

Princetonlaan 6
Postbus 800015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 256 44 70
F 030 256 44 75
Info-BenO@tno.nl

TNO-rapport

2006-U-R0080/A

**Monitoring zoutwaterintrusie naar aanleiding
van de Kaderrichtlijn Water “verzilting door
zoutwaterintrusie en chloridevervuiling”**

Datum	2 juni 2006
Auteur(s)	Roelof Stuurman, Gualbert Oude Essink m.m.v. Hans Peter Broers, Bas van der Grift
Opdrachtgever	VROM
Projectnummer	005.35150
Aantal pagina's	84 (incl. bijlagen)
Goedgekeurd door	Hans Gehrels

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

Doelstelling en uitvoering

Het doel van het onderzoek betrof het bepalen van de uitgangspunten waaraan een toekomstig grondwatermonitoringsprogramma “zoutwaterintrusie” moet voldoen en rekening houdende met:

- de uitgangspunten van de huidige monitoringsprogramma's
- de KRW-vereisten
- de begrenzingssystematiek van grondwaterlichamen.

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn interviews en een workshop uitgevoerd met grondwaterbeheerders en andere belanghebbenden, is de KRW bestudeerd, zijn gebiedsspecifieke zout-zout processen geïnventariseerd, is de zoet-zout overgang in Nederland in kaart gebracht en zijn alle beschikbare methoden en meetpunten geïnventariseerd.

Inperking

Verzilting (salinisation) kan het gevolg zijn van:

1. **chloridevervuiling:** Bij vervuiling worden normen overschreden doordat door menselijk handelen het oppervlak is belast met chloridezouten,
2. **zoutwaterintrusie:** Bij de zoutwaterintrusie is sprake van zout (grond-)water van een natuurlijke herkomst (zeewater, formatiewater) dat door hoofdzakelijk menselijk handelen zoet grondwater verdringt.

Chloridevervuiling wordt meegenomen in de reguliere KRW-monitoring van de grondwaterkwaliteit. Monitoring ‘zoutwaterintrusie’ is in dit rapport uitgewerkt.

Classificatie van grondwatersituaties met verzilting

Op basis van een uitgebreide gebieds- en systeemgerichte inventarisatie van zoet-zout processen is het mogelijk de volgende verziltingssituaties te onderscheiden.

Proces	Oorzaak	Voorbeeld
1. Onomkeerbare menselijke ingreep (in stijghoogteveld) uit het verleden	<i>Polderaanleg</i>	Haarlemmermeerpolder, Beemster, Purmer, Wormer, Schermer,
	<i>Grondwaterstandsverlaging tijdens afgraving van zand, veen of klei</i>	Rijnland Polders tussen duingebied Zandvoort en Haarlemmermeerpolder
2. Onomkeerbare menselijke ingreep (in chemische facies) uit het verleden	<i>Een historische activiteit heeft zout water zodanig verplaatst dat herstel na stopzetting van de ingreep niet op kan treden</i>	DSH-Gist in Delft
3. (Nog) actieve onomkeerbare menselijke ingreep	<i>Maaiveldddaling gas- en zoutwinning</i>	Barradeel II (Friesland)
	<i>Maaiveldddaling door peilbeleid</i>	Veenwiedegebied Zuid-Holland
	<i>opbarsting</i>	Schiphollijn
4. (Nog) actieve omkeerbare menselijke ingreep	<i>Grondwaterwinning (herstel duurt echter in de orde van 10 x zo lang als ontstaan van de verzilting)</i>	Grondwateronttrekkingen in de Hollandse duinen

Proces	Oorzaak	Voorbeeld
	<i>Omkering grondwaterstroming</i>	Roerdalslenk
5. Historische natuurlijke oorzaak	<i>Verzilting vanuit afgesloten zeearmen, estuaria of rivieren</i>	IJsselmeer, Hollandsch Diep
6. Actieve (semi-) natuurlijke oorzaak	<i>Landinwaarts oprukkende zee door zeespiegelstijging (ontstaan sluffers)</i>	Sluffers
	<i>Landinwaarts oprukkende zoutwatertong in (infiltrerende) open rivierarmen</i>	Nieuwe Waterweg
7. Combinaties	<i>Verzilting (infiltrerende) boezemwater door polderuitwatering of wateraanvoer</i>	Vecht, Boezem van Rijnland
	<i>Verzilting (infiltrerende) kanalen door sluislekkage</i>	Noordzeekanaal
	<i>Andere combinaties</i>	

Bovenstaande situaties kunnen vervolgens worden onderverdeeld naar:

a. In evenwicht	<i>Zal alleen voor kleine systemen gelden, o.a. langs dijken en kleine kreekkruggen</i>
b. Niet in evenwicht, uitbreidend	<i>Veel voorkomend, droogmakerijen</i>
c. Niet in evenwicht, uitbreidend/aan de bron verzoetend	<i>Aan de randen (diepe) polders, IJsselmeer, Hollandsch Diep, Krammer-Volkerak</i>
d. Niet in evenwicht, herstellend	<i>Gesloten of afgenomen grondwaterwinningen (o.a. duinen)</i>

Huidige meetpraktijk

De huidige meetpraktijk op landelijke en provincie schaal is zeer beperkt. Sinds kort zijn wel verschillende initiatieven genomen. Dit geldt niet voor de 'kleine grondwaterlichamen'. Hier vindt continu monitoring plaats van: (1) ruw water, (2) monsters uit diepe stijghoogtebuizen en op veel plaatsen (3) zoutwachters. De gegevens worden echter hoofdzakelijk voor operationeel beheer gebruikt. Langjarige monitoring in relatie tot verzilting vindt nauwelijks plaats. Opmerkelijk is dat er zich in Nederland veel zoutwachters bevinden maar dat veel meetpunten niet of nauwelijks worden gebruikt en dat de wel gemeten data nauwelijks beschikbaar is.

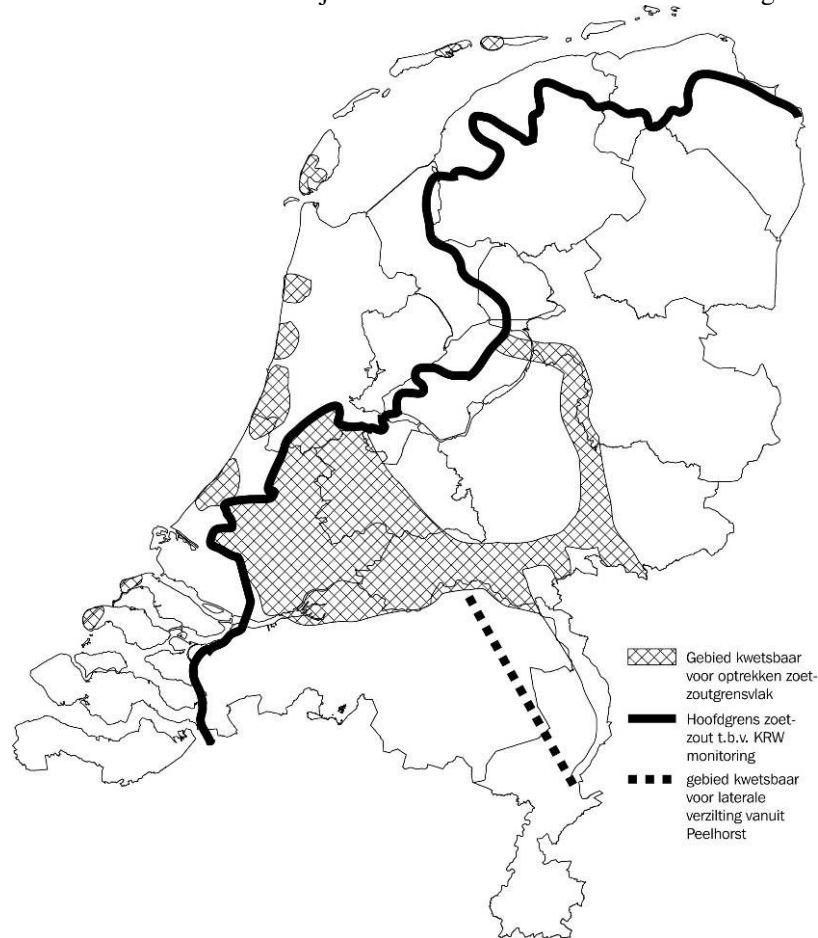
Beleidsaanbevelingen

Harde aanbevelingen

- maak een duidelijke beleidskeuze voor één van de twee volgende opties, te weten:
 1. Een goede onderbouwing van de totstandkoming van de huidige zoet-zout verdeling in Nederland en de verwachte verschuivingen daarin als gevolg van deels historische ontwikkelingen, op basis van bestaande wetenschappelijke inzichten, zonder dit te ondersteunen met een monitoringsnetwerk. Het risico is dat de EU hier op termijn geen genoegen mee neemt en zelf initiatief neemt voor gewenste vorm van monitoring.
 2. Dezelfde goede onderbouwing, ondersteund met een monitoringsnetwerk dat zich richt op het aantonen van het feit dat de hoofdgrens tussen zoet en zout grondwater niet noemenswaardig verschuift (**zie kaart 1**). Het risico

dat de EU geen genoegen neemt met dit resultaat is veel kleiner dan onder (1), maar de kosten zijn hoger.

3. Tref voorbereidingen voor eventueel in een later stadium te leveren informatie over verschuivingen van het zoet-zout grensvlak in andere delen van Nederland waar het grensvlak relatief ondiep ligt of kwetsbaar lijkt voor opkegelen van zout water rond winningen. Maak daartoe afspraken over dataverzameling en opslag met provincies, waterleidingbedrijven en andere meetnetbeheerders, en richt de monitoring bij voorkeur op individuele pompputten en zoutwachters. Als de EU over 10 jaar om nadere informatie vraagt, ligt de benodigde informatie klaar in de vorm van tijdreeksen van de zoet-zout ontwikkeling.



Kaart 1: Concept voor de opzet van een meetprogramma zoutwaterintrusie, volgens optie 2 uit de aanbevelingen. KRW monitoring richt zich in eerste instantie op de hoofdgrens uit de figuur; de resultaten hiervan worden voor de KRW rapportages gebruikt. In kwetsbare gebieden wordt daarnaast gericht gemeten om informatie beschikbaar te hebben als de EU daar op termijn om zou vragen.

Zachte aanbevelingen:

- Maak in het westen en noorden van Nederland onderscheid tussen grondwaterlichamen met vrijwel uitsluitend zoet water, en grondwaterlichamen waar zout, brak en zoet water naast elkaar voorkomen. In grote gebieden is de afwisseling van zoet, brak en zout water door de hydrogeologische situatie zo gecompliceerd, dat het afbakenen de grenzen op de schaal van de KRW rapportages niet zinvol is.
- Stel aparte drempelwaarden op voor de grondwaterlichamen met zoet water, en de grondwaterlichamen met zoet-brak-zout water.

- Beperk de KRW monitoring tot de regionale hoofdgrens tussen zoet en zout water, en gebruik monitoren van verschuivingen binnen de zoet-brak-zout grondwaterlichamen voor de eigen informatiebehoefte.

Proces aanbevelingen:

- Verbeter de ontsluiting van informatie over de ligging en verschuivingen in het zoet-zout grensvlak, bij voorkeur door centrale opslag van gegevens van provincies, waterleidingbedrijven, etc.

