



TNO-rapport

TNO-034-UT-2010-01833/A

REGIS Zeeland

Deelrapport C: Zoet, brak en zout grondwater

**Netherlands Geological
Survey**

Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 30 256 42 56
F +31 30 256 44 75
wegwijzer@tno.nl

Datum	19 oktober 2010
Auteur(s)	B.J.M. Goes R.W. Vernes
Opdrachtgever	Provincie Zeeland, Directie Ruimte, Milieu en Water RWS/RIZA, Hoofdafdeling Watersystemen TNO Geological Survey of the Netherlands
Projectnummer	005.35019 en 034.22832
Aantal pagina's	85
Aantal bijlagen	2
Goedgekeurd door	Th.H.M. van Doorn

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Th.H.M. van Doorn', written over a horizontal line.

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

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

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

Samenvatting

In opdracht van de Provincie zijn in het kader van het project REGIS Zeeland een zestal karteringen uitgevoerd, elk gericht op het in kaart brengen van, voor het waterbeheer relevante, eigenschappen van de ondergrond en/of het daarin aanwezige grondwater. Eén van deze karteringen heeft betrekking op de ruimtelijke verdeling van zoet, brak en zout grondwater.

In de ontstaansgeschiedenis van de provincie Zeeland is de invloed van de zee zeer groot geweest. Sporen hiervan zijn terug te vinden in de ondergrond. In grote delen van de provincie wordt namelijk al op geringe diepte brak tot zout grondwater aangetroffen. De verdeling van zoet, brak en zout grondwater is daardoor mede bepalend voor de gebruiksmogelijkheden van het land. Ten behoeve van het huidige en toekomstige grond- en oppervlaktewaterbeheer is een actueel inzicht in de verdeling van zoet, brak en zout grondwater gewenst. Actuele, provinciedekkende kaarten ontbraken echter. De hoofddoelstelling van dit onderzoek is om provinciedekkende, digitale kaartbestanden samen te stellen van de ondiepste overgangen tussen zoet en brak ($[Cl^-] = 150 \text{ mg/l}$) én brak en zout grondwater ($[Cl^-] = 1000 \text{ mg/l}$) en van gebieden waar in het 'ondiepe', zoute grondwater inversies voorkomen van brak en eventueel zoet grondwater. Met de aldus verkregen kaartbestanden wordt nagestreefd om een provinciedekkend, ruimtelijk beeld te verkrijgen van de actuele verdeling van zoet, brak en zout grondwater in de ondergrond.

Het zoutgehalte van het grondwater kan op directe wijze worden bepaald door middel van analyses en metingen aan grondwatermonsters en op indirecte wijze via geofysische meetmethoden. Met name geofysische boorgatmetingen en elektrische sonderingen verschaffen een nauwkeurig inzicht in de diepteligging van het zoet-brak grensvlak. Voorafgaand aan de kartering is in samenwerking met de Begeleidingscommissie een inventarisatie uitgevoerd van deze bepalingen en van relevante rapporten. De geïnventariseerde bepalingen omvatten:

- grondwateranalyses;
- geofysische boorgatmetingen;
- elektrische sonderingen;
- geo-elektrische (oppervlakte)metingen en;
- elektromagnetische (oppervlakte)metingen.

Van ruim 6600 unieke locaties zijn dergelijke bepalingen beschikbaar; ca. 870 van deze locaties zijn bemonsteringspunten, op de overige ca. 5800 locaties zijn geofysische metingen verricht. Een klein deel van deze geofysische metingen betreft boorgatmetingen en elektrische sonderingen, metingen die een nauwkeurig, één dimensionaal inzicht kunnen geven in de diepteligging van het zoet-brak en brak-zout grensvlak. Het overgrote deel betreft geo-elektrische en elektromagnetische oppervlaktemetingen op grond waarvan het chloridegehalte van het grondwater met een beperkte nauwkeurigheid kan worden vastgesteld.

Naast deze basisgegevens is informatie van ruim 1500, bij de Provincie Zeeland bekende, grondwateronttrekkingen voorhanden.

Deze basisgegevens zijn geïnterpreteerd in termen van zoet, brak, en zout grondwater, op grond waarvan de diepteligging van het ondiepste zoet-brak grensvlak, het brak-zout grensvlak én de eventuele aanwezigheid van inversies per locatie zijn vastgesteld. Door de aard van de beschikbare gegevens bleek interpretatie van een deel van de

elektromagnetische metingen en de onttrekkingen niet mogelijk te zijn. Op ruim 6000 locaties is een interpretatie gemaakt.

De meeste basisgegevens verschaffen inzicht in de diepteligging van het brak-zout grensvlak. Om die reden is dit kaartbestand als eerste samengesteld. Op basis van de geïnterpreteerde gegevens en gebruik makend van kaartbestanden van de maaiveldhoogte en de opbouw en eigenschappen van ondiepe ondergrond is het verloop van de diepteligging van het brak-zout grensvlak door middel van contourlijnen op conservatieve wijze gekarteerd. Hierbij is rekening gehouden met inzichten die bij locale studies zijn verkregen. Uit deze contourlijnen is een rasterbestand met een resolutie van 50×50 meter afgeleid. De resolutie van dit rasterbestand is hoger dan de standaardresolutie van REGIS-bestanden. Hierdoor is het mogelijk om ook inzicht te geven in het verloop van het brak-zout grensvlak ter plaatse van relatief smalle kreekkruggen.

De diepteligging van het zoet-brak grensvlak, die alleen in een deel van de metingen kan worden geïnterpreteerd, en de dikte van de brakke zone, is op een kleine 100 locaties nauwkeurig vastgesteld. Op basis van deze gegevens is de gemiddelde dikte van de brakke zone geschat. De diepteligging van het zoet-brak grensvlak is vervolgens uit de dikte van de brakke zone en de diepteligging van het brak-zout grensvlak afgeleid.

Op basis van de geïnterpreteerde basisgegevens zijn aansluitend kaartbestanden vervaardigd van de locaties en mogelijke verbreiding van inversies, van locaties waar extreem zout grondwater aanwezig is én van het zoutgehalte van het grondwater onder de ondoorlatende kleilagen van het Laagpakketten van Boom en Asse.

Uitgaande van een zo actueel en compleet mogelijke set van basisgegevens zijn op deze wijze voor het eerst provinciedekkende kaartbestanden samengesteld die op regionale schaal inzicht geven in de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Door het grotere aantal beschikbare gegevens vertonen de kaartbestanden in het algemeen meer detail dan de tot op heden beschikbare kaarten. De kaarten geven een goed beeld van gebieden met zoet grondwater en zijn daardoor goed bruikbaar voor beleidsmatig gebruik. Aan de hand van de kaarten kan niet op een specifieke locatie de exacte diepte van het zoet-brak en brak-zoutgrensvlak worden afgelezen.

Veelal zijn slechts algemene, zachte gegevens bekend met betrekking tot het zoutgehalte van het grondwater ter plaatse van onttrekkingen. Vanwege het aantal locaties vormen grondwateronttrekkingen echter een belangrijke potentiële gegevensbron op basis waarvan de kaartbestanden verder verbeterd zouden kunnen worden. Aanbevolen wordt om in samenwerking met de beheerders een gerichte inventarisatie en meetcampagne uit te voeren.

Aanvullend inzicht in de diepteligging van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone is noodzakelijk, bijvoorbeeld ten behoeve van de potentiële landsgebruiksmogelijkheden. Om dit inzicht te vergroten dienen enerzijds de bestaande, analoge boorgatmetingen gedigitaliseerd en in DINO opgenomen te worden. Anderzijds dienen gericht metingen, zoals elektrische sonderingen, te worden verricht, in die gebieden waar het brak-zout grensvlak ondiep ligt.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Lijst van tabellen en figuren	5
1 Inleiding.....	7
1.1 REGIS Zeeland	7
1.2 Groeiend inzicht in het voorkomen van zoet, brak en zout grondwater.....	7
1.3 Probleemstelling	9
1.4 Doelstellingen	9
1.5 Randvoorwaarden	10
1.6 Werkwijze.....	10
1.7 Rapportindeling	11
2 Inventarisatie en interpretatie van basisgegevens.....	12
2.1 Algemeen	12
2.2 Grondwateranalyses	15
2.3 Geofysische boorgatmetingen.....	18
2.4 Elektrische sonderingen	27
2.5 Geo-elektrische (oppervlakte)metingen	29
2.6 Elektromagnetische (oppervlakte)metingen	35
2.7 Onttrekkingen	40
2.8 Samenvatting van beschikbare basisgegevens	43
3 Kartering van zoet, brak en zout grondwater.....	45
3.1 Algemeen	45
3.2 Kartering van de diepte van het brak-zout grensvlak.....	45
3.3 Kartering van de dikte van de brakke zone en de diepte van het zoet-brak grensvlak...	50
3.4 Kartering van inversies boven kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse	53
3.5 Interpretatie van het zoutgehalte onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse.....	54
4 Resultaten	55
4.1 Vervaardigde kaartbestanden	55
4.2 Diepteligging van het brak-zout grensvlak	55
4.3 Dikte van de brakke zone en diepteligging van het zoet-brak grensvlak.....	60
4.4 Voorkomen van inversies boven kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse	63
4.5 Zoutgehalte onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse	63
4.6 Extreem zout grondwater	67
5 Conclusies en aanbevelingen.....	69
5.1 Conclusies	69
5.2 Aanbevelingen	71
6 Literatuurlijst.....	Error! Bookmark not defined.

Bijlage(n)

- A Vervaardigde kaartbestanden
- B Aandachtsgebieden

Lijst van tabellen en figuren

Tabellen

Tabel 2.1	Gebruikte definities van zoet, brak, zout en extreem zout water.....	14
Tabel 2.2	Enkele kengetallen van grondwateranalyses in de provincie Zeeland waarbij de chlorideconcentratie van het grondwater is bepaald (stand 21/04/2004).	16
Tabel 2.3	Enkele kengetallen van geo-elektrische boorgatmetingen in het karteergebied.	20
Tabel 2.4	Formatiefactoren van ongeconsolideerde sedimenten in Nederland.	22
Tabel 2.5	Overzicht van temperatuurmetingen in het karteergebied met een einddiepte van ten minste -110 m NAP.....	24
Tabel 2.6	Enkele kengetallen van grondwateranalyses in de provincie Zeeland waarbij de bicarbonaatconcentratie van het grondwater is bepaald.	26
Tabel 2.7	Enkele kengetallen van de geïnterpreteerde geo-elektrische boorgatmetingen in het karteergebied.	27
Tabel 2.8	Overzicht van de bij dit onderzoek gehanteerde formatiefactoren voor verschillende waarden van het wrijvingsgetal.	28
Tabel 2.9	Enkele kengetallen van elektrische sonderingen in het karteergebied.....	29
Tabel 2.10	Enkele kengetallen van geo-elektrische (oppervlakte)metingen in het karteergebied.	32
Tabel 2.11	Indicatieve doordringingsdiepte in een homogene ondergrond voor de EM34 bij verschillende spoelafstanden.	35
Tabel 2.12	Regels voor het krijgen van een grove indicatie van de diepte van het brak-zout grensvlak op basis van schijnbare weerstanden gemeten met de EM34.	37
Tabel 2.13	Overzicht van de verdeling van het aantal EM34 metingen in het karteergebied over de onderscheiden diepteklassen van het brak-zout grensvlak.	38
Tabel 2.14	Overzicht van het aantal grondwateronttrekkingen in de provincie Zeeland waarvan de diepte van het brak-zout grensvlak is geschat.	43
Tabel 2.15	Overzicht van de beschikbare gegevens voor de kartering van de verdeling van zoet, brak en zout grondwater in Zeeland.	44
Tabel 3.1	Overzicht van het aantal geo-elektrische boorgatmetingen en elektrische sonderingen in het karteergebied waarin de diepte van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone geïnterpreteerd is.	50
Tabel 3.2	Gemeten en gehanteerde gemiddelde dikte van de brakke zone per deelgebied.....	52
Tabel 3.3	Overzicht van gegevens binnen het karteergebied die deels betrekking hebben op het grondwater onder de ondoorlatende kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse.	54
Tabel 4.1	Initiële en gecorrigeerde gemiddelde dikte van de brakke zone per deelgebied.....	60

Figuren

Figuur 1.1	Geohydrologisch profiel over Zeeuws-Vlaanderen en Zuid-Beveland A: opbouw, B: voorkomen van zoet en brak grondwater, C: ligging van kreekkruggen.	8
Figuur 1.2	Schematische weergave van de verdeling van zoet en brak grondwater in een kreekrug (naar IWACO, 1992c, Fig. 1).	9
Figuur 2.1	Begrenzings van het inventarisatie- en het karteergebied.	13
Figuur 2.2	Bemonsteringslocaties van het grondwater (chloridegehalte).	17
Figuur 2.3	Voorbeeld van een geïnterpreteerde geofysische boorgatmeting.	19
Figuur 2.4	Locaties van geofysische boorgatmetingen en elektrische sonderingen. .	21
Figuur 2.5	Verloop van de gemeten elektrische weerstand van de ondergrond en de berekende elektrische weerstand van het grondwater met de diepte ter plaatse van boorgatmeting 48B0142 te Middelburg.	23
Figuur 2.6	Empirische relatie tussen de chlorideconcentratie en de elektrische weerstand van het grondwater bij 20°C bij verschillende bicarbonaatconcentraties (bron: TNO-IGG, 1992).	25
Figuur 2.7	Verloop van de, op basis van het elektrisch geleidingsvermogen en de bicarbonaatconcentratie geschatte chlorideconcentratie met de diepte ter plaatse van boorgatmeting 48B0142 te Middelburg.	27
Figuur 2.8	Locaties van geo-elektrische oppervlaktemetingen.	34
Figuur 2.9	Locaties van elektromagnetische oppervlaktemetingen.	39
Figuur 2.10	Locaties van grondwateronttrekkingen in de provincie Zeeland, situatie voorjaar 2005.	41
Figuur 2.11	Gevolgdde werkwijze bij de schatting van de diepte van het brak-zout grensvlak op onttrekkingslocaties in de provincie Zeeland.	42
Figuur 3.1	Locaties van metingen met een geïnterpreteerde dikte van de brakke zone.	51
Figuur 4.1	Diepteligging van het brak-zout grensvlak.	56
Figuur 4.2	Dikte van de brakke zone.	61
Figuur 4.3	Diepteligging van het zoet-brak grensvlak.	62
Figuur 4.4	Inversies boven de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse.	64
Figuur 4.5	Chloridegehalte van het grondwater onder de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse.	66
Figuur 4.6	Locaties met extreem zout grondwater (chloride > 20000 mg/l).	68

1 Inleiding

1.1 REGIS Zeeland

In opdracht van de Provincie zijn in het kader van het project REGIS Zeeland een zestal karteringen uitgevoerd, elk gericht op het in kaart brengen van, voor het waterbeheer relevante, eigenschappen van de ondergrond en/of het daarin aanwezige grondwater.

Deze karteringen hebben betrekking op:

- de maaiveld- en waterbodemhoogten;
- de hydrogeologische opbouw en eigenschappen van de Holocene deklaag;
- de hydrogeologische opbouw van de matig diepe ondergrond;
- de verdeling van zoet, brak en zout grondwater;
- de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en;
- de kwel en infiltratie door de deklaag.

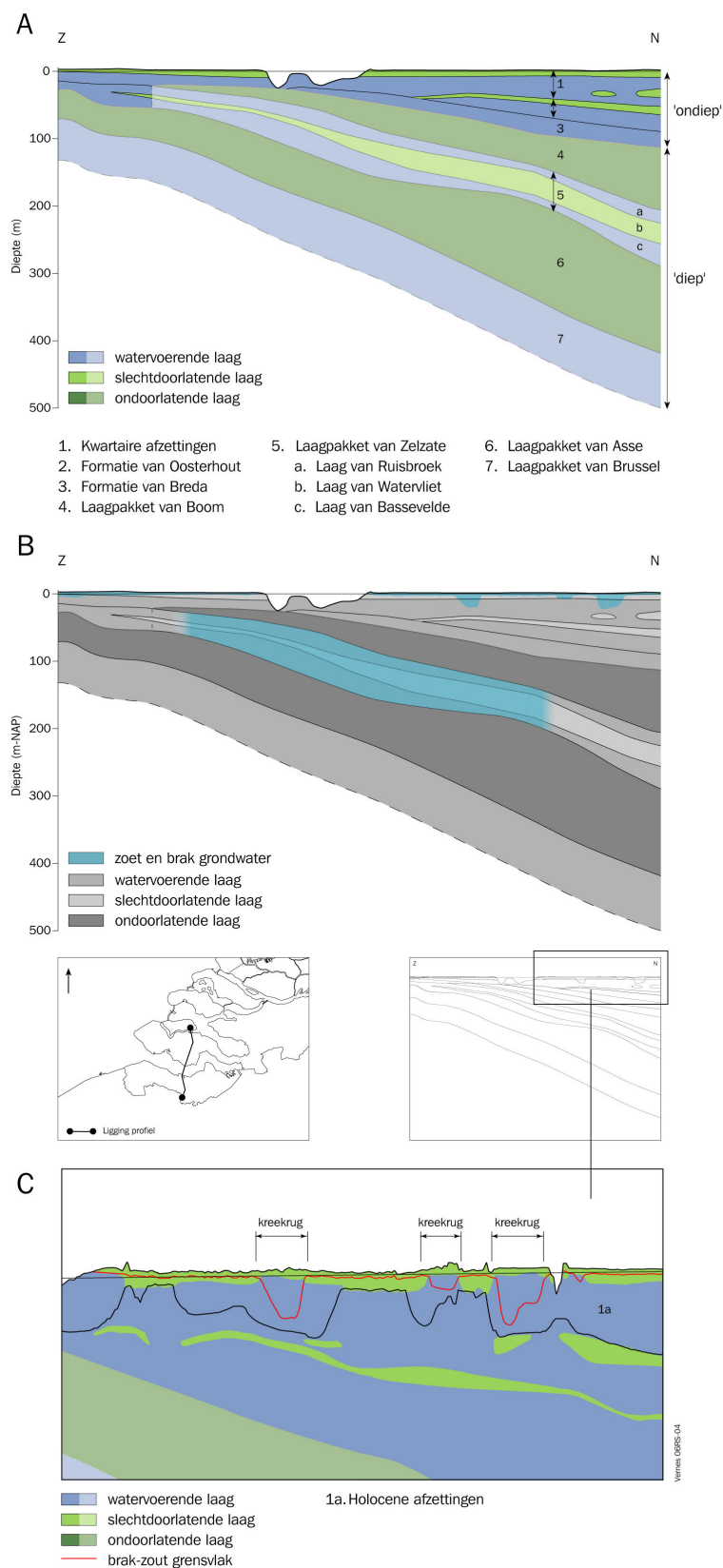
De kartering van de hydrogeologische opbouw van de matig diepe ondergrond is om praktische redenen gecombineerd met het onderhoud van de landelijke kaartbeelden van REGIS I en is om die reden in een apart rapport beschreven, zie Vernes en Van Doorn, 2005. De overige karteringen zijn vastgelegd in een vijftal deelrapporten. Het voorliggende rapport, dat deel uitmaakt van deze serie, vormt de rapportage van de kartering van voorkomens van zoet, brak en zout grondwater.

1.2 Groeiend inzicht in het voorkomen van zoet, brak en zout grondwater

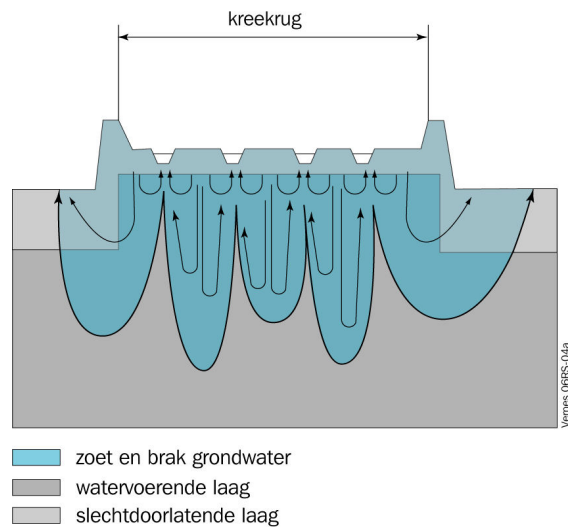
In de ontstaansgeschiedenis van de provincie Zeeland is de invloed van de zee zeer groot geweest. Door middel van bedijkingen en inpolderingen heeft de mens deze invloed in zekere mate ingeperkt. Toch zijn de sporen van de nog altijd aanwezige invloed van de zee terug te vinden in de ondergrond. In grote delen van de provincie wordt namelijk al op geringe diepte brak tot zout grondwater aangetroffen.

Door middel van geohydrologisch onderzoek, primair uitgevoerd ten behoeve van de drinkwatervoorziening, is over de afgelopen eeuw het inzicht in de samenstelling van het grondwater binnen de provincie gegroeid. Daarbij is vastgesteld dat buiten het Pleistocene dekzandgebied zoet grondwater, slechts in de duingebieden en ter plaatse van kreekruggen in redelijke hoeveelheden voorkomt. Gebleken is dat ook in de diepere ondergrond, onder ondoorlatende kleilagen van de Formaties van Boom en Asse, zoet en brak grondwater in beperkte mate aanwezig is, zie Figuur 1.1.

De afgelopen decennia is op basis van lokaal onderzoek, ondersteund door modelberekeningen, het besef gegroeid dat de verdeling van zoet, brak en zout grondwater over korte afstand sterk kan variëren. Door de lokale upconing van zout grondwater ter hoogte van waterlopen kunnen zoetwatervoorkomsten, zoals in kreekruggen, daardoor 'versneden' zijn in kleine, losse zoete systeempjes, zie Figuur 1.2.



Figuur 1.1 Geohydrologisch profiel over Zeeuws-Vlaanderen en Zuid-Beveland A: opbouw, B: voorkomen van zoet en brak grondwater, C: ligging van kreekruggen.



Figuur 1.2 Schematische weergave van de verdeling van zoet en brak grondwater in een kreekrug (naar IWACO, 1992c, Fig. 1).

1.3 Probleemstelling

Onder invloed van het waterbeheer, het landgebruik en het klimaat kunnen zich veranderingen voordoen in de verdeling van zoet, brak en zout grondwater in de ondergrond. Dergelijke veranderingen kunnen effect hebben op de gebruiksmogelijkheden van het land. Ten behoeve van het huidige en toekomstige grond- en oppervlaktewaterbeheer is een actueel inzicht in de verdeling van zoet, brak en zout grondwater binnen de provincie gewenst. Actuele, provinciedekkende kaarten ontbreken echter.

1.4 Doelstellingen

De hoofddoelstellingen van het onderzoek zijn:

- Het vervaardigen van provinciedekkende, digitale kaartbestanden van het regionale verloop van de diepteligging van de ondiepste overgangen tussen zoet en brak én brak en zout grondwater.
- Het vervaardigen van digitale kaartbestanden van gebieden waar onder het brak-zout grensvlak in het 'ondiepe' grondwater inversies voorkomen van brak en eventueel zoet grondwater.

Een nevendoelstelling van het onderzoek is:

- Het in kaart brengen van de bestaande gegevens van het zoutgehalte van het 'diepe' grondwater onder het Laagpakket van Boom ('Boomse Klei') en het Laagpakket van Asse ('Klei van Asse').

Met de aldus verkregen kaartbestanden wordt nagestreefd om een provinciedekkend, ruimtelijk beeld te verkrijgen van de actuele verdeling van zoet, brak en zout grondwater in de ondergrond.

1.5 Randvoorwaarden

Het onderzoek dient aan de volgende randvoorwaarden te voldoen:

- De werkzaamheden dienen te worden uitgevoerd uitgaande van de bestaande gegevens en inzichten.
- Als onderdeel van REGIS dient het te vervaardigen provinciedekkende ruimtelijke beeld in combinatie met de kaartbestanden van de overige provincies, uiteindelijk een landelijk kaartbeeld op te leveren. Rekening houdend met provinciespecifieke wensen, dienen de werkzaamheden op een zodanige wijze uitgevoerd te worden dat de onderlinge consistentie van de kaartbestanden zo goed mogelijk gewaarborgd is.

1.6 Werkwijze

Bij dit onderzoek zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- a) Inventarisatie van bestaande basisgegevens;
In het kader van het project REGIS Zeeland is in samenwerking met de Begeleidingscommissie een uitgebreide inventarisatie gedaan van bestaande, voor het project relevante, basisgegevens.
- b) (Her)interpretatie van bestaande basisgegevens;
Alle relevante basisgegevens zijn voor zover mogelijk geïnterpreteerd in termen van zoet, brak en zout grondwater. Dit resulteert in een verzameling van nuldimensionale (punt) of eendimensionale (kolom) gegevens.
- c) Kartering van het brak-zout grensvlak;
Op basis van een ruimtelijke interpretatie van de nuldimensionale (punt) of eendimensionale (kolom) gegevens is per locatie vastgesteld op welke diepte of binnen welke bandbreedte, het ondiepste brak-zout grensvlak ligt. Hieruit is vervolgens een ruimtelijk beeld van het diepteverloop van het ondiepste brak-zout grensvlak vervaardigd.
- d) Kartering van het zoet-brak grensvlak;
Voor zover mogelijk, is per locatie vastgesteld op welke diepte of binnen welke bandbreedte, het ondiepste zoet-brak grensvlak ligt. Uit de diepten van het zoet-brak grensvlak en het brak-zout grensvlak is voor deze locaties de dikte van de brakke zone afgeleid. Op basis van deze dikten én het ruimtelijke verloop van de diepteligging van het brak-zout grensvlak is vervolgens een ruimtelijk beeld van het diepteverloop van het ondiepste zoet-brak grensvlak samengesteld.
- e) Kartering van inversies in het ondiepe grondwater;
Overgangen van zout naar brak en eventueel van brak naar zoet die in het ondiepe grondwater aanwezig zijn onder het ondiepste brak-zout, respectievelijk zoet-brak grensvlak, zijn ruimtelijk geïnterpreteerd. De ruimtelijke begrenzingen van deze inversies zijn waar mogelijk in kaart gebracht.

- f) Kartering van bestaande gegevens van het zoutgehalte van het diepe grondwater.
- g) Rapportage.

1.7 Rapportindeling

Het voorliggende rapport, dat een beschrijving geeft van de gevolgde werkwijze en de behaalde resultaten, is opgebouwd uit onderstaande hoofdstukken.

Hoofdstuk 1 omvat de inleiding.

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de inventarisatie en de interpretatie van de bestaande gegevens. Opgemerkt dient te worden dat de gegevensinventarisatie alleen voor die gegevens is beschreven, waarvoor dit nog niet in eerdere deelrapporten is gedaan. Mocht dit laatste wel het geval zijn dan wordt naar deze deelrapporten verwezen.

De wijze waarop achtereenvolgens de kaartbestanden van het brak-zout en het zoet-brak grensvlak zijn vervaardigd, wordt toegelicht in hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk bevat eveneens een beschrijving van de gevolgde werkwijze bij het in kaart brengen van inversies in het ondiepe grondwater alsook van de beschikbare gegevens van het diepe grondwater.

Hoofdstuk 4 omvat een toelichting op de vervaardigde kaartbestanden.

De conclusies en aanbevelingen zijn in hoofdstuk 5 verwoord.

Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van de gebruikte literatuur.

2 Inventarisatie en interpretatie van basisgegevens

2.1 Algemeen

In het kader van dit onderzoek zijn vijf typen basisgegevens gebruikt om het zoutgehalte van het grondwater, en waar mogelijk ook het verloop van het zoutgehalte met de diepte, te kunnen vaststellen. Deze vijf gegevenstypen zijn, in volgorde van afnemende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid:

- grondwateranalyses;
- geofysische boorgatmetingen;
- elektrische sonderingen, ook wel aangeduid als elektrische Cone Penetration Tests (CPT);
- geo-elektrische (oppervlakte)metingen, ook wel aangeduid als Verticale Elektrische Sonderingen (VES);
- elektromagnetische (oppervlakte)metingen, kortweg EM-metingen.

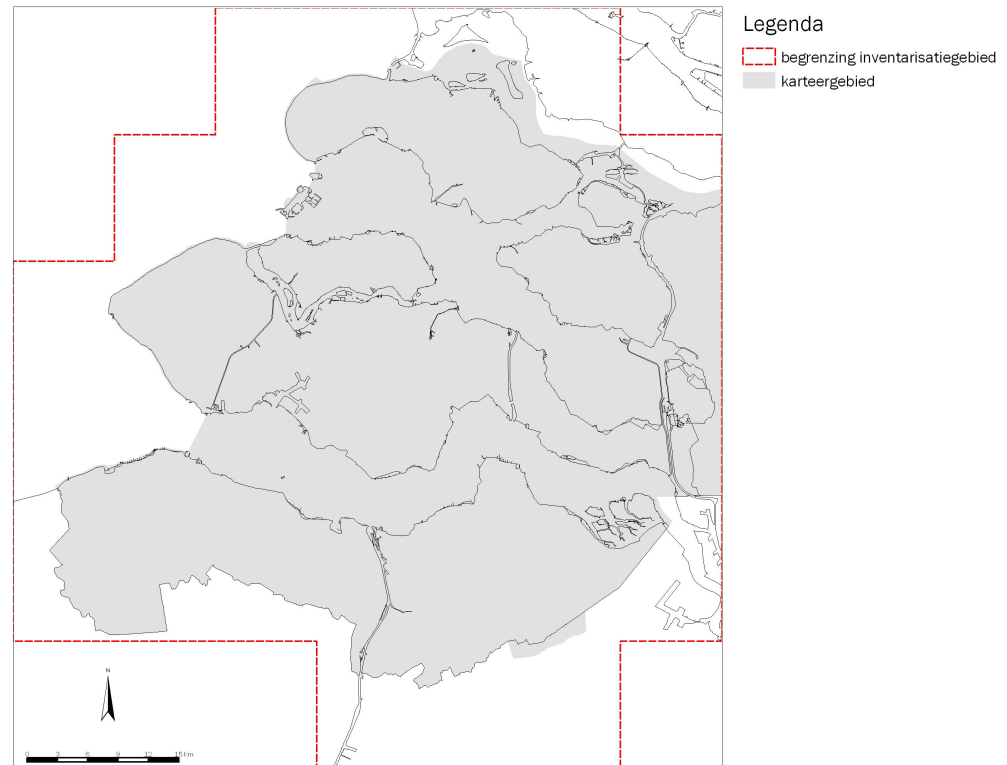
Naast deze basisgegevens is gebruik gemaakt van algemene informatie met betrekking tot de diepteligging van het brak-zout grensvlak ter plaatse van grondwateronttrekkingen.

