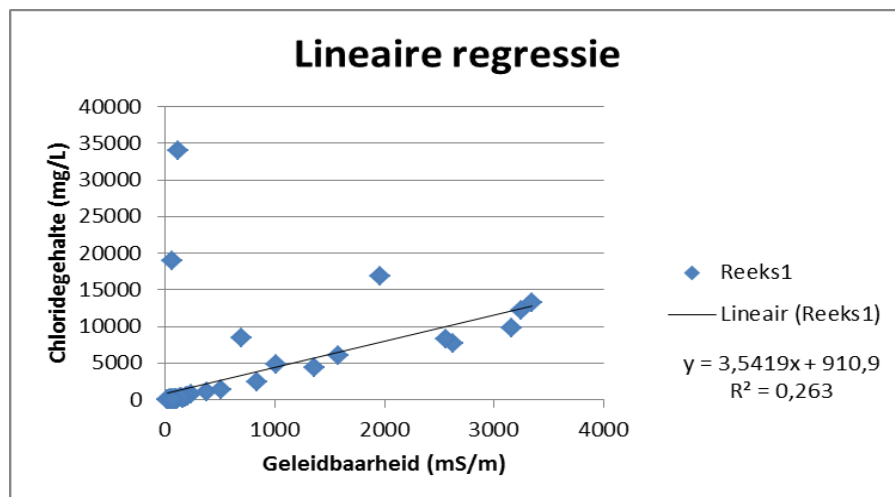
Figuur 21: Putten met filters dieper dan 20m. beneden maaiveld OLGA code

4 Resultaten

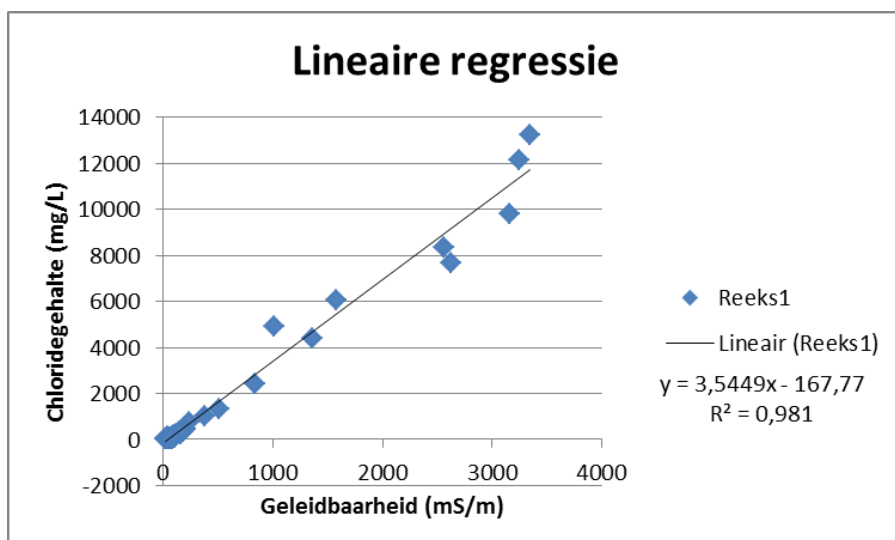
In dit hoofdstuk worden de resultaten behandeld van het onderzoek. De resultaten bestaan uit een analyse van beschikbare EC- en chloridemetingen voor lineaire regressie, de metingen die gedaan zijn bij het aanvullend veldwerk en de uiteindelijke correcties die zijn toegepast op de selectie van peilbuizen. Deze correcties zijn het hoofddoel van dit onderzoek en hier zullen conclusies uit getrokken worden.

4.1 Lineair verband geleidbaarheid - chloridegehalte

Zoals in hoofdstuk 2.4 beschreven is, bestaat er een lineair verband tussen de geleidbaarheid en het chloridegehalte van het grondwater. Door de locatie afhankelijkheid van dit verband is lineaire regressie toegepast op de punten in DAWACO waar beide grootheden gemeten zijn (Figuur 22). Deze eerste regressielijn levert een R^2 (verklaarde variantie) op van 0.263. Dit is te laag om het lineaire verband aan te kunnen nemen. Als de zichtbare uitschieters uit de reeks verwijderd worden levert lineaire regressie een R^2 van 0.981 op (Figuur 23). Door de hoge R^2 is deze relatie acceptabel en wordt het verband aangenomen. Het verkregen verband loopt niet door 0,0. Hier is voor gekozen omdat het verband op deze manier voor hogere geleidbaarheden net iets nauwkeuriger is. De lage geleidbaarheden zijn niet interessant door het lage chloridegehalte. Dit heeft echter wel als gevolg dat het verkregen verband slechts geldig is voor gemeten geleidbaarheden van boven de 47,3 mS/m (473 uS/cm). Anders volgt een negatief chloridegehalte. Dit is niet mogelijk.



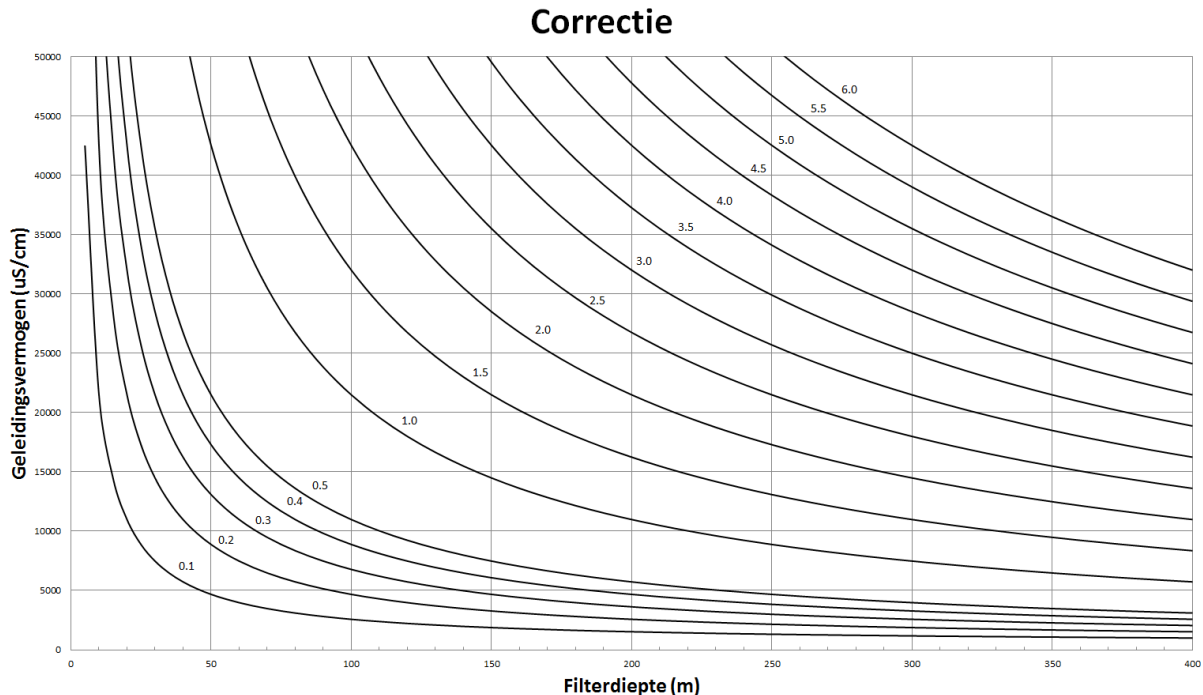
Figuur 22: Lineaire regressie met uitschieters



Figuur 23: Lineaire regressie zonder uitschieters

4.2 Verband tussen correctie, geleidbaarheid en filterdiepte

Zoals in hoofdstuk 2.5 naar voren is gekomen bestaat er tussen de correctie, het chloridegehalte en de filterdiepte een verband. Nu in hoofdstuk 4.1 een lineair verband tussen de geleidbaarheid en dit chloridegehalte bepaald is kan het verband tussen de correctie, filterdiepte en geleidbaarheid uitgezet worden. Dit verband wordt in figuur 24 uitgezet. De aangegeven correcties lopen van 10 cm tot 6 meter. Het verband tussen chloridegehalte en filterdiepte met de correctie is uitgezet in Bijlage D. In deze bijlage is tevens een figuur opgenomen waarin alleen gekeken wordt tot filterdieptes tot 50 meter.



Figuur 24: Verband tussen Filterdiepte, Geleidingsvermogen en Correctie

4.3 Metingen

Voor aanvang van de metingen is de EC-meter getest. Met een bijgeleverd proefmonster is de geleidbaarheid gemeten, die in zoverre overeenkwam dat hiermee volgens de protocollen gewerkt mocht worden. Hierdoor wordt er met de geleidbaarheid gerekend en niet met de TDS-waarde. Voor een vergelijking met metingen uit DAWACO wordt verwezen naar Bijlage E.

Voor elke put zijn de geleidbaarheid en de TDS (*Total Dissolved Solids*) gemeten. Met deze gegevens kan met behulp van de formules, beschreven in hoofdstuk 4.1, het chloridegehalte bepaald worden. Door een verband te leggen tussen dit chloridegehalte en de TDS kan het chloridepercentage verkregen worden. Dit geeft een maat voor de hoeveelheid andere stoffen die opgelost zijn in het grondwater. In Tabel 7 wordt als voorbeeld de uitkomsten van het veldwerkonderzoek van put 05GP0084 gegeven. De vervolgens berekende chloridegehalten en percentages zijn met opmerkingen te vinden in Bijlage F. Hier is per put ingegaan op bijzonderheden en andere zaken die opvallend waren tijdens en na het veldwerk.

TNO	Naam	Filters	Diepte Filter (m)	Meting (uS/cm)	TDS (mg/L)
B05G0084	05GP0084_1	1	5,39	5430	3710
B05G0084	05GP0084_2	2	10,14	27000	18350
B05G0084	05GP0084_3	3	19,18	34100	23200
B05G0084	05GP0084_4	4	29,21	34400	23400
B05G0084	05GP0084_5	5	38,35	34600	23500

Tabel 7: Metingen put 05GP0084

4.5 Equivalente zoetwaterstijghoogten

Door de correcties per filter op te tellen bij de bijbehorende (zout)waterstijghoogten worden de equivalente zoetwaterstijghoogten verkregen. Deze equivalente zoetwaterstijghoogten kunnen gebruikt worden voor de validatie van het MIPWA-model omdat de stijghoogten nu met elkaar te vergelijken zijn. Hierbij moet benadrukt worden dat de equivalente zoetwaterstijghoogte een parameter zonder fysische betekenis is. Dit komt doordat de equivalente zoetwaterstijghoogten ook waarden aan kunnen nemen waarbij de stijghoogte boven het maaiveld uitkomt. De parameter is puur bedoeld om een vergelijking te kunnen maken met stijghoogten waar met een andere dichtheid gerekend wordt. In tabel 9 worden de zoutwaterstijghoogten t.o.v. NAP weergegeven per filter per put. In tabel 10 zijn deze vervolgens omgerekend naar equivalente zoetwaterstijghoogten t.o.v. NAP.