Onderbouwing beleidsaanbevelingen

Al of niet monitoren van zoutwaterintrusie

Zoals uit de technische analyse uit het onderhavige rapport blijkt speelt zoutwaterintrusie op verschillende schaalniveaus en als resultaat van zowel historische als recente processen. Vanuit Europees oogpunt bezien is de Nederlandse verdeling van zout en zoet water uniek, en zal Nederland de EU duidelijk moeten maken dat de Nederlandse situatie afwijkt van de gemiddelde situatie in Europa. Een goede onderbouwing van de totstandkoming van de Nederlandse zoet-zout water verdeling is dus belangrijk voor de Nederlandse KRW rapportages. Die onderbouwing zou zich onder andere moeten richten op het deels historische karakter van de zoutwaterverplaatsing, waarbij de langzame verplaatsing van zout water nog samenhangt met inpolderingen in het verleden.

Voor een onderbouwing hiervan beschikken we over verschillende rapportages en wetenschappelijke literatuur, zoals proefschriften en artikelen. Ook beschikken we binnen Nederland over de expertise om de veranderingen in het zoet-zout grensvlak te kunnen berekenen en te voorspellen. Voor diverse gebieden zijn zoet-zout verplaatsingsmodellen beschikbaar, zij het niet landsdekkend. Voor het schaalniveau waarop de EU zich naar verwachting zal richten is het vooral van belang om te benadrukken dat de 'hoofdgrens' tussen zoet en zout grondwater in Nederland dermate constant is dat de omvang van de zoete grondwatervoorraad niet wordt aangetast.

Naast het ondiep voorkomen van zout en brak water in het westelijke en noordelijke kustgebied, zijn er in Nederland nog andere gebieden waar het brakke en zoute grondwater relatief ondiep voorkomt en waar de kans op het optrekken van het zoet-zout grensvlak groot is. Het gaat daarbij om de gebieden rond de grote rivieren Maas, Rijn en IJssel, waar de regionaal opwaartse stroming tot het op natuurlijke wijze optrekken van het grensvlak heeft geleid, en voor de duingebieden. Deze gebieden zijn met arcering op Kaart 1 weergegeven. Deze gebieden zijn relatief kwetsbaar voor het opkegelen van zout water rond winningen, en bij een groot aantal winningen is in meer of mindere mate sprake van enige vorm van verzilting. Op dit moment wordt dit niet systematisch bijgehouden.

Aanbevolen wordt om deze problematiek is eerste instantie niet prominent op te nemen in de KRW rapportages, maar wel de benodigde informatie te verzamelen over verschuivingen van het zoet-zout grensvlak in deze gebieden en rond winningen in deze gebieden. Daarbij wordt aanbevolen om de meetgegevens uit individuele pompputten te registreren. De benodigde informatie is namelijk zelden uit kwaliteitsanalyse van het ruw water af te leiden, omdat de onttrekking uit verziltende putten wordt verminderd of stopgezet om verdere verzilting te voorkomen. Aanbevolen wordt om met provincies, waterleidingbedrijven en andere meetnetbeheerders afspraken te maken over dataverzameling en opslag. Als de EU over 10 jaar om nadere informatie vraagt, ligt de benodigde informatie klaar in de vorm van tijdreeksen van de zoet-zout ontwikkeling.

Afbakening op basis van zoet-zout grenzen

Zoals uit de in dit rapport gepresenteerde zoet-zout kaart blijkt is de zoet-zout verdeling in vooral westelijk Nederland complex met zoet en zout grondwater op korte horizontale afstand van elkaar. Dit complexe patroon wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van oude intrusiegebieden in de ondergrond, en door de huidige hydrologische situatie met infiltratie in hoger gelegen polders en boezemwater en kwel in de diepe polders en droogmakerijen. Uit eerdere studies (bijv. Passier en Broers, 2004, Fraters et al 2001) is al gebleken dat in het brakke en zoute grondwater andere achtergrondconcentraties voorkomen voor een aantal belangrijke stoffen waaronder fosfaat, ammonium en barium. Om die reden lijkt het nuttig om bij het begrenzen van grondwaterlichamen rekening te houden met de zoet-zout verdeling. In grote gebieden is de afwisseling van zoet, brak en zout water door de hydrogeologische situatie zo gecompliceerd, dat het afbakenen de grenzen op de schaal van de KRW rapportages echter niet zinvol is.

Daarom wordt aanbevolen om in het westen en noorden van Nederland onderscheid te maken tussen grondwaterlichamen met vrijwel uitsluitend *zoet water*, en grondwaterlichamen waarin *zout, brak en zoet water* naast elkaar voorkomen. Een dergelijke indeling is in het stroomgebied Rijn-West reeds voorgesteld voor het monitoringsprogramma (de grondwaterlichamen 5a en 5b). Vervolgens kunnen voor een aantal relevante stoffen aparte drempelwaarden worden opgesteld voor de grondwaterlichamen met zoet water, en de grondwaterlichamen met zoet-brak-zout water. Monitoring van de zoet-brak-zout grenzen binnen het heterogene 'grondwaterlichaam met zoet-brak-zout water' is dan voor de KRW waarschijnlijk niet zinvol, maar is wel nuttig voor het waterbeheer binnen de regio en kan dus worden ingevuld voor de eigen informatiebehoefte. Voor de KRW kan de monitoring zich dan beperken tot de regionale hoofdgrens tussen het zoete en zoute water.

Dataopslag en -beheer

Uit de studie is gebleken dat informatie over het zoet-zout grensvlak niet op systematische wijze per provincie of landelijk wordt bijgehouden. Gegevens van zoutwachters bijvoorbeeld worden niet in een centrale database opgeslagen. Aanbevolen wordt om de ontsluiting van informatie over de ligging en verschuivingen in het zoet-zout grensvlak te verbeteren, bij voorkeur door centrale opslag van gegevens in een landelijke database.

Inhoudsopgave

	Samenvatting.....	3
1	Inleiding.....	11
1.1	Doelstelling van het project	11
1.2	Activiteiten	11
2	Interpretatie van de KRW	13
2.1	Gedachten bij de KRW in relatie tot monitoring zoutwaterintrusie.....	13
2.2	Gedachten bij de grondwaterrichtlijn.....	15
2.3	Conclusies.....	15
3	Verziltig: zoutwaterintrusie of chloridevervuiling?	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Bronnen voor verziltig	18
3.3	Processen die van invloed zijn op de beweging van zoet-zout overgangen.....	19
4	Chloridevervuiling	21
4.1	Historische en huidige chloride belasting aan maaiveld	21
4.2	Chloride concentratie in het grondwater	22
4.3	Conclusies.....	25
5	Kartering van de zoet-zout overgang in Nederland.....	27
5.1	Uitvoering	27
5.2	Beschrijving	27
5.3	Conclusie	29
6	Gebieds- en systeemgerichte beschrijving van de zoet-zout processen	31
6.1	Inleiding	31
6.2	De snelheid van verzilt en verzoeten.....	32
6.3	Snelheid van verzilt in de Provincie Zuid-Holland: een voorbeeld	34
6.4	Het effect van een zeespiegelstijging.....	35
6.5	Zoetwaterlenzen in duingebieden	36
6.6	Verziltig in droogmakerijen	39
6.7	Flevopolders	50
6.8	IJsselmeergebied	50
6.9	Noord-Nederland	51
6.10	Waddeneilanden.....	53
6.11	Zeeland	53
6.12	Het rivierengebied.....	54
6.13	Het Pleistocene zandgebied	54
6.14	Langs de Peelrandbreuk.....	55
6.15	Het Zeelandse grondwater onder de Klei van Boom	57
6.16	Classificatie van verzilte grondwatersituaties.....	58
7	Regenwaterlenzen	59
8	Verziltigbedreiging voor ecologie en oppervlaktewater	61
8.1	Inleiding	61

8.2	Verzoeting als probleem	61
8.3	Verziltig als probleem.....	61
9	Waterbeheerders en KRW-zoutwaterintrusie	63
9.1	Inleiding	63
9.2	Wat wordt verstaan onder zoutwaterintrusie?.....	63
9.3	Rol zoet-zout grensvlak bij begrenzing grondwaterlichamen.....	64
9.4	Wat vindt nu plaats op het gebied van zoet-zout monitoring?.....	64
9.5	Welke meetinstrumenten worden gebruikt?	65
9.6	De huidige meetpunt dichtheid en de meetfrequentie.....	65
9.7	Gegevensbeheer	65
9.8	Deskundigenoordeel over actueel risico voor verziltig.....	66
9.9	Afstemming meetnetten.....	66
9.10	Is een zoet-zout model beschikbaar?	66
9.11	Hoe wordt de KRW richtlijn geïnterpreteerd?.....	67
9.12	Enkele aantekeningen n.a.v. bijeenkomst 16-2-2006.....	68
10	Meetnet	69
10.1	Onderbouwing aanbevelingen voor omgaan met zoutwaterintrusie voor de KRW.....	69
10.2	Inventarisatie geschikte bestaande meetpunten	72
11	Conclusies	75
12	Literatuurreferenties	77
	Bijlage(n)	
	A Annex III to the ANNEX	
	B Draaiboek Grondwater	

1 Inleiding

1.1 Doelstelling van het project

Wat hebben wij onderzocht?

In december 2000 is de Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht geworden. De KRW schrijft monitoringprogramma's voor, teneinde "een samenhangend totaalbeeld te krijgen van de watertoestand binnen elk stroomgebieddistrict". Het gaat hier om de monitoring van zowel grondwaterkwantiteit als -kwaliteit. De programma's moeten in december 2006 operationeel zijn.

De Kaderrichtlijn Water stelt dat veranderingen in stromingsrichtingen, veroorzaakt door menselijk ingrijpen, niet mogen leiden tot zoutwater intrusie. Het grootste risico is het lokaal verticaal omhoog trekken van zout water bij grondwaterwinningen. Daarnaast wordt door het draineren van water in de laag gelegen poldergebieden in het kustgebied ook langzaam zout water aangetrokken.

De centrale onderzoeksvraag betrof:

“het bepalen van de uitgangspunten waaraan een toekomstig grondwater-monitoringprogramma ‘zoutwaterintrusie’ zou moeten voldoen”.

Daartoe hebben we onderzocht:

- de uitgangspunten van de huidige monitoringprogramma's
- de KRW-vereisten, ontleend aan bijlage V, hoofdstuk 2 en de Guidance on Monitoring (definitieve versie d.d. 23 januari 2003)
- de begrenzingssystematiek van grondwaterlichamen.

Wat willen wij in dit project bereiken?

In deze rapportage zijn de uitgangspunten geformuleerd op basis waarvan een monitoringprogramma 'zoutwaterintrusie' voor grondwater kan worden voorbereid. Het eindresultaat, technisch en beleidsmatig onderbouwde voorstel(-len) voor de meest logische monitoringaanpak zal worden gebruikt bij de uitwerking tot en de opzet van de monitoringprogramma's in de geest van de KRW en is daarmee van belang voor rijk, provincies, waterschappen en drinkwaterbedrijven.

De voorbereiding van deze inventarisatie heeft plaatsgevonden met vertegenwoordigers van de kustprovincies Groningen, Friesland, Noord-Holland, Zuid-Holland, Zeeland, Noord-Brabant en van de waterleidingbedrijven Vitens en Waternet en de rijksoverheid VROM (RIVM) en RIZA.

1.2 Activiteiten

Fase 1: Inventarisatie van de actuele perceptie bij grondwaterbeheerders in relatie tot 'monitoring zoutwaterintrusie'

Aan het begin van het project is aan de hand van KRW-documenten en (telefoon)gesprekken met medewerkers van de relevante provincies, RIZA, VEWIN/KIWA en drinkwaterbedrijven, geïnventariseerd welke gedachten (interpretaties) er op dit moment leven ten aanzien van het KRW-thema 'zoutwaterintrusie'.