In de provincie Zeeland zijn op een aantal locaties zoutwachters geïnstalleerd, zie Figuur 2.4. De gegevens van deze zoutwachters zijn niet bij dit onderzoek gebruikt omdat de inspanning om deze gegevens te verkrijgen en te bewerken relatief groot is terwijl de meerwaarde, ten opzichte van de reeds van deze locaties beschikbare gegevens, voor dit onderzoek beperkt is.

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de inventarisatie en interpretatie van deze basisgegevens. In deze paragraaf wordt allereerst een algemene toelichting op deze werkzaamheden gegeven.

2.1.1 *Inventarisatie van basisgegevens*

Het karteergebied is in Figuur 2.1 weergegeven. Om, waar mogelijk, ook langs de randen van dit gebied betrouwbare kaartbeelden te kunnen vervaardigen, is in overleg met de Provincie Zeeland en de Begeleidingscommissie de begrenzing van het gebied vastgesteld waarvan basisgegevens worden geïnventariseerd. Dit gebied, aangeduid als inventarisatiegebied, is ruimer gekozen dan het feitelijke projectgebied, zie Figuur 2.. In overeenstemming met de gehanteerde aanpak binnen REGIS I zijn de grenzen van dit gebied gebaseerd op de kaartbladindeling van de Topografische kaart van Nederland 1:25.000, versie 1961.



Figuur 2.1 Begrenzings van het inventarisatie- en het karteergebied.

De in de databank DINO (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond) van TNO aanwezige gegevens vormden het uitgangspunt voor het project. Om te voorkomen dat daarmee eventueel belangrijke relevante basisgegevens over het hoofd werden gezien, is in 1999 in samenwerking met de Begeleidingscommissie, in het bijzonder met de Provincie Zeeland en Delta Water Bedrijf (thans Evides), een inventarisatie uitgevoerd van aanvullende basisgegevens. Ontbrekende basisgegevens zijn aan de databank DINO toegevoegd indien alle vereiste gegevens bekend waren. Daarnaast heeft een controle plaatsgevonden van de locatiegegevens (coördinaten, maaiveldhoogtegegevens).

Vanwege de doelstellingen van het project heeft deze inventarisatie zich geconcentreerd op het gebied van de provincie Zeeland. Een inventarisatie van aanvullende gegevens van het Belgische grensgebied maakte geen onderdeel uit van dit onderzoek. Afhankelijk van de dichtheid en ligging (wel of niet bij de grens gelegen) en aard van de metingen zal in het grensgebied de kartering minder nauwkeurig zijn. Dit speelt met name in gebieden waar de verdeling van zoet, brak en zout grondwater gekenmerkt wordt door kleinschalige patronen zoals in het westen van Zeeuws-Vlaanderen.

Tenzij anders is vermeld, hebben de in dit rapport genoemde aantallen basisgegevens betrekking op het karteergebied.

2.1.2 Interpretatie van basisgegevens

Alle relevante basisgegevens zijn voor zover mogelijk geïnterpreteerd in termen van zoet, brak en zout grondwater. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de daarbij gebruikte definities. De in Tabel 2.1 vermelde grenswaarden voor de chlorideconcentratie zijn deels gebaseerd op de drinkwaternorm en komen overeen met de binnen REGIS gehanteerde standaardwaarden.

Tabel 2.1 Gebruikte definities van zoet, brak, zout en extreem zout water.

Omschrijving	Chlorideconcentratie (mg/l)
Zoet	< 150
Brak	150 – 1000
Zout	> 1000
Extreem zout	> 20000

Alleen de grondwateranalyses vormen directe bepalingen waarbij de chlorideconcentratie rechtstreeks wordt gemeten. De overige vier typen metingen zijn indirecte bepalingen waarbij door middel van fysische en empirische relaties, uit de gemeten fysische parameters een schatting wordt gemaakt van de chlorideconcentratie. Interpretatie van de gemeten of berekende chlorideconcentratie, resulteert in een verzameling van nuldimensionale (punt) of eendimensionale (kolom) gegevens.

Op grond van de opeenvolging van zones met zoet, brak en zout grondwater zijn de diepten van het zoet-brak en brak-zout grensvlak geïnterpreteerd, alsook de top en basis van eventuele inversies. Het zoet-brak grensvlak en het brak-zout grensvlak zijn hierbij gedefinieerd als de diepte waarop de chlorideconcentratie voor het eerst 150 mg/l, respectievelijk 1000 mg/l overschrijdt. De ondiepste overschrijding is aangehouden, omdat deze bepalend is voor de landgebruiksmogelijkheden. Bovendien worden eventueel aanwezige inversies meestal niet meer aangevuld¹. Indien de diepste overschrijding wordt aangehouden zou daardoor een te positief beeld ontstaan van de beschikbaarheid aan zoet en brak grondwater.

Om te voorkomen dat iedere kleine over- of onderschrijding van de grenswaarden tot een inversie zou leiden, zijn de gehanteerde grenswaarden voor de chlorideconcentratie van brakke inversies krasser gesteld dan de grenswaarde voor brak grondwater. Voor brakke inversies binnen de zoute zone is een maximum chlorideconcentratie van 700 mg/l aangehouden, voor brakke inversies binnen de zoete zone een minimum chlorideconcentratie van 300 mg/l.

¹ Een tweetal belangrijke regionale inversies vormt hierop waarschijnlijk een uitzondering, te weten de inversie die zich vanuit de Brabantse Wal in westelijke richting uitstrekt en de onder de kleilagen van het Laagpakket van Boom en het Laagpakket van Asse aanwezige inversies.

2.2 Grondwateranalyses

2.2.1 Inventarisatie en verwerking van grondwateranalyses

In de databank DINO (tot december 1999 in OLGA) worden analyses en dichtheidsmetingen van het grondwater opgeslagen. Analyses van het oppervlaktewater worden niet in deze databank opgenomen.

Bij aanvang van het project REGIS Zeeland waren in deze databank al analyses uit het inventarisatiegebied beschikbaar. Deze analyses waren deels afkomstig uit rapporten en uit het boorarchief van het voormalige Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID). Daarnaast waren de analyses van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG), die jaarlijks door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) aan TNO worden aangeleverd, in de databank aanwezig. Tot vóór medio 1999 waren in de databank echter nog geen analyses van het Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit (PMG) van de Provincie Zeeland opgenomen.

In 1999 heeft de Provincie Zeeland zowel de gegevens van het PMG als een aanvullende set van chloridebepalingen in digitale vorm aan TNO aangeleverd. Daarnaast heeft de Provincie Zeeland onderzoeksrapporten ter beschikking gesteld waarin grondwateranalyses zijn vermeld, te weten: Iwaco, 1992a en 1992d; Ludwig en Serrão, 1998; Vermoortel, 1993a, 1993b, 1995 en 1996.

In het kader van de inventarisatie zijn geen aanvullende grondwaterkwaliteitsgegevens aangeleverd door Delta Water Bedrijf.

Alvorens over te kunnen gaan tot de verwerking van de grondwateranalyses zijn, waar nodig en voor zover beschikbaar, de locatie- en technische gegevens van alle bijbehorende waarnemings- en pompputten verwerkt.

De in digitale vorm aangeleverde gegevens, in totaal ca. 1200 analyses en 9300 chloridebepalingen zijn ingelezen in de databank OLGA². Een deel van de gegevens, waaronder de in analoge vorm aangeleverde gegevens, is, na de uitfasering van OLGA, in de periode mei-juni 2000 handmatig in DINO ingevoerd.

Bij de verwerking en controle van de grondwateranalyses en chloridebepalingen zijn de volgende bijzonderheden geconstateerd:

- Sommige grondwateranalyses konden niet worden ingevoerd omdat er onvoldoende gegevens van de bemonsteringslocatie of het waarnemingsfilter bekend waren of omdat de analyse- of monsterdatum ontbrak.
- Om de kwaliteit en de nauwkeurigheid van de analyse en analysemethoden te kunnen bespreken en vergelijken, moet eigenlijk bekend zijn welk laboratorium met welke methode de grondwatermonsters heeft geanalyseerd. Dit is echter van veel analyses onbekend.
- Tijdens de kwaliteitscontrole bleken er bij de controle op extreme waarden chloridebepalingen in de set aanwezig te zijn met chlorideconcentraties groter dan de grenswaarde van 19000 mg/l. De concentraties van deze bepalingen lagen tussen de 19000 en 22000 mg/l. Deze waarden zijn echter

² Deze gegevens zijn eind 1999, bij het opheffen van de databank OLGA, overgezet naar de databank DINO Grondwater.

niet vreemd voor het gebied waar de monsters zijn genomen. Om die reden zijn deze chloridebepalingen alsnog goedgekeurd.

- Bij 7 analyses bleek een van de volgende parameters een veel te hoge waarde te hebben: mangaan, kalium, totale hardheid en calcium. Na controle zijn de goede gegevens naar het hoofdbestand overgezet.
- Een veel voorkomende fout in de analyses is de (mogelijke) verwisseling van ortho- en totaal-fosfaat. Bij veel analyses bleek dat de waarde ortho-fosfaat groter was dan die van totaal-fosfaat. Deze concentraties kunnen even groot zijn, maar ortho-fosfaat kan nooit groter zijn totaal-fosfaat. Deze fouten zijn door de Provincie Zeeland uitgezocht.

2.2.2 Selectie, bewerking en interpretatie van grondwateranalyses

Zowel de analyses uit het hoofdbestand als een deel van de analyses uit het schaduwbestand van DINO Grondwater zijn in het kader van dit onderzoek gebruikt (stand 21/04/2004). De analyses uit het schaduwbestand die wel zijn meegenomen, betreffen:

- 252 analyses die in eerste instantie zijn afgekeurd in verband met extreme waarden. Deze analyses zijn wel meegenomen omdat voor zeer zoute monsters de nauwkeurigheid van de meetwaarde voor de verdere interpretatie niet van cruciaal belang is.
- 1098 analyses die nog niet gecontroleerd waren in verband met het ontbreken van automatische controleprocedures.

Tabel 2.2 en Figuur 2.2 geven een overzicht van het aantal en de ruimtelijke verspreiding van grondwateranalyses waarbij de chlorideconcentratie van het grondwater is bepaald.

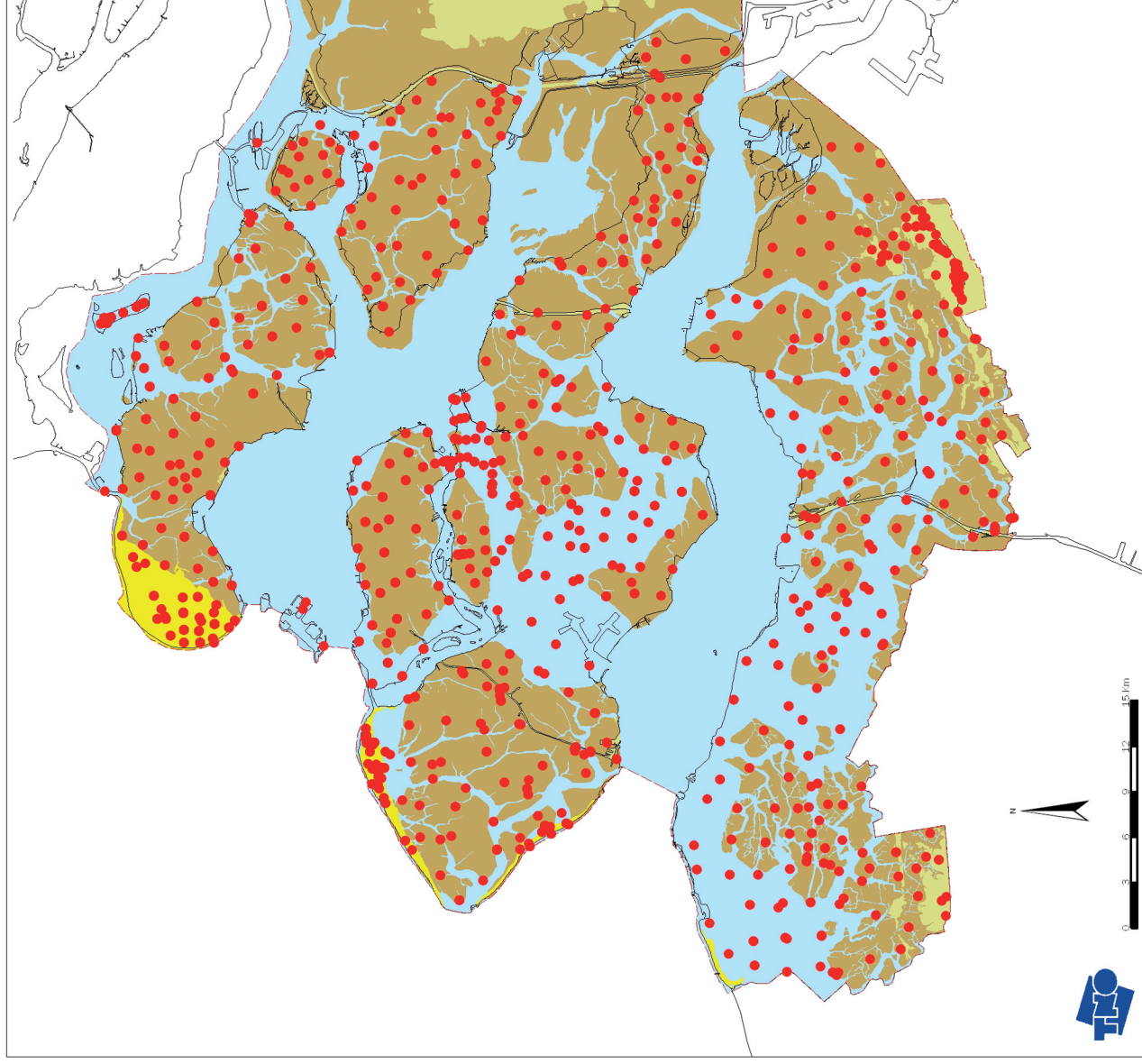
Omdat de chlorideconcentratie in de loop van de tijd kan veranderen, is voor elk waarnemingsfilter per decade de gemiddelde chlorideconcentratie berekend. Voor de verdere interpretatie van de gegevens is vervolgens uitgegaan van de meest recente gemiddelde waarde van de chlorideconcentratie.

Tabel 2.2 Enkele kengetallen van grondwateranalyses in de provincie Zeeland waarbij de chlorideconcentratie van het grondwater is bepaald (stand 21/04/2004).

Omschrijving	Aantal
Grondwateranalyses	12525
Waarnemingsfilters waarvoor gemiddelde chlorideconcentratie is berekend	2148*
Bemonsteringslocaties	867
Bemonsteringslocaties waar brak-zout grensvlak is bepaald	773
Unieke bemonsteringslocaties waar brak-zout grensvlak is bepaald**	721

* Exclusief 73 filters waarvan de diepte ten opzichte van NAP onbekend is en 5 filters met tegenstrijdige waarden voor de chlorideconcentratie.

** Locaties waar geen andere metingen, zoals een boorgatmeting, zijn verricht.



Legenda

• bemonsteringslocatie met één of meerdere analyses van het chloridegehalte van het grondwater

platen

geulen en kreken

duinen

Pleistocene zanden

— begrenzing karteergebied

Figuur 2.2

Bemonsteringslocaties
van het grondwater
(chloridegehalte)

Op basis van de in Tabel 2.1 gepresenteerde drempelwaarden zijn de chlorideconcentraties vertaald in termen van zoet, brak, zout en extreem zout grondwater. Indien er gegevens van meerdere waarnemingsfilters van dezelfde bemonsteringslocatie beschikbaar waren, zijn deze gegevens gebruikt om, waar mogelijk:

- De bandbreedte te bepalen waarbinnen het brak-zout grensvlak zou moet liggen.
- De bandbreedte te bepalen waarbinnen het zoet-brak grensvlak zou moet liggen.
- Eventuele inversies vast te kunnen stellen.

2.3 Geofysische boorgatmetingen

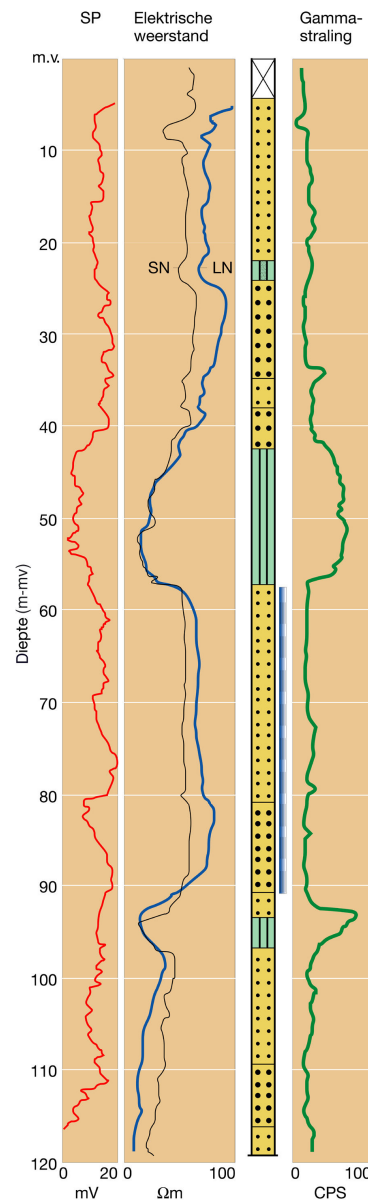
2.3.1 Algemeen

Bij een boorgatmeting laat men een sonde in een boorgat zakken. Deze sonde meet vlak om het boorgat verschillende fysische parameters van de ondergrond als functie van de diepte. De belangrijkste fysische parameters zijn de natuurlijke gammastraling en de elektrische weerstand. Op basis van deze fysische parameters kan een interpretatie gemaakt worden van de lithologische samenstelling van de ondergrond, zoals klei, zand, grind, zie Figuur 2.3.

De elektrische weerstand kan ook worden gebruikt om het zoutgehalte van het grondwater te bepalen. Materiaal dat veel ionen bevat geleidt de elektrische stroom goed en heeft een lage elektrische weerstand; bijvoorbeeld klei of zand met brak of zout grondwater. Voorbeelden van sedimenten met een hoge elektrische weerstand zijn grof zand en grind met zoet grondwater.

De natuurlijke gammastraling, de andere belangrijke fysische parameter die bij een boorgatmeting vaak wordt gemeten, neemt toe wanneer er bepaalde kleimineralen in de ondergrond aanwezig zijn. Ook de aanwezigheid van bepaalde mineralen, zoals glauconiet, zorgt voor een hogere natuurlijke gammastraling.

Het grote voordeel van geofysische boorgatmetingen, boven bijvoorbeeld geofysische metingen vanaf het oppervlak, is dat het meetapparaat vrijwel direct tegen het sediment aanzit. Bovendien is de bodemopbouw min of meer bekend uit de met boring verkregen boormonsters. De meetwaarden uit boorgatmetingen zijn dus zeer betrouwbaar omdat ze zonder een uitgebreide omrekening vrijwel direct de geofysische parameters van het sediment representeren. Bovendien is de resolutie hoog (ca. 0.5 m) en neemt de resolutie niet af met de diepte.



Figuur 2.3 Voorbeeld van een geïnterpreteerde geofysische boorgatmeting.

2.3.2 Inventarisatie van geofysische boorgatmetingen

In Nederland is het merendeel van de geofysische boorgatmetingen uitgevoerd door TNO Bouw en Ondergrond (TNO-B&O) en haar voorgangers. De inventarisatie van boorgatmetingen heeft zich dan ook primair gericht op de gegevens in de database en de archieven van de voormalige sectie Geofysische Onderzoek van TNO-B&O³. Afhankelijk van de uitvoerder en/of de gebruikte processingsoftware bleken de volgende aantallen metingen van het inventarisatiegebied aanwezig te zijn:

³ Deze gegevens worden thans verwerkt in de databank DINO.

- ESLOG database en papieren archief: 88 metingen;
- ACL archief: 4 metingen;
- archief voormalige RGD: 29 metingen.

Daarnaast heeft de Provincie Zeeland onderzoeksrapporten waarin geofysische boorgatmetingen zijn beschreven ter beschikking gesteld, te weten: Iwaco, 1992a en 1992d; Vermoortel, 1993a, 1993b en 1995; Vermoortel en Mahauden, 1996. In totaal bevatten deze rapporten 46 boorgatmetingen. De aard van de gemeten parameters varieert echter. Van 9 van deze metingen is op papier een lithologische interpretatie beschikbaar.

In totaal zijn er dus 167 metingen. Van 95 metingen is een lithologische interpretatie, digitaal dan wel op papier, bekend (zgn. litho-log). Deze interpretatie wijkt in het algemeen af van de boorbeschrijving die is opgesteld aan de hand van de boormonsters. Met name de diepteligging van lithologische overgangen kan met boorgatmetingen exacter worden vastgesteld.

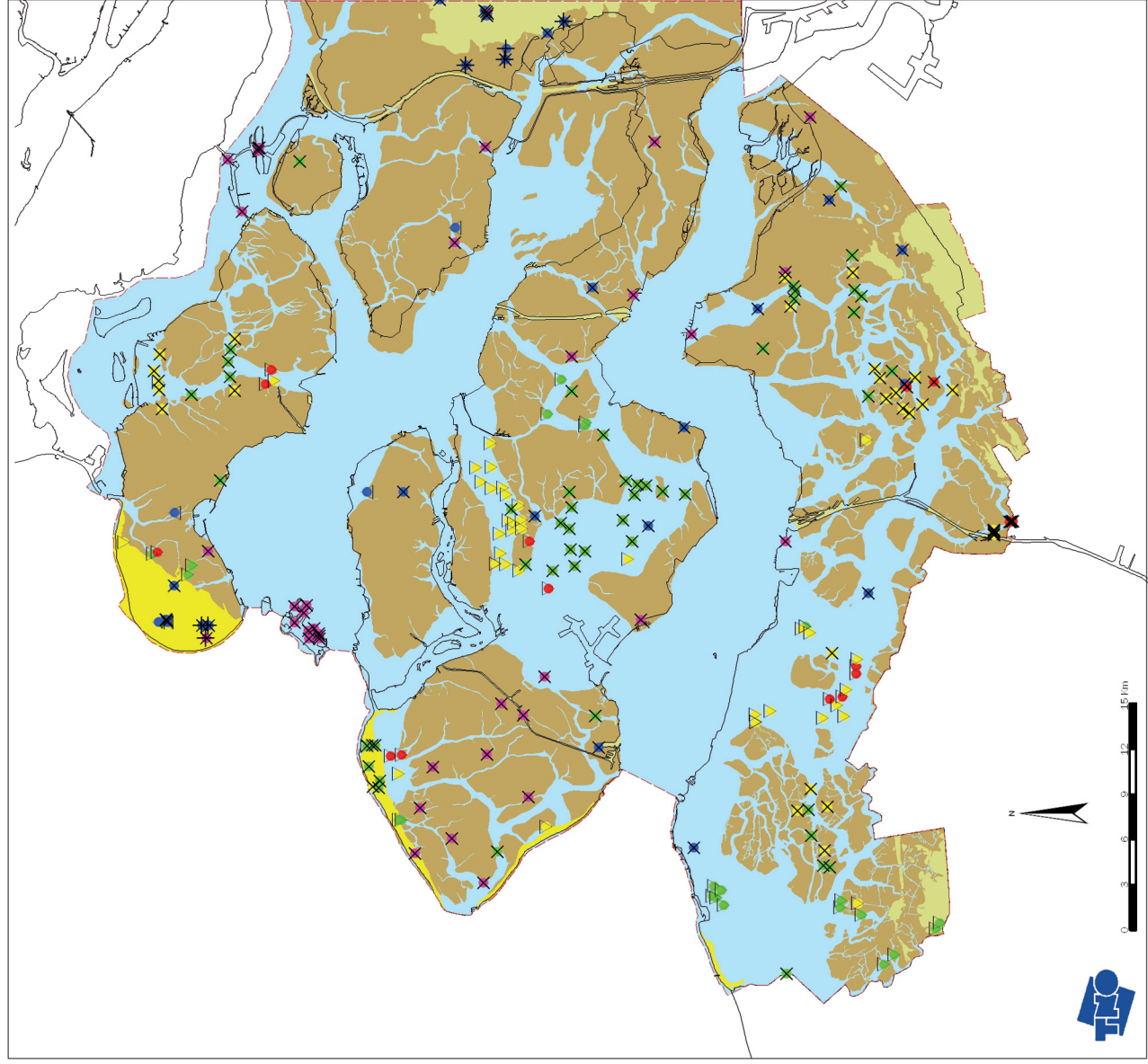
2.3.3 *Selectie, bewerking en interpretatie van geofysische boorgatmetingen*

Het verloop van de chlorideconcentratie met de diepte kan in een boorgat empirisch worden geschat met behulp van een geo-elektrische boorgatmeting, de zogenaamde Long Normal meting. Dergelijke metingen zijn bij een groot deel van de boorgatmetingen verricht. Tabel 2.3 geeft een overzicht van geo-elektrische boorgatmetingen in het karteergebied. Figuur 2.4 geeft een overzicht van de locaties van deze metingen. Van meer dan de helft van deze boorgatmetingen zijn de meetwaarden in digitale vorm beschikbaar.

De geo-elektrische boorgatmetingen zijn over een periode van 30 jaar uitgevoerd. Alhoewel het waarschijnlijk is dat in de loop van de tijd veranderingen in het verloop van het chloridegehalte met de diepte hebben plaatsgevonden, zijn op voorhand geen metingen op grond van hun ouderdom uit de gegevensset verwijderd.

Tabel 2.3 Enkele kengetallen van geo-elektrische boorgatmetingen in het karteergebied.

Omschrijving	Aantal
Geo-elektrische boorgatmetingen	151
Geo-elektrische boorgatmetingen, digitaal beschikbaar	93



Legenda

- x geofysische boorgatmeting
- △ temperatuurmeting
- + zoutwachter
- ▽ elektrische sondering

einddiepte in m -mv

- 6 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 101 - 240

- platen
- geulen en kreken
- duinen
- Pleistocene zanden
- begrenzing karteergebied

Figuur 2.4

Locaties van geofysische
boorgatmetingen en
elektrische sonderingen

2.3.3.1 Bepaling van de elektrische weerstand van het grondwater

Geo-elektrische boorgatmetingen geven, als de diameter van het boorgat niet te groot is, een goede indicatie van de werkelijke elektrische weerstand van de ondergrond (ρ_s) rondom het boorgat. De elektrische weerstand van de verzadigde ondergrond hangt af van de elektrische weerstand van het grondwater (ρ_w) en de samenstelling van het sediment. De elektrische weerstand van het grondwater kan door middel van onderstaande formule, zie onder andere Keary en Brooks, 1991, geschat worden op basis van de aard van het sediment en de elektrische weerstand van de ondergrond:

$$\rho_w = \frac{\rho_s}{F} \quad (1)$$

met:

ρ_w : elektrische weerstand van het grondwater (Ωm)

ρ_s : elektrische weerstand van de ondergrond, inclusief grondwater (Ωm)

F : formatiefactor van het sediment (-)

De formatiefactor van het sediment (F) wordt bepaald op basis van de lithologische interpretatie van de boorgatmeting. Deze interpretatie is gebaseerd op de boorgatmetingen (met name de elektrische weerstand en de natuurlijke gammastraling) en de boorbeschrijving. De boorbeschrijving zelf is opgesteld aan de hand van de verkregen boormonsters. Tabel 2.4 geeft een overzicht van de grootte van de formatiefactor (F) voor verschillende typen sediment.

Tabel 2.4 Formatiefactoren van ongeconsolideerde sedimenten in Nederland.

Lithologie	Formatiefactor (-)
Grind met zand	7
Grof zand met grind	6
Grof zand	5
Matig grof zand	4
Zwak slibhoudend zand	3
Matig slibhoudend zand	2.5*
Sterk slibhoudend zand	2*
Klei	1-3*
Veen	ca. 1

* Schijnbare formatiefactor; voor kleiig sediment varieert de formatiefactor met de geleidbaarheid van het grondwater.
(gebaseerd op: Geirnaert en Vandenberghe, 1988; Overmeeren et al, 1991; TNO-IGG, 1992)

ovenstaande formule voor de berekening van de elektrische weerstand van het grondwater is echter onbetrouwbaar bij:

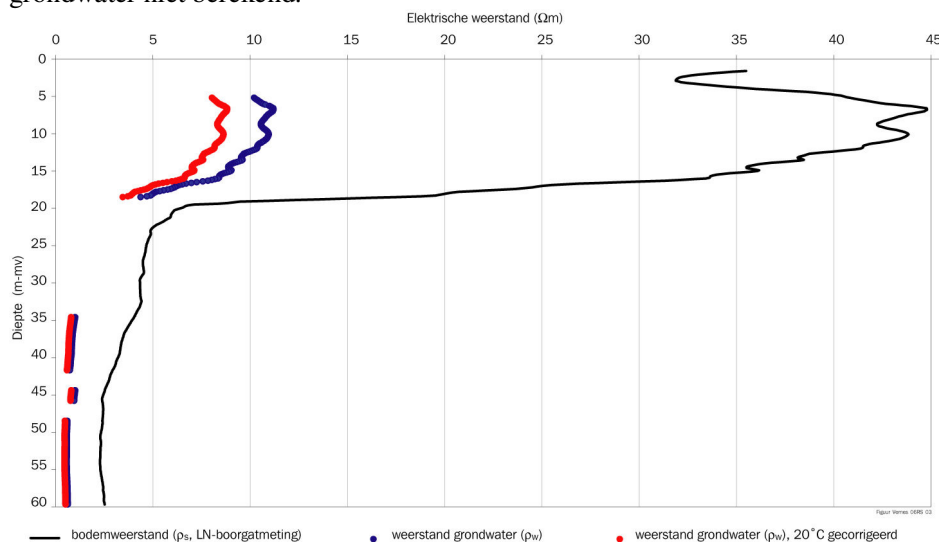
a) een kleiige ondergrond;

De formatiefactor is bij een kleiige ondergrond een schijnbare formatiefactor omdat deze varieert met de elektrische weerstand van het grondwater (die juist berekend moet worden). Om deze reden is de elektrische weerstand van grondwater niet berekend wanneer de formatiefactor lager is dan 2.5.

b) glauconietrijke zanden.