TNO	OLGA	Filter 1	2	3	4	5	6	7	8
B05G0084	05GP0084	-0,99	-0,84	-0,93	-0,87	-0,89	x	x	x
B05H0067	05HP0067	-0,64	-0,58	-0,57	x	x	x	x	x
B06A0037	06AP0037	-0,06	-0,04	-0,06	0,00	x	x	x	x
B06C0212	06CP0212	0,25	x	-1,13	x	x	x	x	x
B06E0114	06EP0114	-0,77	-0,77	-0,69	x	x	x	x	x
B06G0115	06GP0115	-0,94	-0,92	-0,95	x	x	x	x	x
B10B0191	10BP0191	-0,93	-0,98	x	-1,25	-0,85	-2,98	-2,02	x
B10D0065	10DP0065	-0,60	-1,00	-0,88	-1,34	-0,39	x	x	x
B10E0095	10EP0095	-1,20	-1,15	-1,12	x	x	x	x	x
B10G0016	10GP0016	-1,34	-1,29	-1,31	-1,72	-0,74	-0,75	-0,79	x
B10G0049	10GP0049	-1,42	-1,43	-1,22	-1,13	-0,54	-0,81	-1,12	-3,93
B11F0113	11FP0072	3,97	3,97	3,92	3,90	3,94	x	x	x
B11G0060	11GP0038	2,30	2,30	2,27	2,00	x	x	x	x
B15B0041	15BP0041	-0,76	-0,75	-0,74	-0,78	-0,85	-0,36	x	x

Tabel 9: Zoutwaterstijghoogten t.o.v. NAP per filter per put

TNO	OLGA	Filter 1	2	3	4	5	6	7	8
B05G0084	05GP0084	-0,98	-0,72	-0,65	-0,41	-0,29	x	x	x
B05H0067	05HP0067	-0,64	-0,53	-0,24	x	x	x	x	x
B06A0037	06AP0037	-0,05	0,00	0,00	0,09	x	x	x	x
B06C0212	06CP0212	0,25	x	-0,93	x	x	x	x	x
B06E0114	06EP0114	-0,65	-0,56	-0,27	x	x	x	x	x
B06G0115	06GP0115	-0,93	-0,89	-0,87	x	x	x	x	x
B10B0191	10BP0191	-0,69	-0,38	x	1,07	2,37	1,16	3,72	x
B10D0065	10DP0065	-0,58	-0,62	-0,72	-0,88	-0,38	x	x	x
B10E0095	10EP0095	-1,20	-1,15	-1,03	x	x	x	x	x
B10G0016	10GP0016	-1,34	-1,29	-1,27	-1,16	-0,69	-0,66	-0,46	x
B10G0049	10GP0049	-1,42	-1,43	-1,21	-1,12	-0,51	-0,42	-0,18	-0,71
B11F0113	11FP0072	3,97	3,97	3,93	3,91	4,01	x	x	x
B11G0060	11GP0038	2,30	2,30	2,31	2,24	x	x	x	x
B15B0041	15BP0041	-0,76	-0,75	-0,74	-0,79	-0,30	0,55	x	x

Tabel 10: Equivalente zoetwaterstijghoogten t.o.v. NAP per filter per put

5 Conclusie

Het vernieuwde MIPWA-model van Deltares gaat de belangrijkste processen van grondwater modelleren. Deze modeluitkomsten kunnen vervolgens op regionale schaal gebruikt worden. Het vastgestelde probleem is dat het MIPWA-model alleen rekent met zoet grondwater. In de provincie Fryslân bevindt zich ook veel zout grondwater. Om het MIPWA-model goed te kunnen valideren is daarom een zoutcorrectie nodig.

Uit de analyse is gebleken dat veel grondwaterfilters in Fryslân zich beneden het brak/zoute grensvlak bevinden en in theorie zodoende zout zouden moeten bevatten en daardoor een zoutcorrectie van toepassing is. Deze putten bevinden zich vooral langs de kust waar het grensvlak relatief ondiep ligt. Ook veel putten in Zuidwest Fryslân kwamen in aanmerking, wat waarschijnlijk komt door de vroegere ligging van de Zuiderzee en de Marne. Hier is zout in de grond blijven zitten en zijn zoute lenzen ontstaan.

Om een zoutcorrectie uit te kunnen voeren zijn de stijghoogte en de dichtheid van het grondwater nodig. Bij de zoutcorrectie moet de druk die het zoute water in de ondergrond geeft gelijk zijn aan de druk die zoet water zou geven, de gecorrigeerde stijghoogte wordt de equivalente zoetwaterstijghoogte genoemd. Met behulp van het relatieve dichtheidsverschil (t.o.v. zoet water) en de stijghoogte wordt deze correctie uitgevoerd. Belangrijk om te vermelden is het feit dat dit een fictieve parameter zonder fysische betekenis betreft. De equivalente stijghoogte zal zodoende ook alleen gebruikt kunnen worden voor het vergelijken met andere zoetwaterstijghoogten en het valideren van het MIPWA-model. Er moet rekening gehouden worden met het feit dat de stijghoogte niet meer loodrecht op de stroomlijnen staat en een gradiënt in de stijghoogten niet automatisch betekent dat er stroming van grondwater optreedt bij een variërende dichtheid van het grondwater.

De correcties van de stijghoogten zullen het grootst zijn naarmate het relatieve dichtheidsverschil en/of de stijghoogte toeneemt. Er is in dit onderzoek daarom gekeken naar de diepste en chloride rijkste putten. Deze putten lagen, op twee na, alleen in het kust- of zuidwestgebied. De twee putten in het oosten van de provincie zijn relatief diepe putten en lagen beneden het brak/zoute grensvlak.

Uit de uitgevoerde correcties blijkt dat zout wel degelijk invloed heeft op de stijghoogten in de provincie Fryslân. Het is daarom ook noodzakelijk deze correcties door te voeren wil het MIPWA-model volledig gevalideerd worden. In het zuidwesten van de provincie zijn de correcties fors. Dit komt door een groot relatiefdichtheidsverschil in combinatie met een grote filterdiepte. De grootste correctie in dit gebied is bijna wel 6 m. In het zuidoosten van de provincie bevinden zich wel hele diepe buizen maar heeft het grondwater een veel lager chloridegehalte. Toch is zelfs hier een maximale correctie van 24 cm noodzakelijk. In het noorden van de provincie zijn de chloridegehalten hoger, maar de filterdieptes lager. Hierdoor zijn de correcties wel noodzakelijk maar niet zo fors als in het zuidwesten. Correcties tot 60 cm zijn hier noodzakelijk. Om de validatie van het MIPWA-model goed uit te kunnen voeren is de zoutcorrectie zeker van significante invloed. Met correcties tussen 10 cm tot bijna 6 m zal dit grote invloed hebben op de equivalente stijghoogtes en daarmee op de validatie van het MIPWA-model. Als de correcties niet meegenomen worden zal er gevalideerd worden aan onjuiste waarden en zal dit een verkeerd beeld geven. De correcties dienen zeker meegenomen te worden, en dan met name bij de diepere filters waar de correcties het grootst zullen zijn.

6 Discussie

Als eerste discussiepunt moet aangevoerd worden dat er bij het bepalen van het chloridegehalte, metingen zijn verricht tijdens het veldwerk. In dit soort metingen zit altijd een foutmarge. Omdat er in dit veldwerk slechts één meting is verricht, zou dit een verkeerde meting kunnen betreffen.

Het tweede punt heeft betrekking op de juistheid van de data. De beschreven analyse is beperkt qua data. Zo is het brak-zout grensvlak van de provincie een door middel van interpolatie van gedane metingen gemaakt bestand. Naast de onzekerheid in de metingen ontstaat er door interpolatie nog een mate van onzekerheid. Deze zorgt voor een grensvlak wat niet meer up-to-date zou kunnen zijn maar wel in dit onderzoek gebruikt is. Hierdoor zouden putten ten onrechte als zout of niet zout aangemerkt kunnen worden. Vooral de putten op grotere diepte, die als niet zout zijn aangegeven door het grensvlak, zouden wel grote correcties kunnen hebben welke nu niet meegenomen worden.

Ook de gegevens in database DAWACO zouden niet meer up-to-date kunnen zijn. In de meeste gevallen zijn er voor putten recente (chloride en stijghoogte) metingen gedaan, in bepaalde gevallen zijn alleen oudere metingen beschikbaar. Het bestand van Grontmij, wat uit DAWACO is afgeleid, bevat ook onvolledigheden en is in sommige gevallen onbetrouwbaar. Zo staat in het bestand gemeld dat bepaalde putten geen zout bevatten, terwijl hier wel zout gemeten is en dit opgenomen is in DAWACO. Het bestand zou dus in twijfel getrokken kunnen worden. Dit bestand is ook niet geheel volledig. De aanwezigheid van zout is in de meeste gevallen niet aangegeven. Ook zijn er een aantal putten welke als 'mogelijk' zout worden aangegeven. Deze putten zijn een onzekerheid die niet in dit onderzoek zijn meegenomen maar wel degelijk van invloed kunnen zijn.

In het onderzoek is aangenomen dat de filters die zich in een klei- of deklaag bevinden geen invloed hebben op de regionale grondwaterstromingen. Door de weerstand die deze lagen bieden kan er geen stroming plaatsvinden. Dit zou op lokale schaal niet het geval hoeven zijn. Het bodemonderzoek zou een verkeerd beeld kunnen geven als bijvoorbeeld een filter maar een klein stuk in een kleilaag is gepositioneerd.

In het onderzoek is ook aangenomen dat de dichtheid van het grondwater in een peilbuis niet varieert. Dit blijkt echter door het veldwerk, en eerder gedaan onderzoek, zeker niet het geval. Er bestaan putten waarbij de dichtheid in de buis varieert. Dit heeft invloed op de correctie. In dit onderzoek zijn de maximale correcties berekend, deze zouden dus hoog uit kunnen vallen als de dichtheid variabel is. Ook kan het zo zijn dat filters lekkages bevatten waardoor ander grondwater, met een andere dichtheid, zich gaat mengen waardoor variaties ontstaan.

Als laatste kunnen er aantekeningen geplaatst worden bij het gebruik van de putten. Grontmij doet in haar document aanbevelingen voor het laten vervallen van bepaalde putten in het primair meetnet. Deze putten zijn echter wel meegenomen in het onderzoek.

7 Aanbeveling

Om een conclusie te kunnen trekken over de juistheid van het MIPWA-model, moet onderzocht worden hoe MIPWA gevalideerd wordt door Deltares. In het onderzoek moet aandacht worden besteed aan de peilbuizen die Deltares gebruikt voor validatie en/of hier de zoutcorrectie juist is toegepast. Dit onderzoek doet alleen een uitspraak over de putten waar de zoutcorrectie het grootst zal zijn en gaat niet in op de daadwerkelijke manier van valideren.

Om dit onderzoek betrouwbaarder te maken zou meer onderzoek naar verzilting plaats kunnen vinden. Het brak-zoutgrensvlak zou opnieuw onderzocht kunnen worden en meerdere putten moeten worden besnuffeld op de aanwezigheid van zout. Hierbij kan voor alle putten de aanwezigheid van zout in het document van Grontmij aangevuld worden. In dit onderzoek is onderzoek gedaan naar de putten met de grootste zoutcorrecties, er zijn daardoor een paar putten die bijna 20 meter diep zijn maar niet meegenomen zijn. Hier zou wel een zoutcorrectie, hoewel in mindere mate, van toepassing zijn.

De betrouwbaarheid kan ook verbeterd worden door chloridegehaltes nauwkeuriger te meten. In dit onderzoek is er per filters slechts op één tijdstip een meting gedaan. Door meerdere metingen verspreid over de tijd te doen, wordt het chloridegehalte met meer zekerheid bepaald.

Als laatste een meer praktische aanbeveling. Tijdens het onderzoek wordt onderscheid gemaakt in verschillende meetnetten. De verschillende meetnetten, Primair, Kwaliteit, KRW en LGM meetnet worden niet duidelijk in DAWACO. Het Kwaliteit en KRW meetnet staan als Primair in de database. Hierdoor is een directe scheiding niet direct mogelijk. Het LGM meetnet staat als secundair kwaliteitsnet in DAWACO.

8 Bibliografie

- Alterra & Wageningen UR. (2015, April 30). *Gaasterland*. Opgehaald van Aardkunde: <http://www.aardkunde.nl/map/hot/FR9.pdf>
- de Vries, F. (2008). *Nationaal Hydrologisch instrumentarium*. Deltares.
- Grontmij. (2014). *Evaluatie en optimalisatie primair grondwatermeetnet*. Leeuwarden: Grontmij.
- Gunnink, J., Sanchez, M., de Louw, P., & van Baaren, E. (2012). *Effecten van klimaatverandering en zeespiegelstijging op het kustnabije grondwatersysteem van Noord-Fryslân*. Utrecht: TNO.
- Lokhorst, A., & Wonge, T. (2007). Geothermal energy. *Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences*, 341-346.
- Mixzon Inc. (sd). *Specification of Ambient Density for Seawater*. Opgeroepen op Juni 1, 2015, van Cormix: <http://www.cormix.info/ambdensityprofiles.php>
- Oude Essink, G. (2001). *Density Dependent Groundwater Flow - Groundwater Modelling II*. Utrecht: Utrecht University.
- Oude Essink, G., & van Baaren, E. (2009). *Verzilting van het Nederlandse grondwatersysteem*. Deltares.
- Oude Essink, G., Delsman, J., Vermeulen, P., Janssen, G., & van Baaren, E. (2011). *Zoutvrachtberekeningen in drie deelgebieden in de zuidwestelijke Delta*. Deltares.
- Post, V., Kooi, H., & Simmons, C. (2007). Using Hydraulic Head Measurements in Variable-Density Ground Water Flow Analyses. *Groundwater*, 664-671.
- Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F., Gunnink, J., Schokker, J., Dambrink, R., . . . Schijf, M. (2013). *GeoTop modelling*. Utrecht: TNO.
- Stichting Infrastructuur Kwaliteitsboring Bodembeheer (SIKB). (2001). *Bepaling van het elektrisch geleidingsvermogen in grond en/of oppervlaktewater*. Gouda: SIKB.
- Stuyfzand, P. (1986). A new hydrochemical classification of water types : principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands. *Proc. 9th Salt Water Intrusion Meeting*, (pp. 641-655). Delft University of Technology.
- TNO Bouw en Ondergrond. (2015, April 30). *Het Holoceen*. Opgehaald van Natuurinformatie: <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000410.html>
- van Baaren, E., de Louw, P., Sanchez, M., de Vries, B., van der Vleuten, J., Massink, H., & Heringa, J. (2012). *Hydrologische studie Kustlaboratorium*. Zeeland: Deltares.
- van Staveren, G., & Velstra, J. (2011). *Klimaatverandering, toenemende verzilting en landbouw in Noord-Nederland*. Acacia Water.
- Vegter. (2015, April 30). *Grondwater*. Opgehaald van Grondwater - Encyclopedie Drenthe Online: <http://www.encyclopediedrenthe.nl/Grondwater>