Fase 2: Inventarisatie zoet-zout verdeling in Nederland

Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

Stap 1: het in kaart brengen van de diepteligging van de brak-zout overgang in Nederland;

Stap 2: het inventariseren van grondwaterstromingsprocessen in de overgangszone van zoet en zout grondwater voor de Nederlandse situatie (systeemanalyse). Hierbij is tevens onderzocht of er een onderverdeling kan worden gemaakt naar watertypen op basis van (a) herkomst (zee-inbraken), (b) toekomst (verzoeting, verzilting, evenwicht, insteltijd), (c) waterchemie en (d) gebruiksmogelijkheden. Aan de hand van voorbeelden zal een classificatie van standaardsysteemtypen plaatsvinden;

Stap 3: het uitwerken van de mogelijkheden voor een aparte typering van zoete- en zoute grondwaterlichamen naar stromingsproces (bijvoorbeeld verzoetend, verziltend of naar bron van het zoute water) en het uitwerken van de consequenties hiervan voor de KRW-monitoring. Hierbij wordt ook de betekenis van brak-zout grondwater voor natuur en (toekomstige) drinkwatervoorziening in beschouwing genomen,

Stap 4: inventariseren van de huidige meetpraktijk;

Stap 5: rapportage.

Fase 3: Workshop monitoring 'zoutwaterintrusie'

In overleg met de opdrachtgever zijn relevante partijen uitgenodigd voor een workshop. Tijdens de workshop is gezocht naar een uniforme aanpak waarvoor bij alle partijen draagvlak is.

De volgende personen/instanties hebben een bijdrage geleverd aan de enquête en/of de workshop.

- Lein Kaland, provincie Zeeland,
- Mirja Baneke, provincie Zuid-holland,
- Wilbert Elderhorst, provincie Fryslân,
- Janco van Gelderen, provincie Utrecht,
- Corine Geujen, provincie Noord-Brabant,
- Jan Hoogendoorn, waterleidingbedrijf Vitens,
- Philip Nienhuis, waterketenbedrijf Waternet,
- Lester Reiniers, provincie Noord-Holland,
- Job Rook, waterketenbedrijf Waternet,
- Jacco Hoogewoud, RIZA.

Fase 4: Eindrapportage

Opstellen, bespreken en aanpassen van het rapport. In dit rapport worden aanbevelingen gedaan in relatie tot KRW en zoet-zout monitoring.

2 Interpretatie van de KRW

2.1 Gedachten bij de KRW in relatie tot monitoring zoutwaterintrusie

Het doel van de KRW bestaat uit het bereiken van een goede chemische en ecologische toestand van het oppervlaktewater. Voor grondwater is het doel het bereiken van goede kwalitatieve en kwantitatieve toestand. Afwenteling moet worden voorkomen en er dient een harmonisatie tussen de lidstaten plaats te vinden.

Hiervoor wordt gestreefd naar een volledige eliminatie van prioritare gevaarlijke stoffen en realisatie van de achtergrondwaarden voor het mariene milieu. Bij de uitwerking hiervan dienen de kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van het oppervlaktewater- en grondwater geïntegreerd te worden, rekening houdend met de natuurlijke stromingsomstandigheden. De KRW is hoofdzakelijk op het gebied van kwaliteit uitgewerkt. De uitwerking van de kwantitatieve aspecten volgt in een later stadium.

In relatie tot zoutwaterintrusie zijn de volgende onderdelen uit de guidance van belang. Artikel 1a stelt dat het (aquatische) ecosysteem voor verdere achteruitgang moet worden behoed. Hier zou verzilting van “zoete” ecosystemen, maar ook verzoeting van “zoute” ecosystemen onder kunnen vallen.

Artikel 1b gaat in op het duurzaam gebruik van water en eist bescherming van de bronnen op de lange termijn. Dit heeft een relatie met het thema zoutwaterintrusie omdat bescherming van de grondwatervoorraden bestaat uit voorkomen van vervuiling maar ook het voorkomen van een afname van de “zoete” grondwatervoorraad. In Nederland kan zoutwaterintrusie bijdragen tot deze verkleining van de voorraad. Overigens wordt niet gerept over “brak” grondwater dat in toenemende mate wordt gezien als een potentiële grondwatervoorraad voor de drinkwatervoorziening. Dit geldt ook, in mindere mate, voor de zoetwatervoorraden die zich langs de kust onder zee bevinden.

Artikel 1d streeft naar een vermindering van verontreiniging. Hier valt chloride als een verontreinigde stof onder. Dit is duidelijk iets anders dan zoutwaterintrusie. Bij “chlorideverontreiniging” worden normen overschreden doordat door menselijk handelen het landoppervlak is belast met chloridezouten. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van kaliumchloride in de landbouw en strooizout op de wegen. Het zout bij een zoutwaterintrusie is “natuurlijk” zout dat door menselijk handelen zoet grondwater verdringt.

Er kan dus onderscheid worden gemaakt tussen:

1. chlorideverontreiniging (chloridevervuiling) en,
2. zoutwaterintrusie

Artikel 1e handelt over de afzwakking van de gevolgen van droogte. Eén van de gevolgen van droogte is intrusie van zeewater in rivieren die in open verbinding met de zee staan. In Nederland, waar de rivieren grotendeels infiltrerend zijn, kan dit tijdelijk (en/of periodiek) tot verzilting van het grondwater leiden. Een vergelijkbaar verziltend effect ontstaat in het boezemgebied. Deze verzilt in de zomer als gevolg van de bemaling van brak water uit de droogmakerijen. Waarschijnlijk moet in een later stadium voor elk stroomgebied worden aangegeven waar zoutwaterintrusie optreedt en waar dit wel of niet wordt geaccepteerd.

In artikel 2 wordt bij de definiëring van grondwater geen onderscheid gemaakt tussen zoet en zout grondwater. Een “goede chemische toestand van het grondwater” wordt beschreven als dat er geen effecten van zout en andere intrusies mogen optreden en dat de “geleidbaarheid” stabiel moet blijven. De definitie van “beschikbare grondwatervoorraad” is in relatie tot zoutwaterintrusie niet consistent. Deze wordt namelijk gedefinieerd als ‘de totale aanvulling minus de oppervlaktewaterafvoer die nodig is voor het handhaven van de ecologische kwaliteit’. De werkelijke dynamiek van een grondwatersysteem is veel complexer. De hier gehanteerde definitie sluit verzilting als gevolg van een (omkeerbare) ingreep uit het verleden namelijk niet uit.

In artikel 4 (Milieudoelstellingen) wordt in (4.1bii) gesproken over ‘...en zorgen voor een evenwicht tussen onttrekking en aanvulling van grondwater...ten einde een goede grondwatertoestand te bereiken’. Een dergelijk evenwicht sluit zoutwaterintrusie niet uit. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen twee soorten van evenwicht: evenwicht van kwantiteit (waterbalans en stijghoogte) én kwaliteit (stoftransport en zoet-zout grensvlak). Als in een duinsysteem tientallen jaren geleden de grondwaterstand is verlaagd, is er snel evenwicht in stijghoogte (orde van grootte dagen), maar vindt nu nog steeds stijging van het zoet-zout grensvlak plaats. Dit geldt ook voor andere plaatsen waar nu evenwicht is (stabiele stijghoogte) maar in het verleden een grote ingreep (stijghoogtedaling) heeft plaatsgevonden. Onder deze onomkeerbare niet-natuurlijke omstandigheden zou de referentiesituatie het toekomstige zoet-zout evenwicht moeten zijn.

In (4.1biii) wordt gesproken over maatregelen om ‘elke significante en aanhoudende stijgende tendens van de concentratie van een verontreinigde stof ten gevolge van menselijke activiteit om te buigen...’. Dit artikel heeft geen relatie met zoutwaterintrusie maar wel met ‘chloridevervuiling’.

Artikel 4.5 handelt over eventueel minder strenge milieudoelstellingen voor specifieke waterlichamen wanneer deze in een zodanige mate door menselijke activiteiten zijn aangetast of hun natuurlijke gesteldheid van dien aard is dat het bereiken van de doelstellingen niet haalbaar of onevenredig kostbaar zou zijn. Hierbij gaat het over de haalbaarheid van een ‘goede toestand’. Onze door de aanleg van droogmakerijen ontstane grondwatersystemen, en de verzilting die hiermee gepaard gaat, dienen onder deze uitzonderingsregel te vallen. In dit kader kan echter worden gediscussieerd of verzilting als gevolg van ‘relatieve zeespiegelstijging’ hieronder valt. In feite wordt deze namelijk grotendeels veroorzaakt door, antropogeen veroorzaakte, maaiveldddaling. Deze maaiveldddaling wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door zetting als gevolg van ontwatering. Als de grondwaterstand minder zou worden verlaagd zou deze daling minder zijn en ook de verzilting minder toenemen. Deze verzilting is in feite beheersbaar, (niet duurzame) economische factoren zouden deze maaiveldddaling rechtvaardigen. De maaiveldddaling als gevolg van de zout- en gaswinning in Noordoost Nederland is een andere vorm van antropogene beïnvloeding die gevolgen heeft voor verzilting.

Artikel 7 (‘voor de drinkwateronttrekking gebruikt water’) slaat ook op voor toekomstig gebruik bestemde waterlichamen. Hoe wordt hier ‘bestemd’ geïnterpreteerd? Zijn hier beleidsstukken voor? Zo niet, dan dient een dergelijk bestemming worden gemaakt. Hierbij dient ook aandacht aan de bestemming van brak grondwater worden geschonken. Deze voorraad komt namelijk ook steeds meer in beeld als bron voor watervoorziening. Dit geldt ook voor de zoetwatervoorraad die langs de kust onder zee ligt. In dit kader moet ook aandacht worden geschonken aan de trend om grondwaterwinningen te reduceren en oppervlaktewaterwinning te stimuleren.

2.2 Gedachten bij de grondwaterrichtlijn

De grondwaterrichtlijn richt zich op de bescherming van grondwater tegen vervuiling. Hierin vindt een verdere toelichting plaats voor de bepaling van een ‘goede chemische toestand’ en voor de identificatie van trends. De grondwaterrichtlijn heeft als doelstelling: ‘to prevent or limit inputs of pollutants into groundwater’.

Wat wordt verstaan onder ‘pollutant’? De volgende typen worden onderscheiden:

- 1) Vanaf het landoppervlak als gevolg van menselijk handelen,
- 2) Mobilisatie van in de ondergrond aanwezige natuurlijk stoffen door menselijk ingrijpen. Dit kan door verhoging of verlaging van de grondwaterstand en door het veroorzaken van ongewenste hydrochemische processen zoals de mobilisatie van aluminium als gevolg van zure regen.
- 3) Van nature in het grondwater aanwezige stoffen die niet aan de drinkwaternorm voldoen.

Op het eerste gezicht lijkt op basis van dit document voor deze studie alleen verzilting door ‘chloridevervuiling’ aan de orde. Echter, volgens de guideline 1d uit annex II “threshold values for groundwater pollutants and indicators of pollution” moeten de hydrogeologische karakteristieken worden beschouwd, inclusief achtergrondconcentraties en waterbalans. Dit kan niet zinvol gebeuren als geen opdeling wordt gemaakt tussen zoet en zout grondwater. Bij de bepaling van ‘threshold values’ dient ook de bron van de pollutant worden beschouwd en of deze van nature voorkomt.

In annex III (assessment of groundwater chemical status) wordt voor het eerst aandacht geschonken aan zoutwaterintrusie. Punt 4 bepaalt namelijk onderzoek naar:

- The extent of any saline or other intrusions into the groundwater body; and
- The risk from pollutants in the groundwater body to the quality of water abstracted, or intended to be abstracted, from the groundwater body for human consumption.