Glauconietrijke zanden, die onder andere voorkomen in afzettingen van de Formatie van Breda, hebben een lagere elektrische weerstand dan 'normale' zanden, ca. 50-60 in plaats van ca. 80-300 Ωm . Hierdoor kan de elektrische weerstand van het grondwater worden onderschat waardoor de chlorideconcentratie van het grondwater wordt overschat. Bij de interpretatie van de metingen is geen correctie uitgevoerd voor het glauconietgehalte van het sediment omdat de top van de Formatie van Breda meestal veel dieper ligt dan het brak-zout grensvlak. Alleen bij de interpretatie van metingen in het oostelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen en bij de interpretatie van het traject onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en/of Asse kan dit tot een overschatting van het chloridegehalte leiden.

Figuur 2.5 laat een voorbeeld zien van een geofysische boorgatmeting waarbij de gemeten elektrische weerstand van de ondergrond ρ_s en de met behulp van bovenstaande formule berekende elektrische weerstand van het grondwater ρ_w zijn uitgezet tegen de diepte. Op dieptes waar sprake is van kleiig sediment en de formatiefactor daardoor kleiner is dan 2.5, is de elektrische weerstand van het grondwater niet berekend.



Figuur 2.5 Verloop van de gemeten elektrische weerstand van de ondergrond en de berekende elektrische weerstand van het grondwater met de diepte ter plaatse van boorgatmeting 48B0142 te Middelburg.

2.3.3.2 Temperatuurcorrectie van de elektrische weerstand van het grondwater

De elektrische weerstand van het grondwater is ook afhankelijk van de temperatuur. Voor grondwater met een constante samenstelling geldt hoe hoger de temperatuur, hoe lager de elektrische weerstand. Ook in een boorgat varieert de temperatuur van het grondwater, deze neemt toe met de diepte. Voordat de berekende elektrische weerstand

van het grondwater gebruikt kan worden voor de schatting van de chlorideconcentratie moet de weerstand worden omgerekend naar een waarde bij 20°C. Deze temperatuurcorrectie wordt uitgevoerd met behulp van onderstaande formule (TNO, 1992):

$$\rho_{w,20} = \rho_{w,t} (1 + 0.0226(t - 20)) \quad (2)$$

met:

- $\rho_{w,20}$: elektrische weerstand van het grondwater bij 20°C (Ωm)
- $\rho_{w,t}$: elektrische weerstand van het grondwater bij temperatuur t op de diepte waar de weerstandsmeting is verricht (Ωm)
- t : temperatuur op de diepte waarop de weerstandsmeting is verricht (°C)

Slechts in een beperkt aantal boorgaten is ook het verloop van de temperatuur met de diepte gemeten. Tabel 2.5 geeft een overzicht van alle temperatuurmetingen die in het karteergebied zijn verricht en een einddiepte hebben van -110 m NAP of meer. Voor elke temperatuurmeting is de gemiddelde temperatuurgradiënt berekend tussen -10 m NAP en de einddiepte van de boorgatmeting. De temperatuurcorrectie is gebaseerd op de gemiddelde temperatuurgradiënt van deze metingen. Er is geen regionale onderverdeling gemaakt in gebieden met verschillende temperatuurgradiënten omdat, zoals uit Tabel 2.5 blijkt, de gradiënten op zeer korte afstand kunnen verschillen, zie bijvoorbeeld de metingen 42B0040 en 42B0053.

Tabel 2.5 Overzicht van temperatuurmetingen in het karteergebied met een einddiepte van ten minste -110 m NAP.

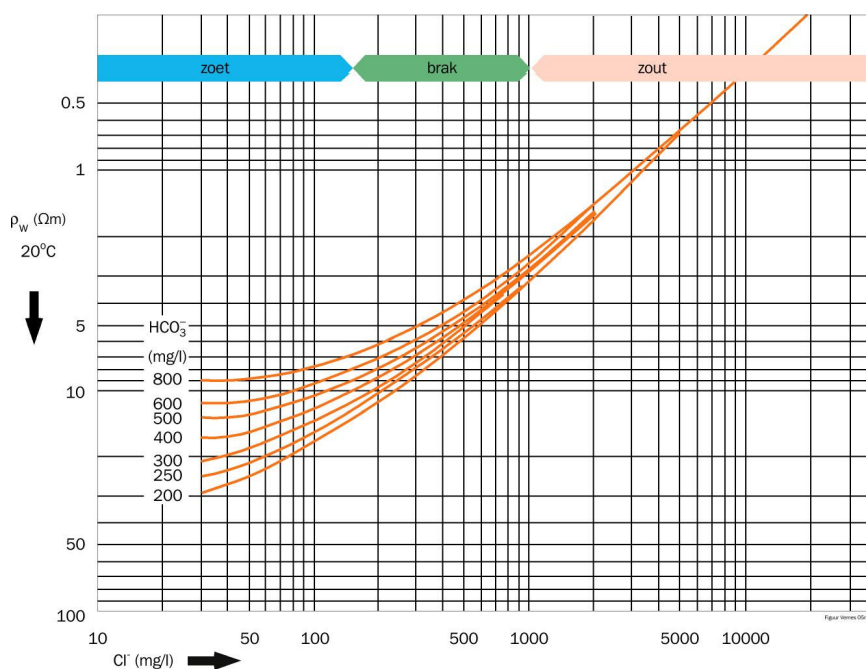
TNO nummer	X	Y	Einddiepte	Temperatuur op -10 m NAP	Temperatuurgradiënt
	(m)	(m)	(m NAP)	(°C)	(°C/100 m)
42B0040	38888	415530	-137.5	10.85	1.47
42B0051	39025	415045	-144	10.56	1.89
42B0053	38860	414960	-132.9	10.4	2.02
42E0062	46120	414460	-154	10.48	2.01
42G0040	47480	401747	-118.3	10.79	2.35
	ca.65000	ca.395900	-121	10.61	1.78
<i>Gemiddelde</i>				<i>10.62</i>	<i>1.92</i>

Figuur 2.5 geeft een voorbeeld van het verloop van de berekende en de voor de temperatuur (20°C) gecorrigeerde elektrische weerstand van het grondwater met de diepte.

2.3.3.3 Schatting van de chlorideconcentratie van het grondwater

Het elektrische geleidingsvermogen van het grondwater (EC), het omgekeerde van de elektrische weerstand, wordt bepaald door de ionenconcentratie. Voor hoge geleidingsvermogens van het grondwater ($EC > \text{ca. } 2000 \mu\text{S/cm}$, $\rho_w < \text{ca. } 5 \Omega\text{m}$, $\text{Cl} > \text{ca. } 1000 \text{ mg/l}$) wordt de ionenconcentratie meestal bijna uitsluitend bepaald door de concentratie aan natrium- en chloride-ionen. Bij lagere ionenconcentraties bepalen, naast natrium en chloride, andere ionen mede de geleidbaarheid. De bicarbonaatconcentratie is, in verband met de aanwezigheid van onder andere $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ en $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, belangrijk voor het schatten van de chlorideconcentratie bij lagere geleidingsvermogens. De chlorideconcentratie is geschat op basis van een empirisch bepaalde relatie tussen de chlorideconcentratie, de elektrische weerstand van

het grondwater bij 20°C en de bicarbonaatconcentratie. Deze empirische relatie is grafisch weergegeven in Figuur 2.6.



Figuur 2.6 Empirische relatie tussen de chlorideconcentratie en de elektrische weerstand van het grondwater bij 20°C bij verschillende bicarbonaatconcentraties (bron: TNO-IGG, 1992).

Deze relatie wordt niet toegepast indien:

- De elektrische weerstand van het grondwater groter is dan 40 Ωm. Onder deze omstandigheden is de relatie niet meer geldig is. Opgemerkt dient te worden dat er lagere grenswaarden gelden als de bicarbonaatconcentratie groter is dan 200 mg/l.
- Er 2.5 m boven of onder het meetpunt een kleiige laag ($F < 2.5$) of een laag met een groot contrast in formatiefactor (verschil > 1.25) zit omdat de gemeten Long Normal weerstandswaarde van de boorgatmeting in dit dieptetraject nog sterk wordt beïnvloed door deze laag.
- De formatiefactor kleiner is dan 2.5; het sediment is dan kleiig waardoor de formatiefactor onbetrouwbaar is, zie Paragraaf 2.3.3.1.

Figuur 2.7 geeft een voorbeeld van het verloop van de op basis van bovenstaande empirische relatie geschatte chlorideconcentratie met de diepte. In deze figuur is duidelijk te zien dat een aantal meetpunten is weggefallen omdat niet op alle dieptes aan bovenstaande voorwaarden voor de toepasbaarheid van de empirische relatie is voldaan. Tevens is zichtbaar dat een betrouwbare schatting van de bicarbonaatconcentratie belangrijk is vanwege de grote invloed op de berekende chlorideconcentratie.

Tabel 2.6 geeft enkele kengetallen van grondwateranalyses uit de provincie Zeeland waarbij de bicarbonaatconcentratie is bepaald. Voor het schatten van de bicarbonaatconcentratie ter plaatse van de boorgatmetingen is op basis van deze analyses een kaart vervaardigd van alle locaties, dieptes van het middelpunt van de filters en van het langjarige gemiddelde van de bicarbonaatconcentratie. Het langjarige gemiddelde is gebruikt omdat er in vergelijking tot bijvoorbeeld analyses van de chlorideconcentratie, relatief weinig analyses van de bicarbonaatconcentratie

beschikbaar zijn. Op basis van deze kaart is voor alle boorgatmetingen de bicarbonaatconcentratie op een aantal dieptes geschat. Voor de tussenliggende dieptes zijn de bicarbonaatconcentraties geschat door middel van lineaire interpolatie.

Tabel 2.6 Enkele kengetallen van grondwateranalyses in de provincie Zeeland waarbij de bicarbonaatconcentratie van het grondwater is bepaald.

Omschrijving	Aantal
Grondwateranalyses	2401
Waarnemingsfilters waarvoor gemiddelde bicarbonaatconcentratie is berekend	1233
Bemonsteringslocaties	601

Samen met de mogelijke invloed van glauconiet is de bicarbonaatconcentratie van het grondwater de grootste onzekerheid bij de empirische schatting van de chlorideconcentratie van het grondwater met behulp van geo-elektrische boorgatmetingen.

2.3.3.4 Interpretatie

Op basis van de in Tabel 2.1 gepresenteerde drempelwaarden zijn voor de digitale boorgatmetingen de geschatte chlorideconcentraties vertaald in termen van zoet, brak, zout en extreem zout grondwater, zie Figuur 2.7. Uit het verloop van het zoutgehalte met de diepte zijn vervolgens geïnterpreteerd:

- de diepte van het zoet-brak grensvlak;
- de diepte van het brak-zout grensvlak;
- de aanwezigheid van eventuele inversies van brak en of zoet grondwater.

In tegenstelling tot de in digitale vorm beschikbare metingen kan uit analoge boorgatmetingen alleen de diepte van het brak-zout grensvlak op een efficiënte manier en met een redelijke mate van betrouwbaarheid worden geschat. De diepte van het brak-zout grensvlak is in deze metingen geschat op basis van de elektrische weerstand van de Long Normal meting, waarbij een grenswaarde van 10 Ω m is aangehouden. Deze grenswaarde is gebaseerd op ervaringen met de interpretatie van geo-elektrische metingen binnen TNO. Aan de hand van de boorbeschrijving en eventueel de hydrogeologische modellen van het Holocene en de matig diepe ondergrond, is gecontroleerd of de gemeten lage weerstandswaarden veroorzaakt worden door kleiige niveaus in de ondergrond.

De aldus geschatte diepte van het brak-zout grensvlak is minder nauwkeurig dan de op basis van digitaal beschikbare boorgatmetingen geïnterpreteerde diepte. De analoge metingen hebben daarnaast als nadeel dat de diepte van het zoet-brak grensvlak, de dikte van de brakke zone en de aanwezigheid van eventuele inversies in deze brakke zone niet op een efficiënte en nauwkeurige manier kunnen worden vastgesteld.

Enkele kengetallen van de geïnterpreteerde boorgatmetingen zijn in Tabel 2.7 gepresenteerd. Opvallend is het relatief kleine aantal metingen waarin het zoet-brak grensvlak is geïnterpreteerd. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn:

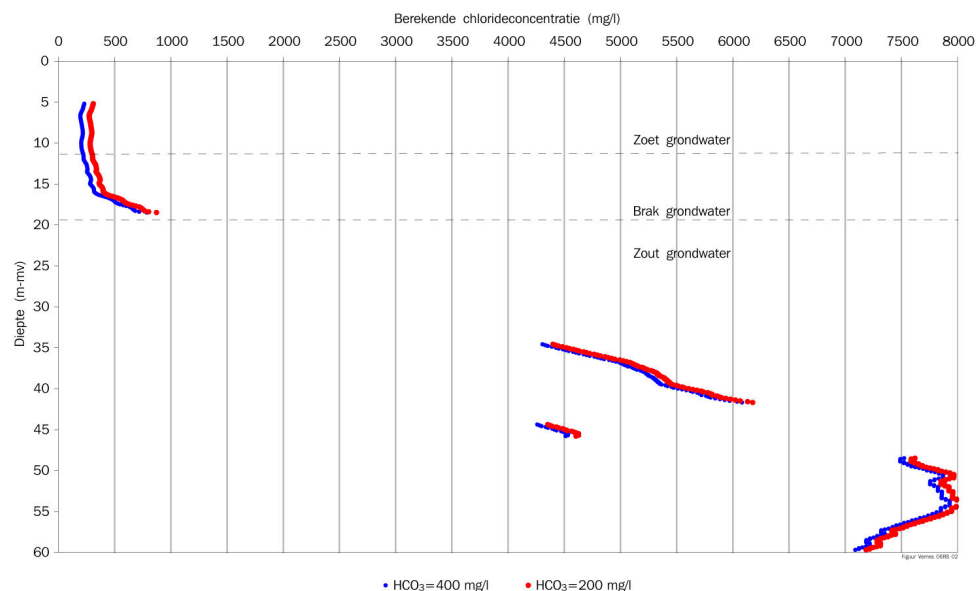
- Een deel van de boorgatmetingen is nog niet in digitale beschikbaar waardoor interpretatie van het zoet-brak grensvlak niet goed mogelijk is.

- Het zoet-brak grensvlak ligt boven de onderkant van het verbuisde, niet bemeten deel van het boorgat.

Tabel 2.7 Enkele kengetallen van de geïnterpreteerde geo-elektrische boorgatmetingen in het karteergebied.

Omschrijving	Aantal
Geo-elektrische boorgatmetingen	151
Geïnterpreteerde geo-elektrische boorgatmetingen	151
Geïnterpreteerde geo-elektrische boorgatmetingen waarin zoet-brak grensvlak is vastgesteld	31 (8*)
Geïnterpreteerde geo-elektrische boorgatmetingen waarin brak-zout grensvlak is vastgesteld	121 (28*)

* Aantal metingen waarin het grensvlak niet exact kon worden geïnterpreteerd maar waarbij wel is vastgesteld dat het grensvlak (on)dieper ligt dan een bepaalde diepte.



Figuur 2.7 Verloop van de, op basis van het elektrisch geleidingsvermogen en de bicarbonaatconcentratie geschatte chlorideconcentratie met de diepte ter plaatse van boorgatmeting 48B0142 te Middelburg.

2.4 Elektrische sonderingen

2.4.1 Algemeen

Bij een mechanische sondering, of Cone Penetration Test (CPT), wordt een conus de grond ingedrukt waarbij de druk op de conus (conusweerstand) en de weerstand op de mantel van de conus (kleef of wrijvingsweerstand) continu gemeten worden. Wanneer de conus door een kleilaag wordt gedrukt dan is, in verhouding tot een zandlaag, de conusweerstand laag en de wrijvingsweerstand hoog. Het wrijvingsgetal is het quotiënt van de wrijvingsweerstand en de conusweerstand vermenigvuldigd met een factor 100. Het wrijvingsgetal is een redelijke indicatie voor de grondsoort.

Bij een elektrische sondering, zoals uitgevoerd door Fugro, wordt ook het elektrische geleidingsvermogen (omgekeerde van de weerstand) van de ondergrond gemeten met behulp van 2, op 0.05 m van elkaar liggende, elektrodes. De elektrodes dienen zowel als stroom- en potentiaal elektrodes. Om het elektrische geleidingsvermogen te meten wordt een wisselspanning tussen beide elektrodes aangebracht.

2.4.2 Inventarisatie van elektrische sonderingen

Door Fugro zijn in opdracht van de Provincie Zeeland in totaal 73 elektrische sonderingen verricht, zie Fugro, 1998, 2002a en 2002b. De locaties van deze elektrische sonderingen zijn weergegeven in Figuur 2.4.

2.4.3 Selectie, bewerking en interpretatie van elektrische sonderingen

De metingen zijn op nagenoeg dezelfde wijze bewerkt en geïnterpreteerd als de elektrische boorgatmetingen, zie Paragraaf 2.3.3. Het verschil is dat bij elektrische sonderingen de formatiefactor wordt bepaald op basis van het wrijvingsgetal in plaats van op basis van de boorgatmetingen en sedimentmonsters. Tabel 2.8 geeft een overzicht van de gehanteerde waarden van de formatiefactor in relatie tot het wrijvingsgetal.

Uit Tabel 2.8 is af te lezen dat wanneer het wrijvingsgetal groter is dan 2 de formatiefactor te laag wordt (of het sediment te kleiig); het is dan niet meer mogelijk om een betrouwbare schatting te maken van de elektrische weerstand van het grondwater.

Tabel 2.8 Overzicht van de bij dit onderzoek gehanteerde formatiefactoren voor verschillende waarden van het wrijvingsgetal.

Wrijvingsgetal	Lithologie	Formatiefactor Fugro*	Formatiefactor onderzoek
(%)		(-)	(-)
0.2	grind		7.5
0.6	grof zand	5	5
1 (0.6-1.2)	zand	4	4
2 (1.2-4)	silt, leem	3	2.5
3	klei, silt		2** (1-3)
4 (3-7)	(pot)klei	1	2** (1-3)
10 (5-10)	veen	1	1*

* Bron: Fugro, 2002a.

** Indien de formatiefactor kleiner is dan 2.5 dan wordt de elektrische weerstand van het grondwater niet berekend, zie Paragraaf 2.3.3.

Om de volgende redenen worden de, op basis van elektrische sonderingen, geschatte chlorideconcentraties als minder betrouwbaar beschouwd dan gegevens verkregen uit elektrische boorgatmetingen:

- De formatiefactor is minder betrouwbaar omdat deze alleen is bepaald op basis van het wrijvingsgetal in plaats van verschillende typen boorgatmetingen in combinatie met de bij de boring verkregen boormonsters. Bovendien hebben verschillende typen sediment soms overlappende waarden van het wrijvingsgetal.

- De afstand tussen de meetelektrodes is klein (0.05 m) waardoor het gemeten elektrische geleidingsvermogen van de bodem relatief sterk beïnvloed wordt door het grondwater wanneer de conus niet direct aansluit op de ondergrond.
- Er wordt gewerkt met een wisselspanning tussen 2 elektrodes (in plaats van 3 of 4 elektrodes bij een elektrische boorgatmeting) waardoor de eventuele overgangsweerstand tussen het elektrodemateriaal en de bodem wordt mee gemeten.

Alle elektrische sonderingen zijn volgens de hierboven besproken methode geïnterpreteerd. Tabel 2.9 geeft een overzicht van enkele kengetallen van de geïnterpreteerde elektrische sonderingen.

Tabel 2.9 Enkele kengetallen van elektrische sonderingen in het karteergebied.

Omschrijving	Aantal
Elektrische sonderingen	73
Elektrische sonderingen, digitaal beschikbare	73
Elektrische sonderingen, geïnterpreteerd	73
Unieke elektrische sondeerlocaties	71
Elektrische sondeerlocaties waar zoet-brak grensvlak is vastgesteld	56 (10*)
Elektrische sondeerlocaties waar brak-zout grensvlak is vastgesteld	68 (3*)

* Aantal metingen waarin het grensvlak niet exact kon worden geïnterpreteerd maar waarbij wel is vastgesteld dat het grensvlak (on)dieper ligt dan een bepaalde diepte.

2.5 Geo-elektrische (oppervlakte)metingen

2.5.1 Algemeen

Geo-elektrische oppervlaktemetingen, ook wel aangeduid als VES-metingen (Verticale Elektrische Sondering), zijn geo-elektrische metingen die worden uitgevoerd langs een lijn vanaf het oppervlak. De methode is gebaseerd op de detectie van veranderingen van de soortelijke elektrische weerstand in de ondergrond. Met behulp van een accu en twee stroomelektrodes wordt een stroom in de grond gebracht waarna het potentiaalverschil over twee potentiaalelektrodes wordt gemeten. Uit het gemeten potentiaalverschil, de stroomsterkte en een constante, die afhankelijk is van de gebruikte meetopstelling, kan vervolgens, met behulp van de wet van Ohm, de schijnbare weerstand van de ondergrond worden berekend. De berekende schijnbare weerstanden zijn gemiddelden over de bovenste lagen van de ondergrond. Uit de berekende schijnbare weerstanden en de bijbehorende elektrodeafstanden wordt vervolgens een weerstandsmodel van de ondergrond afgeleid.

Geïnterpreteerde VES-metingen verschaffen informatie over de lithologische samenstelling van de ondergrond en over het zoutgehalte van het grondwater onder het middelpunt van de meting, tot een diepte van ca. 200 m -mv. De detecteerbaarheid van de methode neemt af met de diepte; bijvoorbeeld een 2 m dikke kleilaag binnen een zandpakket kan wel worden waargenomen op 10 m -mv maar niet meer op 30 m -mv. Een andere beperking is equivalentie, dat wil zeggen dat verschillende weerstandsmodellen van de ondergrond op de metingen passen. Deze laatste beperking wordt deels ondervangen door bij de interpretatie zoveel mogelijk gebruik te maken van de beschikbare geo-elektrische boorgatmetingen in het studiegebied. De uiteindelijke

informatie die met VES-metingen over de verdeling van zoet, brak en zout grondwater wordt verkregen is daardoor veel minder betrouwbaar dan met elektrische boorgatmetingen. De VES-metingen zijn echter veel talrijker dan de andere metingen omdat de metingen en de interpretatie ervan relatief goedkoop zijn. Vanwege hun aantal zijn de metingen, met in acht nemingen van de beperkingen, wel gebruikt bij dit onderzoek.

2.5.2 Inventarisatie van geo-elektrische (oppervlakte)metingen

De voormalige Dienst Grondwaterverkenning van TNO (TNO-DGV, thans TNO Bouw en Ondergrond) heeft in het verleden provinciedekkend en ook lokaal geo-elektrisch onderzoek in Zeeland verricht. Daarnaast is regionaal en lokaal geo-elektrisch onderzoek uitgevoerd door de voormalige Rijks Geologische Dienst (RGD, thans TNO Bouw en Ondergrond), Rijkswaterstaat en door diverse onderzoeksinstituten en –bureaus.

De in de databank DINO⁴ van TNO aanwezige metingen vormden het uitgangspunt voor het project. Door de Provincie Zeeland is daarnaast een overzicht samengesteld van metingen die in het kader van diverse onderzoeken waren verricht en waarvan de gegevens een aanvulling zouden kunnen vormen op de gegevens in DINO. Alle relevante gegevens van deze metingen zijn voor zover mogelijk aan TNO aangeleverd.

Van alle aanvullende metingen zijn de meet- en modelgegevens voor zover mogelijk van een kwaliteitslabel voorzien en verwerkt in DINO. Van een klein aantal metingen is echter geen geïnterpreteerd weerstandsmodel bekend. Zonder deze bijbehorende weerstandsmodellen zijn de metingen niet bruikbaar bij de kartering van de verdeling van zoet, brak en zout grondwater in de ondergrond. De modellen van de overige metingen verschillen in kwaliteit. Van het totale aantal metingen zijn van enkele tientallen metingen de modellen van slechte kwaliteit waardoor ze niet gebruikt kunnen worden. De metingen zijn in sommige gevallen echter goed en zouden kunnen worden geïnterpreteerd, zie Paragraaf 2.5.3.

De Universiteit Gent heeft veel geo-elektrisch onderzoek uitgevoerd in Zeeuws-Vlaanderen. De Provincie Zeeland beschikt over gegevens van een deel van deze metingen. Het merendeel van de meetgegevens en de modelgegevens konden echter niet worden achterhaald, waardoor deze metingen en modellen niet in DINO konden worden ingevoerd. Daarnaast is een kaart beschikbaar waarop de uit deze metingen geïnterpreteerde diepteligging van het 'zoet-zout grensvlak' ter plaatse van de metingen staat vermeld⁵. Bij het vervaardigen van deze kaart is een chlorideconcentratie van 825 mg/l als de grenswaarde tussen zoet en zout grondwater aangehouden (Matthijse, 1996). Deze grenswaarde wijkt derhalve af van de in Tabel 2.1 vermelde waarden die in het kader van dit onderzoek worden gehanteerd.

Afgezien is van opname van grote aantallen korte geo-elektrische oppervlaktemetingen die door Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd in detailonderzoeken in de Sophiapolder en in Wissenkerke. Enerzijds zou opname hiervan mede door het ontbreken van een aantal relevante gegevens veel tijd vergen, anderzijds is er gerede twijfel of deze metingen belangrijke aanvullende informatie verschaffen.

⁴ Geo-elektrische (oppervlakte)metingen en modellen zijn in het kader van de opbouw van DINO vanuit de VES-database van TNO naar DINO overgezet.

⁵ Deze kaart wordt ook wel aangeduid als "de kaart van De Breuck".

In Tabel 2.10 zijn enkele kengetallen weergegeven van de geo-elektrische (oppervlakte)metingen in het karteergebied. De ruimtelijke verdeling van deze metingen over het studiegebied is weergegeven in Figuur 2.8.

Tabel 2.10 Enkele kengetallen van geo-elektrische (oppervlakte)metingen in het karteergebied.

Omschrijving	Aantal
VES-metingen in DINO	907*
VES-metingen in DINO met een redelijke tot goede kwaliteit	850
VES-metingen in DINO, voor dit onderzoek ge(her)interpreteerd	40
VES-metingen in DINO met een geïnterpreteerd weerstandsmodel	866
VES-metingen in DINO, niet ge(her)interpreteerd	41
VES-metingen in DINO waarin brak-zout grensvlak is vastgesteld	824
VES-metingen in DINO waarin een inversie is geïnterpreteerd	157
VES-metingen van Universiteit Gent waarin 'zoet-zout' grensvlak is vastgesteld	489**
VES-metingen van Universiteit Gent waarin 'zoet-zout' grensvlak is vastgesteld in Zeeuws-Vlaanderen	289
Totaal aantal VES-metingen in het karteergebied waarin brak-zout grensvlak is vastgesteld	1114

* Inclusief 3 VES-metingen nabij Kreverhille, ontleend aan Haskoning, 2003, en 6 VES-metingen van de voormalige RGD, die ten tijde van dit onderzoek nog niet in DINO waren verwerkt.

** Inclusief de buiten het karteergebied gelegen metingen.

2.5.3 Selectie, bewerking en interpretatie van geo-elektrische (oppervlakte)metingen

De geo-elektrische oppervlaktemetingen zijn over een periode van meer dan 40 jaar uitgevoerd. Alhoewel het waarschijnlijk is dat zich in de loop van de tijd veranderingen in de diepteligging van het brak-zout grensvlak hebben voorgedaan, zijn op voorhand geen metingen op grond van hun ouderdom uit de gegevensset verwijderd.

Zoals in Paragraaf 2.5.2 is aangegeven, was van een deel van de metingen nog geen geïnterpreteerd weerstandsmodel bekend of was het model van slechte kwaliteit. In het kader van dit onderzoek is een deel van deze metingen ge(her)interpreteerd, zie Tabel 2.10. Bij de selectie van deze metingen zijn de volgende criteria gehanteerd:

- De kwaliteit van de ruwe data is redelijk tot goed.
- De maximale elektrodeafstand is relatief groot (groter dieptebereik).
- De metingen hebben zoveel mogelijk een gelijkmatige geografische spreiding ten opzichte van de andere metingen.
- De metingen zijn uitgevoerd ter plaatse van kreekkruggen en in de duinen (voor de te vervaardigen kaarten is de meerwaarde van deze metingen het grootst).

De interpretatie is uitgevoerd met behulp van het programma SchlumBG (Hemker, 1988).

De geïnterpreteerde weerstandsmodellen van de ondergrond zijn op twee manieren bij dit onderzoek gebruikt, te weten:

- Voor het bepalen van de diepte van de onderkant van de overgangszone van brak naar zout grondwater.
- Voor het lokaliseren van gebieden met mogelijke inversies.

De grens van brak naar zout grondwater is gelegd bij de bovenkant van de ondiepste laag met een elektrische weerstand (ρ_s) kleiner dan ca. 10 Ωm . Deze grenswaarde van 10 Ωm is gebaseerd op de informatie uit boorgatmetingen. In enkele uitzonderingsgevallen, waar de interpretatie niet met het kaartbeeld overeenkwam, is soms een grenswaarde tot 13 Ωm gebruikt. Omdat een laag met een lage weerstand ook een kleilaag kan zijn, zijn dunnere lagen ($< \text{ca. } 2.5 \text{ m}$) met een lage weerstand niet geïnterpreteerd als de start van een zone met zout grondwater.

Wanneer er onder een laag met een weerstand kleiner dan ca. 10 Ωm nog een laag ligt die groter is dan ca. 14 Ωm dan kan de laag met de hoge weerstand een inversie zijn⁶. Inversies zijn brak of zoet ($\rho_s \geq 45 \Omega\text{m}$) grondwater onder het brak-zout grensvlak. In tegenstelling tot inversies geïnterpreteerd op basis van elektrische boorgatmetingen of elektrische sonderingen is de interpretatie van inversies in VES-metingen erg subjectief. Om deze reden moeten dergelijke interpretaties met grote voorzichtigheid worden gebruikt bij de ruimtelijke interpretatie van zowel inversies als het brak-zout grensvlak.