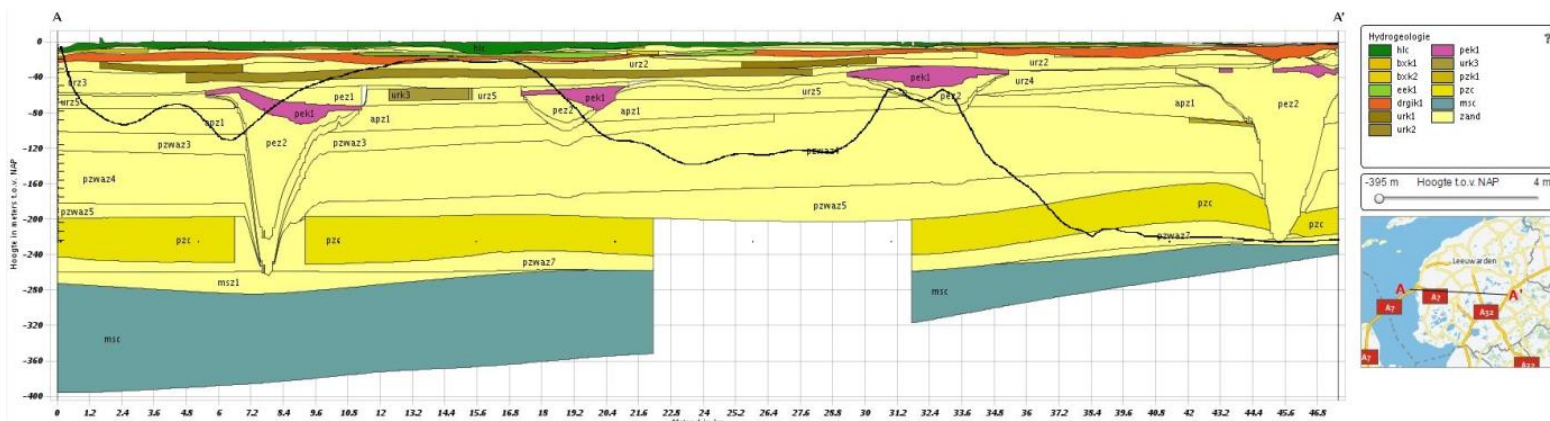
Bijlage A Dwarsdoorsnedes

Om een beeld te krijgen van het zoute grensvlak t.o.v. de laagopbouw en afstand van de kust zijn enkele doorsneden gemaakt loodrecht op de Friese kust. Hier is vervolgens de zoute grenslijn in terug te vinden.

Hoe verder van de kust, hoe dieper het zoutgrensvlak ligt, dit is te verklaren aan de hand van de transgressies. Deze hebben simpelweg niet zover plaatsgevonden landinwaarts en hebben een grotere frequentie vlak bij de kust. Bij een paar doorsneden bevinden zich 'pieken' in het grensvlak. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Zo kan het zijn dat de kleilagen hier een rol spelen. Aannemelijker is de winning van grondwater (rond Leeuwarden). Hierdoor wordt het water omhoog getrokken en trekt dit ook het zout omhoog. Bij elke doorsnede is een kleine analyse gegeven voor opvallende patronen.

Doorsnede 1

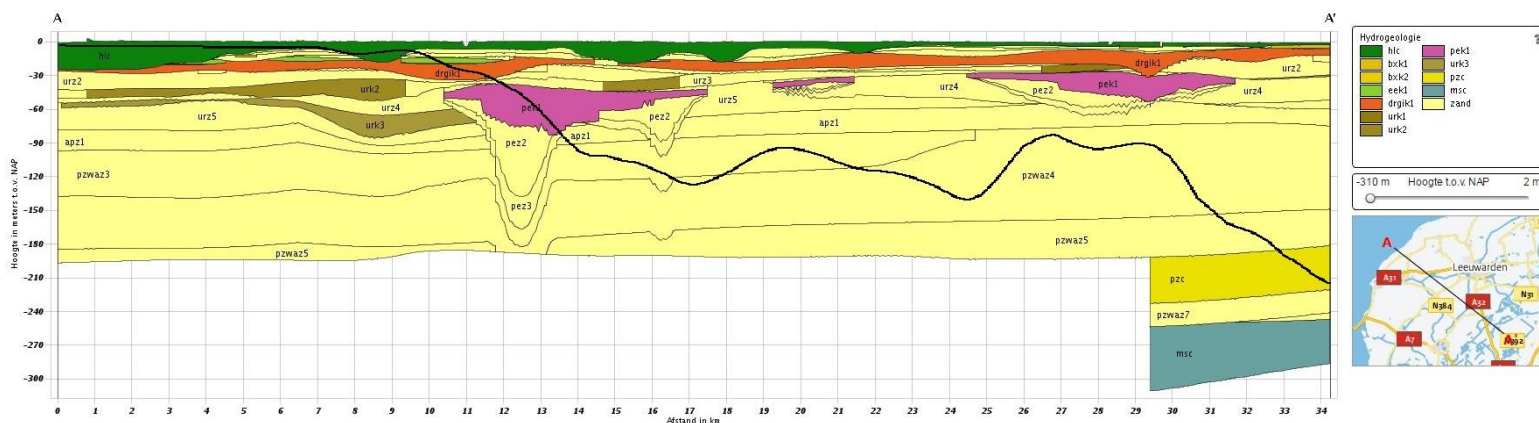
Aan het begin van deze doorsnede laat het grensvlak een dalend patroon zien. Dit komt doordat de doorsnede aan de Waddenzee begint. Daarna laat het grensvlak een stijging zien. Dit is waarschijnlijk een zoute 'lens', welke op de scheidende lagen (paars en bruin) bevindt. Vervolgens is een dalend patroon te herkennen op één punt na. Hier kan een onttrekking plaatsvinden. Hierdoor wordt het zout omhoog getrokken en ontstaat een puntvormig grensvlak.



Figuur 26: Doorsnede 1

Doorsnede 2

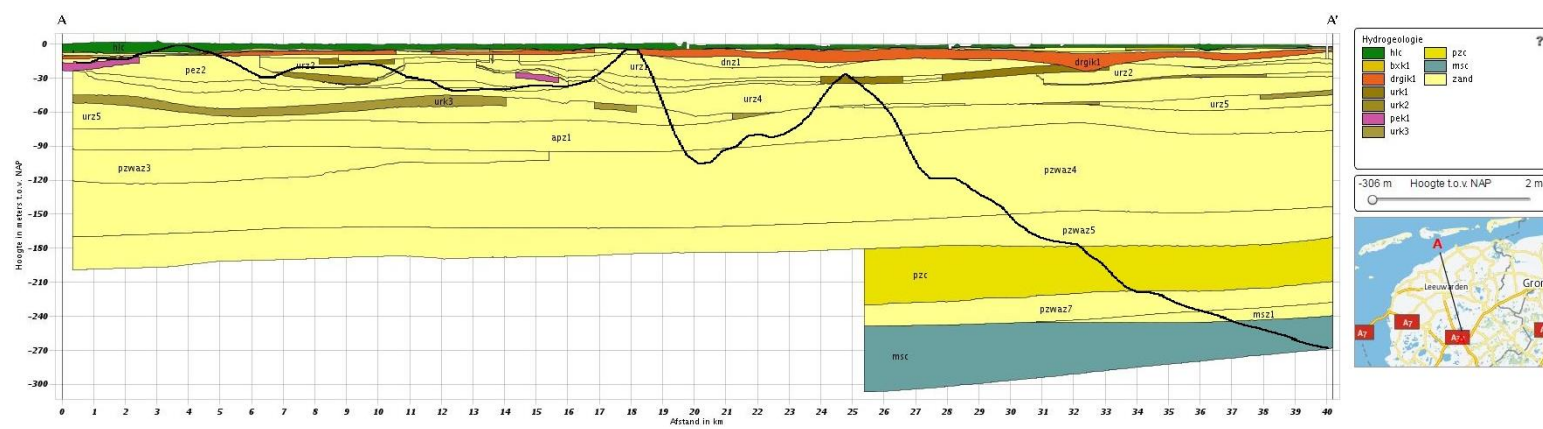
In deze doorsnede laat het zoute grensvlak het verwachte dalende patroon zien, hoe verder van de kust hoe dieper het zoute grensvlak. Dezelfde puntachtige vorm als in de vorige doorsnede is hier te herkennen.



Figuur 27: Doorsnede 2

Doorsnede 6

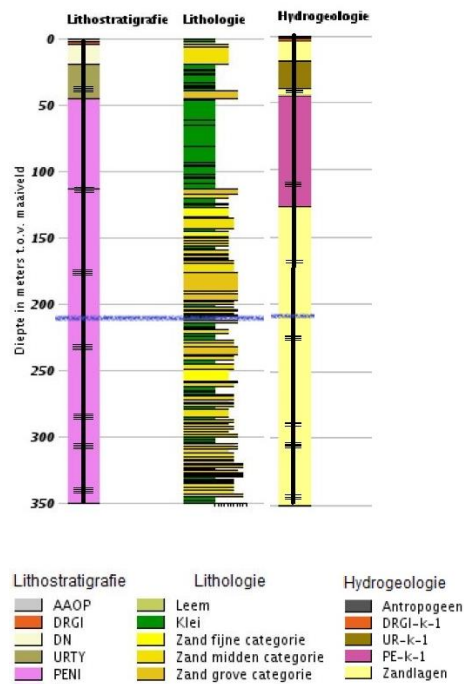
Deze doorsnede volgt op twee punten na een dalend patroon. Alleen rond de stad Leeuwarden zijn twee pieken te onderscheiden. Waarschijnlijk komt dit door een onttrekking.



Figuur 31: Doorsnede 6

Put 06DP0213

Het eerste deel (<100m) van de ondergrond bevat veel klei. Filters 1 en 2 zijn hier in dunne laagjes zand geplaatst. De andere vijf filters staan in dikkere zandlagen die met elkaar *WVP2a* vormen. De tweede filter wordt hier ook nog toegerekend omdat slechts een klein kleilaagje hier de scheiding tussen is. Dit kleine kleilaagje kan lokaal zijn zodat de zandlaag van filter 2 wel in verbinding staat met *WVP2a*. Alle filters kunnen meegenomen worden in de analyse.



Figuur 33: Hydrogeologie put 06DP0213

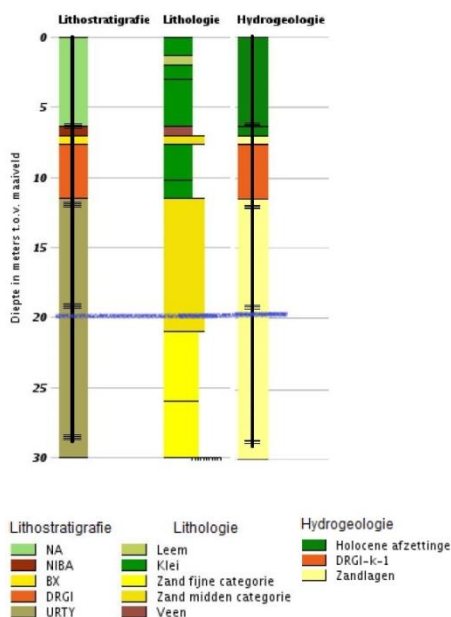
B06D0213			
Filter	Diepte	Geologische Formatie	Hydro geologische laag
1	40	URTY (Zand)	WVP1c*
2	113	PE (Zand)	WVP2a
3	168	PE (Klei)	WVP2a
4	229	PE (Zand)	WVP2a
5	281	PE (Zand)	WVP2a
6	305	PE (Zand)	WVP2a
7	343	PE (Zand)	WVP2a

Tabel 12: Indeling naar hydrogeologie put 06DP0213

Put

06AP0037

Put B06A0037 is een relatief ondiepe put met vier filters. Filter 1 zal in een klein zandlaagje gepositioneerd zijn maar valt wel in de hydrogeologische deklaag (DekL). Deze deklaag bestaat voornamelijk uit klei. Hierdoor vindt hier weinig grondwaterstroming plaats. Filter 1 wordt daardoor niet meegenomen in de analyse