2.3 Conclusies

- Water kan door verschillende oorzaken “verzilten”. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen verzilting door chloride van antropogene herkomst (‘chloridevervuiling’) en verzilting door zoutwaterintrusie (saline intrusions),
- Onder zoutwaterintrusie dient te worden verstaan; het verkleinen van de zoetwatervoorraad door binnendringing van (natuurlijk) zout grondwater (alle verplaatsing van het zoet-zout grensvlak waarbij zout water de plaats van zoet water inneemt). Hierbij zou onderscheid kunnen worden gemaakt tussen (1) laterale toestroming vanuit zee, (2) diffuse regionale stijging van het zoet-zout grensvlak en (3) opkegeling (upconing) bij drinkwaterwinningen of in polders.
- Er dienen grondwaterlichamen worden te begrensd die zijn aangewezen voor eventuele toekomstige watervoorziening. Hierbij zou ook aandacht aan brakke grondwatervoorraden moeten worden geschonken.
- Het ligt voor de hand om bij de karakterisatie onderscheid te maken tussen ‘zoete’, ‘brakke’ en ‘zoute’ grondwaterlichamen, in relatie tot bijvoorbeeld de bepaling van natuurlijke achtergrondwaarden. In ieder geval moet het zoet-zout verdeling in kaart worden gebracht.

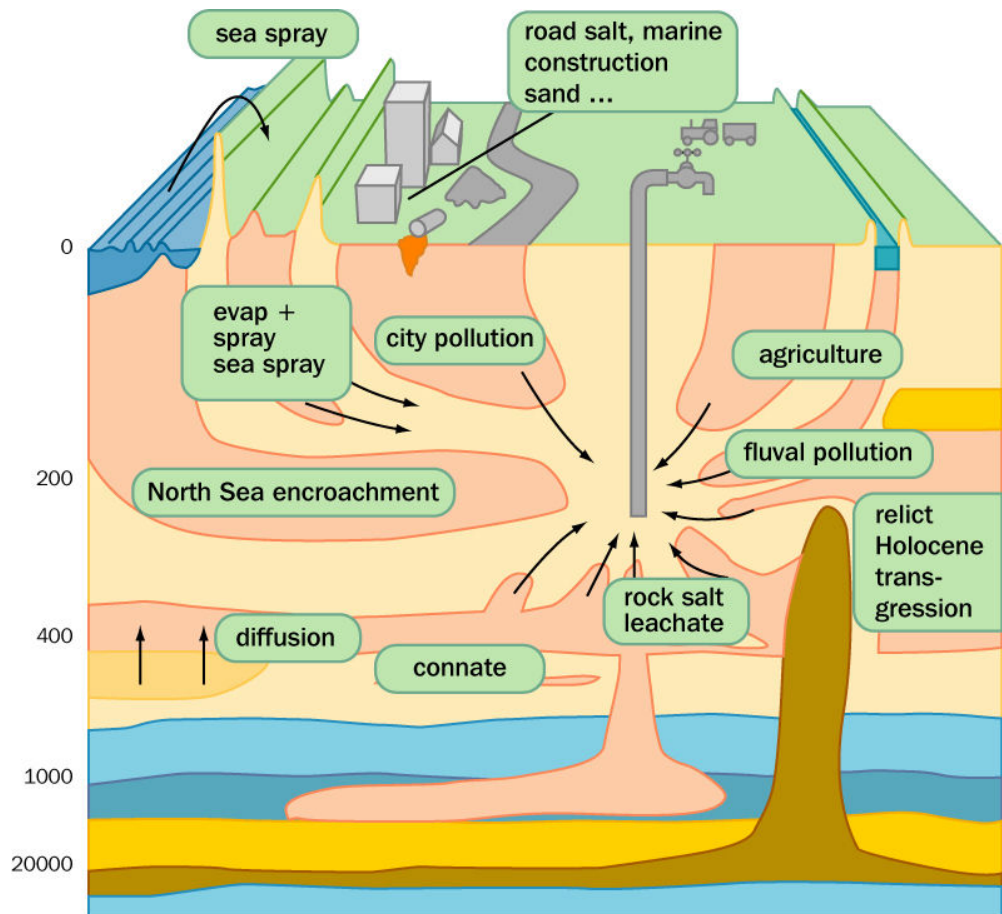
- ‘Chloridevervuiling’ wordt meegenomen bij de monitoring grondwaterkwaliteit. Mogelijk wordt voor chloride in de toekomst een ‘drempelwaarde’ opgesteld. In de Vierde Nota Waterbeheer wordt als landelijke streefwaarde een chlorideconcentratie van 100 mg/l genoemd. Het MTR (chloride) voor oppervlaktewater is 200 mg/l.
- Voor zoutwaterintrusie dient een apart meetnet worden ingericht dat in feite controleert of het volume ‘zoet’ grondwater niet afneemt,
- Zoutwaterintrusie door poldersystemen is acceptabel omdat dit in het verleden is opgestart en niet omkeerbaar is. Zoutwaterintrusie door actuele, nog uit te voeren, polderpeilverlagingen, dienen anders worden behandeld,
- Een meetnet zoutwaterintrusie dient ook de interactie met het oppervlaktewater te beschouwen. Hierbij verdient ook grondwaterverzilting vanuit het oppervlaktewater (bijvoorbeeld Noordzeekanaal) worden meegenomen.
- Er moet onderscheid worden gemaakt tussen zoutwaterintrusie als gevolg van onomkeerbare ingrepen uit het verleden en omkeerbare actuele ingrepen. In Nederland wordt veel zout ‘paleowater’ uitgedreven waarbij tegelijkertijd verzoeting van het infiltratiegebied kan plaatsvinden (bijvoorbeeld vanuit het IJsselmeer of Hollandsch Diep).

3 Verzilting: zoutwaterintrusie of chloridevervuiling?

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van een literatuurinventarisatie van studies naar de herkomst van chloride, de risico's voor verzilting en de zoet-zout processen. Op basis van deze inventarisatie blijken hoge chlorideconcentraties te kunnen worden verklaard door een drietal hoofdoorzaken:

- 1 Verplaatsing van de zoet-brak-zout overgang;
 - 1.1 Laterale zoutwaterintrusie,
 - 1.2 (sub-)regionale stijging,
 - 1.3 Opkegeling ('upconing'),
- 2 Natuurlijke verhoging chloridegehalten,
- 3 Chloridevervuiling (niet-natuurlijke verhoging chloridegehalten).



Figuur 2.1 Verschillende bronnen voor verzilting (Stuyfzand en Stuurman, 1994)

3.2 Bronnen voor verzilting

Er bestaan verschillende bronnen voor het transport van zout naar het 'zoete' grondwater. Door Stuyfzand en Stuurman (1994) werden eerder 11 bronnen onderscheiden, welke nu uitgebreid kunnen worden tot 14 bronnen (figuur 2.1). Hierbij is in de onderstaande opsomming onderscheid gemaakt tussen verzilting door zoutwaterintrusie en verzilting door 'chloridevervuiling'.

1 Zeewater als verziltingsbron

- 1.1 Mariene transgressies met verticale verzilting door dichtheidsstroming (Post, 2003). Hierbij wordt land met zeewater overstroomd, waarbij vaak ook geulen ontstaan, en het zeewater verticaal uitzakt en zoet water verdringt,
- 1.2 Zoutwater intrusie vanuit zee of (voormalige) zeearmen; Vanuit zee (armen), welke grensden aan lager gelegen polders, kon/kan zout water uitzakken en afstromen. Door de langzame stroming van grondwater kan dit zoute of brakke water nog steeds rond nu afgesloten (verzoette) zeearmen worden aangetroffen.
- 1.3 Sedimentatie; tijdens de afzetting van mariene zanden of kleien wordt tevens zout formatiewater ingesloten. Dit wordt ook wel formatiewater of 'paleowater' genoemd.
- 1.4 Infiltratie verzilt boezemwater; verzilt oppervlaktewater dat vanuit polders wordt afgevoerd kan elders, bijvoorbeeld vanuit de boezem die vaak hoger ligt dan de omliggende polders, opnieuw infiltreren.
- 1.5 Hyperfiltratie; kleilagen kunnen werken als semipermeabele membranen waardoor selectief opgeloste stoffen kunnen stromen,

2 Natuurlijke verhoging chloridegehalten.

- 2.1 Sea spray; langs de kust kan vanuit zee zouten het land binnen waaien en voor relatief hoge zoutgehalten van het ondiepe grondwater zorgen.
- 2.2 Verdamping; dit is momenteel in Nederland geen verziltingsproces van belang. In het verleden hebben echter wel condities plaatsgevonden waarbij oppervlaktewater of kwelwater kon indampen.
- 2.3 Oplossen van evaporieten (steen-zouten); Zoet infiltrerend grondwater kan verzilten door zouten die in ondergrond voorkomen.
- 2.4 Menging; een menging van verschillende natuurlijke bronnen,

3 Chloridevervuiling

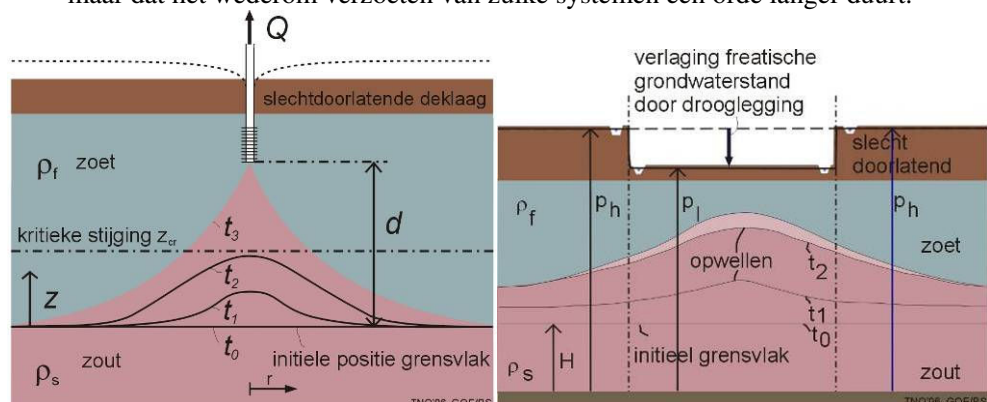
- 3.1 Landbouw; tijdens de landbouwactiviteiten wordt o.a. chloride op het land gebracht tijdens de bemesting (kunstmest, dierlijk mest). Op grasland wordt soms ook direct NaCl op het land gebracht voor het melkvee,
- 3.2 Glastuinbouw; door kunstmatige beregening en indamping kan het ondiepe grondwater onder kassen verdampen.
- 3.3 Kunstmatige infiltratie; in de glastuinbouw (West-Nederland) wordt ondiep brak water opgepompt en met behulp van osmose ontzilt. Het residu (brine) wordt in een dieper watervoerend pakket geïnjecteerd.
- 3.4 Ophoogzand; in Nederland is de afgelopen jaren in toenemende mate gebruik gemaakt van ophoogzand dat in de Noordzee is gewonnen. Dit zand wordt in de havens gespoeld maar niet altijd even efficiënt. Uispoeling van ophoogzand kan lokaal tot verhoogde chloridegehalten leiden.
- 3.5 Locale vervuiling; Er kunnen verschillende lokale bronnen voor verzilting bestaan. Eén van de belangrijkste vormt wegzout.