Tabel 2.10 geeft een overzicht van de geïnterpreteerde metingen. Voor 93 VES-metingen uit DINO is de diepteligging van het brak-zout grensvlak niet vastgesteld. Deze metingen bestaan uit:

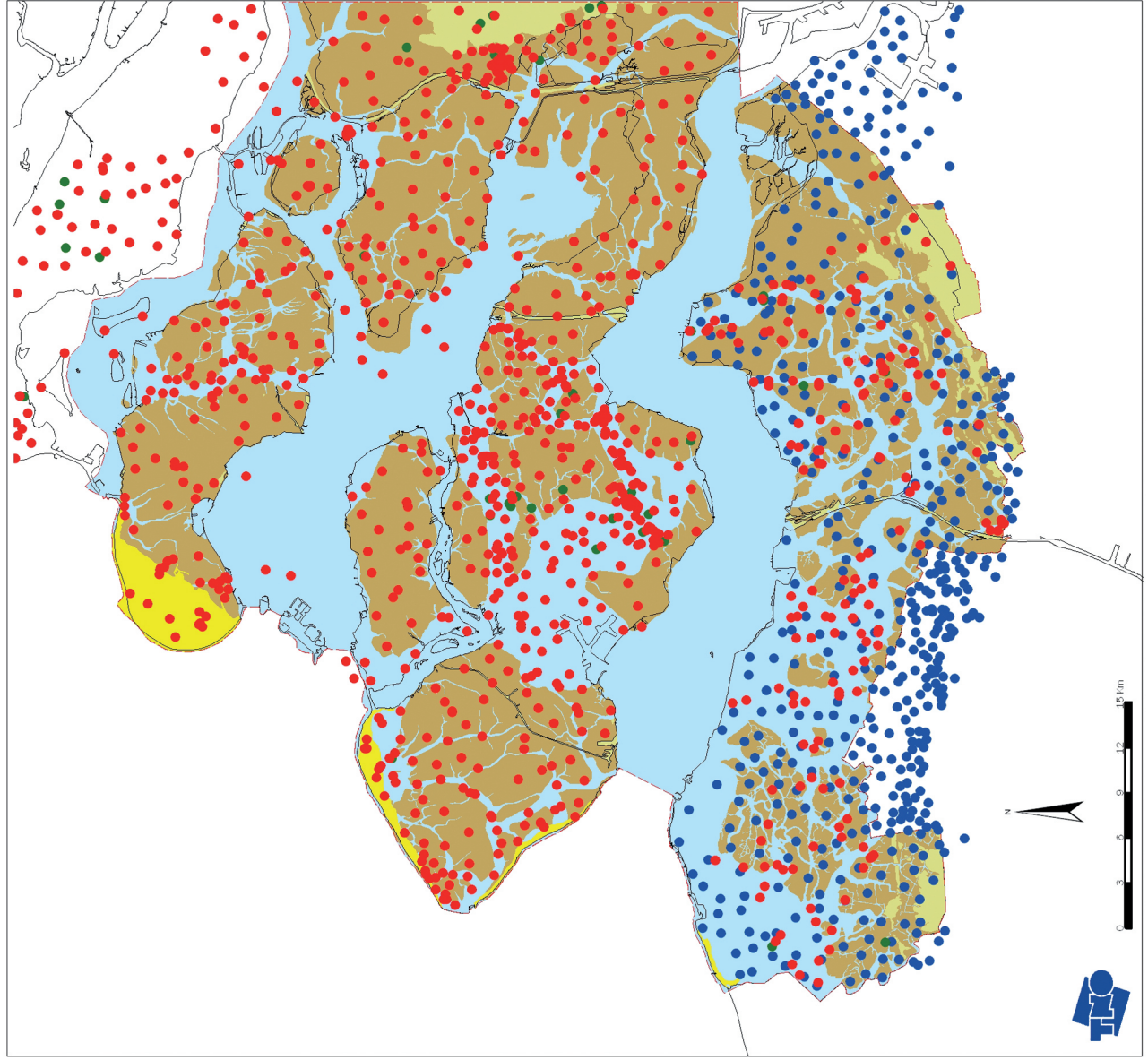
- Metingen met een slechte datakwaliteit (60);
- Metingen zonder weerstandsmodel (47, overlapt deels met het aantal metingen met een slechte datakwaliteit);
- 10 metingen langs de Brabantse Wal waarvoor het brak-zout grensvlak zeer lastig te bepalen is.

Van de metingen die door de Universiteit Gent zijn uitgevoerd, zijn de geïnterpreteerde dieptes van het 'zoet-zout grensvlak' in Zeeuws-Vlaanderen gebruikt. Alhoewel er een verschil bestaat tussen de door de Universiteit Gent en de bij dit onderzoek gehanteerde grenswaarden (825 mg/l versus 1000 mg/l) is de geïnterpreteerde diepteligging van het 'zoet-zout grensvlak' als diepteligging van het brak-zout grensvlak aangehouden. Gezien de nauwkeurigheid van geo-elektrische metingen en de aard van dit onderzoek is een dergelijke aanname geoorloofd.

Met behulp van het digitale kaartbestand van maaiveld- en waterbodemoogten, zie deelrapport A, zijn de geïnterpreteerde diepten van de metingen gelegen in het karteergebied omgerekend van m -mv naar m -NAP. Van het aangrenzende Belgische gebied was een dergelijk digitaal kaartbestand echter niet zondermeer beschikbaar. Om die reden en omdat in het kader van dit project niet was voorzien in de inventarisatie en verwerking van gegevens in België, zijn de interpretaties van de in België uitgevoerde metingen (200 van de 489 locaties) niet gebruikt.

De locaties van deze VES-metingen zijn eveneens weergegeven in Figuur 2.8.

⁶ De overgangszone van 10 tot 14 Ωm is op ervaringen bij de interpretatie van VES-metingen gebaseerd.



Legenda

- geïnterpreteerde meting (DINO)
- niet geïnterpreteerde meting (DINO)
- meting Universiteit Gent
- platen
- geulen en kreken
- duinen
- Pleistocene zanden
- begrenzing karteer gebied

Figuur 2.8

Locaties van geo-elektrische oppervlaktetmetingen

2.6 Elektromagnetische (oppervlakte)metingen

2.6.1 Algemeen

De EM34, van de Canadese firma Geonics, is een instrument dat het elektrische geleidingsvermogen van de ondergrond meet. Het elektrische geleidingsvermogen is het omgekeerde van de elektrische weerstand. Bij de EM34 wekt een zendspoel (een 'hoepel') een elektromagnetisch veld op dat in ondergrondse geleiders zogenaamde inductiestromen opwekt. Deze inductiestromen veroorzaken een secundair elektromagnetisch veld dat samen met het primaire veld door de ontvangstspoel (ook een 'hoepel') gemeten wordt. Het verschil tussen het uitgezonden en ontvangen elektromagnetische veld levert informatie over het schijnbare geleidingsvermogen van de ondergrond. Het schijnbare geleidingsvermogen is een soort gemiddeld geleidingsvermogen voor het dieptetraject waarover het instrument meet. De afstand tussen de zend- en ontvangstspoel en de stand van de spoelen (horizontaal of verticaal) geeft een indicatie voor de doordringingsdiepte, zie Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Indicatieve doordringingsdiepte in een homogene ondergrond voor de EM34 bij verschillende spoelafstanden.

Spoelafstand [m]	Doordringingsdiepte (m –mv)	
	Verticale spoel (V)	Horizontale spoel (H)
10	7.5	15
20	15	30
40	30	60

(bron: McNeill, 1980)

Enkele andere belangrijke kenmerken van de EM34 zijn:

- Een zone met een hoog geleidingsvermogen, bijvoorbeeld zand met zout grondwater, onder een zone met een laag geleidingsvermogen, kan, vanwege de hoge gevoeligheid van de apparatuur voor conductieve lagen, al worden waargenomen, wanneer de zone dieper ligt dan de indicatieve doordringingsdiepte.
- Bij hoge geleidingsvermogens, of lage weerstanden ($< \text{ca. } 10 \Omega\text{m}$), geeft het apparaat onjuiste meetwaarden (McNeill, 1983).
- Meetwaarden gemeten met een verticale spoelstand zijn over het algemeen betrouwbaarder omdat ze minder gevoelig zijn voor verstoring door metalen objecten en omdat er minder invloed is van afwijkingen in spoeloriëntatie tijdens het meten.

2.6.2 Inventarisatie van elektromagnetische oppervlaktemetingen

De geïnventariseerde elektromagnetische oppervlaktemetingen zijn verricht in het kader van een achttal onderzoeken in de provincie Zeeland, te weten: Van Overmeeren, 1987; Senden, 1989; IWACO, 1992a; Vermoortel, 1993a en 1993b; Martens, 1994; Vermoortel, 1995; IWACO, 1996 en Ludwig en Serrão, 1998.

Alle elektromagnetische metingen zijn in een aparte Microsoft Access database verwerkt. Indien sprake was van ruwe veldmetingen zijn de gemeten waarden omgezet naar gecorrigeerde waarden volgens de grafiek uit McNeill, 1980. Zowel de veldmeting (indien beschikbaar) als de gecorrigeerde meting zijn in de database opgeslagen.

2.6.3 *Selectie, bewerking en interpretatie van elektromagnetische oppervlaktemetingen*

De EM34 is gezien de hierboven besproken kenmerken in principe alleen bedoeld voor kwalitatief gebruik; bijvoorbeeld voor het karteren van gebieden met lage weerstanden. Van Overmeeren (1987) concludeerde naar aanleiding van een elektromagnetisch onderzoek in Zeeuws-Vlaanderen dat noch modelberekeningen, noch empirische correlaties kunnen leiden tot een nauwkeurige kwantitatieve analyse van de elektromagnetisch data. Echter, gezien de grote hoeveelheid EM34 meetpunten (ruim 4500 locaties) is er toch gezocht naar een manier om de elektromagnetisch metingen mee te nemen als 'zeer zachte' data voor het bepalen van de diepte van het brak-zout grensvlak. De volgende interpretatiemethodes zijn overwogen:

1. Interpretatie van de meetdata in een lagenmodel met behulp van een speciaal 1D inversie programma.

Deze interpretatie methode is het meest kwantitatief en vergelijkbaar met de voor de VES-metingen uitgevoerde modelberekeningen. Deze methode is uitgebreid getest door TNO op de meetgegevens van Zeeuws-Vlaanderen (Van Overmeeren, 1987). De test was niet succesvol omdat:

- Het relatief kleine aantal meetpunten (maximaal 6 per meetlocatie) gecombineerd met het equivalentie probleem (meerdere modellen passen op de meetdata) extra veel oplossingen toelaat.
- Bij grote weerstandscontrasten en lage weerstanden de meetwaarden niet overeenkomen met de theoretische berekende waarden voor een bekende ondergrond.
- De interpretatiemethode zeer tijdrovend is om uit te voeren op de ruim 4500 metingen en, mede gezien de beperkte resultaten, daarom niet haalbaar is.

2. Het opstellen van een empirische relatie(s).

Er is eerder geprobeerd een empirische relatie op te stellen tussen de meetgegevens (V10) van Zeeuws-Vlaanderen en het chloridegehalte van watermonsters. De conclusie was dat er geen rechtstreeks eenduidig verband bestaat (Van Overmeeren, 1987). Locaties waarvoor ook geo-elektrische boorgatmetingen zijn gebruikt bij de interpretatie gaven een betere relatie. De studie concludeerde dat alle locaties met zoet water een elektromagnetische weerstand van meer dan 23.5 Ω m hebben en dat alle elektromagnetische weerstanden van 11.6 Ω m of lager overeenkomen met zout grondwater (chlorideconcentratie > 7000 mg/l).

Een tweede empirische relatie die onderzocht kan worden is het maken van een standaardgrafiek met op de x-as de diepte van de brak-zout overgangszone (bepaald op basis van een boorgatmeting of een elektrische sondering) en op de y-as de schijnbare weerstand gemeten met verschillende EM34 spoel(af)standen. De standaardgrafiek kan vervolgens gebruikt worden om de diepte van de brak-zout overgang te schatten op locaties waarvoor alleen EM34 metingen bekend zijn. Om enigszins rekening te houden met de invloed van de lithologie zou voor elke belangrijke gebiedseenheid in Zeeland (bijvoorbeeld: duinen, geulen/kreken, platen, ondiep aanwezige klei van het Laagpakket van Boom) een aparte standaardgrafiek opgesteld kunnen worden. Deze methode is echter tijdrovend en is om die reden niet in het kader van dit onderzoek toegepast.

Een derde methode, die voor dit onderzoek gebruikt is, bestaat uit een aantal simpele regels die zijn opgesteld op basis van:

- Indicatieve dieptes van de EM34 bij verschillende spoel(af)standen (zie Tabel 2.12);
- De hierboven gerefereerde zwakke empirische relatie tussen de EM34 respons en de chlorideconcentratie en
- Ervaring met de interpretatie van VES- en boorgatmetingen.

De regels zijn vermeld in Tabel 2.12. Omdat verticale spoelstanden de betrouwbaarste data geven worden vooral deze data gebruikt bij de interpretatie.

Tabel 2.12 Regels voor het krijgen van een grove indicatie van de diepte van het brak-zout grensvlak op basis van schijnbare weerstanden gemeten met de EM34.

Diepte- klasse	Meetopstelling				Diepte brak-zout grensvlak (m –mv)
	V10 (Ω m)	V20/H10 (Ω m)	V40/H20 (Ω m)	H40 (Ω m)	
1	≤ 12	≤ 12			< 7
2	>16	≤ 14	≤ 12		7 - 15
3	NG	≤ 14	≤ 12		< 15
4	>18	>16	≤ 14	≤ 12	15 - 30
5	>20 of NG	>18	NG		>15
6	>22	>20	>18	<18 of NG	>30
7	>22	>22	>20	>18	>60

V10 : Verticale spoelstand en een onderlinge afstand tussen de spoelen van 10 m, enz.

NG : niet gemeten

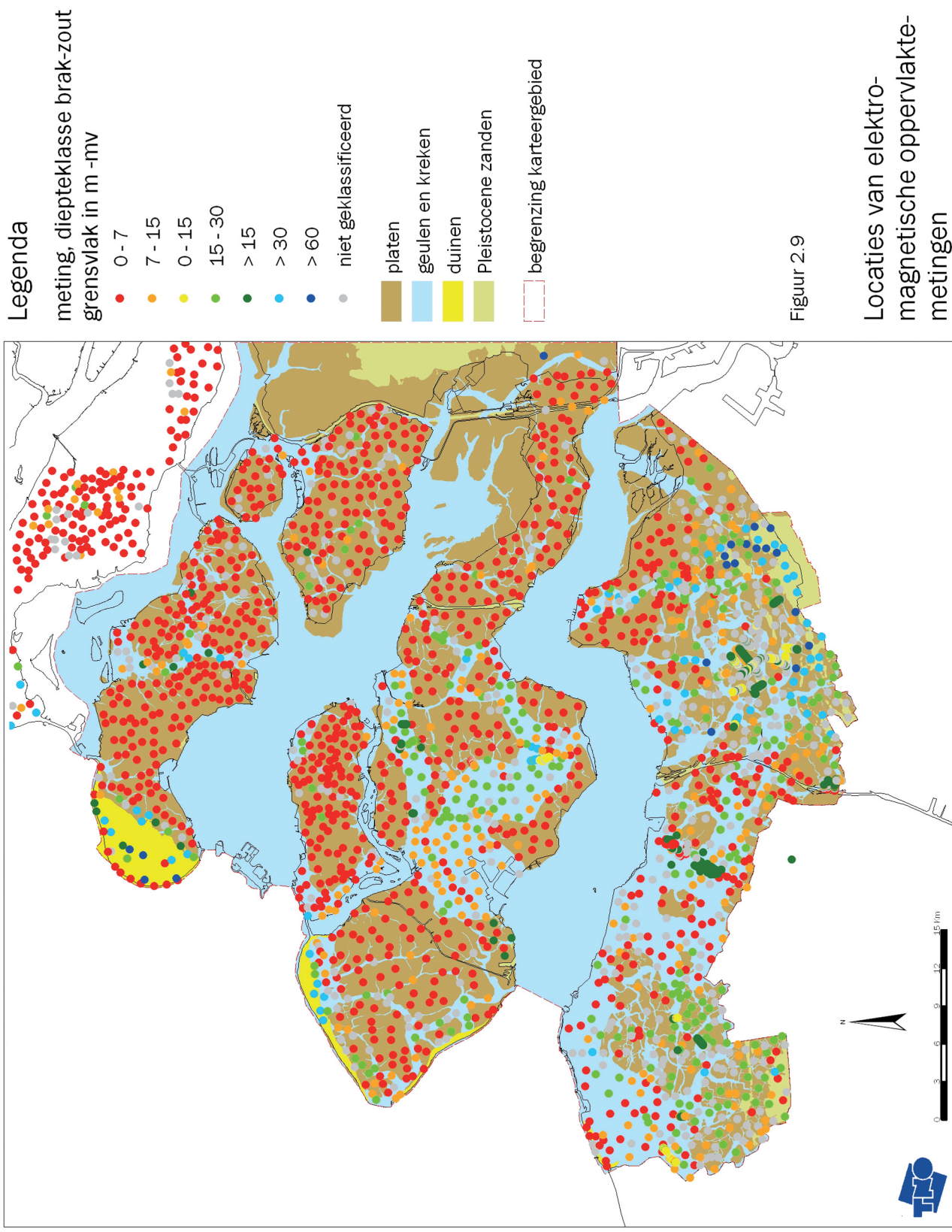
Aan de **in vet gedrukte voorwaarden** dient voldaan te zijn om in de betreffende diepteklasse te worden ingedeeld; overige voorwaarden vervallen indien geen meting bij die opstelling verricht is.

Deze methode houdt geen rekening met verschillen in lithologie. Een voordeel van deze classificatiemethode is dat hij relatief snel uit te voeren is op de ruim 4500 metingen. Er moet nogmaals benadrukt worden dat de indicatieve dieptes zeer zacht zijn en dat ze zoveel mogelijk gecombineerd moeten worden met andere hardere data zoals boorgatmetingen. Relatief gezien hebben de geclassificeerde EM34 metingen een grotere betrouwbaarheid; bijvoorbeeld op locaties met klasse 1 ligt het brak-zout grensvlak over het algemeen ondieper dan op locaties met klasse 2.

Er zijn 4372 locaties in het karteergebied waar met één of meerdere spoel(af)standen een EM34 meting is verricht. Alle metingen zijn geclassificeerd volgens de hierboven beschreven methode. Een overzicht van de metingen is gegeven in Tabel 2.13. In Figuur 2.9 is de ligging van deze metingen weergegeven.

Tabel 2.13 Overzicht van de verdeling van het aantal EM34 metingen in het karteergebied over de onderscheiden diepteklassen van het brak-zout grensvlak.

Diepteklasse	Diepte brak-zout grensvlak (m –mv)	Aantal
totaal aantal metingen		4372
aantal geclassificeerde metingen		3251
1	< 7	1040
2	7 - 15	307
3	< 15	426
4	15 – 30	365
5	> 15	921
6	> 30	171
7	> 60	21
Niet geclassificeerde metingen		1121



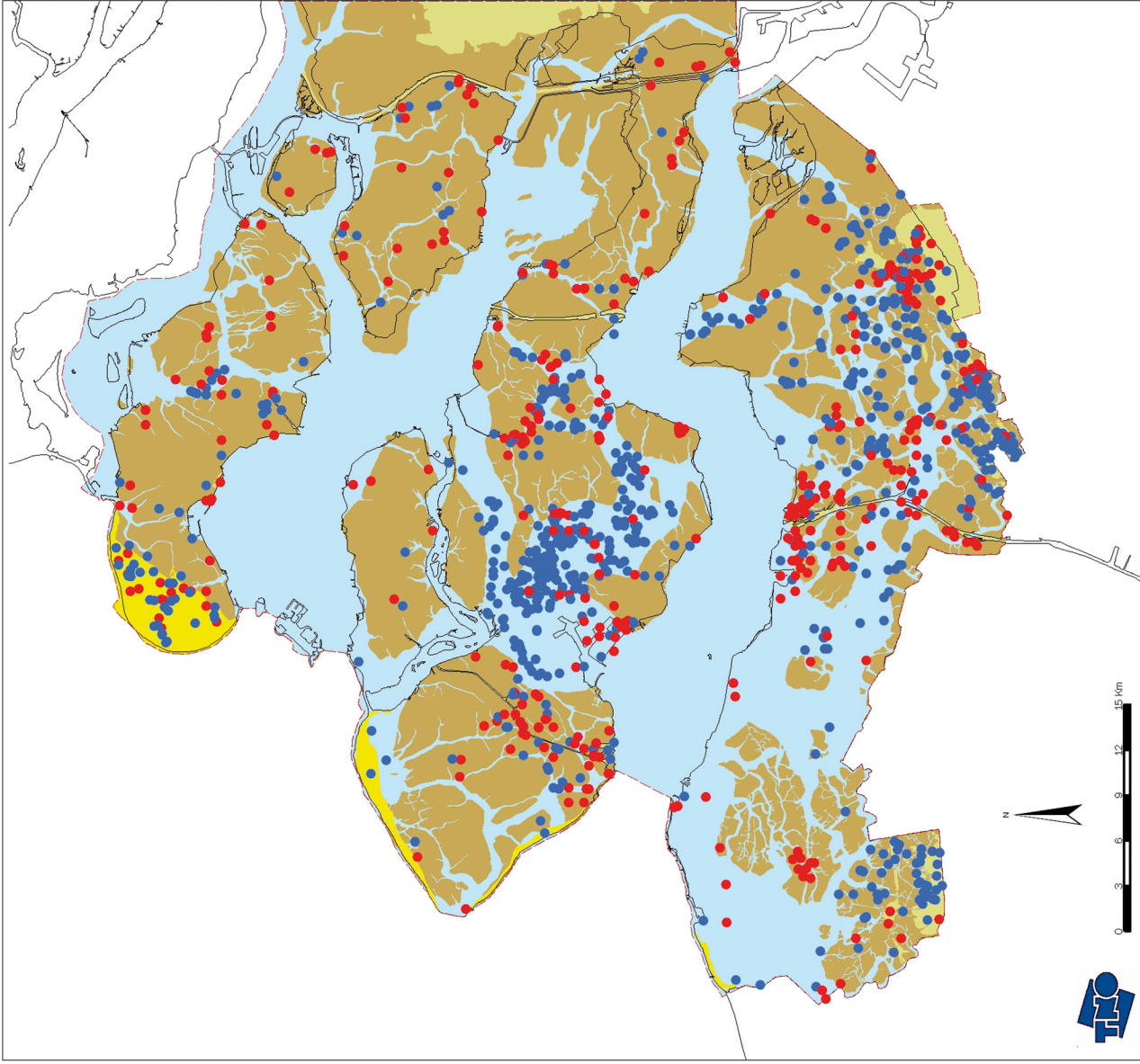
2.7 Onttrekkingen

Op diverse locaties wordt in de provincie Zeeland grondwater gewonnen, zie Figuur 2.10. Afhankelijk van de aard van de onttrekking, het gebruiksdoel en de eventuele behandeling, kan het zoutgehalte van het gewonnen water variëren van zoet tot extreem zout. Vanwege de ruimtelijke variatie in bodemopbouw en grondwatersamenstelling zal een, al dan niet beperkt, vooronderzoek nodig zijn alvorens een grondwateronttrekking kan worden ingericht. Een dergelijk vooronderzoek kan zelfs verplicht zijn indien daartoe volgens de Provinciale Grondwaterverordening aanleiding is.

Als verantwoordelijke instantie voor het Grondwaterbeheer heeft de Provincie Zeeland inzicht in grondwateronttrekkingen die meldingsplichtig, registratieplichtig dan wel vergunningsplichtig zijn. De door de onttrekkende persoon of instantie bij de melding, registratie of vergunning verstrekte gegevens kunnen waardevolle aanvullende informatie bevatten voor de kartering van de verdeling van zoet, brak en zout grondwater in de ondergrond. De aard van deze gegevens kan echter sterk variëren, van een uitgebreid bodem- en grondwateronderzoek tot slechts een algemene omschrijving van de activiteit in het kader waarvan het water wordt opgepompt.

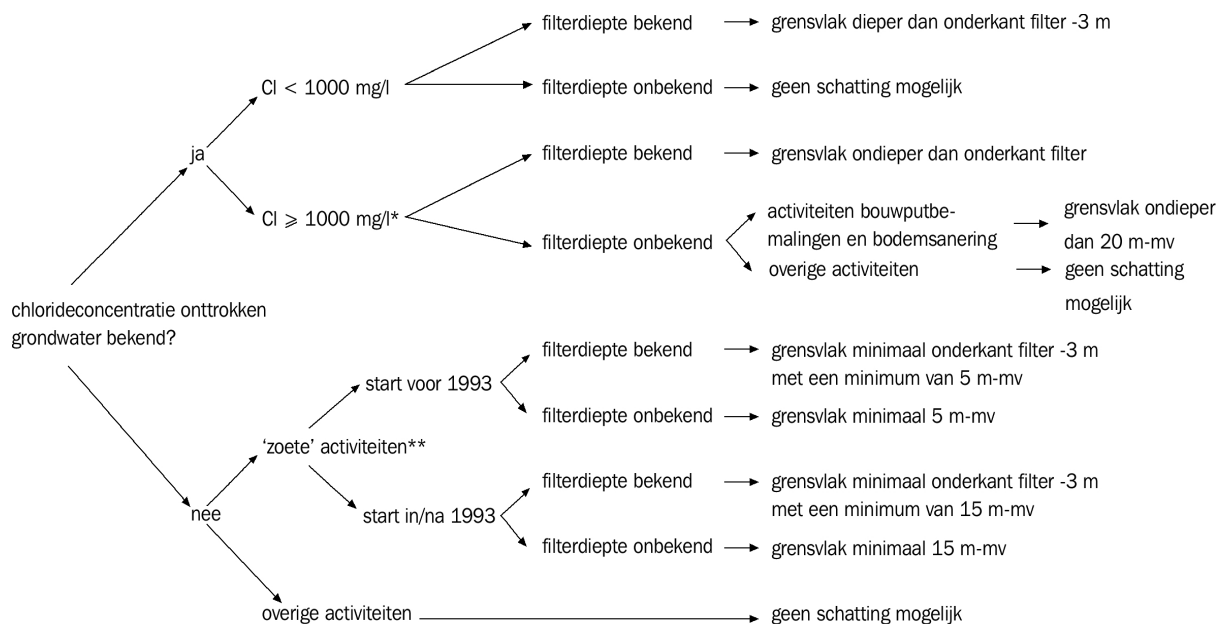
De Provincie Zeeland heeft een overzicht (situatie voorjaar 2005) samengesteld van de locaties van alle onttrekkingsputten met, indien bekend, onder andere de bijbehorende filterdiepte en het chloridegehalte van het onttrokken grondwater. Daarnaast omvat dit overzicht een omschrijving van de activiteit in het kader waarvan het water wordt opgepompt.

In nauw overleg met de Provincie Zeeland is een werkwijze opgesteld hoe deze harde en zachte gegevens geïnterpreteerd en gebruikt zouden kunnen worden. Daarbij is er naar gestreefd om voor elke onttrekkingslocatie de diepte van het brak-zout grensvlak te kunnen schatten. Deze werkwijze is in Figuur 2.11 weergegeven. Opgemerkt dient te worden dat hierbij de kennis en ervaring van de medewerkers van de Provincie Zeeland sturend is geweest. Op grond van deze methode kon voor 47% van het aantal grondwateronttrekkingen de diepteligging van het brak-zout grensvlak worden geschat, zie Tabel 2.14.



Figuur 2.10

Locaties van grondwater-
onttrekkingen in de provincie
Zeeland, situatie voorjaar 2005



* Als er sprake is van meerdere grondwateranalyses en de chlorideconcentratie van minstens één van de monsters groter is dan 1000 mg/l, dan wordt het onttrokken grondwater in de klasse "≥ 1000 mg/l" ingedeeld.

** De 'zoete' activiteiten omvatten: waterleidingbedrijven, particulieren huishoudens, sport, akkerbouw en veehouderij, tuinblouw en vakantiecetra.

Figuur Vernet 06HB

Figuur 2.11 Gevolgde werkwijze bij de schatting van de diepte van het brak-zout grensvlak op onttrekkingslocaties in de provincie Zeeland.

Op basis van het maaiveld- en waterbodemoogtegrids (resolutie van 20 × 20 meter) zijn de geschatte diepten van het brak-zout grensvlak omgerekend naar hoogten ten opzichte van NAP. Tabel 2.14 geeft een overzicht van het aantal grondwateronttrekkingen waarvan op grond van bovenbeschreven methode de diepteligging van het brak-zout grensvlak is geschat.

Bij het ontbreken van gegevens van het zoutgehalte van het onttrokken grondwater en/of de filterdiepte vormen de aldus geschatte diepten van het brak-zout grensvlak indicatieve waarden die met de nodige omzichtigheid dienen te worden gebruikt bij het vervaardigen van een kaart van de diepteligging van het brak-zout grensvlak.

Tabel 2.14 Overzicht van het aantal grondwateronttrekkingen in de provincie Zeeland waarvan de diepte van het brak-zout grensvlak is geschat.

Omschrijving	Aantal
Grondwateronttrekkingen	1528
Schatting diepte brak-zout grensvlak	716
Schatting op basis van chloridegehalte en filterdiepte	162
Schatting op basis van chloridegehalte	98
Schatting op basis van aard activiteit en filterdiepte	383
Schatting op basis van aard activiteit	73
Geen schatting mogelijk	812

2.8 Samenvatting van beschikbare basisgegevens

In Tabel 2.15 zijn de belangrijkste kengetallen van de geïnventariseerde en geïnterpreteerde basisgegevens samengevat.

Opgemerkt dient te worden dat er sprake is van een overlap tussen bemonsteringslocaties, locaties van elektrische boorgatmetingen en onttrekkingslocaties. Hierdoor is het aantal unieke locaties lager dan de som van het aantal locaties van de afzonderlijke gegevenssoorten.