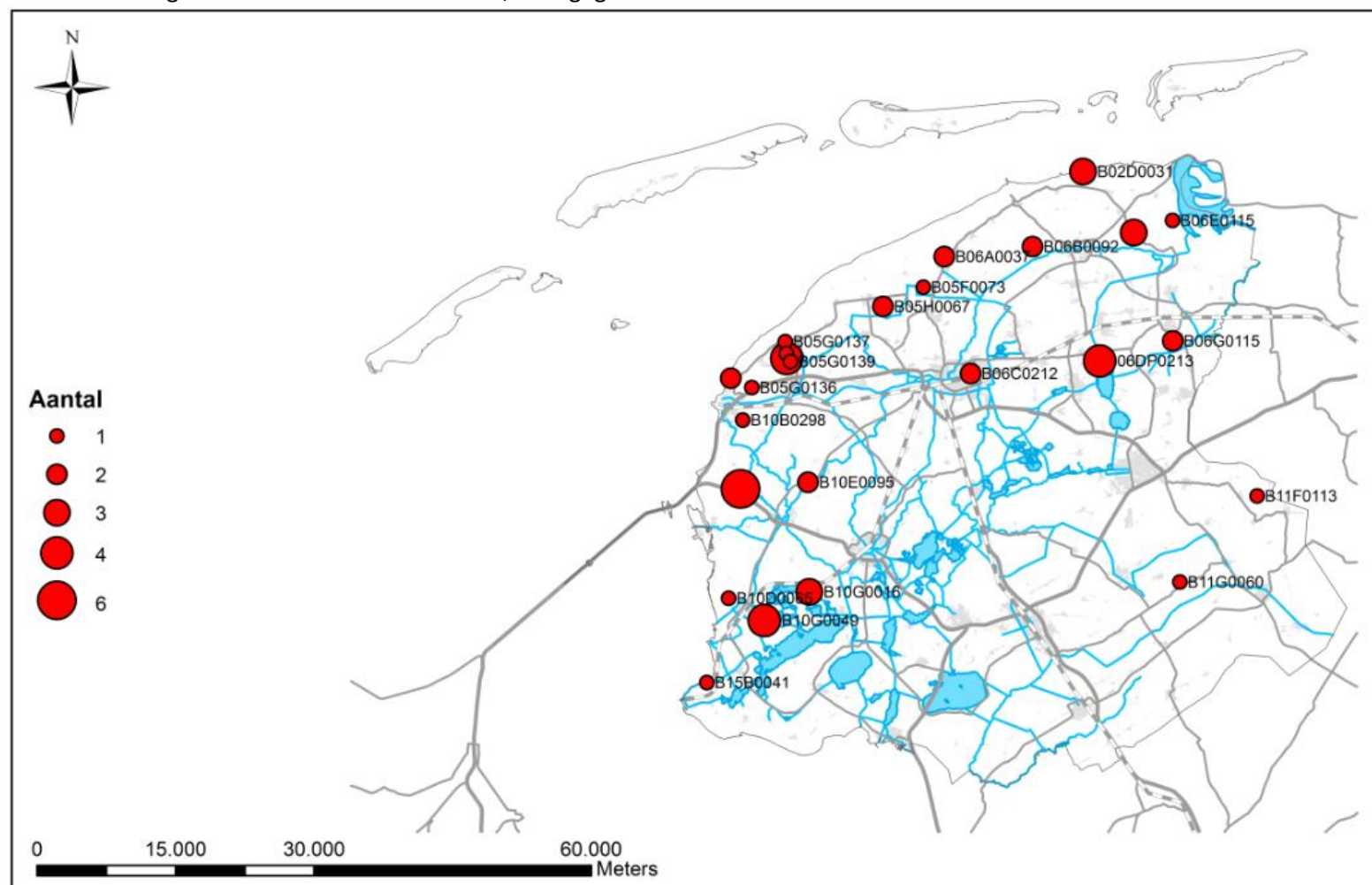
Figuur 34: Hydrogeologie put 06AP0037

B06A0037			
Filter	Diepte	Geologische Formatie	Hydro geologische laag
1	6	NA (Klei/Veen)	DekL
2	12	URTY (Zand)	WVP1c
3	19	URTY (Zand)	WVP1c
4	28	URTY (Zand)	WVP1c

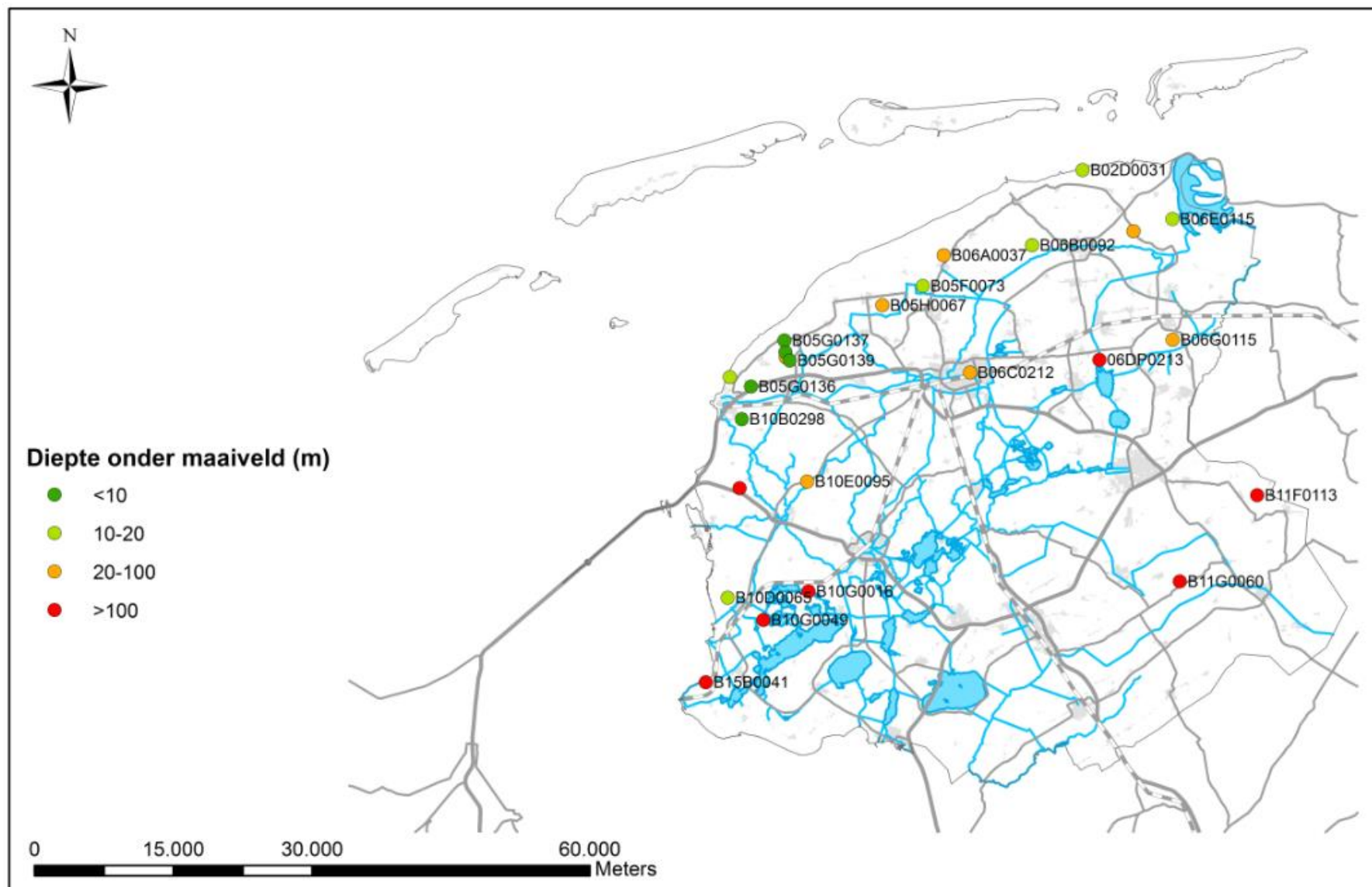
Tabel 13: Indeling naar hydrogeologie put 06AP0037

Bijlage C Overgebleven filters

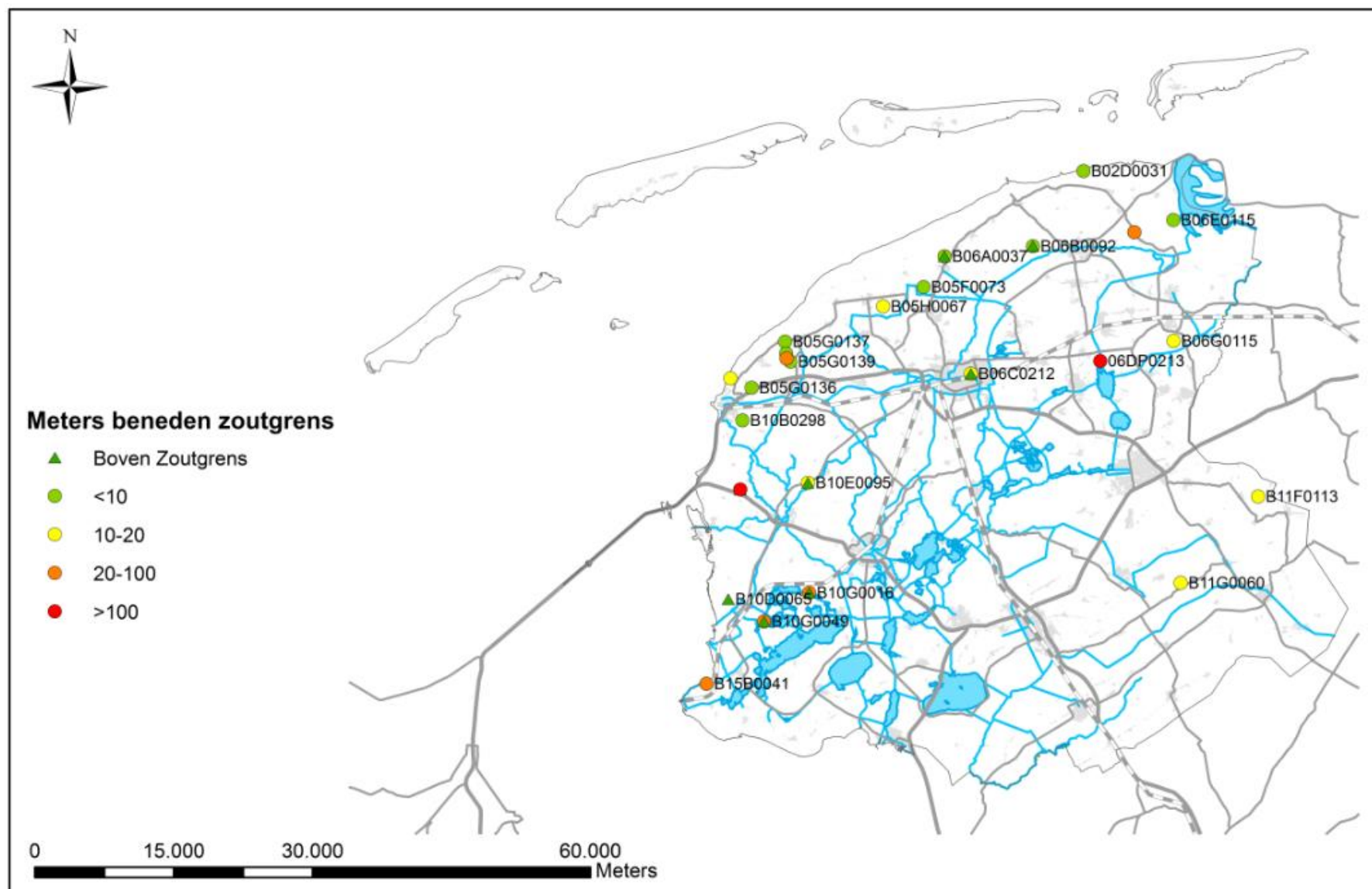
Omdat de putten van het LGM beheerd worden door het RIVM zijn deze niet vrij beschikbaar voor de provincie Fryslân. In de volgende figuren zijn de putten, die in aanmerking komen voor een zoutcorrectie, weergegeven zonder die van het LGM.