3.3 Processen die van invloed zijn op de beweging van zoet-zout overgangen

Verschillen in plaats, diepte ligging en dikte van zoet-zout overgangen kunnen verschillende oorzaken hebben. De belangrijkste zijn; de tijd dat de afzetting doorstroomt werd met zoet water, de doorlatendheid van de afzetting, de ligging ten opzichte van zeeniveau. De belangrijkste processen zijn:

- Advectieve toestroming; stroming door drukverschil,
- Opkegeling ('upconing'); als gevolg van onderdrukken (door plaatselijke daling van grondwaterstanden of stijghoogten) kan brak grondwater omhoog stromen. Dit kan worden veroorzaakt door:
 - Grondwateronttrekking. Als gevolg van een grote lokale stijghoogtedaling wordt bijna altijd opkegeling veroorzaakt (figuur 2.2). Rond verschillende grondwaterwinningen in Brabant ligt de zoet-zout overgang relatief hoog.
 - Polderbemaling. Polderbemaling kan deels worden beschouwd als een grondwateronttrekking (figuur 2.2).
 - Lage slootpeilen. In polders kwelt in veel gevallen het zoutste grondwater naar de diepste sloten. Hierbij is de kwel in het midden van de sloot het zoutst.
 - Afgraving. Als bij afgravingen de grondwaterstand gedaald is kan een nieuw zoet-zout evenwicht worden gevormd waardoor de zoet-zout overgang stijgt. Dit proces kan tientallen (honderden) jaren duren. Een voorbeeld zijn de afgravingen van de binnenduinen voor de bollenteelt in de Rijnland polders (van den Akker, 1999).

Door dichtheidverschillen kan zout grondwater in een relatief korte tijd omhoog stromen doordat de grondwatersnelheden groot zijn. Het grondwatersysteem is vervolgens verzilt. Indien de onderdruk wordt weggenomen, bijvoorbeeld omdat de grondwateronttrekking wordt verminderd, zal het grondwatersysteem zich relatief langzaam verzoeten; de grondwatersnelheden zijn immers veel kleiner, zelfs het dichtheidseffect is normaliter niet groot genoeg om het zoute grondwaterwater snel te laten zakken. Daar komt bij dat door mening van zoet en zout grondwater een groter volume van brak grondwater ontstaat dan oorspronkelijk in het systeem aanwezig is. Als vuistregel kan gesteld worden dat door onttrekkingen en polderpeilverlagingen grondwatersystemen snel verzilten, maar dat het wederom verzoeten van zulke systemen een orde langer duurt.



Figuur 2.2: Opwelling van zout grondwater vindt plaats op locaties van grondwateronttrekkingen en onder laaggelegen polders.

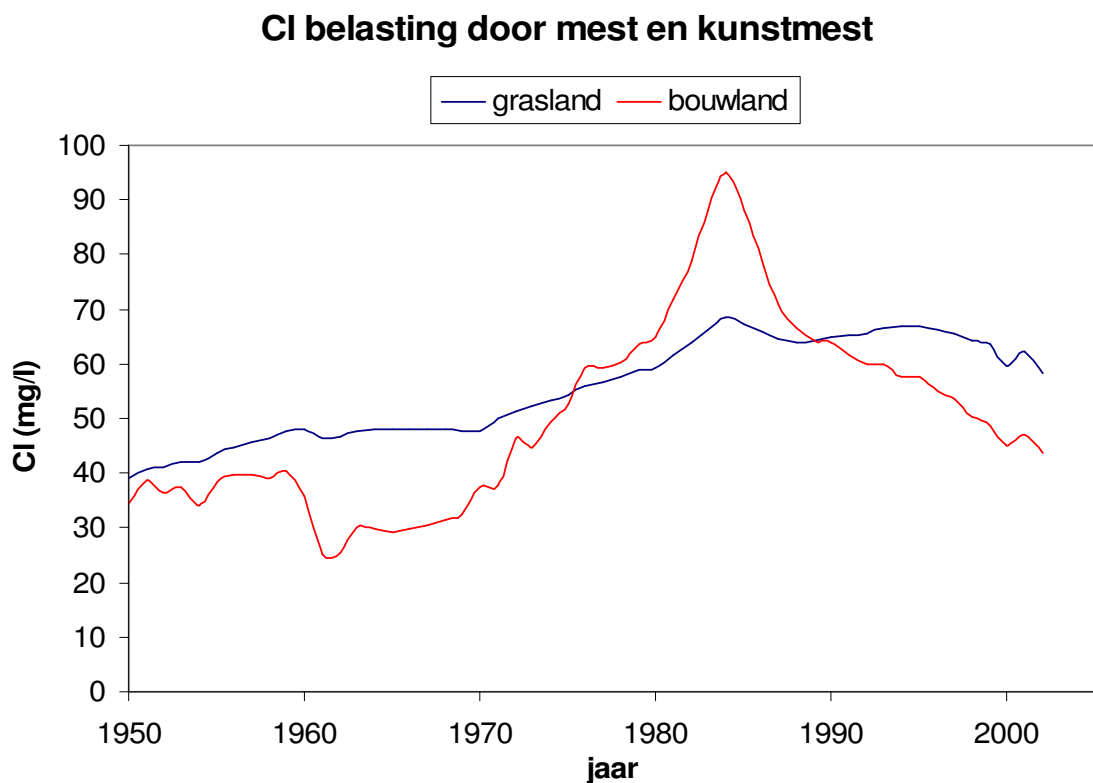
- Compactie; Als gevolg van compactie van mariene lagen kan connaat zout water vanuit de slechtdoorlatende lagen naar beter doorlatende lagen migreren en daar verder stromen.

- Mechanische dispersie; Het dispersieproces is afhankelijk van de stroming van grondwater: hoe groter de snelheid, het groter de menging (Bear, 1979).
- Volumetrische compensatie; Dit proces duurt relatief kort. Ze kunnen ontstaan bij plotselinge fluxverschillen binnen het grondwatersysteem. Bijvoorbeeld bij het stopzetten van een grondwaterwinning waar sprake is van opkegeling. Na stopzetting kan de kegel uitzakken (instorten) waardoor de omgeving van de kegel snel verzilt. Stuyfzand (1988) toont een mooi voorbeeld van dit proces in de duinen (zie ook figuur 6.5b).
- Moleculaire diffusie; dit moleculaire proces (door Brownse bewegingen) kan belangrijk zijn in (bijna) stagnante situaties. Als twee vloeistoffen met ongelijke concentraties aan zouten aan elkaar grenzen zal diffusie optreden. Na verloop van tijd zal door ionentransport van de hoge naar lage concentratie een nivellering van het verschil optreden.
- Osmose; dit proces kan plaatsvinden als aan weerszijde van een kleilaag (membraam) vloeistoffen met verschillende zoutconcentraties aanwezig zijn. Watermoleculen stromen van het 'zoete' naar het zoute water tot grondwater met gelijke zoutconcentraties is ontstaan.
- Oplossing; Zoutaanrijking kan ook ontstaan door oplossing van zoutrijke afzettingen. Glasbergen (1984) toonde met behulp van isotopenonderzoek aan dat het diepe zoute grondwater bij Broekhuizenvorst, ten zuiden van Vierlingsbeek hoofdzakelijk bestaat uit regenwater dat is 'verzilt' na passage van zoutrijke lagen.
- Menging als gevolg van dichtheidsverschillen; na transgressies of kort durende overstromingen met zout water kan dit water door dichtheidsverschil het onderliggende zoete grondwaterlichaam binnendringen. Door een combinatie van processen kan vervolgens menging optreden.
- Verzoetings- of verziltingserosie; Oorspronkelijk zout formatiewater wordt geleidelijk uitgespoeld door zoet infiltrerend regenwater (Engelen, 1987).
- Hydrothermale werking; Als gevolg van hoge temperaturen en hoge gasgehalten kan diep zout lokaal, bijvoorbeeld langs breuken, opstijgen. Dit proces werd beschreven door Engelen (1963, 1987) en Waterschoot van der Gracht (zie De Vries, 1982). Zuurdeeg (1981) concludeerde na bestudering van de chemische samenstelling van het diepe zoute grondwater in Noord-Brabant dat vanuit grote diepte, uit het vaste gesteente via breuken, zout hydrothermaal water opkwelt.

4 Chloridevervuiling

4.1 Historische en huidige chloride belasting aan maaiveld

Gebruik van dierlijke mest en kunstmest is een belangrijke bron van chloride in het grondwater onder landbouwpercelen. Figuur 4.1 geeft de historische en huidige belasting van landbouwgronden in de provincie Noord-Brabant uitgedrukt in mg/l. De belasting in kg/ha/jr is hiervoor vermenigvuldigd met het neerslagoverschot (300 mm/jr). De tijdreeks is afgeleid uit de inventarisatie over de historische en huidige maaiveldbelasting die voor het stroomgebied van de Maas is uitgevoerd (Van Vliet et al., 2006). Vanaf 1950 is er een afname van het gebruik van kaliumchloride zouten als kunstmeststof. Deze afname wordt echter overschaduwd door de toename in de productie en gebruik van dierlijke mest. Dit geeft een piek in de maaiveldbelasting halverwege de jaren 80. De figuur geeft de bruto maaiveldbelasting, nog niet gecorrigeerd voor gewasopname.



Figuur 4.1: Chloride belasting van landbouwgronden door dierlijke mest en kunstmest in de provincie Noord-Brabant

4.2 Chloride concentratie in het grondwater

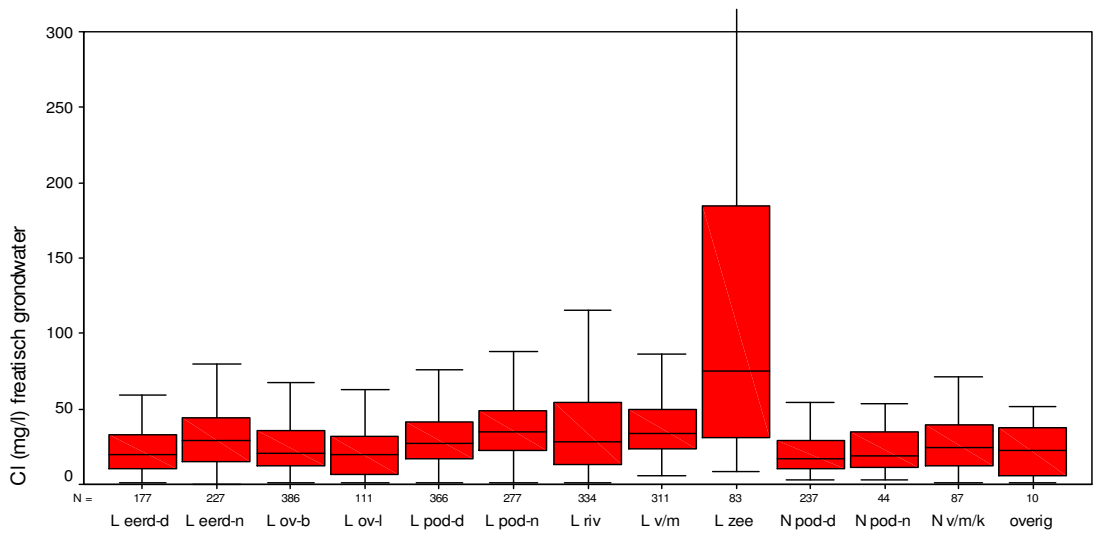
De figuren 4.2 t/m 4.5 geven boxplots van de chlorideconcentratie in op verschillende dieptes in grondwater in verschillende homogene gebiedstypen. Tabel 4.1 geeft een overzicht van deze gebiedstypen. De boxplots zijn verkregen uit de data van de bodem- en grondwatermeetnetten in 7 provincies in Nederland in de periode 1994-2000 (Van der Aa *et al.* 2001). Het gaat om de provincies Friesland, Groningen, Drenthe, Utrecht, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg. De diepte-indeling is als volgt:

- freatisch grondwater = bovenste meter grondwater uit de bodemmeetnetten
- < 5 m -maaiveld = freatisch filter uit landelijk en provinciale meetnetten
- ondiep = 1-ste filter uit landelijk en provinciale meetnetten (ca 8-10 m -maaiveld)
- middeldiep = 2-de filter uit landelijk en provinciale meetnetten (ca 20-25 m-maaiveld).