Van ruim 6600 locaties zijn analyses en/of fysische meetgegevens beschikbaar. Dit aantal is exclusief de al dan niet harde informatie van ruim 1500, bij de Provincie Zeeland bekende, grondwateronttrekkingen die nog niet in DINO is opgenomen.

Opvallend is dat van de geofysische metingen slechts 4% boorgatmetingen en elektrische sonderingen betreft, metingen die een nauwkeurig, ééndimensionaal inzicht kunnen geven in de diepteligging van het zoet-brak en brak-zout grensvlak. Het overgrote deel, 96%, betreft geo-elektrische en elektromagnetische oppervlaktemetingen. De nauwkeurigheid van deze metingen is beperkt. Van deze metingen is van ca. 82% van de locaties een interpretatie van het chloridegehalte van het grondwater gemaakt.

Tabel 2.15 Overzicht van de beschikbare gegevens voor de kartering van de verdeling van zoet, brak en zout grondwater in Zeeland.

Gegevenssoort	Type meting	Aantal	Geïnterpreteerd	Bepaald	Nauwkeurigheid diepte zoet-brak en brak-zout grensvlak
Bemonsterings-locaties	0D in situ	867*	721**	<ul style="list-style-type: none"> Chlorideconcentratie in midden filter voor meest recente decade 	Afhankelijk van posities van filters
Elektrische boorgatmetingen	1D in situ	151	149	<ul style="list-style-type: none"> 1D chloride profiel Diepte zoet-brak grensvlak Diepte brak-zout grensvlak Inversies 	±1 m
Elektrische sondering	1D in situ	73	71	<ul style="list-style-type: none"> 1D chloride profiel Diepte zoet-brak grensvlak Diepte brak-zout grensvlak Inversies 	±1 m
VES (DINO)	1D oppervl ak	907	824	<ul style="list-style-type: none"> Diepte brak-zout grensvlak Grote inversies 	±20% van de diepte
VES (UG)	1D oppervl ak	289	289	<ul style="list-style-type: none"> Diepte brak-zout grensvlak 	±20% van de diepte
EM34	1D oppervl ak	4372	3251	<ul style="list-style-type: none"> Diepte brak-zout grensvlak 	ranges van 7.5, 15 of 30 m (hoe dieper, hoe onnauwkeuriger)
Onttrekkingen	OD in situ	1528	716	<ul style="list-style-type: none"> Diepte brak-zout grensvlak 	Range, afhankelijk van aard van de beschikbare gegevens.
<i>Unieke locaties</i>		<i>8187</i>	<i>6021</i>		

* 2143 filters

** Exclusief 52 locaties waar ook een boorgatmeting is verricht.

3 Kartering van zoet, brak en zout grondwater

3.1 Algemeen

Op basis van de in hoofdstuk 2 beschreven criteria en methodiek is, waar mogelijk, de diepteligging van het zoet-brak en het brak-zout grensvlak alsook de aanwezigheid en diepte van eventuele inversies op de meetlocaties geïnterpreteerd. Dit hoofdstuk beschrijft hoe vanuit deze verzameling van puntgegevens achtereenvolgens kaartbeelden zijn vervaardigd van:

- De diepteligging van het brak-zout grensvlak;
- De diepteligging van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone;
- Het voorkomen en het diepteniveau van inversies;
- Het zoutgehalte van het grondwater onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse.

Zoals uit Tabel 2.15 kan worden opgemaakt, is het aantal locaties waar de diepteligging van het brak-zout grensvlak kan worden geschat vele malen groter dan dat van het zoet-brak grensvlak. Om die reden is besloten om allereerst een kaartbestand te vervaardigen van de diepteligging van het brak-zout grensvlak. Dit kaartbestand, dat door het grotere aantal datapunten een grotere betrouwbaarheid heeft, is vervolgens als uitgangspunt gebruikt bij het samenstellen van een kaartbestand van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak.

3.2 Kartering van de diepte van het brak-zout grensvlak⁷

Uit detailonderzoek is gebleken dat de diepteligging van het brak-zout grensvlak in Zeeland over korte afstand sterk kan variëren. De duingebieden, de Pleistocene zandgebieden en kreekruggen vormen relatief goeddoorlatende, hooggelegen gebieden waar zoet regenwater makkelijk infiltreert. In deze gebieden ligt het brak-zout grensvlak in het algemeen relatief diep. De afzettingen in de tussenliggende gebieden, de platen, zijn vaak slechtdoorlatend en zijn als gevolg van klink relatief laag gelegen. In deze gebieden is vaak sprake van een opwaartse grondwaterstroming waardoor het brak-zout grensvlak daar in het algemeen relatief ondiep ligt. Een uitzondering hierop vormt de binnenduintrand waar zoet grondwater, afkomstig uit de duinen, opkwelt. Vooral op de overgang tussen kreekruggen en platen kan de diepteligging van het brak-zout grensvlak sterk veranderen. Sterke, lokale verandering in de diepteligging van het brak-zoutgrensvlak kunnen daarnaast voorkomen nabij waterlopen. Bij de ruimtelijke interpretatie van het verloop van het brak-zout grensvlak is daarom naast de datapunten, gebruik gemaakt van de volgende kaartbestanden van REGIS:

- Het kaartbestand van de verbreiding van afzettingen van het Laagpakket van Walcheren, in het bijzonder de verdeling van plaat-, geul- en kreekafzettingen.

⁷ Gezien het relatief grote aantal beschikbare datapunten en een veronderstelde sterke relatie tussen het brak-zout grensvlak en de topografie en geomorfologie is aanvankelijk geprobeerd om via geostatistische technieken een grensvlak te berekenen waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid van de datapunten. Dit bleek, door de beperkte correlatie uiteindelijk niet mogelijk te zijn. Deze paragraaf beschrijft de methode die uiteindelijk gebruikt is bij het vervaardigen van het kaartbestand.

- Het kaartbestand met de verbreiding van duinafzettingen van het Laagpakket van Schoorl.
- Het kaartbestand van maaiveld- en waterbodemoogten.
- Het topografische bestand Top10vector (ligging waterlopen).

Bij het vervaardigen van het kaartbestand van de diepteligging van het brak-zout grensvlak zijn achtereenvolgens de volgende stappen doorlopen:

1. Controle van de ruimtelijke consistentie van de datapunten.
2. Interpretieren van contourlijnen van de diepteligging van het brak-zout grensvlak.
3. Afbakenen van deelgebieden met een relatief diepe dan wel ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak.
4. Vervaardigen van een kaartbestand in rasterformaat van de diepteligging van het brak-zout grensvlak.
5. Beoordeling van het gegenereerde kaartbestand.
6. Afwerking.

Deze stappen worden hieronder toegelicht.

Ad 1: Controle ruimtelijke consistentie datapunten

De betrouwbaarheid van de beschikbare datapunten is erg wisselend, zie Tabel 2.15. Daarnaast kunnen datapunten, als gevolg van lokale upconing van zout grondwater nabij waterlopen, sterk afwijken van het regionale beeld. Door de gegevens weer te geven, in combinatie met de begrenzingen van plaat-, geul- en kreekafzettingen, duinafzettingen, en de ligging van waterlopen, is een visuele controle van de consistentie van de gegevens uitgevoerd. Bij deze controle zijn uitbijters vastgesteld en zijn waar nodig metingen geherinterpreteerd. Het gaat hierbij om:

- Dicht bij elkaar gelegen datapunten van verschillende betrouwbaarheid met sterk afwijkende waarden. Het minst betrouwbare datapunt is daarbij als uitbijter aangemerkt. Veelal betreffen het EM-metingen en in enkele gevallen VES-metingen.
- Locaties waarvan, naast een geo-elektrische boorgatmeting, ook grondwateranalyses van bekend zijn. Op deze locaties zijn de geïnterpreteerde dieptes van zoet-brak en brak-zout overgangen met elkaar vergeleken. Enkele interpretaties van het brak-zout grensvlak in de boorgatmetingen zijn, binnen de marge van de data, licht aangepast. Op grond van analysegegevens is één boorgatmeting als niet representatief aangemerkt (zie Bijlage B, aandachtspunt 23).
- Zeer onwaarschijnlijke meetwaarden. Het betreft bijvoorbeeld locaties waar één enkele EM-meting een zeer sterk afwijkende waarde heeft, die ook niet op grond van de geomorfologie is te verklaren.
- De geo-elektrische boorgatmetingen uitgevoerd op de werkeilanden van de Oosterscheldekering, de Grevelingendam en de Philipsdam. De meeste van deze boorgatmetingen zijn verricht in 1975. Voor deze locaties konden de maaiveldhoogtes ten tijde van de metingen niet met voldoende nauwkeurigheid worden achterhaald. Gebruik van het huidige, opgehoogde, maaiveld zou tot gevolg hebben dat de hoogte van het brak-zout grensvlak wordt overschat. Bovendien hebben zich op deze locaties in de periode na de ophoging waarschijnlijk zoetwaterlenzen ontwikkeld. Deze metingen zijn om die reden als niet representatief aangemerkt.

- De (her)interpretatie van inversies. De interpretatie van een aantal meetpunten is aangepast door zones juist wel of niet als een inversie te benoemen. Wanneer één enkel meetpunt duidt op een brak-zout grensvlak dat veel dieper ligt dan zijn omgeving en waar in hetzelfde gebied ook aanwijzingen zijn voor inversies, dan is het meetpunt ook geïnterpreteerd als een inversie. Dit is vooral gebeurd voor locaties van grondwateranalyses met slechts één filter waar sprake was van zoet of brak grondwater. In het bijzonder op Tholen en St. Philipsland is de interpretatie van een aantal monsterlocaties op deze manier aangepast. Geo-elektrische boorgatmetingen, elektrische sonderingen en geo-elektrische (oppervlakte)metingen zijn echter niet aangepast omdat deze metingen min of meer continue 1D interpretaties opleveren.
- Herinterpretatie van de toplaag van geo-elektrische (oppervlakte)metingen. Indien de toplaag van een geo-elektrische (oppervlakte)meting een lage weerstand ($<10 \Omega\text{m}$) heeft en een redelijke dikte (2.5 tot 4.5 m), dan is de bovenzijde van deze toplaag geïnterpreteerd als het brak-zout grensvlak, zie Paragraaf 2.5.3. Eventuele hogere weerstandslagen onder deze laag zijn in dat geval geïnterpreteerd als inversies. Op een tiental, voornamelijk op Walcheren gelegen locaties, past het aldus geïnterpreteerde ondiepe brak-zout grensvlak echter niet in het kaartbeeld van nabijgelegen meetpunten. Indien volgens het hydrogeologisch lagenmodel van het Holocene de toplaag ter plaatse van de meting grotendeels uit klei bestaat, is de interpretatie van de geo-elektrische (oppervlakte)meting aangepast. Het brak-zout grensvlak is in dergelijke gevallen dieper, op de onderkant van de, onder de toplaag aanwezige hoge weerstandslaag, gelegd.

Uitbijters en niet representatieve metingen zijn niet verder gebruikt bij de kartering.

Opgemerkt dient te worden dat, met uitzondering van enkele zeer ondiepe monsters en elektrische sonderingen, de beschikbare data geen nauwkeurig beeld geven van de diepte van het zoet-brak en het brak-zout grensvlak indien aanwezig tussen de 0 en 1 (VES, EM34) à 2 m -mv (boorgatmeting). In grote delen van het karteergebied, waar sprake is van een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak, is het daardoor niet mogelijk om inzicht te krijgen in de exacte dikte van de dunne, decimeters tot enkele meters dik veronderstelde, zoete en brakke zone.

Ad 2: Interpretieren contourlijnen diepteligging brak-zout grensvlak

Op basis van de datapunten zijn handmatig contourlijnen geïnterpreteerd van de diepteligging van het brak-zout grensvlak. Hierbij zijn de eerder genoemde kaartbestanden (verbreiding plaat-, geul- en kreekafzettingen, verbreiding duinafzettingen, maaiveld- en waterbodemoogten) als referentie gebruikt. Daarnaast is gebruik gemaakt van de resultaten en kaartbeelden uit de volgende lokale en regionale studies:

Schouwen-Duiveland en St. Philipsland	<ul style="list-style-type: none"> • Reckman, 1987; • Van Overmeeren, 1995;
Tholen, Beveland en Walcheren	<ul style="list-style-type: none"> • Senden, 1989;
Beveland	<ul style="list-style-type: none"> • IWACO, 1992a en 1992c; • Ludwig en Serrão, 1998; • Van Rummelen, 1978;
Walcheren	<ul style="list-style-type: none"> • IWACO, 1992d; • Van Rummelen, 1972;
Zeeuws-Vlaanderen	<ul style="list-style-type: none"> • Haskoning, 2002; • Matthijse, 1996; • Van Overmeeren, 1987;
Zeeland	<ul style="list-style-type: none"> • Lekahena en Cornelissen, 1987; • Van Rummelen, 1978.

Bij het samenstellen van dit contourlijnenbestand wordt het volgende opgemerkt:

- De brak- en zoetwatervoorkomens zijn conservatief gekarteerd. Dit betekent dat de laterale verbreiding van brak- en zoetwatervoorkomens slechts in beperkte mate is doorgetrokken naar gebieden zonder metingen. Ter hoogte van smalle kreekruggen is de mogelijke aanwezigheid van brak en zoet water niet in het contourlijnenpatroon tot uiting gebracht indien metingen ontbreken. Het brak-zout grensvlak heeft in deze gebieden daardoor dezelfde diepte gekregen als de directe omgeving. Het is echter niet uitgesloten dat zich ter plaatse ondiepe brak- en zoetwaterlenzen hebben ontwikkeld.
- Geïsoleerde 'eilanden' in het contourlijnenpatroon die dezelfde waarde hebben en waartussen geen afwijkende datapunten liggen zijn, als ze binnen dezelfde geomorfologische eenheid liggen, vaak verbonden.
- Rondom grote brakke of zoute binnenwateren is het contourlijnenpatroon zodanig samengesteld dat sprake is van een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak (o.a. de Schenge op Zuid-Beveland en de Braakman in Zeeuws-Vlaanderen).
- Het contourlijnenpatroon is als laatste bijgesteld rond die onttrekkingslocaties waar de geschatte minimum of maximum diepte van het brak-zout grensvlak niet met het, op de overige datapunten gebaseerde, contourlijnenbeeld overeen kwam. Dit is na intensief overleg met de Provincie Zeeland en met de nodige omzichtigheid gedaan en uitsluitend voor zover een aanpassing in het algemene patroon inpasbaar was. Gebieden waar de, ter plaatse van onttrekkingen, geschatte diepte van het brak-zout grensvlak strijdig bleek te zijn met de overige informatie zijn niet aangepast. Deze gebieden zijn in Bijlage B beschreven.

Opgemerkt dient te worden dat op grond van de beschikbare data de veronderstelde nauwe relatie tussen de diepteligging van het brak-zout grensvlak en de begrenzingen

van plaat-, geul- en kreekafzettingen in Zeeuws-Vlaanderen weinig aanwezig lijkt te zijn.

Ad 3: Afbakenen deelgebieden

Sterke gradiënten hebben bij de ruimtelijke interpolatie vaak ongewenste effecten in de vorm van 'over-' en 'undershoots'. In het karteergebied komen dergelijke sterke gradiënten voor op de overgang van gebieden met een ondiepe naar gebieden met een diepe ligging van het brak-zout grensvlak. Om artefacten in het kaartbeeld te voorkomen is het karteergebied verdeeld in twee deelgebieden: met een relatief diepe dan wel een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak. De begrenzing van deze gebieden is vastgesteld op basis van de geïnterpreteerde contourlijnen van de diepteligging van het brak-zout grensvlak. Over het algemeen zijn daarbij de -2 of de -4 m NAP contourlijn als grens aangehouden. Voor Zeeuws-Vlaanderen is dit onderscheid niet gemaakt omdat daar nauwelijks sterke gradiënten in het contourlijnenpatroon voorkomen.

Ad 4: Vervaardigen grid diepteligging brak-zout grensvlak

Op basis van de contourlijnen is met behulp van de optie Topogrid binnen ArcINFO voor bovengenoemde deelgebieden een rasterbestand geïnterpoleerd van de diepteligging van het brak-zout grensvlak. De deelbestanden zijn vervolgens samengevoegd. Opgemerkt dient te worden dat in tegenstelling tot de standaardresolutie van 100 × 100 meter van de REGIS-kaartbestanden, besloten is om voor dit kaartbestand een fijnere resolutie van 50 × 50 meter aan te houden om het brak-zout grensvlak in smalle kreekopvullingen beter in kaart te kunnen brengen.

Ad 5: Beoordeling berekende grid diepteligging brak-zout grensvlak

Het berekende rasterbestand van de diepteligging van het brak-zout grensvlak is gecontroleerd op 'over-' en 'undershoots' door uit het rasterbestand een contourlijnenbestand te berekenen en dit bestand te vergelijken met het oorspronkelijke, geïnterpreteerde contourlijnenbestand. Waar nodig zijn aanvullende contourlijnen geïnterpreteerd.

Ad 6: Afwerking

Het berekende rasterbestand is afgewerkt door de diepteligging van het brak-zout grensvlak waar nodig aan te passen in de volgende gebieden:

- Gebieden in Zeeuws-Vlaanderen waar het brak-zout grensvlak dieper ligt dan 3,5 meter boven de top van de kleien van het Laagpakket van Boom of Asse. In deze gebieden is de top van deze kleilagen als diepteligging van het brak-zout grensvlak aangehouden. De reden hiervoor is gelegen in het feit dat in deze gebieden het merendeel van de metingen geo-elektrische (oppervlakte)metingen betreffen. De nauwkeurigheid waarmee de diepteligging van het brak-zout grensvlak kan worden bepaald is bij dergelijke metingen afhankelijk van de diepte, zie Paragraaf 2.5. Deze nauwkeurigheid is te klein om het brak-zout grensvlak van deze kleilagen te kunnen onderscheiden indien beide niveaus dicht bij elkaar liggen. Op basis van de datapunten en het verschil tussen beide grensvlakken zijn kaartbestanden vervaardigd van deze gebieden. In deze gebieden is het berekende rasterbestand gelijk gesteld aan de top van deze kleiniveaus.
- Gebieden waar het brak-zout grensvlak ondieper dan 2 meter beneden het maaiveld ligt. In grote delen van Zeeland ligt het brak-zout grensvlak erg

ondiep. Zoals eerder is opgemerkt, is de aard van de metingen in deze gebieden echter zodanig dat het verloop van het brak-zout grensvlak niet nauwkeurig kan worden vastgesteld. Hierdoor ligt het berekende brak-zout grensvlak plaatselijk dicht bij of zelfs boven het maaiveld. Rekening houdend met de dikte van de onverzadigde zone is, in overleg met de Provincie Zeeland, voor het brak-zout grensvlak een minimum diepte van 2 meter beneden maaiveld aangehouden. Deze waarde moet worden gezien als een beste schatting voor de minimum diepteligging van het brak-zout grensvlak. Waar nodig is het brak-zout grensvlak hierop aangepast. Ter plaatse van open water is het brak-zout grensvlak gelijk gesteld aan de waterbodemhoogte indien het berekende brak-zout grensvlak ondieper dan de waterbodem ligt.

Opgemerkt dient te worden dat bijvoorbeeld op Schouwen-Duiveland gebieden voorkomen waar het brak-zout grensvlak ondieper dan 2 meter beneden maaiveld ligt. Alhoewel deze gebieden in enkele gevallen op de Bodemkaart van Nederland 1:50.000 zijn aangegeven, ontbreekt gebiedsdekkende informatie. Om die reden is besloten deze informatie niet in de kaart te verwerken.

- Buitendijkse gebieden en grote open wateren. In deze gebieden zijn weinig tot geen datapunten beschikbaar. De diepteligging van het brak-zout grensvlak is in deze gebieden daarom erg onbetrouwbaar. Om die reden zijn deze gebieden uit het definitieve kaartbestand weggelaten.

Aansluitend is, op basis van het kaartbestand van maaiveld- en waterbodemhoogten, de diepteligging van het brak-zout grensvlak eveneens ten opzichte van het maaiveld berekend.

3.3 Kartering van de dikte van de brakke zone en de diepte van het zoet-brak grensvlak

Geo-elektrische boorgatmetingen en elektrische sonderingen zijn de enige metingen die nauwkeurige informatie verschaffen over de diepte van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone. In het karteergebied is echter slechts een beperkt aantal van deze metingen verricht. Bovendien is een deel van de geofysische boorgatmetingen slechts in analoge vorm beschikbaar waardoor een verantwoorde interpretatie van het zoet-brak grensvlak niet goed mogelijk is, zie Paragraaf 2.3.3.4. Dientengevolge is slechts op minder dan honderd locaties de diepteligging van het zoet-brak grensvlak bekend, zie Tabel 3.1.

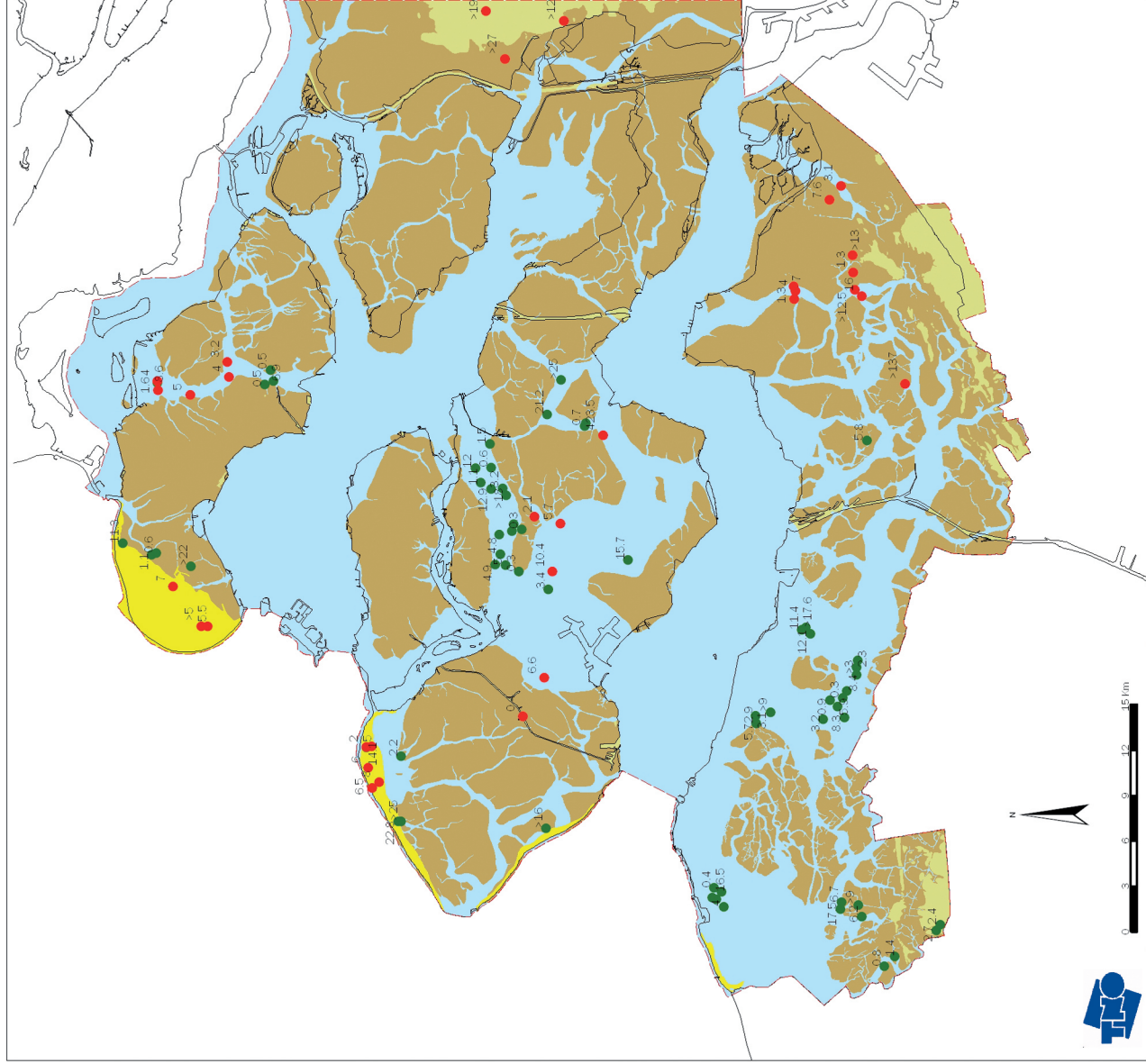
Tabel 3.1 Overzicht van het aantal geo-elektrische boorgatmetingen en elektrische sonderingen in het karteergebied waarin de diepte van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone geïnterpreteerd is.

Type meting	Totaal	Diepte zoet-brak grensvlak	Dikte brakke zone
Geo-elektrische boorgatmeting	151	31 (8*)	24 (6**)
Elektrische sondering	73	57 (10*)	56 (11**)
<i>Totaal</i>	<i>224</i>	<i>88 (18*)</i>	<i>80 (17**)</i>

* Aantal metingen waarin het grensvlak niet exact kon worden geïnterpreteerd maar waarbij wel is vastgesteld dat het grensvlak (on)dieper ligt dan een bepaalde diepte.

** Aantal metingen waarin de dikte van de brakke zone alleen bij benadering kan worden vastgesteld.

De ruimtelijke spreiding van deze metingen is in Figuur 3.1 weergegeven.



Figuur 3.1

Locaties van metingen met een geïnterpreteerde dikte van de brakke zone

Zoals uit Figuur 3.1 kan worden opgemaakt ligt het merendeel van de metingen in gebieden met geul- en kreekafzettingen, gebieden waar het brak-zout grensvlak vaak relatief diep ligt.

Door uit te gaan van de diepteligging van het brak-zout grensvlak en de dikte van de brakke zone, kan ondanks het beperkte aantal gegevens, toch een regionaal beeld van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak worden verkregen. Daarom zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Bepalen van de dikte van de brakke zone ter plaatse van de geofysische boorgatmetingen en elektrische sonderingen.
2. Schatten van een gemiddelde dikte van de brakke zone voor deelgebieden.
3. Vervaardigen van een voorlopig kaartbestand van de dikte van de brakke zone.
4. Afleiden van een kaartbestand van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak.
5. Afleiden definitief kaartbestand van de dikte van de brakke zone.

Deze stappen worden hieronder toegelicht.

Ad 1: Bepalen van de dikte van de brakke zone ter plaatse van de geofysische boorgatmetingen en elektrische sonderingen

In een deel van de metingen kan de dikte van de brakke zone op eenvoudige wijze berekend worden uit de geïnterpreteerde diepteligging van het zoet-brak- en brak-zout grensvlak. In die metingen waar alleen de diepteligging van het zoet-brak grensvlak is geïnterpreteerd, is de diepteligging van het brak-zout grensvlak ontleend aan de gekarteerde diepteligging van dit grensvlak.

Ad 2: Schatten van een gemiddelde dikte van de brakke zone voor deelgebieden

Op basis van de uit de metingen berekende dikte van de brakke zone is voor de in Tabel 3.2 vermelde deelgebieden de gemiddelde dikte en de mediaanwaarde berekend. Hieruit is een gemiddelde dikte van de brakke zone per deelgebieden geschat.

Tabel 3.2 Gemeten en gehanteerde gemiddelde dikte van de brakke zone per deelgebied.

Deelgebied	Aantal	Min. (m)	Max. (m)	Gem. (m)	Mediaan (m)	geschat te dikte (m)
Duingebied Schouwen-Duiveland	8	0.6	49.6	12.7	5.5	9.0
Duingebied Walcheren	9	2.0	25.0	11.7	6.0	9.0
Eilanden, ondiep brak zout grensvlak (vnl. platen)	7	0.3	2.2	0.8	0.4	0.5
Eilanden, diep brak-zout grensvlak excl. duingebieden (vnl. kreekruggen)	31	0.5	28.3	7.9	5.0	6.0
Zeeuws-Vlaanderen, brak-zout op top Boom en Asse	-	-	-	-	-	0
Zeeuws-Vlaanderen, overig	35	0.3	17.8	6.5	3.0	4.5
Brabantse Wal	2	20.4	49.5	-	-	35

Opm: Van het totale aantal metingen waarin de dikte van de brakke zone is vastgesteld, zijn 5 metingen niet gebruikt omdat de brakke zone (deels) onder de top van het Laagpakket van Boom ligt.

In gebieden waar het brak-zout grensvlak met de top van de kleilagen van de Laagpakketten van Boom of Asse samenvalt, is ook het zoet-brak grensvlak aan de top van deze kleilagen gelijkgesteld. De diepteligging van het brak-zout grensvlak vormt in deze gebieden namelijk in het algemeen een minimum diepte en kan daardoor niet als uitgangspunt worden gebruikt bij het afleiden van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak.

Ad 3: Vervaardigen van een voorlopig kaartbestand van de dikte van de brakke zone

Op basis van de per deelgebied geschatte gemiddelde dikte is een voorlopig rasterbestand samengesteld van de dikte van de brakke zone met een resolutie van 50 × 50 meter. Om scherpe overgangen te voorkomen is langs de grenzen van de deelgebieden over een afstand van 150 meter een geleidelijke overgang in dikte aangebracht.

Ad 4: Afleiden van een kaartbestand van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak

Uit de dikte van de brakke zone en de diepteligging van het brak-zout grensvlak is de diepteligging van het zoet-brak grensvlak berekend.

Om te voorkomen dat het zoet-brak grensvlak te ondiep of zelfs boven het maaiveld zou komen te liggen is in overleg met de Provincie Zeeland een minimum diepte van 1,5 meter beneden maaiveld aangehouden. De diepteligging van het zoet-brak grensvlak is waar nodig hiervoor gecorrigeerd. Ter plaatse van open water is het zoet-brak grensvlak gelijk gesteld aan de waterbodemhoogte indien het berekende zoet-brak grensvlak ondieper dan de waterbodem ligt.

Aansluitend is, op basis van het kaartbestand van maaiveld- en waterbodemhoogten, de diepteligging van het zoet-brak grensvlak eveneens ten opzichte van maaiveld berekend.

Ad 5: Afleiden definitief kaartbestand van de dikte van de brakke zone

Uit de diepteligging van het zoet-brak- en brak-zout grensvlak is een rasterbestand van de dikte van de brakke zone afgeleid.