Figuur 35: Overgebleven peilbuizen die interessant zouden kunnen zijn voor een zoutcorrectie exclusief LGM



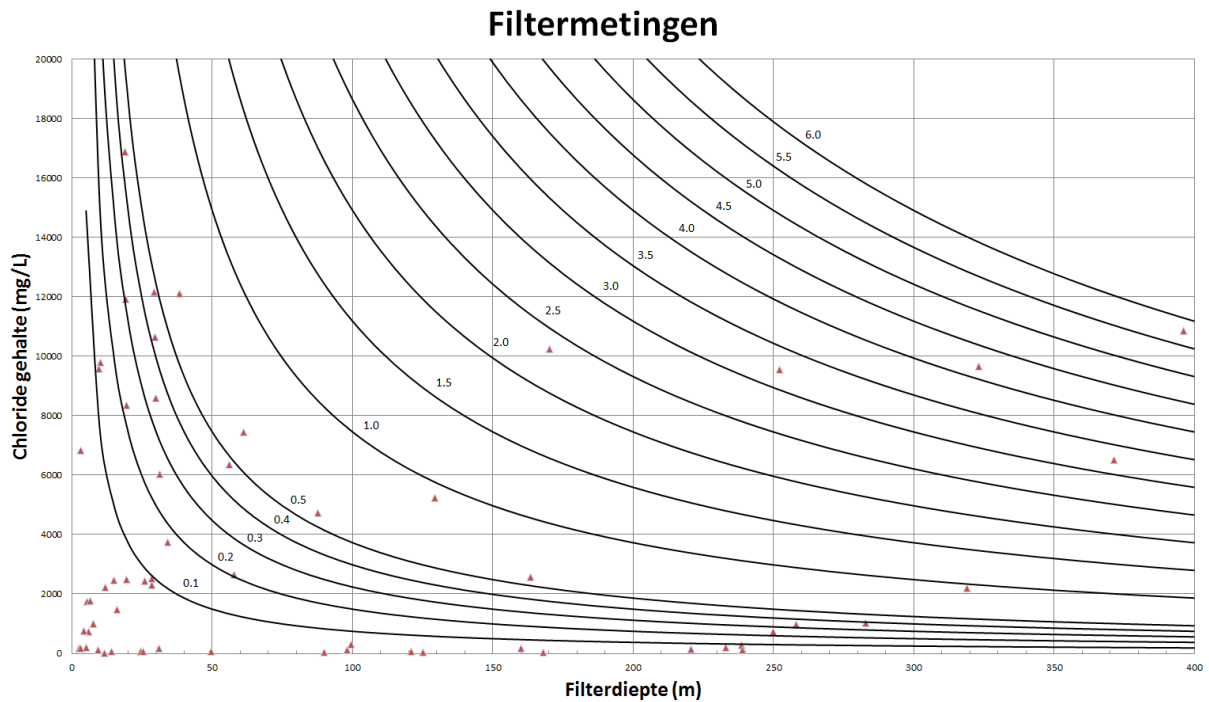
Figuur 36: Diepte onder het maaiveld van overgebleven filters exclusief LGM



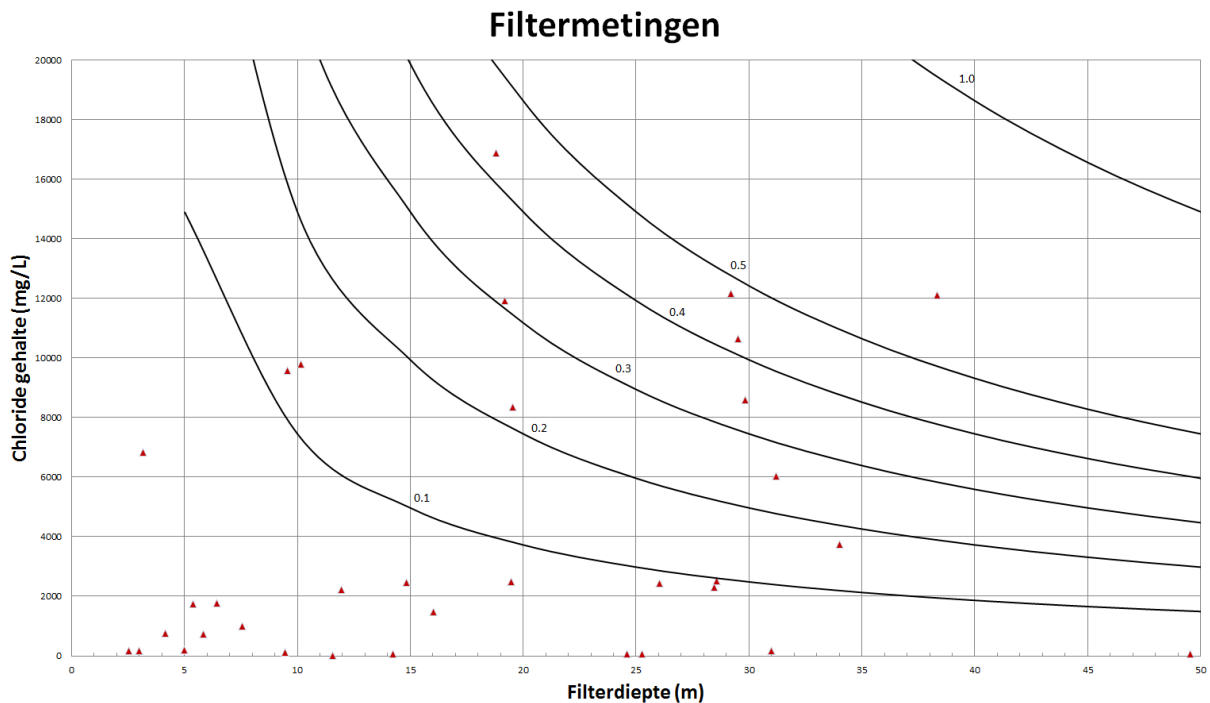
Figuur 37: Diepte beneden zoutgrens van overgebleven filters exclusief LGM

Bijlage D Verband Variabelen met Correctie

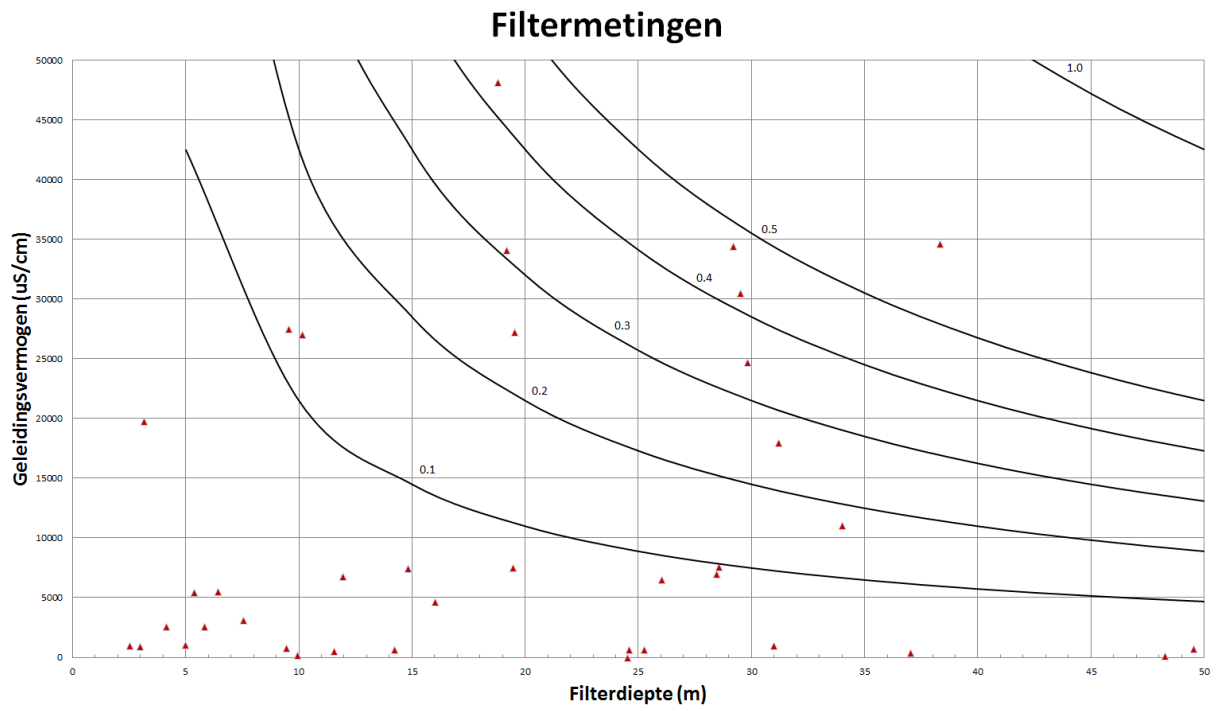
In onderstaande figuren wordt het verband tussen het chloridegehalte en de filterdiepte met de correctie weergegeven. Hierin zijn tevens de gedane metingen geplaatst zodat een inzicht verkregen kan worden in welke waarden in de provincie voorkomen.



Figuur 39: Verband tussen chloridegehalte en filterdiepte met de correctie



Figuur 38: Verband chloridegehalte en filterdiepte (<50m) met correctie



Figuur 40: Verband tussen geleidingsvermogen en filterdiepte (<50m) met de correctie

De gemiddelde afwijking zonder deze put is 12% en dit wordt redelijk acceptabel geacht. Omdat het metingen betreft kan het altijd zijn dat deze net iets anders is uitgevoerd of dat er net te weinig water is afgepompt (schoon gepompt) om een goede meting te kunnen verrichten. Daarbij kan het zo zijn dat er toen of nu verontreinigingen in het water aanwezig waren waardoor een verkeerde meting is verricht. Ook kan het een verouderde metingen betreffen. In geval van put 10EP0095 was het lastig om überhaupt water omhoog te pompen, hierdoor is een meting verricht op het bovenste water in de put, dit geeft geen representatieve meting. Vandaar dat deze niet meegenomen is in de bepaling van het gemiddelde.

TNO	Naam	DAWACO (nr Meting (mS/m)	Vershil (%)	
B05G0084	05GP0084_2	3160	2700	0,15
B05G0084	05GP0084_4	3250	3440	0,06
B06C0212	06CP0212_1	98	106,8	0,09
B06C0212	06CP0212_3	727	793	0,09
B06E0114	06EP0114_2	2560	2720	0,06
B06G0115	06GP0115_1	382	313	0,18
B06G0115	06GP0115_3	833	649	0,22
B10B0191	10BP0191_1	1574	1797	0,14
B10E0095	10EP0095_2	513	47,8	0,91
B10E0095	10EP0095_3	1358	755	0,44

Tabel 14: Vergelijking metingen met DAWACO

Bijlage F Resultaten veldwerk

De putten met bijbehorende filters bij welke metingen tijdens het veldwerk zijn uitgevoerd worden in dit hoofdstuk besproken. Er zal ingegaan worden op constatering gedurende het veldwerk als een eerste analyse van de data. In de weergegeven tabellen zijn het gemeten geleidingsvermogen en de TDS (total dissolved solids) weergegeven. Met behulp van de lineaire regressieformule beschreven in hoofdstuk 4.1 is de Zout kolom berekend. Het chloridepercentage is het percentage dat de zoutkolom uitmaakt van de TDS kolom. Het percentage geeft aan in hoeverre zout (Natrium Chloride) is opgelost in het grondwater. Het resterende percentage bestaat uit andere opgeloste 'solids'. In de beschrijving wordt met analyse steeds verwezen naar de eerder uitgevoerde analyse in hoofdstuk 3.1.

B10G0084 // 05GP0084

Uit de analyse is gebleken dat alle filters zich in het zoute grensvlak bevinden. Echter was vermeld dat de eerste filter geen zout zou bevatten en zich in een kleilaag bevindt. Dit is in de resultaten redelijk terug te zien. De eerste meting van filter 1 geeft weliswaar een zoute waarde (>1000 mG/L), maar de nametingen zijn fors lager. Voor de overige filters geldt wel een forse meting van zout. Filters 3 t/m 5 verschillen onderling niet veel van elkaar. Een opvallend gegeven is het Chloridepercentage van de tweede meting van de tweede filter. Deze is plots mar 27,6%.

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
05GP0084_1	1	5430	3710	1757	47,4
	2	2810	1913	828	43,3
	3	3250	2210	984	44,5
	4	3110	2110	935	44,3
05GP0084_2	1	27000	18350	9403	51,2
	2	18350	23000	6337	27,6
05GP0084_3	1	33800	23000	11814	51,4
	2	34100	23200	11920	51,4
05GP0084_4	1	34000	23200	11885	51,2
	2	34400	23400	12027	51,4
05GP0084_5	1	34400	23300	12027	51,6
	2	34600	23500	12098	51,5

Tabel 15: Metingen put 05GP0084

B05H0067 // 05HP0067

Van deze put was bekend dat de eerste filter boven het zoutvlak zou liggen. Bij de derde filter was zout gemeten. Uitgaande van de metingen komt dit beeld ook terug. De eerste filter bevat geen zout water. De tweede en derde filter wel. Opvallend hier is het toenemende chloridepercentage naarmate men dieper de grond in gaat.