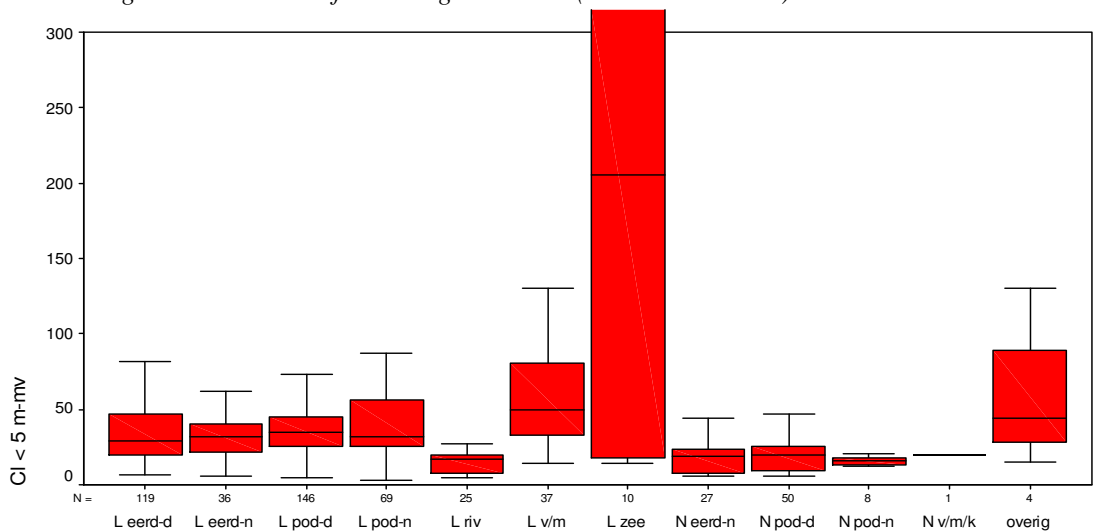
Het verschil tussen de boxplots van verschillende gebiedstypen is relatief klein. De zeekelegebieden zijn uiteraard een uitzondering. Met het toenemen van de diepte worden de chlorideconcentraties in dit gebiedstype steeds hoger. Uit de grondwatermeetnetten blijkt ook een verschil tussen natuurgebieden en landbouwgebieden. Als gevolg van bemesting zijn de chlorideconcentraties in landbouwgebieden hoger. Toch komen ook in natuurgebieden nog concentraties tot maximaal 50 mg/l voor. In de landbouwgebieden zijn zulke concentraties geen uitzondering. Hoewel de verschillen erg klein zijn lijkt in de landbouwgebieden het ondiepe grondwater de hoogste concentraties te bevatten, hoger dan middeldiepe grondwater. Met uitzondering op het zeekelegebied is er dus nog geen invloed van brak grondwater. Het effect van de piek in bemesting halverwege de jaren 80 is op dit diepe niveau in het grondwater terug te zien.

Tabel 4.1: Indeling in homogene gebiedstypen op basis van landgebruik, bodemtype en grondwatertrap

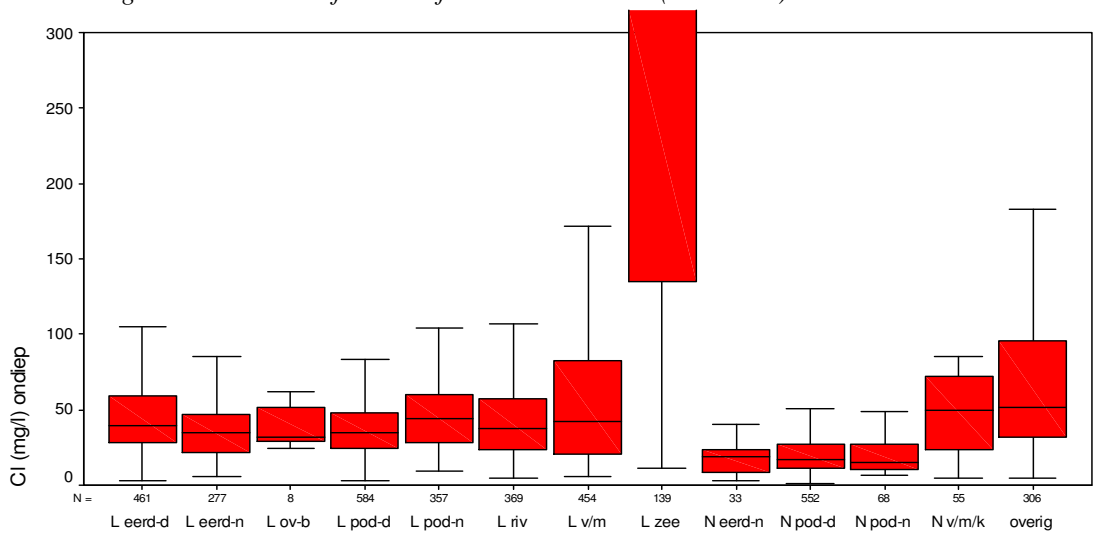
Eenheid	Landgebruik	Bodemeenheid	Bodemtypes volgens Systeem van bodemclassificatie voor Nederland	Grondwater- trap	Aan bodemtype gerelateerde hydrologische situatie
L eerd-d	Landbouw	Eerd-droog	Enkeerdgronden	> V	Infiltratie
L eerd-n	Landbouw	Eerd-nat	Tuineerdgronden Hydrozandeerdgronden	< VI	Kwel / intermediair
L ov-b	Landbouw	Overig-brik	Brikgronden	-	Infiltratie
L ov-l	Landbouw	Overig-löss/ terras/ kalksteen	Löss, terras- en kalksteenhellinggronden Kalksteenverweringsgronden	-	Infiltratie
L pod-d	Landbouw	Podzol- droog	Moderpodzolgronden Gewone hydropodzolgronden	> V	Infiltratie
L pod-n	Landbouw	Podzol-nat		< VI	Kwel / intermediair
L riv	Landbouw	Rivierklei	Hydrokleieerdgronden Hydrokleivaaggronden Xerokleivaaggronden Xerokleieerdgronden	vnl < VI (soms droger)	Hoofdzakelijk kwel
L v / m	Landbouw	Veen / Moerig	Moerige podzolgronden Moerige eerdgronden Veengronden	vnl < VI (soms droger)	Kwel / stagnatie / intermediair
L zee	Landbouw	Zeeklei	Hydrokleieerdgronden Hydrokleivaaggronden Xerokleivaaggronden Xerokleieerdgronden	vnl < VI (soms droger)	Hoofdzakelijk kwel
N pod-d	Natuur	Podzol- droog	Moderpodzolgronden Gewone hydropodzolgronden	> V	Infiltratie
N pod-n	Natuur	Podzol-nat		< VI	Kwel / intermediair
N v/m/k	Natuur		zie L v/m, L riv en L zee	vnl < VI (soms droger)	Kwel / stagnatie / intermediair
overig	Natuur/landbouw	overig			



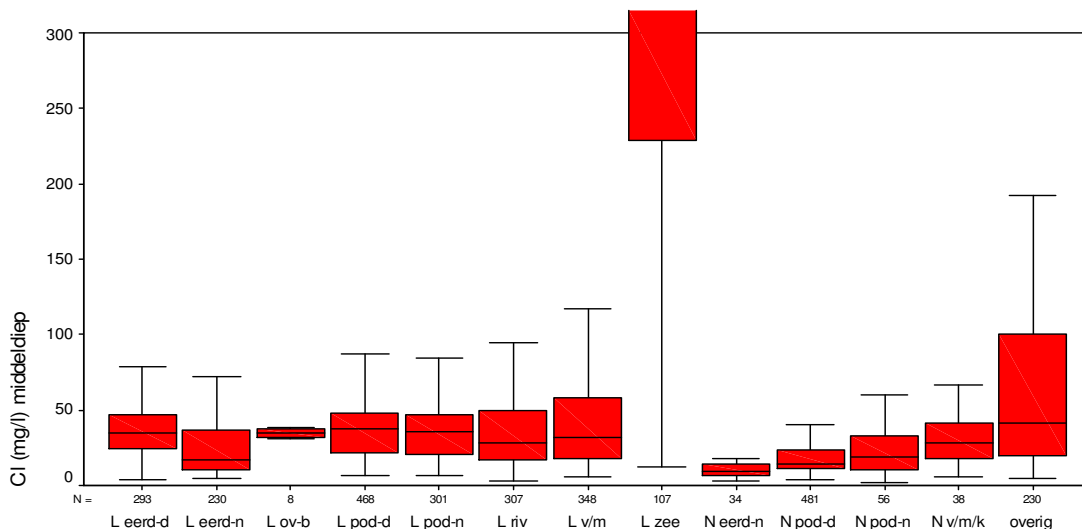
Figuur 4.2: chloride freatisch grondwater (bodemmeetnetten)



Figuur 4.3: chloride freatisch filter LMG + PMG (< 4 m-mv)



Figuur 4.4: chloride ondiep filter LMG + PMG (ca 8 m-mv)



Figuur 4.5: chloride middeldiep filter LMG + PMG (ca 23 m-mv)

4.3 Conclusies

De chlorideconcentraties in ondiep grondwater zijn zowel in landbouw als natuurgebieden vaak hoger dan wat van nature zou verwacht worden. Onder natuurlijke omstandigheden wordt de chlorideconcentratie, met uitzondering van het kustgebied, hoofdzakelijk door indamping van regen water bepaald. Op deze wijze mogen chlorideconcentraties lager dan 15-20 mg/l verwacht worden. In koudere klimaatsperioden (minder verdamping) ontstaan lagere concentraties (ca 8 mg/l chloride). Grondwater met dergelijke concentraties wordt op grotere diepte gevonden. Langs de kust liggen de concentraties hoger door de invloed van 'seaspray'.