De gehanteerde werkwijze heeft als groot voordeel dat ondanks het beperkte aantal metingen toch gebiedsdekkende kaartbestanden kunnen worden vervaardigd. Door uit te gaan van een gemiddelde dikte van de brakke zone per deelgebied zullen de berekende dikte van de brakke zone en de diepteligging van het zoet-brak grensvlak ter plaatse van de meetlocaties echter afwijken van de metingen.

3.4 Kartering van inversies boven kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse

In de metingen zijn de volgende inversies geïnterpreteerd:

- zoet in brakke zone;
- brak in de zoute zone;
- zoet in de zoute zone.

Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen inversies in het 'ondiepe' grondwater boven de ondoorlatende lagen van het Laagpakket van Boom en het Laagpakket van Asse en inversies in het 'diepe', onder deze lagen aanwezige grondwater. De reden hiervoor is de

4 Resultaten

4.1 Vervaardigde kaartbestanden

In dit hoofdstuk worden, in het licht van de in Paragraaf 1.2 geformuleerde doelstellingen, de resultaten besproken. Deze resultaten bestaan uit een set kaartbestanden die betrekking hebben op:

- de diepteligging van het brak-zout grensvlak;
- de diepteligging van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone;
- het voorkomen van inversies;
- het zoutgehalte van het grondwater onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse en;
- de aanwezigheid van extreem zout grondwater.

Een volledig overzicht van belangrijke (kaart)bestanden die in het kader van dit onderzoek zijn vervaardigd, is opgenomen in Bijlage A.

4.2 Diepteligging van het brak-zout grensvlak

In Figuur 4.1 is het gekarteerde, regionale verloop van de diepteligging van het brak-zout grensvlak weergegeven.

Overeenkomstig de meeste REGIS-bestanden betreft dit kaartbestand een rasterbestand. De resolutie van dit rasterbestand is echter 50×50 meter, in plaats van de standaard resolutie van 100×100 meter. Deze fijnere resolutie is aangehouden om het verloop van het brak-zout grensvlak in en nabij de, soms smalle, kreekkruggen beter in kaart te kunnen brengen. Opgemerkt dient te worden dat deze resolutie eveneens voor de overige rasterbestanden die betrekking hebben op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater, is gebruikt.

Als zodanig vormt de kaart, na de uitgebrachte compilatie van de Grondwaterkaart van Zeeland (Lekahena en Cornelissen, 1987), de tweede provinciedekkende kaart van het verloop van het brak-zout grensvlak.

zeer slechte doorlatendheid van deze kleilagen die als ondoorlatend worden getypeerd. Verticale grondwaterstroming door deze lagen is zeer gering waardoor het grondwater boven en onder deze kleilagen feitelijk uit aparte grondwaterlichamen bestaat.

Voor inversies die voorkomen boven de ondoorlatende lagen van het Laagpakket van Boom en het Laagpakket van Asse is op basis van de aard en de diepteligging van deze inversies nagegaan of er mogelijk sprake is van een grotere aaneengesloten zone. Indien daarvoor aanwijzingen zijn, is de begrenzing van deze inversies conservatief gekarteerd, dat wil zeggen dat de laterale verbreiding van inversies slechts in beperkte mate is doorgetrokken naar gebieden zonder metingen. Het is echter niet uitgesloten dat deze inversies een grotere verbreiding hebben.

3.5 Interpretatie van het zoutgehalte onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse.

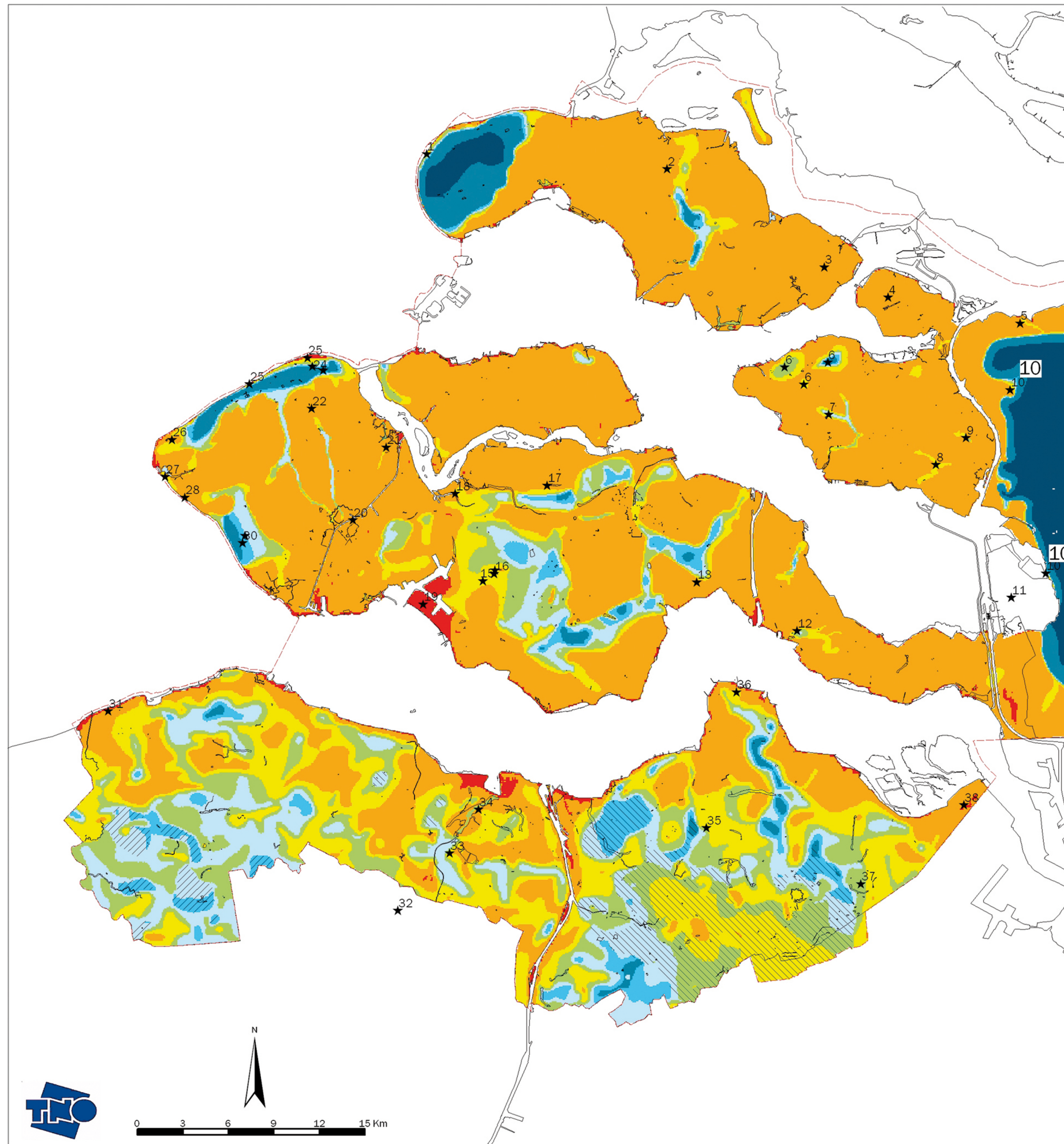
Tabel 3.3 geeft een overzicht van de metingen die informatie verschaffen over het zoutgehalte van het grondwater onder de ondoorlatende kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse. Er zijn geen elektrische sonderingen waarvan de einddiepte dieper is dan de onderkant van deze lagen.

De geofysische boorgatmetingen en grondwateranalyses zijn gebruikt als harde aanwijzingen voor het chloridegehalte van het grondwater onder deze ondoorlatende lagen. Wanneer in een geo-elektrische oppervlaktemeting een brakke of zoete inversie is geïnterpreteerd waarvan de onderkant minstens 5 meter onder de onderkant van de ondoorlatende lagen ligt dan is deze waarneming geïnterpreteerd als een zachte aanwijzing voor de aanwezigheid van brak of zoet grondwater onder de ondoorlatende laag. Geo-elektrische oppervlaktemetingen waarin geen inversies zijn geïnterpreteerd onder de ondoorlatende lagen van de Laagpakketten van Boom en Asse zijn niet meegenomen als een aanwijzing voor het volledig zout zijn van het grondwater omdat in bijna iedere VES-meting een dunne brakke inversie geïnterpreteerd zou kunnen worden.

Op basis van de aard van de in de metingen geïnterpreteerde inversies is nagegaan of er mogelijk sprake is van een grotere aaneengesloten zone. Indien daarvoor aanwijzingen zijn, is ook de begrenzing van deze inversies conservatief gekarteerd.

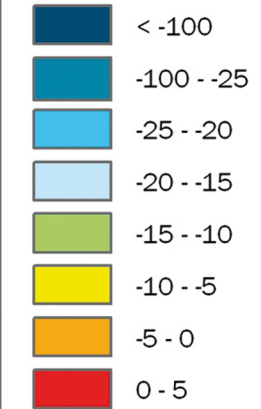
Tabel 3.3 Overzicht van gegevens binnen het karteergebied die deels betrekking hebben op het grondwater onder de ondoorlatende kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse.

Gegevenssoort	Aantal metingen/bepalingen onder Boomse en/of
	Asse klei
Waarnemingsfilter met analyse(s)	17
Geo-elektrische boorgatmeting	13
Elektrische sondering	0
VES	39
EM34	15



Legenda

diepte brak-zout grensvlak
in m NAP



grensvlak valt samen met de bovenkant van de klei van het Laagpakket van Boom

grensvlak valt samen met de bovenkant van de klei van het Laagpakket van Asse

begrenzing karteergebied

aandachtsgebieden

Figuur 4.1

Diepteligging van het brak-zout
grensvlak

Verschillen met eerder verschenen lokale en regionale kaarten van het brak-zout grensvlak kunnen worden verklaard door:

a) afwijkende definities

De aard van het gekarteerde brak-zout grensvlak verschilt soms. In deze studie is ervoor gekozen om het ondiepste brak-zout grensvlak in kaart te brengen terwijl in andere studies soms het diepste brak-zout grensvlak is aangehouden. Daarnaast bestaan er ook verschillen in de gehanteerde chlorideconcentraties voor zoet, brak en zout water.

b) hoeveelheid en ruimtelijke spreiding van de meetgegevens

Om een zo actueel en nauwkeurig mogelijk beeld te kunnen vervaardigen is in het kader van dit onderzoek, in samenwerking met de Provincie Zeeland en de Begeleidingscommissie, getracht om een zo compleet en actueel mogelijke set aan meetgegevens samen te stellen. Gesteld kan worden dat het kaartbeeld daardoor gebaseerd is op meer en veelal ook betere basisgegevens dan Lekahena en Cornelissen, 1987, en dat door dit grotere aantal gegevens, de ruimtelijke spreiding ook beter zal zijn. Opgemerkt dient te worden dat een deel van de recente basisgegevens in het kader van lokale studies zijn verzameld en daardoor slechts van lokale betekenis zijn binnen het kaartbeeld.

c) betere en actuele secundaire informatie

Het verloop van het brak-zout grensvlak vertoont vaak een nauwe relatie met de maaiveldshoogte en de opbouw en samenstelling van de deklaag. Actuele digitale kaartbestanden daarvan zijn voorafgaand aan dit onderzoek in het kader van het project REGIS Zeeland samengesteld, zie de deelrapporten A en B. Informatie over de verdeling van zandige en kleiige afzettingen in de iets diepere ondergrond, waaronder de belangrijke kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse, is eveneens in het kader van REGIS vastgelegd in het hydrogeologisch model van de matig diepe ondergrond (zie Vernes en Van Doorn, 2005). Deze informatie is van groot belang voor een juiste interpretatie van de geofysische metingen.

d) conservatieve wijze van karteren

Brak- en zoetwatervoorkomens zijn conservatief gekarteerd. Dit betekent dat de laterale verbreiding van brak- en zoetwatervoorkomens slechts in beperkte mate is geëxtrapoleerd naar gebieden zonder metingen. Indien ter plaatse van smalle kreekruigen metingen ontbreken, is een mogelijke diepere ligging van het brak-zout grensvlak daar niet in het kaartbeeld aangegeven. Dit geldt eveneens voor enkele smalle duingebiedjes. Het is echter niet uitgesloten dat zich ter plaatse een ondiepe zoetwaterlens heeft ontwikkeld. Aanvullende metingen zijn nodig om het kaartbeeld in deze gebieden te verbeteren.

Deze voorzichtige benadering is eveneens gehanteerd bij de kartering van het brak-zout grensvlak daar waar dit nabij, in of onder de top van de kleien van de Laagpakketten van Boom of Asse ligt. Vanwege de beperkte nauwkeurigheid van veel van de metingen en de onmogelijkheid om met de beschikbare geofysische metingen het zoutgehalte van het grondwater in kleilagen vast te kunnen stellen, is besloten het grensvlak in deze gebieden met de top van de kleien samen te laten vallen, zie Paragraaf 3.2. Zoals uit Figuur 4.5 blijkt, komt onder deze kleilagen soms brak of zoet water voor.

De betrouwbaarheid van het vervaardigde kaartbeeld wordt enerzijds bepaald door de ruimtelijke variatie in de diepteligging van het brak-zout grensvlak en anderzijds door de spreiding, de aard, het dieptebereik en de nauwkeurigheid van de beschikbare meetgegevens. Ook de ouderdom van de metingen is van belang.

Zoals uit Figuur 4.1 kan worden opgemaakt worden de eilanden gekenmerkt door grote gebieden met een zeer ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak die scherp overgaan in gebieden met een diepere ligging. In Zeeuws-Vlaanderen zijn deze overgangen in het algemeen veel geleidelijker en komen sterke gradiënten in het diepteverloop weinig voor.

Alhoewel het aantal metingen in het karteergebied hoog is, bestaat het merendeel daarvan uit 'zachte' metingen, zie Paragraaf 2.8. De nauwkeurigheid van deze zachte metingen is beperkt. Vanwege het feit dat de metingen een compilatie vormen van gegevens die in het kader van verschillende projecten zijn uitgevoerd, is de ruimtelijke spreiding van de metingen over het projectgebied bovendien niet optimaal. Dientengevolge bestaat er op een aantal plaatsen grote onduidelijkheid over het verloop van het brak-zout grensvlak. In Figuur 4.1 zijn deze plaatsen aangegeven. Bijlage B geeft een toelichting op elke afzonderlijke locatie.

Een belangrijk aandachtspunt vormt de diepte van het brak-zout grensvlak ter plaatse van grondwateronttrekkingen. De door de Provincie Zeeland veronderstelde minimumdiepte kan op een deel van de onttrekkingslocaties niet met meetgegevens worden onderbouwd terwijl op grond van de omliggende metingen een ondiepere ligging van het grensvlak moet worden verondersteld. Aanvullende metingen zijn op deze locaties nodig.

In gebieden waar volgens de kaart sprake is van een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak moet rekening worden gehouden met het voorkomen van lokale zones met zoetwater ter plaatse van smalle kreekruigen. Zoals hierboven is vermeld, zijn in een deel van deze kreekruigen geen metingen uitgevoerd, waardoor de aanwezigheid van dergelijke zoetwatervoorkomens niet kan worden aangetoond. In andere kreekruigen is het kaartbeeld slechts gebaseerd op één of enkele zachte metingen, waardoor er onzekerheid bestaat over de diepteligging van het brak-zout grensvlak alsook over het verloop daarvan in de lengterichting van de kreekrug.

In het kader van dit onderzoek was niet voorzien in een inventarisatie van meetgegevens in het Belgische grensgebied. Om die reden was het niet mogelijk om de geo-elektrische oppervlaktemetingen die in dit gebied door de Universiteit van Gent zijn uitgevoerd, in het kaartbeeld te verwerken, zie Paragraaf 2.5.3. Vanwege het zeer

geringe aantal beschikbare metingen dat wel van het Belgische grensgebied beschikbaar is, neemt de nauwkeurigheid van de kaart naar de grens toe in het algemeen af.

De verdeling van zoet, brak en zout grondwater is aan veranderingen onderhevig. De metingen vormen als zodanig een momentopname. De afgelopen vijf decennia hebben de Deltawerken grote veranderingen teweeg gebracht. Na afdammingen in 1983 en 1987 is het water in het Markiezaatsmeer, het Volkerak, de Krammer en het Zoommeer verzoet. Deze verzoeting heeft ook invloed op het verloop van het zoet-brak en brak-zout grensvlak in en in de directe nabijheid van deze wateren. Uit modelberekeningen blijkt deze verzoeting van het grondwater langzaam te verlopen (Oude-Essink, pers.med.). Bijna alle metingen in deze gebieden dateren echter van voor die tijd. Om die reden dient rekening te worden gehouden met mogelijke afwijkingen langs de oevers van deze wateren.

Ook de metingen die zijn uitgevoerd op de verschillende dammen dateren van voor of tijdens de bouw. Vanwege enerzijds het beperkte aantal metingen en anderzijds de veronderstelling dat zich sinds de bouw ter plaatse een zoetwaterlens heeft kunnen ontwikkelen, is het verloop van het brak-zout grensvlak ter plaatse niet weergegeven.

Het verloop van het brak-zout grensvlak is niet weergegeven in de buitendijkse gebieden en ter plaatse van de kanalen. In deze gebieden zijn weinig tot geen datapunten beschikbaar. De diepteligging van het brak-zout grensvlak is in deze gebieden daarom erg onzeker.

In tegenstelling tot de verwachting, ligt het brak-zout grensvlak ter plaatse van opgehoogde terreinen en dijklichamen volgens de kaart soms relatief ondiep in vergelijking tot de directe omgeving. Deze ondiepe ligging wordt enerzijds veroorzaakt door het ontbreken van (actuele) metingen in deze gebieden. Het grensvlak is daardoor veelal gebaseerd op gedateerde metingen en of metingen uit de directe omgeving. Anderzijds is in deze gebieden voor het brak-zout grensvlak dezelfde minimumdiepte ten opzichte van maaiveld aangehouden als in de rest van het gebied. Vanwege de hoge ligging is de diepteligging van het brak-zout grensvlak in deze gebieden veelal niet gecorrigeerd terwijl dit in aangrenzende gebieden soms wel het geval is.

Ter plaatse van oppervlaktewateren ligt het brak-zout grensvlak soms relatief diep, bijvoorbeeld in de Braakmankreek. Deze diepe ligging is vanwege de diepteligging van de bodemhoogte echter schijn; veelal valt het brak-zout grensvlak samen met de bodem.

In gebieden waar het brak-zout grensvlak volgens de kaart samenvalt met de top van de kleilagen van de Laagpakketten van Boom of Asse, bevindt zich onder deze kleilagen mogelijk brak of zoet water. In deze gebieden dient het kaartbestand dan ook in combinatie met Figuur 4.5 te worden gebruikt.

Het kaartbestand geeft een regionaal beeld van het verloop van de diepteligging van het brak-zout grensvlak. Lokaal, bijvoorbeeld nabij waterlopen, kan de diepteligging van het geschetste kaartbeeld afwijken.

4.3 Dikte van de brakke zone en diepteligging van het zoet-brak grensvlak

Door het geringe aantal metingen waarin de dikte van de brakke zone kon worden vastgesteld, bestaat er slechts een zeer globaal inzicht in het ruimtelijke verloop van de dikte van de brakke zone, zie Figuur 4.2. Als gevolg hiervan is ook het inzicht in de dikte van de zoete zone beperkt.

In gebieden met een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak varieert de dikte van de brakke zone. Deze variatie is veroorzaakt door een correctie van de dikte in verband met de veronderstelde minimum diepteligging van het zoet-brak grensvlak ten opzichte van maaiveld, zie Paragraaf 3.3. Met name in Zeeuws-Vlaanderen is de dikte van de brakke zone aangepast, zie Tabel 4.1. De metingen waarop de initiële gemiddelde dikte van 4,5 meter in dit gebied is gebaseerd, zijn vooral gelegen in gebieden met een relatief diepe ligging van het brak-zout grensvlak. Deze metingen zijn daardoor niet representatief voor het hele deelgebied.

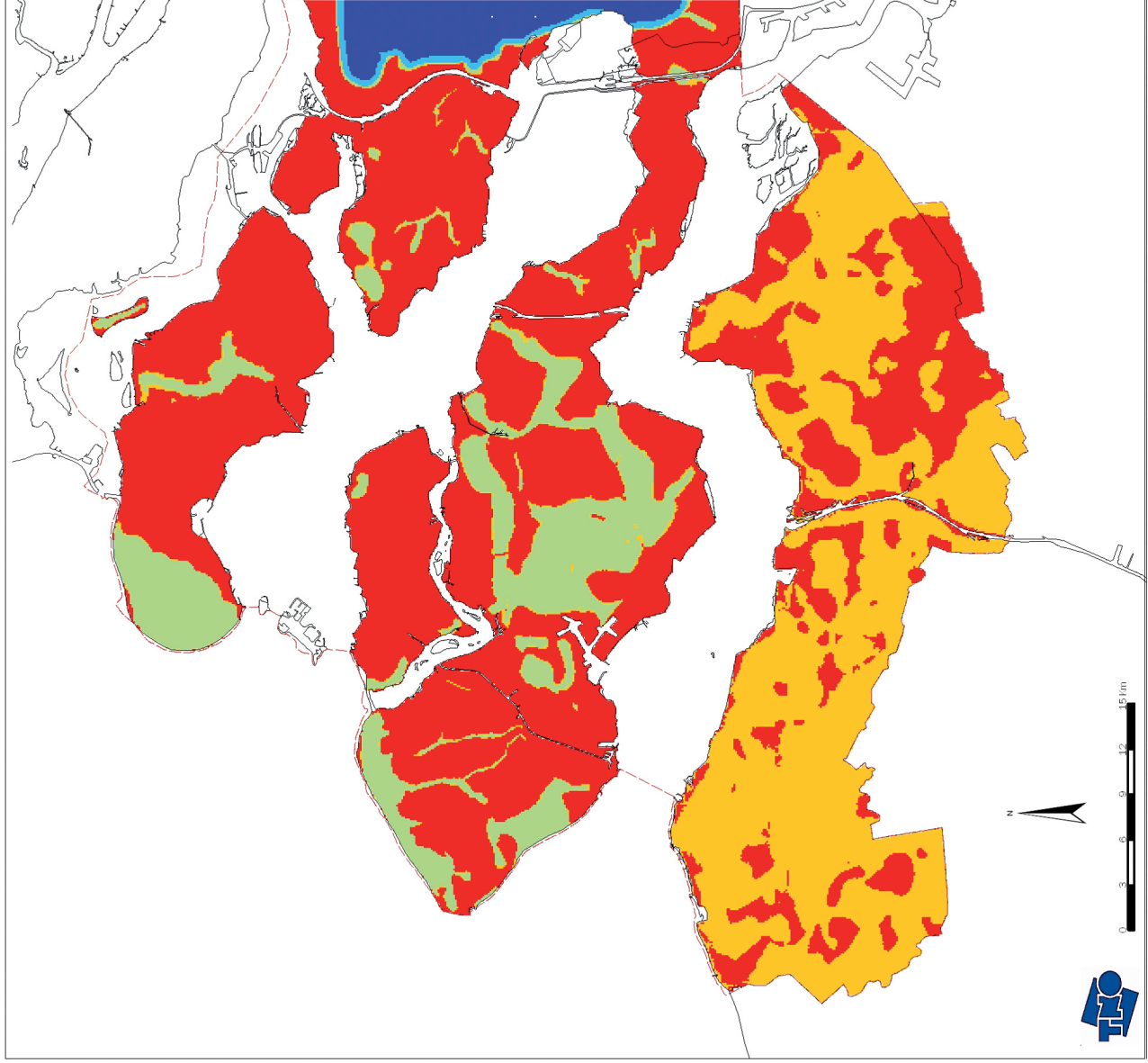
Tabel 4.1 Initiële en gecorrigeerde gemiddelde dikte van de brakke zone per deelgebied.

Deelgebied	Dikte Initieel	Dikte Na correctie
	[m]	[m]
Duingebied Schouwen-Duiveland en Walcheren	9.0	8.6
Eilanden, ondiep brak zout grensvlak (vnl. platen)	0.5	0.5
Eilanden, diep brak-zout grensvlak excl. duingebieden (vnl. kreekruggen)	6.0	5.6
Zeeuws-Vlaanderen, brak-zout op top Boom en Asse	0	0.1*
Zeeuws-Vlaanderen, overig	4.5	3.8
Brabantse Wal	35	29.4

* Dikte i.v.m. overgangszone met aangrenzend deelgebied.

In gebieden waar het brak-zout grensvlak met de top van de kleilagen van de Laagpakketten van Boom of Asse samenvalt, is ook het zoet-brak grensvlak aan de top van deze kleilagen gelijkgesteld. In deze gebieden bevindt zich onder deze kleilagen mogelijk brak of zoet water, zie Figuur 4.5.

Figuur 4.3 geeft het verloop weer van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak. Door de gekozen aanpak vertoont het kaartbeeld grote gelijkenis met de diepteligging van het brak-zout grensvlak. De in paragraaf 4.3. gemaakte opmerkingen ten aanzien van deze kaart zijn daardoor eveneens van toepassing op het verloop van de diepteligging van het zoet-brak grensvlak. Door het geringe aantal metingen waarin de het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone kon worden vastgesteld, geeft de kaart slechts een indicatief beeld. De kaart dient derhalve met voorzichtigheid te worden gebruikt.



Legenda

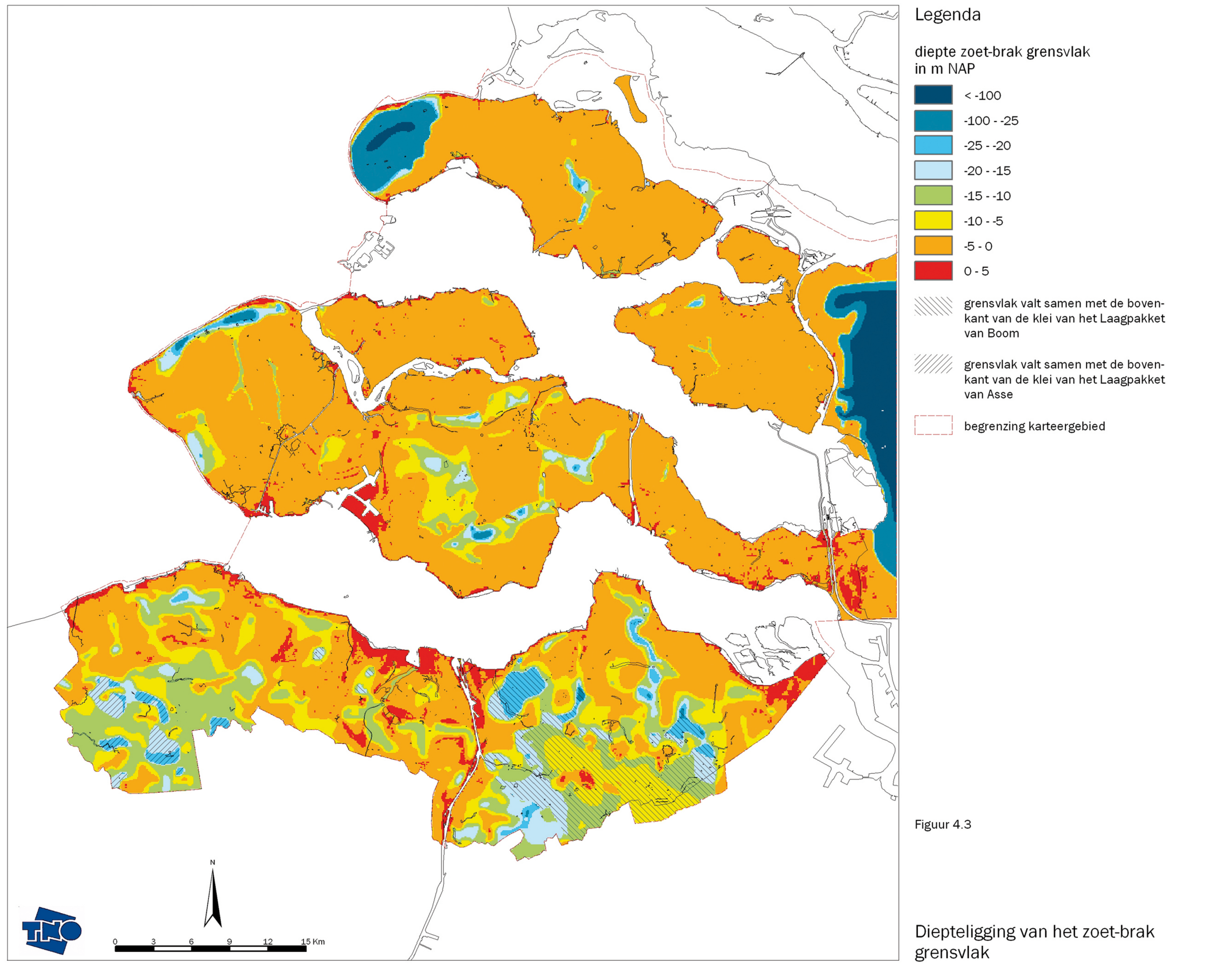
dikte in m

- 0 - 2.5
- 2.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 25
- 25 - 35

begrenzing karteergebied

Figuur 4.2

Dikte van de brakke zone



4.4 Voorkomen van inversies boven kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse

De in de metingen vastgestelde inversies betreffen voornamelijk voorkomens van brak en/of zoet grondwater onder het brak-zout grensvlak. Op enkele locaties is ook zoet grondwater in de brakke zone waargenomen. Bij het in kaart brengen van deze inversies is een onderscheid gemaakt tussen inversies in het 'ondiepe' en 'diepe' grondwater, i.e. het grondwater boven, respectievelijk onder de kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse.

In Figuur 4.4 zijn de locaties weergegeven waar in de metingen, in het traject boven de Laagpakketten van Boom en/of Asse, inversies zijn vastgesteld. Naast de metingen lijken op grond van de beschikbare gegevens ook meerdere grondwateronttrekkingen in het oosten van Tholen en Zuid-Beveland water uit een inversie te winnen.