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
05HP0067_1	1	2540	1739	733	42,1
	2	2540	1724	733	42,5
05HP0067_2	1	5310	3610	1715	47,5
	2	7460	5070	2477	48,9
05HP0067_3	1	21100	14390	7312	50,8
	2	24700	16760	8588	51,2

Tabel 16: Metingen put 05HP0067

B06A0037 // 06AP0037

Metingen geven weer dat in deze put in alle vier de filters zich zout grondwater bevindt. Uit de analyse bleek dat de eerste twee filters zich boven het grensvlak zouden bevinden. Deze constatering is niet juist. In de eerste twee filters wordt een dermate hoog geleidingsvermogen gemeten dat deze filters ook als zout zijn te omschrijven.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
06AP0037_1	1	5510	3770	1785	47,4
06AP0037_2	1	6790	4620	2239	48,5
06AP0037_3	1	7470	5080	2480	48,8
06AP0037_4	1	6980	4740	2307	48,7

Tabel 17: Metingen put 06AP0037

B06C0212 // 06CP0212

De eerste filter ligt volgens de analyse boven het grensvlak. De tweede filter zou mogelijk zout grondwater bevatten. Uit de metingen blijkt inderdaad dat de eerste filter geen zout bevat. De tweede filter kon niet gemeten worden omdat deze simpelweg geen water pompte. Opvallend is ook het lage chloridepercentage in filter 1. Deze kan waarschijnlijk verklaard worden door de injectie van grondwater van zuivelproducenten. Hier kunnen andere verontreinigingen mee terug geïnjecteerd worden.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
06CP0212_1	1	910	1337	155	11,6
	2	1068	1560	211	13,5
06CP0212_3	1	7910	5380	2636	49,0
	2	7930	5390	2643	49,0

Tabel 18: Metingen put 06CP0212

B06D0213 // 06DP0213

Deze put kwam in de analyse naar voren voor een eventuele zoutcorrectie. Deze put bleek beheerd te worden door waterbedrijf VITENS. Hierdoor werd het lastig hier metingen uit te voeren zonder dat VITENS hier bij betrokken hoefde te worden. Er is zodoende ervoor gekozen om deze put niet mee te nemen in het veldwerk.

B06E0114 // 06EP0114

Bij deze put dient eerst een aanmerking op de apparatuur te worden gemaakt. De EC-meter gaf hier een Error en na het maken hiervan is de temperatuurconstante (Alpha) verschoven van 1.92 naar 2.00. Dit verschil is minimaal op de uiteindelijke meting en zodoende is de fout verwaarloosbaar. Bij deze filter is de eerste meting direct vanuit de put gedaan.

Uit de analyse bleek dat alle putten zout zouden moeten bevatten. Dit komt ook terug in de metingen. Opvallend is het hogere chloridepercentage in vergelijking met ander putten. Een ander opvallend punt is dat de eerste metingen in filter een en twee, vanuit de put, fors lagere chloridegehalten geven dan wanneer de put doorgepompt wordt.

Bij het afpompen van de eerste filter kwam een sterke mestlucht vrij. Ook had dit een vieze donkere afzetting, zowel de emmer als de slang was "zwart".

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
06EP0114_1	1	26800	13400	9333	69,6
	2	27300	13580	9510	70,0
	3	27500	13680	9581	70,0
06EP0114_2	1	2330	1170	658	56,3
	2	26400	13110	9191	70,1
	3	26800	13410	9333	69,6
	4	27200	13560	9474	69,9
06EP0114_3	1	2180	1400	605	43,2
	2	29600	14730	10325	70,1
	3	30000	15040	10467	69,6
	4	30500	15230	10644	69,9
	5	30500	15260	10644	69,8

Tabel 19: Metingen put 06EP0114

B06G0115 // 06GP0115

Ook bij deze metingen gaf de EC-meter een Error. De Alpha constante was ook hier 2.00 i.p.v. 1.92. Volgens de analyse zouden alle filters geen zout bevatten, hoewel deze zich wel beneden het grensvlak bevinden. Er is in filter één en drie ook brak water gemeten (DAWACO). Dit brak water komt in filter een inderdaad terug. Al is hier wel een grote sprong te zien tussen de eerste en latere metingen. Hetzelfde geldt voor filter twee, deze laat een grillig patroon zien. Zowel tijdens het leegpompen als het meten vanuit de put zelf zijn erg wisselende metingen gedaan die tussen brak en zout water inliggen. De derde filter geeft een constanter beeld.

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
06GP0115_1	1	3130	1564	942	60,2
	2	2050	1029	559	54,3
	3	2000	1000	541	54,1
06GP0115_2	1	4290	2140	1353	63,2
	2	4330	2160	1367	63,3
	3	4410	2210	1396	63,1
	4	2200	1099	612	55,7
	5	2250	1127	630	55,9
	6	2260	1131	633	56,0
	7	4210	2100	1325	63,1
	8	4360	2180	1378	63,2
	9	4620	2310	1470	63,6
	10	2240	1145	626	54,7
06GP0115_3	1	5590	2800	1814	64,8
	2	6200	3100	2030	65,5
	3	6460	3230	2122	65,7
	4	6480	3240	2129	65,7
	5	6490	3240	2133	65,8
	6	5820	2900	1895	65,4

Tabel 20: Metingen put 06GP0115

B10B0191 // 10BP0191

Bij deze put zijn de metingen slechts één maal uitgevoerd. Dit omdat er gewerkt werd in dit land en een snelle meting plaats moest vinden. Vandaar dat de derde filter ook niet gemeten is. Deze filter is gepositioneerd in een kleilaag en volgens eerdere bronnen bij de provincie kon deze filter overgeslagen worden.

Volgens de analyse zouden alle filters zout bevatten, ook al liggen filter één en twee boven het grensvlak. Dit blijkt bij de metingen ook het geval. Het gaat ook om forse chloridegehalten. Opvallend is het hoge chloridegehalte van filter vier t.o.v. de lager gelegen filters.

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)	Chloridepercentage
10BP0191_1	1	17970	12220	6202	50,8
10BP0191_2	1	21500	14610	7454	51,0
10BP0191_4	1	29400	19960	10254	51,4
10BP0191_5	1	27400	18860	9545	50,6
10BP0191_6	1	27700	18850	9652	51,2
10BP0191_7	1	31100	21200	10857	51,2

Tabel 21: Metingen put 10BP0191

B10D0065 // 10DP0065

Deze put was niet meegenomen in de analyse maar wel in het veldwerk omdat hier forse chloridegehalten eerder gemeten waren. Deze put geeft een opvallend patroon van chloridegehalten. Vooral filter twee schiet er tussen uit. Daarna daalt het chloridegehalte om in filter vier weer hoger te zijn. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door de aanwezigheid van zoutlenzen vanuit vroegere tijden. Filter vijf geeft namelijk een erg laag chloridegehalte (zoete waarde). Ook het chloridepercentage in deze diepste filter is erg laag.

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)	Chloridepercentage
10DP0065_1	1	19740	13480	6830	50,7
10DP0065_2	1	47400	32200	16635	51,7
	2	48100	32700	16883	51,6
10DP0065_3	1	10470	7120	3544	49,8
	2	11000	7480	3732	49,9
10DP0065_4	1	18320	12460	6326	50,8
	2	18400	12510	6355	50,8
10DP0065_5	1	791	538	113	20,9
	2	696	473	79	16,7

Tabel 22: Metingen put 10DP0065

B10E0095 // 10EP0095

Volgens de analyse is in de tweede en derde filter respectievelijk brak en zout water gemeten. Probleem bij deze put was dat filters lange tijd moeilijk water gaven. Het was daardoor niet mogelijk een goede meting te verrichten omdat er bijna geen water was. Dit heeft tot resultaat dat er een grillig verloop is van metingen (filter drie; van 276 uS/cm naar 7550 uS/cm). Daarnaast geldt voor een geleiding van minder dan 473 uS/cm dat de lineaire regressieformule niet meer bruikbaar is. Vandaar dat er negatieve chloridegehalten worden verkregen. Dit is uiteraard niet mogelijk.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
10EP0095_1	1	2590	1758	750	42,7
10EP0095_2	1	363	247	-39	-15,8
	2	478	325	2	0,5
10EP0095_3	1	276	188,7	-70	-37,1
	2	7550	5140	2509	48,8
	3	306	208	-59	-28,5

Tabel 23: Metingen put 10EP0095

B10G0016 // 10GP0016

Volgens de analyse zouden filter vijf, zes en zeven kapot zijn. Filter vijf en zes gaven echter prima water. Het zou kunnen dat dit niet het water is op de filterdiepte maar dat dit water op een andere plaats de put binnendringt. Hierdoor is waarschijnlijk niet het chloridegehalte gemeten van het water in de beoogde grondlaag. In de eerste en diepere filters valt het lage chloridepercentage op. De eerste drie filters bevinden zich boven het grensvlak, dit is terug te zien in de metingen, er wordt nauwelijks zout gemeten. Filter vier zou mogelijk wel zout bevatten, wat ook het geval blijkt te zijn. Filter vijf, zes en zeven bevinden zich beneden het zoutvlak en zouden zout moeten bevatten. Doordat het kan zijn dat hier grondwater uit een andere laag gemeten wordt is dit niet zo zout als van te voren gedacht werd.

Naam	Meting	Geleiding ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
10GP0016_1	1	665	452	68	15,0
	2	663	451	67	14,9
10GP0016_2	1	680	463	73	15,8
	2	673	459	71	15,4
10GP0016_3	1	1027	698	196	28,1
	2	1064	724	209	28,9
	3	1089	741	218	29,5
	4	1166	793	246	31,0
	5	1206	820	260	31,7
	6	1222	831	265	31,9
	7	1295	880	291	33,1
	8	1321	898	301	33,5
10GP0016_4	1	2570	1746	743	42,6
	2	7520	5120	2498	48,8
	3	7680	5220	2555	48,9
	4	7720	5250	2569	48,9
	5	7740	5260	2576	49,0
	6	7760	5280	2583	48,9
10GP0016_5	1	922	627	159	25,4
	2	854	581	135	23,2
	3	854	581	135	23,2
10GP0016_6	1	1280	870	286	32,9
	2	1227	834	267	32,0
	3	1208	821	260	31,7
10GP0016_7	1	3200	2180	967	44,3

Tabel 24: Metingen put 10GP0016

B10G0049 // 10GP0049

De eerste vier filters zouden zich, volgens de analyse, boven het zoute grensvlak bevinden. Hier is ook helemaal geen zout gemeten, het water is bijna niet eens als brak te omschrijven. Filter vijf zou mogelijk zout bevatten, hier is echter geen zout gemeten. Vanaf filter zes, wat beneden het grensvlak ligt, wordt zout gemeten. Filter acht geeft bijna geen water en daardoor is er maar één meting gedaan. Opvallend is het lage chloridepercentage in de ondiepere filters. Hier zitten dus veel andere opgeloste stoffen.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
10GP0049_1	1	910	619	155	25,0
	2	966	658	175	26,5
10GP0049_2	1	786	535	111	20,7
	2	784	533	110	20,7
10GP0049_3	1	693	471	78	16,5
	2	682	464	74	15,9
10GP0049_4	1	647	440	62	14,0
	2	655	446	64	14,4
10GP0049_5	1	588	400	41	10,2
	2	578	393	37	9,4
	3	778	529	108	20,4
	4	579	394	37	9,5
10GP0049_6	1	3320	2260	1009	44,7
	2	3370	2290	1027	44,8
10GP0049_7	1	6420	4440	2108	47,5
	2	6650	4530	2190	48,3
10GP0049_8	1	18850	12840	6514	50,7

Tabel 25: Metingen put 10GP0049

B11F0113 // 11FP0072

In plaats van vijf filters uit de analyse bevat deze put zes filters. De zesde filter bevindt zich qua diepte tussen de eerste twee filters in. In de eerste en zesde filter wordt een dermate lage geleiding gemeten (<473 uS/cm) dat dit een negatief chloridegehalte geeft. Er mag zodoende aangenomen worden dat zich hier nagenoeg geen zout bevindt. De eerste vier filters bevinden zich volgens de analyse boven het grensvlak, metingen geven ook aan dat in deze filters zoet water gemeten wordt. Alleen filter vijf, de diepste filter, bevindt zich beneden het grensvlak. Hier wordt wel fors meer zout gemeten dan de ondiepere filters, echter is dit nog slechts net als brak te omschrijven. Opvallend hier is het lage chloridepercentage.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
11FP0072_1	1	380	258	-33	-12,8
	2	383	260	-32	-12,3
11FP0072_2	1	569	387	34	8,8
	2	573	390	35	9,1
11FP0072_3	1	560	381	31	8,1
	2	569	387	34	8,8
11FP0072_4	1	588	400	41	10,2
	2	592	403	42	10,4
11FP0072_5	1	1053	716	206	28,7
	2	1074	730	213	29,2
	3	1050	714	204	28,6
	4	1052	715	205	28,7
11FP0072_6	1	205	139,7	-95	-68,1
	2	201	137	-97	-70,5