5 Kartering van de zoet-zout overgang in Nederland

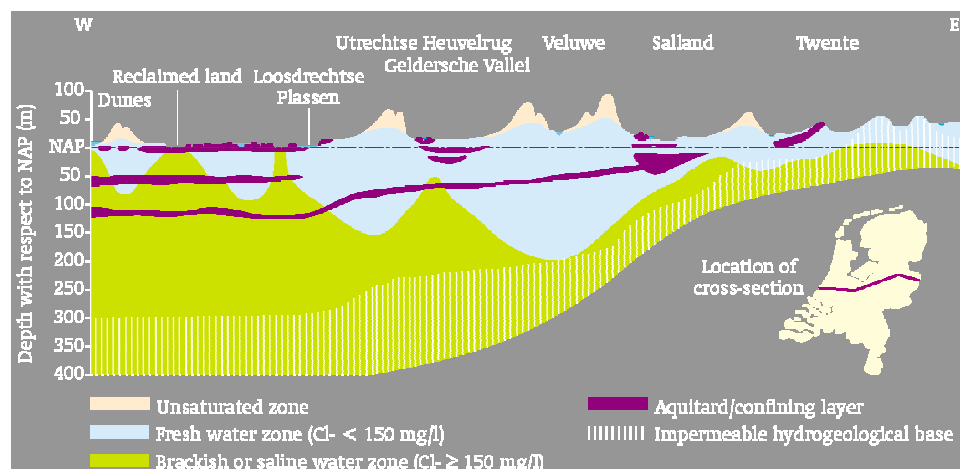
5.1 Uitvoering

In het kader van de TNO inventarisaties voor de database REGIS zijn alle bestaande geïnterpreteerde geo-elektrische metingen, boorgatmetingen en chloride metingen verzameld. De boorgatmetingen en geo-elektrische metingen zijn omgerekend naar chloride gehalten voor het grondwater voor relevante dieptetrajecten. In het kader van REGIS is een softwarepakket geschreven waarmee, mede op basis van het 'nieuwe' REGIS-lagenmodel, met behulp van al deze chloridegegevens (24.000 locaties) een ruimtelijk beeld (340.000 punten) van het zoutgehalte in het grondwater van Nederland kan worden verkregen. Met dit softwaresysteem kan voor elk gewenst gebied en tijdsperiode van metingen een selectie worden gemaakt. In principe wordt het hiermee mogelijk om vergelijkingen tussen tijdsperioden uit te voeren. In de komende tijd wordt op basis van dit systeem, voor alle provincies, een kaart gemaakt met de diepteligging van het 150 en 1000 mg/l chloride vlak. Deze kaarten worden dan nog door deskundigen gecontroleerd voordat zij via REGIS beschikbaar komen. In het kader van dit rapport kon gebruik gemaakt worden van alle metingen, behalve de boorgatmetingen (2700 locaties). De kaart zal in de komende tijd worden verbeterd.

5.2 Beschrijving

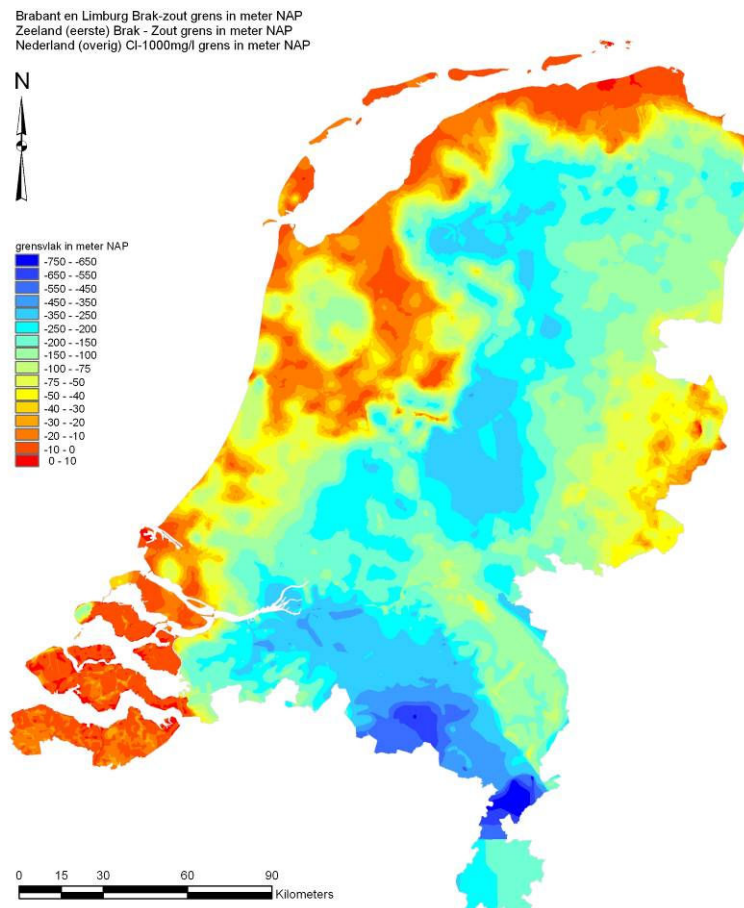
De kaart met de diepteligging van het 1000 mg/l chloride vlak (figuur 5.2) toont de volgende fenomenen (patronen):

- Op de zandgronden ligt het grensvlak in het algemeen dieper dan in het poldergebied.
- In de Roerdalslenk, tussen Roermond en Eindhoven, ligt het grensvlak zeer diep. Plaatselijk dieper dan 750 m –NAP. Dit wordt veroorzaakt door langdurige infiltratie van Duitsland en de Belgische Kempen en het feit dat hier tot op grote diepte terrestrische afzettingen voorkomen.
- In de Eemvallei (kwelgebied) tussen de infiltratiegebieden Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe, ligt het grensvlak 50-100 meter hoger dan in de aangrenzende infiltratiegebieden (figuur 5.1).



Figuur 5.1: Oost-west hydrogeologisch profiel tussen de grens met Duitsland en Noordzee met de verspreiding van zoet en zout grondwater.

- In het oosten van Brabant, het noordoosten van Limburg en het oosten van Gelderland en Overijssel ligt het grensvlak relatief ondiep. Dit komt omdat op deze plaatsen zeer slecht doorlatende, mariene afzettingen uit het Tertiair voorkomen. Het zoute formatiewater is nog steeds niet uitgespoeld,
- In Noord-Holland is de ‘zoetwaterbel van Hoorn’ duidelijk zichtbaar. Deze bel is vermoedelijk tijdens het Holoceen ontstaan, mogelijk onder een toen aanwezig hoogveengebied (Beekman, 1991). Dit zoete grondwater is zeer methaan- en ijzerrijk en daardoor tot nu toe niet aantrekkelijk geweest voor drinkwaterbereiding,
- Langs de kust zijn de zoetwaterbellen onder de duingronden zichtbaar. Bij de Hondbossche zeewering en de Oude Rijn is het water verzilt. Dit is in het verleden veroorzaakt door zeewaterintrusies via het oppervlaktewater,
- Onder de Flevopolders komt veel zoet water voor dat toestroomt vanuit de Veluwe. Plaatselijk ligt het grensvlak hoger. Dit wordt veroorzaakt door de afwezigheid van kleilagen waardoor daar een sterk opwaarts gerichte stroming plaats vindt.

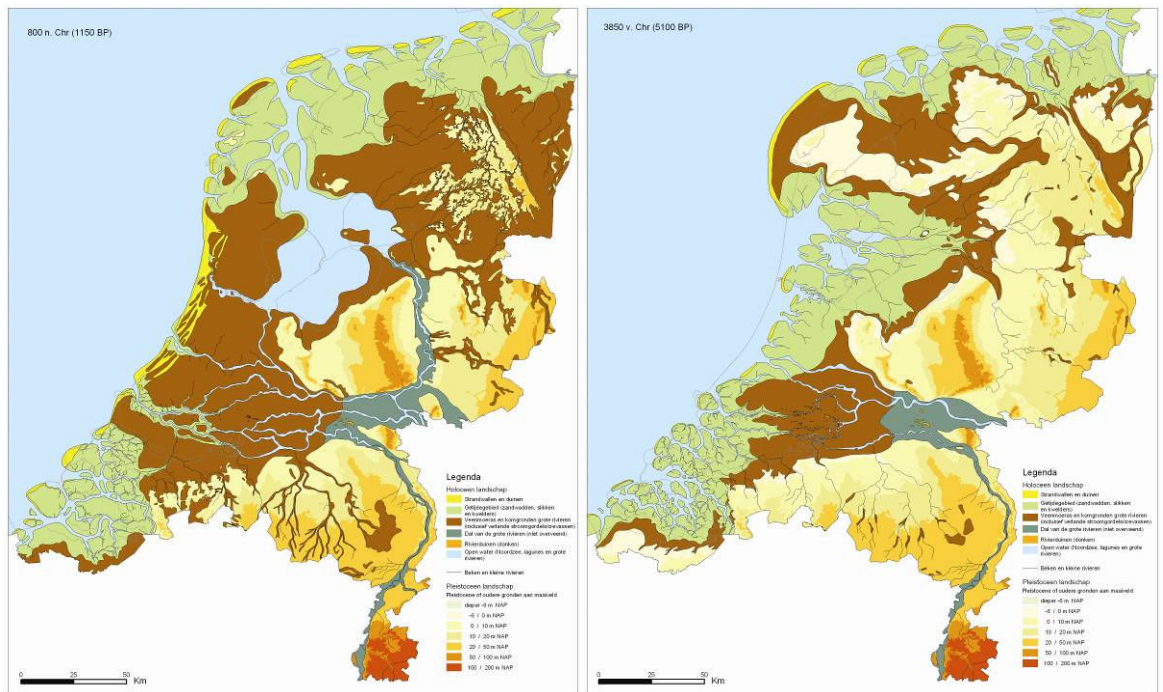


Figuur 5.2 De diepteligging van het brak-zout grensvlak (1000 mg/l chloride).

De zoet-zoutpatronen zijn sterk bepaald door de Holocene kustontwikkeling (figuur 5.3). Dit geldt vooral voor de kweldergebieden in de kop van Noord-Holland, Zeeland, Friesland en Groningen die pas na de Middeleeuwen zijn ingepolderd.

5.3 Conclusie

- Het gekarteerde brak-zout grensvlak toont een duidelijke tweedeling tussen een zone in West- en Noord-Nederland waarin zout grondwater, met uitzondering van de duinen en de 'zoetwaterbel van Hoorn', zeer ondiep voorkomt en de zone die daar ten zuiden of westen van ligt waar het zoet-zout grensvlak veel dieper ligt,
- In het oostelijk deel van Nederland ligt het grensvlak relatief ondiep. Dit wordt veroorzaakt door de ondiepe ligging van zeer slecht doorlatende, mariene, kleilagen uit het Tertiair.
- Het grensvlak heeft een sterke relatie met de Holocene kustontwikkeling.



Figuur 5.3 De ligging van de kustlijn 800 voor Christus en 3850 voor Christus.

6 Gebieds- en systeemgerichte beschrijving van de zoet-zout processen

6.1 Inleiding

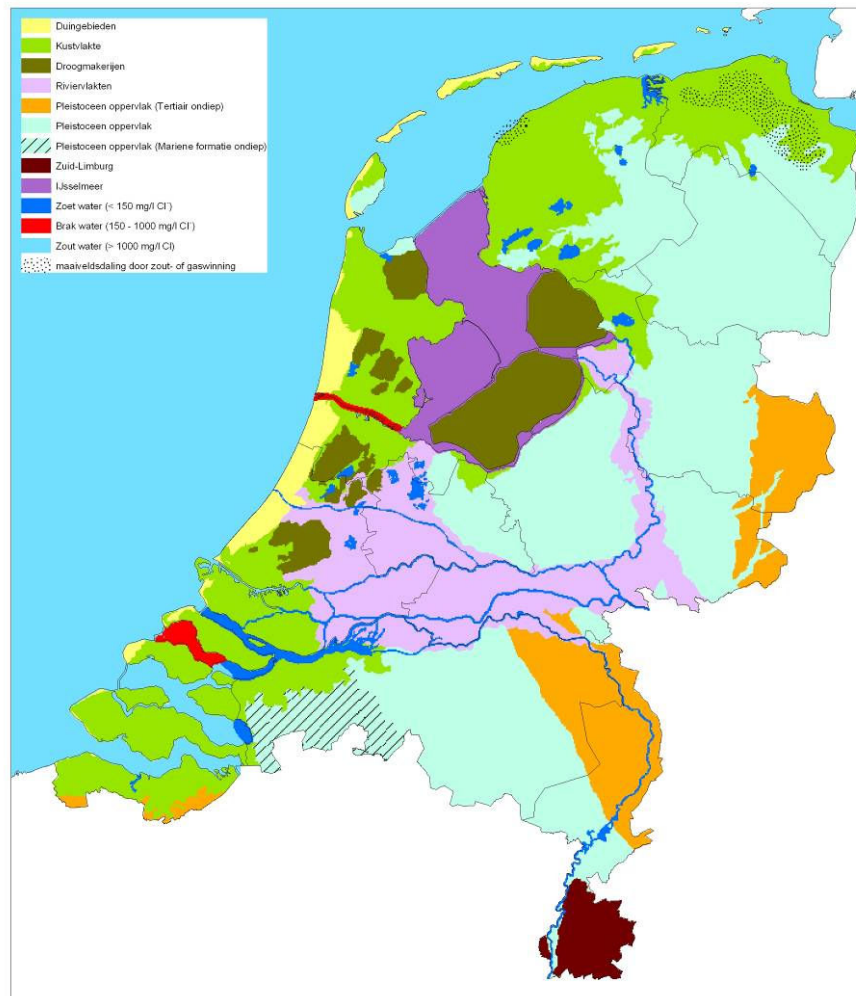
De verzoetings- en verziltingspatronen in Nederland zijn zeer gevarieerd en complex. Over het algemeen is te zeggen dat vooral in de kustprovincies sterke verzilting én verzoeting optreedt. De invloed van de zee is hier groot, het zoutgehalte in het grondwater relatief hoog en dit deel van Nederland ligt voor het merendeel onder zeeniveau. Topografische verschillen geven bovendien op lokale schaal aanleiding tot grote grondwaterstromingen tussen de verschillende poldergebieden en de waterplassen.