Zoals uit Figuur 4.4 blijkt, komen inversies van zoet en brak grondwater verspreid over het gebied voor. De belangrijkste inversie in het gebied ligt ten westen van de Brabantse Wal. Het betreft een inversie van zoet en brak water die zich deels onder de Holocene klei- en veenlagen, deels onder kleilagen van het Laagpakket van Wouw⁸ van de Formatie van Oosterhout in westelijke richting uitstrekt. Naar het westen toe wordt de inversie brak en iets ten westen van het Schelde-Rijnkanaal en de Eendracht is de inversie afwezig. Deze inversie wordt gevoed vanuit de Brabantse Wal. Iets westelijk daarvan komen inversies voor op Zuid-Beveland, Tholen en Sint Philipsland. Mogelijk dat deze inversies eveneens in verband staan met het infiltratiegebied van de Brabantse Wal. Door middel van modelberekeningen, aanvullende metingen en dateringen zou dit kunnen worden vastgesteld.

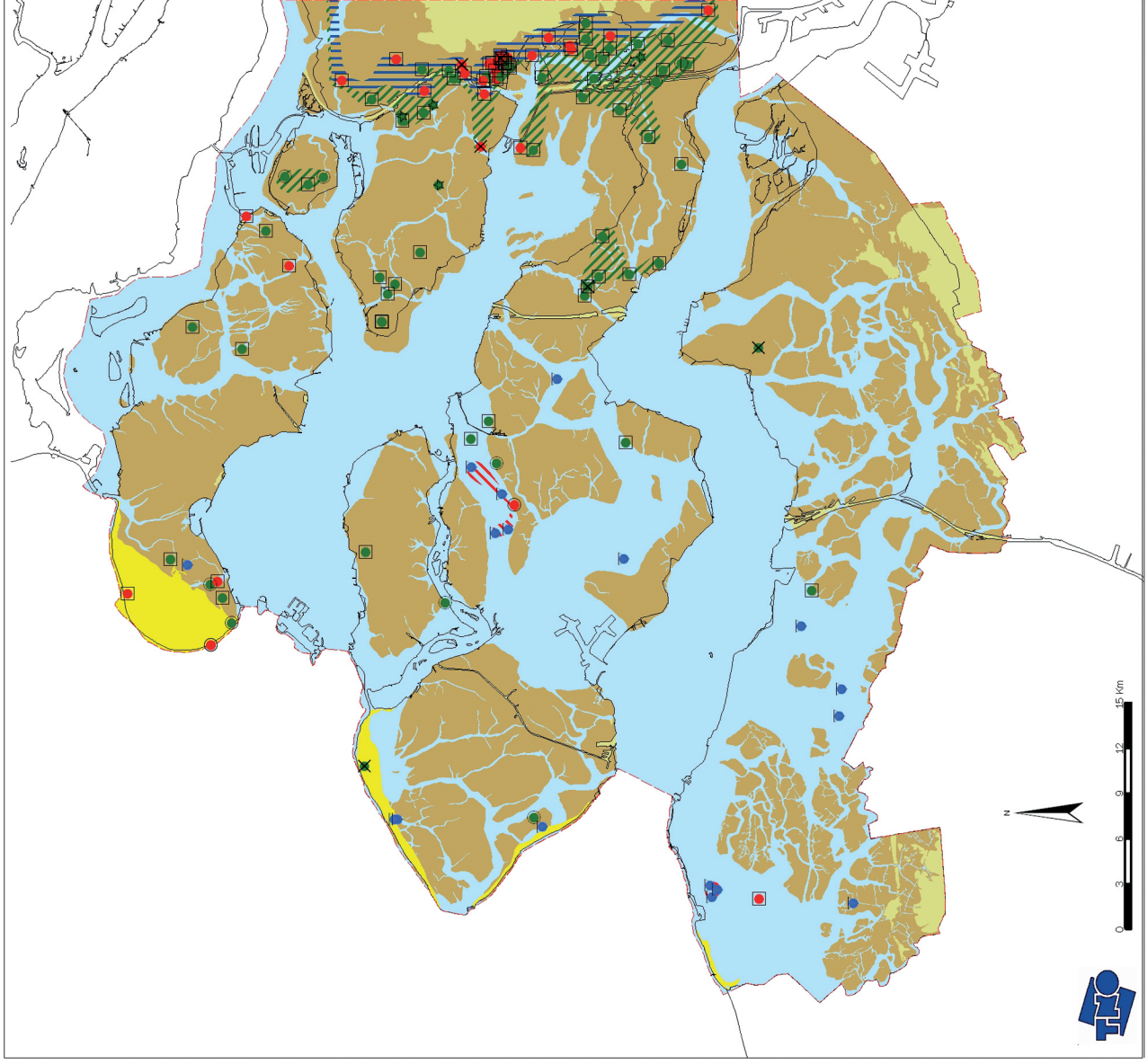
Er komen opvallend veel inversies voor van zoet water in de brakke zone in het Schenge gebied op Zuid-Beveland.

Inversies van zoet water zijn eveneens aangetoond onder het brak-zout grensvlak onder de strandvlakte op Schouwen-Duiveland. Deze inversie wordt gevoed vanuit de duinen. Er zijn echter te weinig gegevens om deze inversie in kaart te brengen. Wellicht dat dergelijke inversies eveneens op de strandvlaktes op Walcheren aanwezig zijn. Er zijn daar echter geen metingen.

4.5 Zoutgehalte onder kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse

In Figuur 4.5 zijn de beschikbare gegevens met betrekking tot het zoutgehalte van het grondwater onder de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse gepresenteerd.

⁸ Deze kleilaag is in het hydrogeologische model van REGISII opgenomen als eenheid 'OO-k-1'.



Figuur 4.4

Inversies boven de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse

Door de Universiteit Gent is medio jaren '90 eveneens onderzoek gedaan naar het 'diepe' grondwater in het zuidelijke deel van de provincie Zeeland, zie Vermoortel, 1994 en Vermoortel en Mahauden, 1996. Figuur 4.5 geeft in relatie tot deze studies een geactualiseerd beeld van de beschikbare gegevens van het chloridegehalte van het 'diepe' grondwater. Enerzijds is in het kader van de hydrogeologische kartering van REGIS Zeeland het ruimtelijke verloop van de belangrijke klei- en zandlagen geactualiseerd, hetgeen van belang is voor een juiste indeling van de gegevens naar de watervoerende laag. Anderzijds zijn in het kader van dit onderzoek ook geofysische metingen (met name geo-elektrische oppervlaktemetingen) gebruikt bij het interpreteren van de waterkwaliteit. Wel dient te worden opgemerkt dat in Zeeuws-Vlaanderen het aantal grondwateranalyses lager is. Deze grondwateranalyses zijn waarschijnlijk afkomstig van grondwateronttrekkingen, die vanwege het ontbreken van belangrijke gegevens, nog niet in DINO kunnen worden ingevoerd en om die reden in het kaartbeeld ontbreken.

In Zeeuws-Vlaanderen zijn drie zones met brak tot zoet grondwater onderscheiden; op Zuid-Beveland is één zone met brak water vastgesteld. Buiten deze zones zijn te weinig meetgegevens om het chloridegehalte vlakdekkend in kaart te brengen.

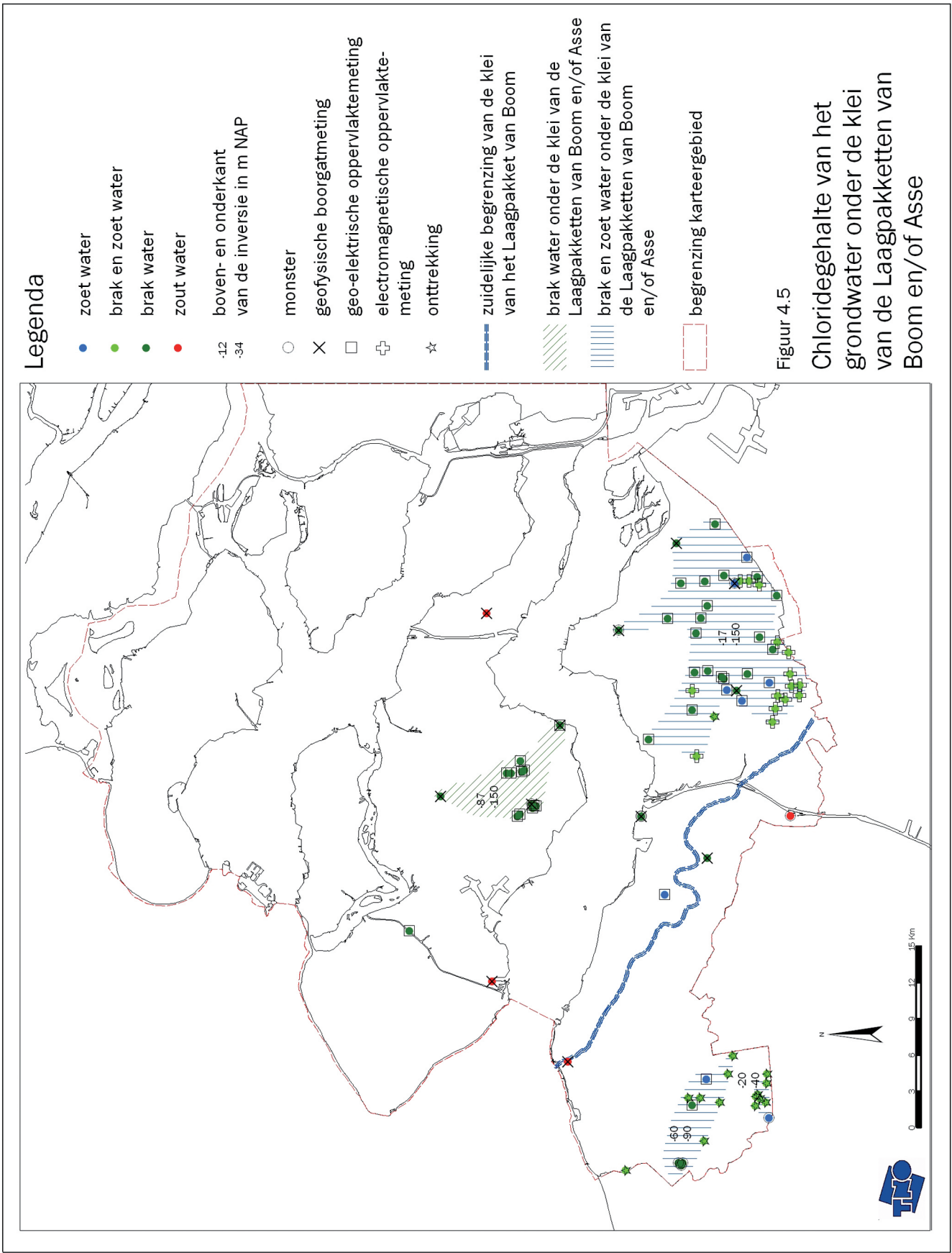
Er kunnen verschillende redenen zijn waarom buiten de vier gekarteerde zones⁹ in de geo-elektrische oppervlaktemetingen geen brak of zoet grondwater is geïnterpreteerd, te weten:

- Er zijn in deze gebieden geen grote zoet en brak grondwatervoorkomens.
- De onderkant van de kleilagen zit te diep waardoor de resolutie van de geo-elektrische oppervlaktemetingen te laag is.
- De grootte van de meetopstelling is te klein om een goede waarneming te kunnen doen met betrekking tot de diepe ondergrond.

Opgemerkt dient te worden dat niet overal waar diep brak en zoet grondwaterwater onder de kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse voorkomt (zie Figuur 4.5) er sprake is van een inversie (zoet of brak grondwater onder zout grondwater). Daar waar het brak-zoutgrensvlak van het ondiepe grondwater per definitie op de top van de kleilagen van de Laagpakketten van Boom en Asse is gesteld (zie Paragraaf 3.2 en Figuur 4.3) en er ook nog zoet of brak grondwater onder deze kleilagen zit ligt het brak-zout grensvlak mogelijk onder de kleilaag. Dit speelt met name in het oostelijke deel van Zeeuws Vlaanderen.

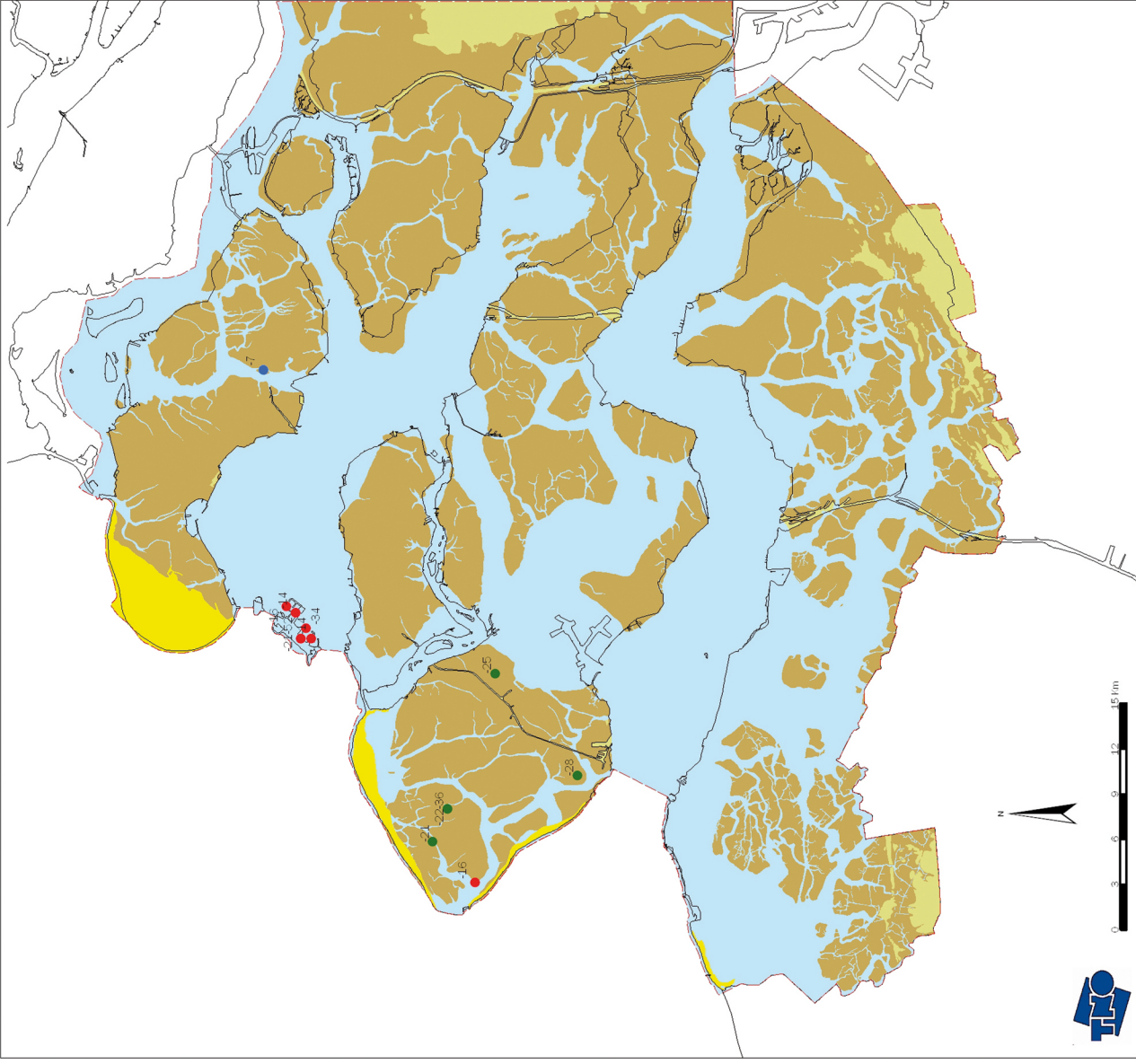
Op Zuid-Beveland komt onder de Boomse Klei een zone voor met brak grondwater. Te Baarland wordt hieruit vlak langs de Westerschelde grondwater gewonnen. De diepte van het filter is rond -100 m NAP; de chlorideconcentratie schommelt tussen 485 en 1517 mg/l (gemiddeld 700 mg/l). Er is echter geen verziltende of verzoetende trend waargenomen (Vermoortel, 1994). Voeding vanuit Zeeuws-Vlaanderen vormt de meest waarschijnlijke verklaring voor dit voorkomen.

⁹ op 1 VES-meting na ten zuidwesten van Kleverskerke.



4.6 Extreem zout grondwater

Op een aantal plaatsen is sprake van extreem zout grondwater met een chloridegehalte van 20000 mg/l of meer. In Figuur 4.6 zijn deze locaties weergegeven. Extreem zout grondwater kan duiden op de indamping van zeewater. Extreem zout grondwater is met name waargenomen op Neeltje Jans (van -14 tot -52 m NAP) en op Walcheren (van -16 tot -36 m NAP).



Figuur 4.6

Locaties met extreem zout
grondwater
(chloride > 20000 mg/l)

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Dit onderzoek heeft geleid tot de volgende conclusies:

1. In het kader van deze kartering is in samenwerking met de Begeleidingscommissie een zo compleet en actueel mogelijke set van basisgegevens samengesteld. Uitgaande van deze set van basisgegevens zijn consistente, provinciedekkende kaartbestanden vervaardigd die op regionale schaal inzicht geven in het zoutgehalte van grondwater.
2. In het inventarisatiegebied blijken over de afgelopen decennia veel bepalingen te zijn gedaan die informatie verschaffen over de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Deze bepalingen betreffen zowel locaties waar het grondwater is bemonsterd als verschillende typen geofysische metingen: boorgatmetingen, elektrische sonderingen, geo-elektrische en elektromagnetische oppervlaktemetingen. In totaal zijn van ruim 6600¹⁰ locaties analyses en/of meetgegevens bekend.
3. Slechts 4% van de geofysische metingen betreft boorgatmetingen en elektrische sonderingen, die een ééndimensionaal beeld geven van het verloop van het chloridegehalte met de diepte. Het overgrote deel, 96%, betreft geo-elektrische en elektromagnetische oppervlaktemetingen. De nauwkeurigheid van dergelijke metingen is beperkt.
4. Interpretatie van een deel van de geo-elektrische en elektromagnetische oppervlaktemetingen bleek in het kader van dit onderzoek niet mogelijk te zijn. Hierdoor is van ca. 82% van de locaties een interpretatie van het chloridegehalte van het grondwater gemaakt.
5. De dataset vormt een compilatie van bestaande gegevens uit verschillende onderzoeksprojecten en meetprogramma's. De ruimtelijke spreiding van de data over het karteergebied is hierdoor niet optimaal.
6. De metingen vormen een momentopname. De afgelopen vijf decennia hebben onder andere de Deltawerken grote veranderingen in het oppervlaktewaterbeheer teweeg gebracht die effecten hebben op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Een deel van de metingen dateert van voor deze ingrepen. In welke mate het zoutgehalte ter plaatse van deze metingen veranderd is, is niet bekend.
7. Er zijn ruim 1500 locaties waar grondwater wordt onttrokken. Informatie over de diepte en het chloridegehalte van het onttrokken grondwater is slechts van een deel van deze onttrekkingen bekend. Op grond van deze gegevens en/of de activiteit in het kader waarvan het grondwater wordt opgepompt, is voor 47% van de onttrekkingen de diepteligging van het brak-zout grensvlak geschat.

¹⁰ Exclusief informatie van grondwateronttrekkingen voor zover deze niet in DINO aanwezig was.

8. Binnen het karteergebied zijn geofysische boorgatmetingen en elektrische sonderingen de enige beschikbare metingen die nauwkeurige informatie verschaffen over de diepte van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone. Vanwege het beperkte aantal van deze metingen kon de diepteligging van het zoet-brak grensvlak slechts op 97 locaties worden geïnterpreteerd. Het merendeel van deze locaties bevindt zich in gebieden met geul- en kreekafzettingen, gebieden waar het brak-zout grensvlak vaak relatief diep ligt.
9. In grote delen van het karteergebied is sprake van een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak. Uitgezonderd elektrische sonderingen verschaften de beschikbare bepalingen geen nauwkeurig inzicht in de diepteligging van het zoet-brak en brak-zout grensvlak indien aanwezig tussen de 0 en 2 m –mv. Hierdoor is het in deze gebieden niet mogelijk om inzicht te krijgen in de dikte van de dunne zoete en brakke zone.
10. De diepteligging van het brak-zout grensvlak wordt op de eilanden gekenmerkt door grote gebieden met een zeer ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak die scherp overgaan in gebieden met een diepere ligging. Vaak is er sprake van een nauwe relatie tussen de diepteligging van het brak-zout grensvlak en begrenzingen van plaat-, geul- en kreekafzettingen. In Zeeuws-Vlaanderen zijn de overgangen in het algemeen veel geleidelijker en komen sterke gradiënten in het diepteverloop weinig voor. De op de eilanden vastgestelde nauwe relatie tussen de diepteligging van het brak-zout grensvlak en de geomorfologie van het gebied lijkt in Zeeuws-Vlaanderen weinig aanwezig te zijn.
11. Uit de aanwezigheid van kreek en geulafzettingen kan niet zondermeer worden geconcludeerd dat het brak-zout grensvlak ter plaatse relatief diep is gelegen. De relatieve hoogteligging is daarbij mede bepalend: kreek en geulafzettingen zijn nog geen kreekkruggen.
12. Door het relatief grote aantal metingen dat een beperkte nauwkeurigheid heeft, de niet optimale ruimtelijke spreiding van de metingen over het projectgebied en de soms grote variatie van de diepteligging over korte afstand, bestaat er op een aantal plaatsen nog onduidelijkheid over het verloop van het brak-zout grensvlak.
13. Een belangrijk aandachtspunt vormt de diepte van het brak-zout grensvlak ter plaatse van een aantal grondwateronttrekkingen. De door de Provincie Zeeland veronderstelde minimumdiepte kan op een deel van de onttrekkingslocaties niet met meetgegevens worden onderbouwd terwijl op grond van de omliggende metingen een ondiepere ligging van het grensvlak moet worden verondersteld.
14. Metingen ontbreken in sommige, veelal smalle, kreekkruggen, waardoor de aanwezigheid van zoetwatervoorkomens daar niet kan worden aangetoond. Vanwege de conservatieve wijze van karteren zijn deze veronderstelde zoetwatervoorkomens niet gekarteerd. In andere kreekkruggen is het kaartbeeld slechts gebaseerd op één of enkele zachte metingen, waardoor er onzekerheid bestaat over de diepteligging van het brak-zout grensvlak alsook over het verloop daarvan in de lengterichting van de kreekrug.

15. Door het geringe aantal metingen waarin de diepteligging van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone kon worden vastgesteld, bestaat er slechts een zeer globaal inzicht in het ruimtelijke verloop van de dikte van de zoete en brakke zone.
16. De in de metingen vastgestelde inversies betreffen voornamelijk voorkomen van brak en/of zoet grondwater onder het brak-zout grensvlak. Op enkele locaties is ook zoet grondwater in de brakke zone waargenomen. De belangrijkste inversies komen voor in het oostelijke deel van het karteergebied.
17. Onder de kleien van de Laagpakketten van Boom en/of Asse kunnen, op basis van de meetgegevens in Zeeuws-Vlaanderen, drie zones met brak tot zoet grondwater worden onderscheiden. Op Zuid-Beveland is één zone met brak water vastgesteld. Buiten deze zones zijn te weinig meetgegevens om het chloridegehalte vlakdekkend in kaart te brengen.
18. Op een aantal plaatsen is sprake van extreem zout grondwater met een chloridegehalte van 20.000 mg/l of meer.
19. Uitgaande van een zo actueel en compleet mogelijke set van basisgegevens zijn op deze wijze voor het eerst provinciedekkende kaartbestanden samengesteld die op regionale schaal inzicht geven in de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Door het grotere aantal beschikbare gegevens vertonen de kaartbestanden in het algemeen meer detail dan de tot op heden beschikbare kaarten. De kaarten geven een goed beeld van gebieden met zoet grondwater en zijn daardoor goed bruikbaar voor beleidsmatig gebruik. Aan de hand van de kaarten kan niet op een specifieke locatie de exacte diepte van het zoet-brak en brak-zoutgrensvlak worden afgelezen.

5.2 Aanbevelingen

Op grond van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Aanvullend onderzoek dikte zoete en brakke zone

In grote delen van het karteergebied is sprake van een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak. In deze gebieden verschaffen de beschikbare gegevens echter slechts een zeer globaal inzicht in de diepteligging van het zoet-brak en brak-zout grensvlak en in de dikte van de dunne zoete en brakke zone. Aanbevolen wordt om hier nader onderzoek naar te doen, rekening houdend met de lokale variatie in diepteligging die op perceelsniveau aanwezig kan zijn.

Digitaliseren analoge geo-elektrische boorgatmetingen

Ten behoeve van het onderzoek naar de dikte van de zoete en brakke zone wordt aanbevolen om alle analoge boorgatmetingen te digitaliseren zodat, voor zover aanwezig, ook het zoet-brak grensvlak en de dikte van de brakke zone in deze metingen kan worden geïnterpreteerd.

Aanvullend onderzoek in aandachtsgebieden

In het kader van dit onderzoek zijn locaties of gebieden vastgesteld waar de interpretatie van de meetgegevens zelf en/of het verloop van het gekarteerde brak-zout grensvlak

onzeker zijn, zie Bijlage B. Aanbevolen wordt om op deze plaatsen aanvullend onderzoek uit voeren. Bijzondere aandacht dient hierbij uit te gaan naar grondwateronttrekkingen waar de veronderstelde diepte van het brak-zout grensvlak niet overeenstemt met de andere gegevens in de directe nabijheid van deze onttrekkingen. Aanbevolen wordt om nadere gegevens te verzamelen van deze onttrekkingen dan wel ter plaatse een nader veldonderzoek te doen naar de diepteligging van het zoet-brak en brak-zout grensvlak.

Aanvullende metingen: Bij voorkeur elektrische sonderingen

Bij het uitvoeren van aanvullende metingen dient rekening te worden gehouden met het beperkte inzicht wat thans bestaat in de diepteligging van het zoet-brak grensvlak en de dikte van de zoete en brakke zone. Bij voorkeur dienen metingen te worden verricht waarin zowel het zoet-brak, als het brak-zout grensvlak nauwkeurig vastgesteld kunnen worden. Elektrische sonderingen verdienen hierbij de voorkeur.

Inventarisatie van relevante basisgegevens van grondwateronttrekkingen

Grondwateronttrekkingen kunnen belangrijke aanvullende informatie verschaffen over de samenstelling van het grondwater. Gegevens van grondwateronttrekkingen zijn thans in beperkte mate beschikbaar in de databank DINO. Aanbevolen wordt om in samenwerking met de Provincie Zeeland een inventarisatie uit te voeren van alle in het Provinciale Grondwaterregister en de bijbehorende dossiers aanwezige informatie die van belang zou kunnen zijn en thans nog niet in DINO aanwezig is. Daarbij valt te denken aan boringen, sonderingen, geo-elektrische oppervlaktemetingen, de inrichting van de putten en analyses van het onttrokken water. In overleg met de betrokken partijen zouden deze gegevens in DINO opgenomen moeten worden.

Inwinnen gegevens van grondwateronttrekkingen in gebieden met weinig meetgegevens

Daar waar in het Grondwaterregister gegevens ontbreken, zouden grondwateronttrekkingen relatief eenvoudig aanvullende informatie kunnen verschaffen over de kwaliteit van het grondwater. Aanbevolen wordt om in die gebieden waar harde meetgegevens ontbreken, grondwateronttrekkende instanties of personen te benaderen en eventuele beschikbare gegevens van de filterdiepte en het chloridegehalte van het grondwater op te vragen. Overwogen zou kunnen worden om pompputten te bemonsteren, of het specifieke elektrische geleidingsvermogen van het opgepompte water te meten.

Sommige winningen lijken op grond van de beschikbare informatie, brak of zoet water te onttrekken aan ondiepe inversies. Nader onderzoek is gewenst om vast te kunnen stellen of er ter plaatse daadwerkelijk sprake is van een inversie. In het oostelijke deel van de provincie valt daarbij te overwegen om eveneens dateringen van het onttrokken grondwater te laten verrichten. Op basis van deze metingen is mogelijk de herkomst van het water vast te stellen. Berekeningen met een regionaal grondwatermodel verschaffen inzicht bij de interpretatie van deze gegevens.

Aanvullende informatie in de vorm van vegetatiekarteringen en de Bodemkaart

Vegetatiekarteringen kunnen mogelijk aanvullende informatie verschaffen over de ruimtelijke verdeling van zoet, brak en zout grondwater nabij maaiveld. Aanbevolen wordt om na te gaan in hoeverre het mogelijk is om de bestaande kaartbeelden op basis van deze informatie te verbeteren. Aanvullende informatie is mogelijk ook bij Alterra aanwezig. Op de Bodemkaart van Nederland 1:50.000, Blad 42 West – 42 Oost Zierikzee, zijn namelijk gebieden aangegeven met zout grondwater aan maaiveld.

Nagegaan zou moeten worden of deze informatie, die niet op de andere kaartbladen staat vermeld, wel bij Alterra bekend is.

Actueel houden van set van basisgegevens

Binnen de gestelde mogelijkheden, is er door alle betrokken partijen naar gestreefd om een zo volledig mogelijke inventarisatie van relevante basisgegevens uit te voeren. De verzamelde gegevens zijn op een systematische wijze verwerkt; ze zijn of komen beschikbaar via de databank DINO. Aanbevolen wordt om met alle relevante partijen afspraken te maken over het toeleveren van recente meetgegevens zodat voor alle geïnteresseerde partijen een zo compleet en actueel mogelijk overzicht van gegevens van de Provincie Zeeland in deze databank aanwezig is.

Afstemming op informatie Belgische grensgebied

In het kader van dit onderzoek zijn geen aanvullende basisgegevens verzameld van het Belgische grensgebied, noch heeft afstemming plaatsgevonden met Belgische onderzoekers en instanties over de mate waarin de vervaardigde kaartbeelden in de grensstreek aansluiten bij hun inzichten. Mede in het licht van de Europese Kaderrichtlijn Water lijkt een dergelijke afstemming gewenst.