Tabel 26: Metingen put 11FP0072

B11G0060 // 11GP0038

Voor deze put geldt nagenoeg het zelfde als voor put 11FP0072. Alleen de laatste (vierde) filter ligt beneden het grensvlak. In de eerste twee filters worden dermate lage geleidingsvermogen gemeten (<473uS/cm) dat de vergelijking hier niet opgaat. De derde filter geeft al iets meer zout maar is nog steeds als zoet te omschrijven. Het vierde filter heeft wel een fors hoger chloridegehalte, maar is nog als brak te omschrijven.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mG/L)	Chloride (mG/L)	Chloridepercentage
11GP0038_1	1	142,6	97	-117	-120,8
	2	153,4	104,3	-113	-108,7
	3	156,6	106,5	-112	-105,4
11GP0038_2	1	433	294	-14	-4,9
	2	446	303	-10	-3,2
11GP0038_3	1	975	391	178	45,5
	2	594	405	43	10,6
	3	596	406	44	10,7
11GP0038_4	1	2520	1714	726	42,3
	2	2500	1699	718	42,3
	3	2520	1712	726	42,4
	4	2510	1708	722	42,3

Tabel 27: Metingen put 11GP0038

B15B0041 // 15BP0041

De eerste vier filters van deze put bevinden zich boven het zout grensvlak. Hier worden ook verwaarloosbare chloridegehalten gemeten. Opvallend hier is het lage chloridepercentage. Volgens de eigenaar van de grond bevat het grondwater hier veel ijzer, dit zou het lage percentage kunnen verklaren. De vijfde filter bevindt zich in een kleilaag, naarmate er hier meer doorgepompt wordt, wordt er wel een aanzienlijk chloridegehalte gemeten. Hetzelfde geldt voor de zesde filter, deze geeft weinig water waardoor slechts twee metingen zijn verricht.

Naam	Meting	Geleiding (µS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)	Chloridepercentage
15BP0041_1	1	929	632	162	25,6
	2	814	553	121	21,8
15BP0041_2	1	72,5	49,3	-142	-288,2
	2	629	428	55	12,9
15BP0041_3	1	59,8	40,7	-147	-360,1
	2	669	455	69	15,2
15BP0041_4	1	82,6	56,2	-138	-246,4
15BP0041_5	1	2630	1790	765	42,7
	2	8840	6020	2966	49,3
	3	11900	8090	4051	50,1
	4	13410	9120	4586	50,3
	5	13680	9300	4682	50,3
	6	13830	9410	4735	50,3
15BP0041_6	1	11190	7610	3799	49,9
	2	15270	10390	5245	50,5

Tabel 28: Metingen put 15BP0041

Bijlage G Data, metingen en resultaten

Alle gegevens, metingen en resultaten per put per filter. Geeft een overzicht van alle benodigde data.

TNO	Naam	Filters	Meting (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)	Chloridepercentage (%)	Bkf-MV(m)	OkF-MV (m)	Diepte Filter-MV (m)	Stijghoogte mediaan - MV(m)	Dichtheid (kg/m3)	stijghoogte (m) (t.o.v. diepte)	Correctie(m)	Percentage
B05G0084	05GP0084_1	1	5430	3710	1757	47,4	4,89	5,89	5,39	1,44	1002,36	3,95	0,01	0,2%
B05G0084	05GP0084_2	2	27000	18350	9798	53,4	9,64	10,64	10,14	1,29	1013,15	8,85	0,12	1,3%
B05G0084	05GP0084_3	3	34100	23200	11920	51,4	18,68	19,68	19,18	1,38	1016,00	17,8	0,28	1,6%
B05G0084	05GP0084_4	4	34400	23400	12161	52,0	28,71	29,71	29,21	1,32	1016,32	27,89	0,4551	1,6%
B05G0084	05GP0084_5	5	34600	23500	12098	51,5	37,85	38,85	38,35	1,34	1016,23	37,01	0,60	1,6%
B05H0067	05HP0067_1	1	2540	1739	733	42,1	5,34	6,34	5,84	1,23	1000,98	4,61	0,00	0,1%
B05H0067	05HP0067_2	2	7460	5070	2477	48,9	14,33	15,33	14,83	1,17	1003,32	13,66	0,05	0,3%
B05H0067	05HP0067_3	3	24700	16760	8588	51,2	29,33	30,33	29,83	1,16	1011,52	28,67	0,33	1,2%
B06A0037	06AP0037_1	1	5510	3770	1785	47,4	5,95	6,95	6,45	0,32	1002,40	6,13	0,01	0,2%
B06A0037	06AP0037_2	2	6790	4620	2239	48,5	11,45	12,45	11,95	0,3	1003,00	11,65	0,04	0,3%
B06A0037	06AP0037_3	3	7470	5080	2480	48,8	18,95	19,95	19,45	0,32	1003,33	19,13	0,06	0,3%
B06A0037	06AP0037_4	4	6980	4740	2307	48,7	27,95	28,95	28,45	0,26	1003,10	28,19	0,09	0,3%
B06C0212	06CP0212_1	1	1068	1560	211	13,5	4,49	5,49	4,99	0,78	1000,28	4,21	0,00	0,0%
B06C0212	06CP0212_2	2	x	x	x	x	24,03	25,03	24,53	1,99	x	22,54	x	x
B06C0212	06CP0212_3	3	7930	5390	2643	49,0	57,39	58,39	57,89	2,16	1003,55	55,73	0,20	0,4%
B06E0114	06EP0114_1	1	27500	13680	9581	70,0	9,05	10,05	9,55	0,41	1012,86	9,14	0,12	1,3%
B06E0114	06EP0114_2	2	27200	13560	8349	61,6	19,03	20,03	19,53	0,41	1011,20	19,12	0,21	1,1%
B06E0114	06EP0114_3	3	30500	15260	10644	69,8	29,02	30,02	29,52	0,33	1014,28	29,19	0,42	1,4%
B06G0115	06GP0115_1	1	3130	1564	1009	64,51	6,55	8,55	7,55	0,41	1001,35	7,14	0,01	0,1%
B06G0115	06GP0115_2	2	4620	2310	1470	63,64	15,04	17,04	16,04	0,39	1001,97	15,65	0,03	0,2%
B06G0115	06GP0115_3	3	6490	3240	2435	75,15	25,05	27,05	26,05	0,42	1003,27	25,63	0,08	0,3%

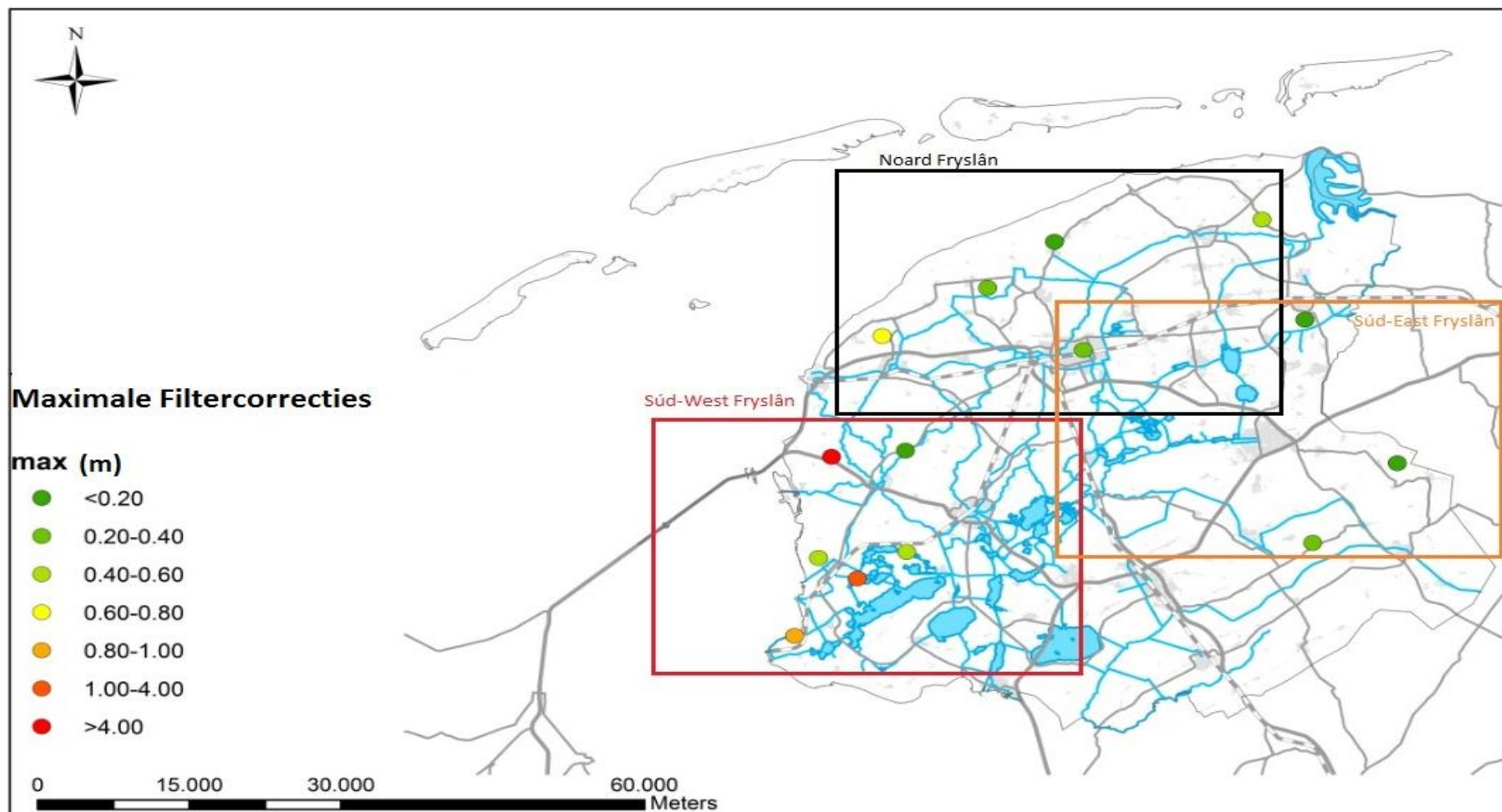
B10B0191	10BP0191_1	1	17970	12220	6040	49,43	30,19	32,19	31,19	1,09	1008,11	30,1	0,24	0,8%
B10B0191	10BP0191_2	2	21500	14610	7454	51,02	60,19	62,19	61,19	1,14	1010,00	60,05	0,60	1,0%
B10B0191	10BP0191_3	3	x	x	x	x	113,22	115,22	114,22	-0,43	x	114,65	x	x
B10B0191	10BP0191_4	4	29400	19960	10254	51,37	169,16	171,16	170,16	1,41	1013,76	168,75	2,32	1,4%
B10B0191	10BP0191_5	5	27400	18860	9545	50,61	251,08	253,08	252,08	1,01	1012,81	251,07	3,22	1,3%
B10B0191	10BP0191_6	6	27700	18850	9652	51,20	322,06	324,06	323,06	3,14	1012,95	319,92	4,14	1,3%
B10B0191	10BP0191_7	7	31100	21200	10857	51,21	395,06	397,06	396,06	2,18	1014,57	393,88	5,74	1,5%
B10D0065	10DP0065_1	1	19740	13480	6830	50,67	2,66	3,66	3,16	1,45	1009,17	1,71	0,02	0,9%
B10D0065	10DP0065_2	2	48100	32700	16883	51,63	17,80	19,80	18,80	1,85	1022,66	16,95	0,38	2,3%
B10D0065	10DP0065_3	3	11000	7480	3732	49,89	33,02	35,02	34,02	1,73	1005,01	32,29	0,16	0,5%
B10D0065	10DP0065_4	4	18400	12510	6355	50,80	55,03	57,03	56,03	2,19	1008,53	53,84	0,46	0,9%
B10D0065	10DP0065_5	5	791	538	113	20,94	97,05	99,05	98,05	1,24	1000,15	96,81	0,01	0,0%
B10E0095	10EP0095_1	1	2590	1758	750	42,68	3,64	4,64	4,14	1,24	1001,006923	2,9	0,00	0,1%
B10E0095	10EP0095_2	2	478	325	2	0,52	11,08	12,08	11,58	1,19	1000,00	10,39	0,00	0,0%
B10E0095	10EP0095_3	3	7550	5140	2509	48,81	28,07	29,07	28,57	1,16	1003,37	27,41	0,09	0,3%
B10G0016	10GP0016_1	1	665	452	68	15,04	24,08	25,08	24,58	1,63	1000,09	22,95	0,00	0,0%
B10G0016	10GP0016_2	2	680	463	73	15,83	49,03	50,03	49,53	1,58	1000,10	47,95	0,00	0,0%
B10G0016	10GP0016_3	3	1321	898	301	33,46	99,04	100,04	99,54	1,6	1000,40	97,94	0,04	0,0%
B10G0016	10GP0016_4	4	7760	5280	2583	48,92	162,05	165,05	163,55	2,01	1003,47	161,54	0,56	0,3%
B10G0016	10GP0016_5	5	922	627	159	25,37	219,07	222,07	220,57	1,03	1000,21	219,54	0,05	0,0%
B10G0016	10GP0016_6	6	1280	870	286	32,87	237,08	240,08	238,58	1,04	1000,38	237,54	0,09	0,0%
B10G0016	10GP0016_7	7	3200	2180	967	44,34	256,56	259,56	258,06	1,08	1001,30	256,98	0,33	0,1%
B10G0049	10GP0049_1	1	966	658	175	26,55	2,04	3,04	2,54	1,01	1000,23	1,53	0,00	0,0%
B10G0049	10GP0049_2	2	786	535	111	20,72	8,95	9,95	9,45	1,02	1000,15	8,43	0,00	0,0%
B10G0049	10GP0049_3	3	963	471	174	36,86	30,00	32,00	31,00	0,81	1000,23	30,19	0,01	0,0%
B10G0049	10GP0049_4	4	655	446	64	14,44	120,00	122,00	121,00	0,72	1000,09	120,28	0,01	0,0%
B10G0049	10GP0049_5	5	778	529	108	20,42	237,99	239,99	238,99	0,13	1000,14	238,86	0,03	0,0%
B10G0049	10GP0049_6	6	3370	2290	1027	44,84	281,99	283,99	282,99	0,4	1001,38	282,59	0,39	0,1%