6 Literatuurlijst

Fugro. 1998. *Grondonderzoek betreffende geotechnische-/geofysisch onderzoek nabij Goes*, Opdrachtnummer: R-1868. Arnhem, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Fugro. 2002a. *Rapport betreffende geotechnisch grondonderzoek ten behoeve van het primaire grondwatermeetnet Zeeland*, Opdrachtnummer: S-5269. Breda, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Fugro. 2002b. *Rapport betreffende geotechnisch grondonderzoek ten behoeve van het primaire grondwatermeetnet Zeeland*, Opdrachtnummer: S-5289. Hardinxveld-Giessendam, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Geirnaert, W. en J. Vandenberghe. 1988. *Applied geophysics for groundwater exploration and geological mapping*. Amsterdam, Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit.

Haskoning. 2002. *Verziltingsstudie Kanaal Gent-Terneuzen, Eindrapport*. Rotterdam, Royal Haskoning.

Haskoning. 2003. *Voortzetting praktijkproef Kreeverhille, Resultaten geoelectrisch en electromagnetisch onderzoek van het eerste meetjaar (metingen april en augustus 2002)*. Amsterdam, Royal Haskoning.

Haskoning. 2004. *Voortzetting praktijkproef Kreeverhille, Resultaten geoelectrisch en electromagnetisch onderzoek van het tweede meetjaar (metingen mei en september 2003 en januari 2004)*. Amsterdam, Royal Haskoning.

Hemker, C.J. 1988. *Schlumberger and Wenner Analysis V2.01 (computerprogramma)*. Amsterdam, Hemker C.J.

IWACO. 1989a. *Hydrologisch onderzoek kreekruigenstelsel Zuid-Beveland, Fase 1, Deel I Hoofdrapport, Rapport van de Inventariserende Studie*. Boxtel, IWACO.

IWACO. 1989b. *Hydrologisch onderzoek kreekruigenstelsel Zuid-Beveland, Fase 1, Concept Deel II Samenvatting inventarisatie en beschrijving geohydrologisch systeem*. Boxtel, IWACO.

IWACO. 1992a. *Hydrologisch onderzoek kreekruigenstelsel Zuid-Beveland, Fase 2, Aanvullend veldonderzoek en detaillering van de beschrijving van het (geo)hydrologisch systeem*. 's-Hertogenbosch, IWACO.

IWACO. 1992b. *Hydrologisch onderzoek kreekruigenstelsel Zuid-Beveland, Fase 2, Eindrapport*. 's-Hertogenbosch, IWACO.

IWACO. 1992c. *Hydrologisch onderzoek kreekruigenstelsel Zuid-Beveland, Fase 3: Modelleringsstudie, Eindrapport, Deel I: Modelleringsstudie grondwaterstroming Zuid-Beveland met berekeningsresultaten*. 's-Hertogenbosch, IWACO.

IWACO. 1992d. *Geohydrologisch onderzoek Oranjezon (fase 3), Uitvoering veldwerkzaamheden*. 's-Hertogenbosch, IWACO.

IWACO. 1996. *Ecohydrologische systeemanalyse Braakman e.o., Eindrapport*. 's-Hertogenbosch, IWACO.

Keary, P. en M. Brooks. 1991. *An introduction to geophysical exploration, second edition*. Oxford/Boston, Blackwell Scientific Publications.

Lekahena, E.G. en Cornelissen, C.M.L. 1987. *Grondwaterkaart Zeeland, TNO-rapport OS 87-27*. Delft, Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Ludwig, H. en M. Serrão. 1998. *Analyse van het grondwatersysteem in het Schengegebied, Zuid-Beveland, Zeeland*. 's-Hertogenbosch, IWACO.

Martens, K. 1994. *Verspreiding van zout en zoet grondwater in de polders bij Axel (Zeeuwsch-Vlaanderen)*. Gent, Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Faculteit Wetenschappen, Universiteit Gent.

McNeill, J.D. 1980. *Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers, Geonics Limited Technical Note TN-6*. Mississauga, Canada, Geonics Limited.

McNeill, J.D. 1983. *EM34-3 survey interpretation techniques, Geonics Limited Technical Note TN-8*. Mississauga, Canada, Geonics Limited.

Matthijse, M. 1996. *Zoete en zoute grondwatersystemen in Zeeuwsch-Vlaanderen, Onderzoek naar de diepteligging van het zoet-zout grensvlak*. Middelburg, Hogeschool Zeeland.

Overmeeren, R.A. van. 1987. *Elektromagnetisch en geo-elektrisch onderzoek Zeeuws-Vlaanderen, TNO-rapport GF 147*. Delft, Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Overmeeren, R.A. van. 1995. *Gecombineerd elektromagnetisch en geo-elektrisch onderzoek bij het pompstation Haamstede. TNO-rapport OS 95-01B*. Delft, TNO Grondwater en Geo-Energie.

Overmeeren, R.A. van, M.H. Mulder and J.A.C. Meekes. 1991. *Computer aided analysis and interpretation of geophysical data*. Delft, Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Reckman, J.W.T.M. 1987. *Elektromagnetisch en geo-elektrisch onderzoek Schouwen-Duiveland, Sint Philipsland en Goeree-Overflakkee, TNO rapport GF 148*. Delft, Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Rummelen, F.F.F.E. van. 1972. *Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, Blad Walcheren*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Rummelen, F.F.F.E. van. 1978. *Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, Blad Beveland*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Schmidt, C.A., C. Cuypers, W.J. de Lange, J.J.E. van Ormondt en K. van Vliet. 2003. *Nader onderzoek Kanaal door Walcheren, Actuele risico's van verspreiding van verontreinigingen via het grondwater, RIZA rapport 2003.017*. Lelystad, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling.

Senden, W. 1989. *Elektromagnetisch en geo-elektrisch onderzoek Walcheren, Noord- en Zuid-Beveland en Tholen. TNO-rapport GF 149*. Delft, Dienst Grondwaterverkenning TNO.

TNO-IGG. 1992. *Inleiding in geofysische boorgatmeten, een praktische cursus voor grondwater onderzoek*. Delft, TNO Instituut voor Grondwater en Geo-Energie.

Vermoortel, Y. 1993a. *Geohydrologisch studie Canisvlietsche kreek*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Geologisch Instituut, Universiteit Gent.

Vermoortel, Y. 1993b. *Geohydrologisch onderzoek project Waterspil*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Geologisch Instituut, Universiteit Gent.

Vermoortel, Y. 1994. *Grondwateronderzoek diepe zandlagen, Fase I*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Geologisch Instituut, Universiteit Gent.

Vermoortel, Y. 1995. *Geohydrologisch onderzoek Passageule*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Geologisch Instituut, Universiteit Gent.

Vermoortel, Y. en M. Mahauden. 1996. *Grondwateronderzoek diepe zandlagen, Fase II*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Geologisch Instituut, Universiteit Gent.

Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn. 2005. *Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid, Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II, TNO-rapport NITG 05-038-B*. Utrecht, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

A Vervaardigde kaartbestanden

Bestandsnaam	Omschrijving	Type	Datum	Opmerkingen
Cimon.shp	Bemonsteringslocaties met één of meerdere analyses van het chloridegehalte van het grondwater	Shape, point	Mei 2006	situatie 21 april 2004
bgmopt.shp	Locaties van geofysische boorgatmetingen en elektrische sonderingen	Shape, point	Mei 2006	
vesint.shp	Locaties van geïnterpreteerde geo-elektrische oppervlaktmetingen	Shape, point	Mei 2006	
vesnint.shp	Locaties van niet geïnterpreteerde geo-elektrische oppervlaktmetingen	Shape, point	Mei 2006	
em.shp	Locaties van elektromagnetische oppervlaktmetingen	Shape, point	Mei 2006	
onttrekkingen.dbf	Locaties van (voormalige) grondwateronttrekkingen in de provincie Zeeland	DBase	Mei 2006	situatie voorjaar2005
dikbrak.shp	Locaties van metingen met een geïnterpreteerde dikte van de brakke zone	Shape, point	Mei 2006	
top_zout_nap	Diepteligging brak-zout grensvlak t.o.v. NAP	Grid, floating point	Mei 2006	in m.
top_zout_mv	Diepteligging brak-zout grensvlak t.o.v. maaiveld	Grid, floating point	Mei 2006	in m
boomboun.shp	Begrenzing gebied waar brak-zout grensvlak met top van het Laagpakket van Boom samenvalt	Shape, polygon	Mei 2006	
asseboun.shp	Begrenzing gebied waar brak-zout grensvlak met top van het Laagpakket van Asse samenvalt	Shape, polygon	Mei 2006	
aandachtsgebieden_rapport.dbf	Locaties waar onduidelijkheid bestaat over het verloop van het brak-zout grensvlak	DBase	Mei 2006	Zie Bijlage B van het deelrapport voor een toelichting op deze locaties.
thk_brak	Dikte van de brakke zone	Grid, floating point	Mei 2006	in m
top_brak_nap	Diepteligging zoet-brak grensvlak t.o.v. NAP	Grid, floating point	Mei 2006	in m
top_brak_mv	Diepteligging zoet-brak grensvlak t.o.v. maaiveld	Grid, floating point	Mei 2006	in m
invboas.shp	Locaties waar inversies zijn geïnterpreteerd in het ondiepe grondwater boven de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse	Shape, point	Mei 2006	
invboasp.shp	Begrenzing van belangrijke inversies in het ondiepe grondwater boven de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse	Shape, polygon	Mei 2006	
kwboast.shp	Zoutgehalte van het diepe grondwater onder de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse	Shape, point	Mei 2006	
boom.shp	Zuidelijke begrenzing van de klei van het Laagpakket van Boom	Shape, polygon	Mei 2006	
inversies onder Boomse Asse.shp	Begrenzing van belangrijke inversies in het diepe grondwater onder de klei van de Laagpakketten van Boom en/of Asse	Shape, polygon	Mei 2006	
exzout.shp	Locaties met extreem zout grondwater	Shape, point	Mei 2006	

B Aandachtsgebieden

Deze bijlage bevat een toelichting op locaties of gebieden waar de interpretatie van de meetgegevens zelf en/of het gekarteerde brak-zout grensvlak onzeker zijn. De volgorde en nummering van deze locaties is geografisch; als zodanig vormt de nummering dan ook geen prioritering voor nader onderzoek. Voor de ligging van de locaties wordt verwezen naar Figuur 4.1.

1 Duinvoet Schouwen-Duiveland

Er bestaat op Schouwen-Duiveland onzekerheid over de exacte diepteligging van het brak-zout grensvlak langs de westelijke duinrand. De interpretaties van de meeste EM-metingen die net boven de duinvoet zijn gelegen (hoogte variërend van 5 tot 10 m NAP) duiden op een ondiepe ligging van het brak-zout grensvlak tussen 0 en 7 m - mv. De gegevens van waarnemingsput 42DA3037, die tussen de duinvoet en de laagwaterlijn ligt, wijzen echter op een diepere ligging van het brak-zout grensvlak tussen -4.5 en -8.5 m NAP). In dit gebied, waar sprake is van een toplaag met een zeer hoge elektrische weerstand (onverzadigd duinzand), is de onzekerheid in de interpretatie van de EM-metingen groter dan normaal, zie Paragraaf 2.6.1. Om die reden zijn drie EM-metingen in dit gebied geclassificeerd als uitbijter. Aangenomen is dat ter plaatse van de duinvoet (hoogte variërend van 1 tot ca. 3 m NAP) het brak-zout grensvlak op ca. 1 m NAP ligt. Aanvullende metingen in profielen loodrecht op de kust zijn nodig om meer zekerheid te krijgen over de exacte diepteligging van het brak-zout grensvlak en de verbreiding van inversies in deze duin- en strandzone.

2 Ten zuiden van Brouwershaven

Ten zuiden van Brouwershaven ligt het brak-zout grensvlak ter plaatse van waarnemingsput 42FP0011 tussen -6 en -16 m NAP. Dit is opmerkelijk omdat de deklaag ter plaatse van deze waarnemingslocatie uit kleiige plaatafzettingen bestaat terwijl, in tegenstelling tot de verwachting, het brak-zout grensvlak minimaal 2 m dieper ligt dan in het aangrenzende gebied met zandige geulafzettingen (brak-zout grensvlak tussen -2 en -4 m NAP). Op basis van de beschikbare gegevens is geen verklaring gevonden voor het diepere brak-zout grensvlak op deze locatie. Het is echter mogelijk dat het gebied met een diepere ligging van het brak-zout grensvlak een grotere verbreiding heeft dan thans is aangegeven en zich tot in de geulafzettingen uitstrekt.

3, 4 Inversies op Schouwen-Duiveland en Sint Philipsland?

In het oostelijke deel van Schouwen-Duiveland en op Sint Philipsland is het brak-zout grensvlak ondiep geïnterpreteerd. De ondiepe ligging van het grensvlak in deze gebieden wijkt af van eerdere karteringen beschreven door Reckman, 1987, en Lekahena en Cornelissen, 1987, waar een diepere ligging van het grensvlak werd verondersteld. Vanwege een redelijk dikke toplaag (0 tot ca. 7 m - mv) met lage elektrische weerstanden in de EM- en VES-metingen, zijn in deze gebieden de dieper gelegen hogere weerstandslagen geïnterpreteerd als zoet- of brak water inversies. Aanvullende metingen zijn op beide locaties nodig voor een definitieve interpretatie (brak/zoet grondwater onder klei of onder zout grondwater).

5 Oeverzone Krammer-Volkerak

De Krammer en het Volkerak zijn na de aanleg van de Philipsdam en de Oesterdam in 1987 binnen enkele maanden verzoet. Alle metingen waarop het brak-zout grensvlak is gebaseerd en die gelegen zijn vlak langs de Krammer en het Volkerak dateren echter van voor 1987. Het is aannemelijk dat deze verzoeting het verloop van het brak-zout grensvlak rond het Volkerakmeer heeft beïnvloed. Door het ontbreken van recente

meetgegevens is niet duidelijk in welke mate de actuele situatie afwijkt van het gekarteerde beeld.

6, 7 Nabij Sint Annaland en Sint Maartensdijk

Op Tholen liggen ten zuidwesten van Sint Annaland en ten noorden van Sint Maartensdijk, in gebieden met plaatafzettingen, een aantal metingen waar een diep brak-zout grensvlak in is geïnterpreteerd. Op grond van deze metingen zijn gebieden met een relatief diepe ligging van het brak-zout grensvlak gekarteerd. De begrenzingen van deze gebieden is echter door het beperkte aantal metingen onzeker.

8 Kreekrug tussen Poortvliet en Tholen

De gekarteerde relatief diepe ligging (ca.-10 m NAP) van het brak-zout grensvlak in een kreekopvulling tussen Poortvliet en Tholen is onzeker omdat deze interpretatie slechts gebaseerd is op één EM-meting.

9 Vossemeerpolder

In een kreekrug in de Vossemeerpolder wordt, op basis van meetgegevens van een onttrekkingslocatie, een relatief diepe ligging van het brak-zout grensvlak (ca. -20 m NAP) verondersteld. Dit wijkt af van de directe omgeving waar het brak-zout grensvlak ondiep ligt (ca.-2 m NAP) in combinatie met een inversie van zoet water.

10 Brabantse Wal

Ter hoogte van de Brabantse Wal is sprake van een scherpe overgang naar een gebied met een zeer diepe ligging van het brak-zout grensvlak. De ligging van deze overgangszone is iets verder (0.5 tot 2 km) naar het oosten gekarteerd dan aangegeven in de kaart van Reckman, 1987. Dit heeft enerzijds te maken met het feit dat sommige meetpunten, die eerder zijn geïnterpreteerd als locaties met een diep brak-zout grensvlak, nu als inversies (zoet onder zout grondwater) zijn geïnterpreteerd. Daarnaast zijn thans meer meetpunten beschikbaar.

11 Markiezaatsmeer

Op basis van ongeveer 10 VES-metingen uit het begin van de jaren '60 en het eind van de jaren '70 zou het brak-zout grensvlak in het grootste deel van het Markiezaatsmeer nabij maaiveld liggen. Deze metingen dateren echter van voor de aanleg van de Markiezaatskade in 1983. Sindsdien is het Markiezaatsmeer verzoet. Het op de oude VES-metingen gebaseerde kaartbeeld geeft daardoor niet de actuele situatie weer. Om die reden is het brak-zout grensvlak in dit gebied niet aangegeven.

12 Kreekrug Reimerswaal

Net ten oosten van het Kanaal door Zuid-Beveland ligt ter hoogte van Reimerswaal een brede kreekrug waarin een diepe ligging van het brak-zout grensvlak is gekarteerd (maximale diepte ca.-22 m NAP). Het bestaan en de omvang van dit gebied is echter onzeker omdat deze interpretatie slechts gebaseerd is op twee 'zachte' EM-metingen. Aanvullende metingen zijn in dit gebied wenselijk.

13 Eversdijk

Bij Eversdijk ligt een tuinbouwoonttrekking met een filter tussen -6 en -8 m NAP. Van deze onttrekking is geen analyse van het grondwater bekend. De Provincie Zeeland veronderstelt dat het brak-zout grensvlak ter plaatse op ongeveer -10 m NAP ligt. De onttrekking ligt echter in een gebied met plaatafzettingen, op ongeveer 1 km van de Westerschelde, waar het grensvlak thans op -2 m NAP is geïnterpreteerd. Nader

onderzoek is nodig voordat het brak-zout grensvlak op deze plek dieper gelegd kan worden dan de huidige -2 m NAP. Op basis van dit onderzoek zou tevens vastgesteld kunnen worden of, indien aanwezig, het zoete grondwater ter plaatse van deze onttrekking in verbinding staat met de ten noorden daarvan gelegen zoetwaterlens.

14, 15 Ten zuiden van Nieuwdorp

Ten zuiden van Nieuwdorp zijn in een gebied met kreekruigen zes onttrekkingen aanwezig met filterdiepten rond -4 m NAP waarvan, gebaseerd op grondwateranalyses, het onttrokken grondwater zoet en brak is. De Provincie Zeeland veronderstelt dat het brak-zout grensvlak op ongeveer -14 m NAP ligt. Ten oosten van Nieuwdorp ligt het brak-zout grensvlak echter relatief ondiep op ca.-5 m NAP. Daarbuiten is het brak-zout grensvlak nu gekarteerd op ongeveer -9 m NAP. Aanvullende metingen zijn in het gebied nodig om vast te stellen of het brak-zout grensvlak hier toch dieper ligt zoals op grond van de zachte onttrekkingsgegevens vermoed wordt.

16 Lewedorp, 18 oever Veerse Meer

Op grond van onttrekkingen die duiden op een brak-zout grensvlak dat dieper ligt dan -6 m NAP, is de interpretatie van de ondiepste filters (ca.-1 m NAP) van de waarnemingslocaties 48EP0026 (Lewedorp) en 48BP0157 (oever Veerse Meer) bijgesteld van zout naar zoet/brak. Dit wordt verantwoord geacht omdat bij beide filters het berekende gemiddelde chloridegehalte van het grondwater wordt beïnvloed door slechts één zout monster, in een reeks van zoete en brakke monsters, waardoor de locatie aanvankelijk als zout wordt geïnterpreteerd.

17 Wolphaartsdijk

Wolphaartsdijk ligt aan de rand van een brede kreekrug met een groot zoetwatervoorkomen. In dit gebied zijn drie onttrekkingen aanwezig (filter op ca.-4 m NAP) waarvoor de Provincie Zeeland heeft aangegeven dat het brak-zout grensvlak ter plaatse op minstens -14 m NAP ligt. De metingen in dit gebied (VES, EM en 1 CPT) wijzen er echter op dat het brak-zout grensvlak naar de rand van de kreekrug toe ondieper ligt, variërend van -1 tot -7 m NAP. De drie onttrekkingen vormen een te zachte gegevensbron om de diepteligging van het brak-zout grensvlak aan te passen. Echter, de dichtheid van de metingen is laag en de VES-metingen zijn bijna 50 jaar oud. Om het verloop van het brak-zout grensvlak naar de rand van de kreekrug toe goed te kunnen karteren zijn aanvullende metingen, bijvoorbeeld een profiel met een aantal elektrische sonderingen, noodzakelijk.

18 oever Veerse Meer

Zie 16 Lewedorp.

19 Industriegebied Vlissingen-Oost

In het industriegebied Vlissingen-Oost ligt het gekarteerde brak-zout grensvlak op ca. 1 m NAP. Deze diepteligging is gebaseerd op 2 VES-metingen uit 1961. Mogelijk heeft zich echter in het opgespoten zand in dit gebied een zoetwater lens ontwikkeld waardoor het brak-zout grensvlak dieper is komen te liggen. Om dit met zekerheid vast te stellen zijn recente meetdata nodig.

20 Kanaal door Walcheren

In boorgatmeting 48B175 die vlak langs (<50 m) het Kanaal door Walcheren is uitgevoerd, daalt de elektrische weerstand pas naar zoute waarden (van ca.75 naar <5 Ω m) vanaf -8.8 m NAP en dieper. Het kanaal zelf bevat zout water met een

chloridegehalte dat hoger is dan 2000 mg/l (Schmidt et al., 2003). Zeer waarschijnlijk heeft de hoge elektrische weerstand in de boorgatmeting tot -8.8 m NAP een technische oorzaak waarvoor tijdens de boorgatmeting niet/onvoldoende gecorrigeerd is. Bij de brak-zout kartering is deze boorgatmeting gedefinieerd als een uitbijter en derhalve niet in het kaartbeeld verwerkt.

21 Kreekrug bij Veere

Het diepere verloop van het brak-zout grensvlak in de kreekrug bij Veere is gekarteerd op basis van slechts één EM-meting. Nader veldonderzoek is nodig om het verloop van het brak-zout grensvlak in deze relatief smalle kreekrug te kunnen vaststellen.

22 Kreekrug bij Serooskerke

Vanwege het ontbreken van meetgegevens bestaat er onzekerheid omtrent het verloop van het brak-zout grensvlak in het noordelijke deel van de kreekrug bij Serooskerke. Het is mogelijk dat het zoet- en brakwater voorkomen (tot ca. -15 m NAP diep) in deze kreek aansluit bij het diepe brak-zout grensvlak in het duingebied van Oranjezon. Er zijn echter aanvullende veldmetingen nodig om de eventuele aansluiting met zekerheid in kaart te kunnen brengen.

23 Binnenduinrand Oranjezon

In de binnenduinrand nabij Oranjezon zijn de geofysische gegevens en de analysegegevens van waarnemingsput 42DP0501 tegenstrijdig met elkaar. Op basis van de boorgatmeting wordt het brak-zout grensvlak op -18.6 m NAP geïnterpreteerd, op grond van de analyses van het grondwater uit de vier filters zou het grondwater zout zijn vanaf 1 m NAP. Vooralsnog is de diepteligging van het brak-zout grensvlak gebaseerd op de analysegegevens, die het hardst zijn. Deze locatie vormt daardoor echter wel een anomalie in het kaartbeeld, die niet goed kan worden verklaard. Nader onderzoek naar de herkomst en betrouwbaarheid van deze gegevens is gewenst.

24 Duingebied Oranjezon

Voor het duingebied rond Oranjezon is een kaart vervaardigd met de diepteligging van het 'zoet-brak' grensvlak, zie IWACO, 1992d. Dit grensvlak is gelegd bij een chloridegehalte van 1000 mg/l, hetgeen overeenkomt met de in deze studie gehanteerde grenswaarde van het brak-zout grensvlak. De kaart is ten dele gebaseerd op gegevens (analyses en VES-metingen) die niet in de database DINO aanwezig zijn en die ook niet in het kader van de inventarisatiefase van voorliggend onderzoek konden worden achterhaald. Door het ontbreken van de meetgegevens kon niet worden beoordeeld in hoeverre de interpretaties consistent zijn met bij dit onderzoek gevolgde werkwijze. De kaart en de daarin vermelde, geïnterpreteerde gegevens, zijn samen met aanvullende gegevens, zoals EM-metingen, gebruikt bij de interpretatie van het verloop van het brak-zout grensvlak in dit gebied.

25 Duinvoet langs noordwestkust Walcheren

Ook op Walcheren bestaat er onzekerheid over het verloop van het brak-zout grensvlak in de buitenduinrand. In tegenstelling tot Schouwen-Duiveland zijn in dit gebied (lager dan ca. 10 m NAP) echter geen meetpunten aanwezig. Bij gebrek aan gegevens is het brak-zout grensvlak zodanig gekarteerd dat sprake is van een geleidelijk naar het maaiveld oplopend grensvlak in het gebied tussen de duinvoet en de laagwaterlijn.

26 Westkapelle

De ligging van het brak-zout grensvlak nabij de westpunt van Walcheren, tussen Westkapelle en Domburg, is onzeker omdat er weinig metingen in dit gebied aanwezig zijn. De bestaande gegevens wijzen op een geleidelijk omhoog komen van het brak-zout grensvlak. Dit zou verklaard kunnen worden door een depressie die daar in het terrein aanwezig is. Het is echter onduidelijk tot hoever het brak-zout grensvlak hier daadwerkelijk omhoog komt. Vooralsnog is ter hoogte van de Westkapelse Zeedijk, waar voorheen duinen aanwezig zijn geweest, geen zoetwater lens geïnterpreteerd.

27, 28, 29 Duingebied tussen Westkapelle en Vlissingen

Er zijn nagenoeg geen metingen in smalle hoge duinenrij tussen Westkapelle en Vlissingen. Hierdoor is het verloop van het brak-zout grensvlak in dit gebied slecht karteerbaar. Twee EM-metingen duiden op de aanwezigheid van een zoetwater lens in de duinen ten zuidoosten van Westkapelle. Er zijn echter te weinig gegevens beschikbaar om deze zoetwater lens aan te laten sluiten op de zoetwater lens in de duinen bij Zoutelande. Tussen Dishoek en Zoutelande lijkt er zoet water aanwezig te zijn onder de strandvlakte (kwel vanuit de duinen). Het is echter onduidelijk hoe het zoet-zout grensvlak daar gelegen is. Mogelijk is er sprake van een inversie waarbij de Holocene kleien en venen als stagnerende laag werken.

30 Gebied ten zuiden van Biggekerke

De metingen tussen Biggekerke en de ten zuiden daarvan gelegen duinen duiden op een diep brak-zout grensvlak in dit gebied (-18 m NAP of dieper). De metingen laten echter een lage weerstandstoplaag zien (0 tot ca. -4 m -mv). Deze top laag is geïnterpreteerd als klei, en niet als zout, omdat volgens het hydrogeologische model van het Holoceen van REGIS de top laag kleiig is.

31 Cadzand-Bad

In het duingebied nabij Cadzand-Bad zijn, voor zover bekend, alleen enkele EM-metingen uitgevoerd. EM-metingen zijn, zeker als er geen andere type metingen in de buurt zijn uitgevoerd, maar zeer beperkt bruikbaar voor het schatten van de diepte van het brak-zout grensvlak, zie Paragraaf 2.6. De EM-metingen in dit gebied vallen, voor de in dit rapport gebruikte interpretatiemethode, in klasse 8: niet eenduidig classificeerbare metingen. Matthijse. 1996, heeft minder conservatief gekarteerd en verondersteld op basis van deze EM metingen een kleine zoetwaterbel in dit gebied. Aanvullende metingen, bijvoorbeeld VES-metingen of elektrische sonderingen, zijn nodig om met zekerheid vast te stellen of de zoetwaterbel hier wel of niet aanwezig is.

32 Grensgebied

De buiten het karteergebied gelegen VES-metingen van de Universiteit Gent konden niet bij de ruimtelijke interpretatie worden meegenomen. Conversie naar NAP-hoogten van deze metingen was door het ontbreken van een digitale maaiveldshoogtekaart van dit gebied, niet op eenvoudige wijze mogelijk. Vanwege het beperkte aantal meetpunten in Belgisch Vlaanderen is de nauwkeurigheid van het gekarteerde brak-zout grensvlak nabij de zuidelijke grens van het karteergebied daardoor lager.

33 Braakman Polder

In de Braakman Polder zijn twee VES-metingen op minder dan 50 m van elkaar uitgevoerd (54B10 en 54B13). De geïnterpreteerde diepten van het brak-zout grensvlak verschillen echter sterk, -1 m NAP en -10 m NAP. In de kaart is het brak-zout grensvlak op deze locatie rond -5 m NAP gelegd.

34 Oevers Braakmankreek

Het water van de Braakmankreek is volgens IWACO, 1996, brak/zout (EC tussen 4000 en 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Vlak bij deze kreek zijn enkele EM-metingen uitgevoerd die duiden op een diep brak-zout grensvlak. Deze metingen passen niet in het verwachtingsbeeld gezien het brakke oppervlaktewater en sluiten niet aan bij de meeste andere metingen in de omgeving, waar een ondiep brak-zout grensvlak is vastgesteld. Deze EM-metingen zijn vooralsnog geassocieerd als uitbijter. Een verklaring voor dit fenomeen is echter niet gevonden.

35 Vogelwaarde

Van het gebied rond Vogelwaarde zijn relatief weinig meetgegevens beschikbaar. Naast de meetgegevens zelf, is in dit gebied secundaire informatie, te weten de maaiveldshoogte en de weerstand van de deklaag, sturend geweest bij het karteren van de diepteligging van het brak-zout grensvlak.

36 Perkpolder

In de Perkpolder liggen twee onttrekkingen die duiden op een brak-zout grensvlak dat op ongeveer -10 m NAP ligt. Op basis van deze onttrekkingen is het brak-zout grensvlak hier ook op deze diepte gekarteerd. Er zijn echter te weinig meetpunten om te bepalen of, en zo ja waar, deze zoet/brakwater lens in verbinding staat met de grote zoet/brakwater lens ten westen van deze onttrekkingen.

37 Groot-Kieldrecht polder

In de Groot-Kieldrecht polder, ten oosten van Hulst, liggen drie onttrekkingen met filters op ca. -4 m NAP. Van deze onttrekkingen zijn geen grondwateranalyses beschikbaar. De Provincie Zeeland veronderstelt dat het brak-zout grensvlak hier op minstens -14 m NAP ligt. De omliggende metingen (VES en EM) duiden echter op een brak-zout grensvlak van -12 m NAP. De onttrekkingsgegevens worden te zacht geacht om lokaal een dieper verloop van het brak-zout grensvlak te karteren.

38 Noord van Prosperdorp

In het oosten van Zeeuws-Vlaanderen ligt ten noorden van Prosperdorp het brak-zout grensvlak volgens Matthijse, 1996, diep. Deze diepe ligging is echter in tegenspraak met de metingen, o.a. boorgatmeting 55B0011. Het huidige kaartbeeld wijkt daarom in dit gebied af met de kaart van Matthijse, 1996.