B10G0049	10GP0049_7	7	6650	4530	2190	48,34	317,97	319,97	318,97	0,71	1002,94	318,26	0,94	0,3%
B10G0049	10GP0049_8	8	18850	12840	6514	50,73	370,99	371,99	371,49	3,52	1008,74	367,97	3,22	0,9%
B11F0113	11FP0072_1	1	383	260	-32	-12,31	36,05	38,05	37,05	3,05	999,96	34	0,00	0,0%
B11F0113	11FP0072_2	2	573	390	35	9,06	89,04	91,04	90,04	3,05	1000,05	86,99	0,00	0,0%
B11F0113	11FP0072_3	3	569	387	34	8,77	124,01	126,01	125,01	3,1	1000,05	121,91	0,01	0,0%
B11F0113	11FP0072_4	4	592	403	42	10,44	167,02	169,02	168,02	3,12	1000,06	164,9	0,01	0,0%
B11F0113	11FP0072_5	5	1074	730	213	29,17	232,01	234,01	233,01	3,08	1000,29	229,93	0,07	0,0%
B11F0113	11FP0072_6	6	205	139,7	-95	-68,07	n.v.t.				999,87			
B11G0060	11GP0038_1	1	156,6	106,5	-112	-105,41	9,45	10,45	9,95	1,92	999,85	8,03	0,00	0,0%
B11G0060	11GP0038_2	2	446	303	-10	-3,19	61,47	62,47	61,97	1,92	999,99	60,05	0,00	0,0%
B11G0060	11GP0038_3	3	975	391	178	45,49	159,51	160,51	160,01	1,95	1000,24	158,06	0,04	0,0%
B11G0060	11GP0038_4	4	2520	1714	726	42,33	249,51	250,51	250,01	2,22	1000,97	247,79	0,24	0,1%
B15B0041	15BP0041_1	1	929	632	162	25,56	2,49	3,49	2,99	0,71	1000,22	2,28	0,00	0,0%
B15B0041	15BP0041_2	2	629	428	55	12,90	13,72	14,72	14,22	0,7	1000,07	13,52	0,00	0,0%
B15B0041	15BP0041_3	3	669	455	69	15,25	24,76	25,76	25,26	0,69	1000,09	24,57	0,00	0,0%
B15B0041	15BP0041_4	4	82,6	56,2	-138	-246,42	47,78	48,78	48,28	0,73	999,81	47,55	-0,01	0,0%
B15B0041	15BP0041_5	5	13830	9410	4735	50,32	87,21	88,21	87,71	0,8	1006,35	86,91	0,55	0,6%
B15B0041	15BP0041_6	6	15270	10390	5245	50,48	128,95	129,95	129,45	0,31	1007,04	129,14	0,91	0,7%

Tabel 29: Alle data, metingen en resultaten

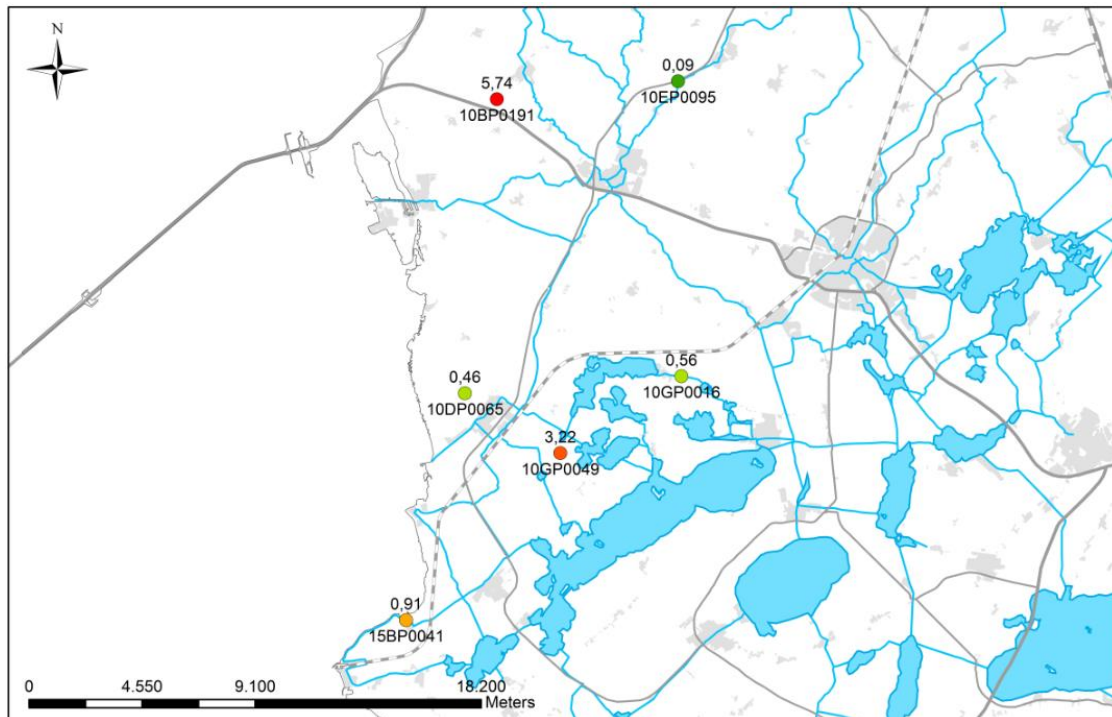
Bijlage H Maximale Correcties per Peilbuis

Op de kaart zijn de peilbuizen opgedeeld in drie gebieden. Deze drie gebieden worden vervolgens uitgesplitst. In deze uitsplitsing is de maximale correctiewaarde boven het punt weergegeven in meters.



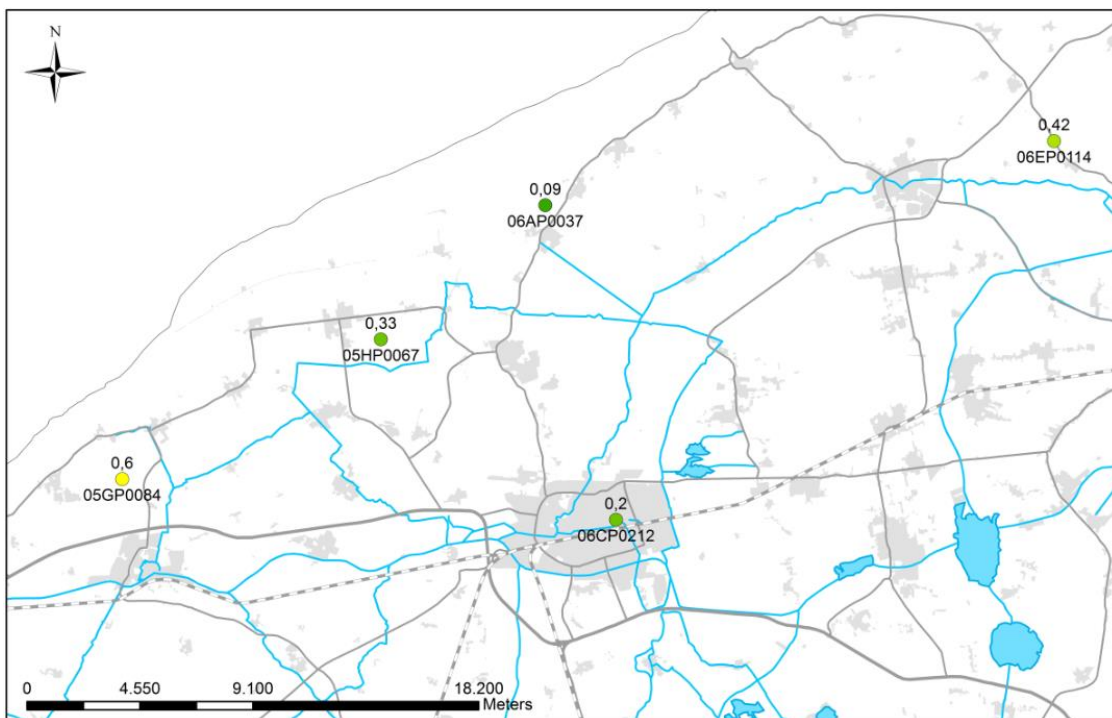
Figuur 41: Maximale correctie per peilbuis

Súd-West Fryslân



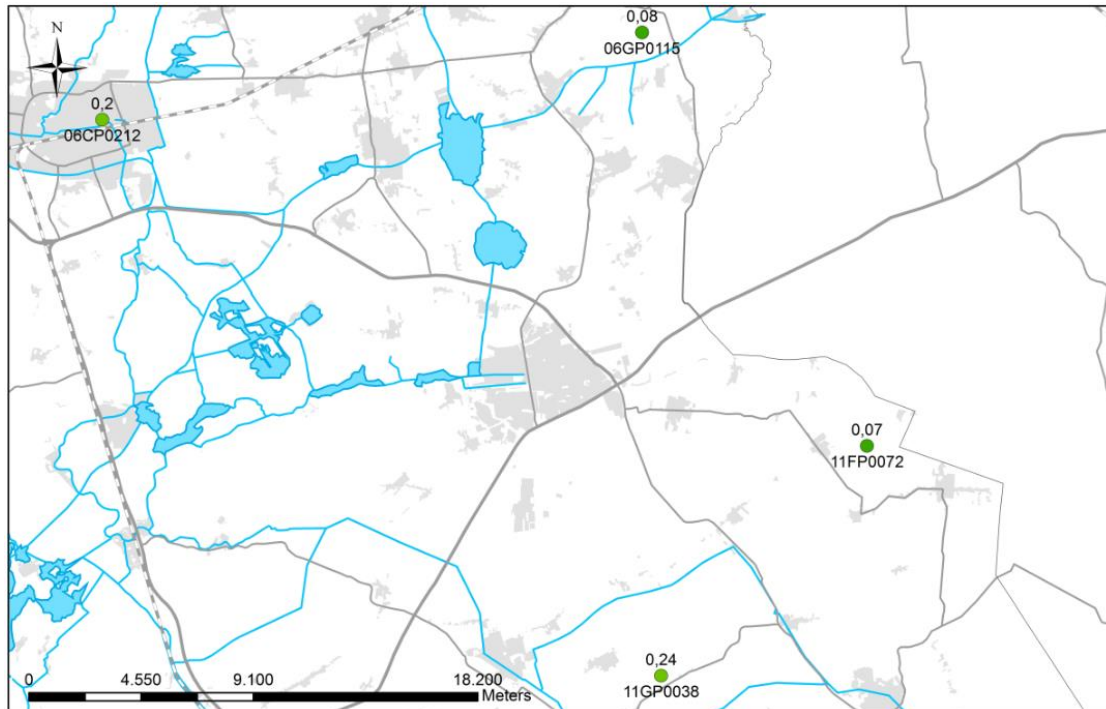
Figuur 42: Maximale correcties Súd-West Fryslân

Noard Fryslân



Figuur 43: Maximale correcties Noard Fryslân

Súd-East Fryslân



Figuur 44: Maximale correcties Súd-East Fryslân