Overal in Nederland bevindt zich zout grondwater. Dit is onder natuurlijke omstandigheden daar terecht gekomen. Op de zandgronden vond dat meestal miljoenen jaren geleden plaats, in laag Nederland vond dat duizenden jaren geleden plaats. Soms is deze Holocene verzilting van laag Nederland ook gedeeltelijk door menselijke activiteit veroorzaakt. Een voorbeeld hiervan zijn de Laat-Middeleeuwse buitendijkse veenafgravingen voor zoutwinning (selnering) dat als gevolg had dat de zee landinwaarts kon oprukken.

In figuur 6.1 is Nederland opgedeeld in deelgebieden met specifieke zoet-zout processen:

1. Duingebied met zoete duinwaterlichamen ‘drijvend’ op zout grondwater.
2. Kustvlakte met brak-zout water op geringe diepte.
3. droogmakerijen. Brak-zout grondwater op geringe diepte en brak-zoute kwel naar sloten.
4. Riviervlakten. Als gevolg van kwel ligt de zoet-zout grens hoger dan in het Pleistocene gebied. Plaatselijk sterke verschillen o.a. door historische inundatie van zeewater.
5. Pleistoceen. Zoet-zout grensvlak meestal op grotere diepte. Mariene afzettingen op grotere diepte.
6. Pleistoceen/ondiepTertiair. Slecht doorlatende afzettingen uit het Tertiair liggen ondiep (25-50 m –mv) waardoor zoet-zout grens ondiep ligt.
7. Pleistoceen/west-Brabant. Mariene afzettingen vanaf 40 m –mv, zoet-zout op grote diepte.
8. Zuid-Limburg. Weinig bekend over diepte zoet-zoutgrens. Ligt op ca 100-150 m –mv.
9. IJsselmeer. Vlak onder meerbodem bevindt zich zout grondwater uit de Zuiderzeeperiode.
10. Brakwater infiltratie uit boezemwater; Noordzeekanaal en Veerse Meer.

In de volgende paragrafen worden verscheidene deelgebieden beschreven.

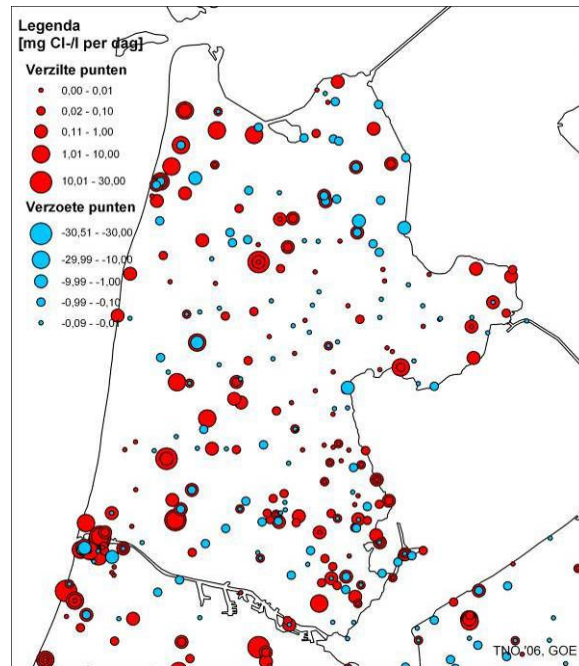


Figuur 6.1: Nederland opgedeeld in deelgebieden met specifieke zoet-zout processen.

6.2 De snelheid van verzilten en verzoeten

Vragen die gesteld moeten worden bij het bepalen van de snelheid van zoutwaterintrusie in het kustgebied zijn:

- Waar treden veranderingen op, en hoe snel? Met behulp van chloride concentratie tijdreeksen kan de snelheid van verzoeten en verzilten worden ingeschat (zie bijvoorbeeld figuur 6.2).
- Welke gebieden zijn gevoelig?
- Welke gebieden zullen in de toekomst verzoeten en/of verzilten?



Figuur 6.2: Overzicht van de verziltings- en verzoetingspunten in de Provincie Noord-Holland.

De snelheid van verzilten en verzoeten kan in eerste instantie geschat worden met behulp van de Wet van Darcy, waarmee de stroomsnelheid van het grondwater in het watervoerend pakket wordt gedefinieerd. Daaraan gerelateerd kan de verzilting en verzoeting van het grondwatersysteem worden bepaald, aangenomen dat advectief transport van zout het dominante proces is. De Wet van Darcy, in een ietwat aangepaste vorm is gelijk aan:

$$V_{\text{effectief}} = -\frac{k}{n_e} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (1)$$

waarin:

$V_{\text{effectief}}$ = effectieve laterale grondwaterstromingsnelheid door het poreuze medium [m/dag],

k = hydraulische doorlatendheid [m/dag],

n_e = effectieve porositeit [-],

$\partial \phi / \partial x$ = stijghoogtegradient [-], waarin $\partial \phi$ de stijghoogte en ∂x de afstand.

Als voorbeeld wordt de situatie over het profiel Noordzee-Haarlemmermeerpolder genomen: de Haarlemmermeerpolder ligt niet ver verwijderd van de zee, de freatische grondwaterstand staat laag, en het watervoerend pakket is redelijk goed doorlatend. De volgende parameters zijn representatief voor dit gebied:

k = hydraulische doorlatendheid = 20 m/dag

n_e = effectieve porositeit grondwatersysteem = 30%

$\partial \phi$ = stijghoogte verschil tussen zee en de Haarlemmermeerpolder = 4 m

∂x = afstand tussen zee en de Haarlemmermeerpolder = 10000 m

Dit geeft een grondwaterstromingsnelheid $V_{\text{effectief}}$ van 9.7m per jaar. Zout (zee)water komt op deze locatie met een snelheid van ongeveer 10m per jaar het watervoerende pakket binnen. Sinds de aanleg van de Haarlemmermeerpolder, zo'n 150 jaar geleden,

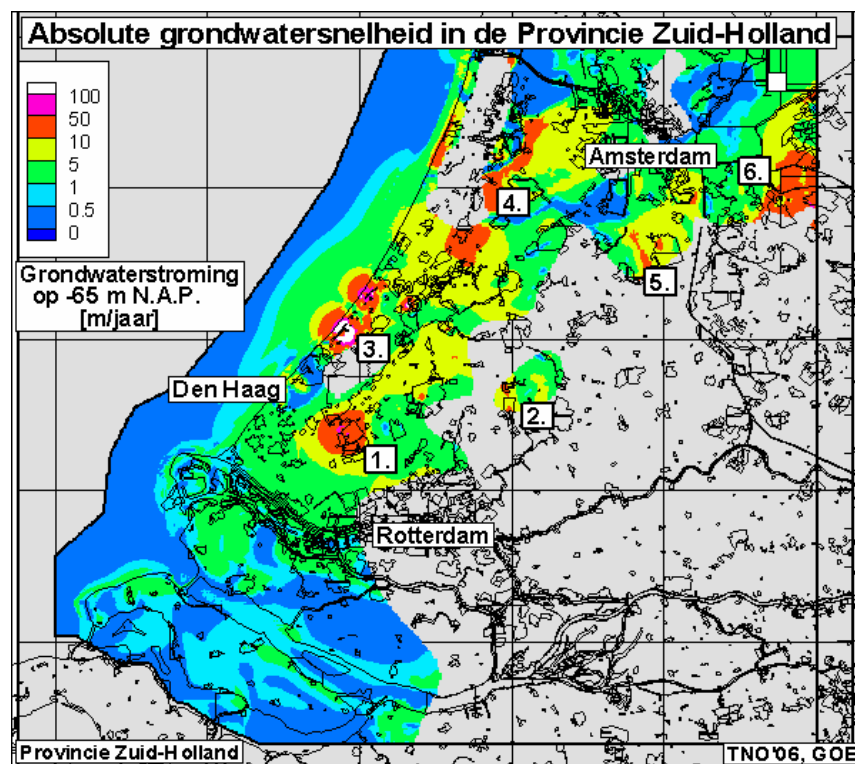
is zout met het grondwater dus ongeveer 1.5km naar het oosten gestroomd (zie ook paragraaf 6.6.1).

Eventuele nieuwe meetpunten kunnen het beste worden geplaatst op die locaties:

- waar zoet en zout grondwater dicht op een korte afstand van elkaar liggen,
- waar er grote grondwateronttrekkingen in het kustgebied zijn (te verwachten),
- waar de topografische verschillen groot zijn,
- waar de afstand tot de kust klein is, de deklaag dun, en het doorlaatvermogen groot.

6.3 Snelheid van verzilten in de Provincie Zuid-Holland: een voorbeeld

Voor de Provincie Zuid-Holland is bepaald wat de toekomstige verzilting van het grondwater is (Minnema *et al.*, 2004), onder invloed van bodemdaling en zeespiegelstijging op een termijn van 200 jaar. Het huidige volume grondwater (tot de hydrologische basis: de Formatie van Oosterhout) wordt geschat op 27 miljard m³, waarvan 36% zoet, 14% brak en 50% zout (Kuijper *et al.*, 2005). De snelheid van verzilten is sterk gelieerd aan de absolute snelheid van het grondwater. In figuur 6.3 is de absolute snelheid op -65m N.A.P. te zien in de Provincie Zuid-Holland, voor het zoute grondwater (concentratie groter dan 1000 mg Cl/l). Afhankelijk van de ruimtelijke verdeling van het brakke en zoute grondwater zal er een significante verzilting én verzoeting kunnen plaatsvinden als de snelheid groot is. In de toekomst is verzilting waarschijnlijk te verwachten bij: 1. de grote grondwateronttrekking van DSM te Delft; 2. het laaggelegen veenweidegebied; 3. de monding van de Oude Rijn te Katwijk; 4. de randen van het duingebied van Waternet naar zee én naar de Haarlemmermeerpolder (voorheen WLB); 5. de diepe polder Groot-Mijdrecht, en 6. de overgang tussen de Utrechtse Heuvelrug en de Flevopolders.

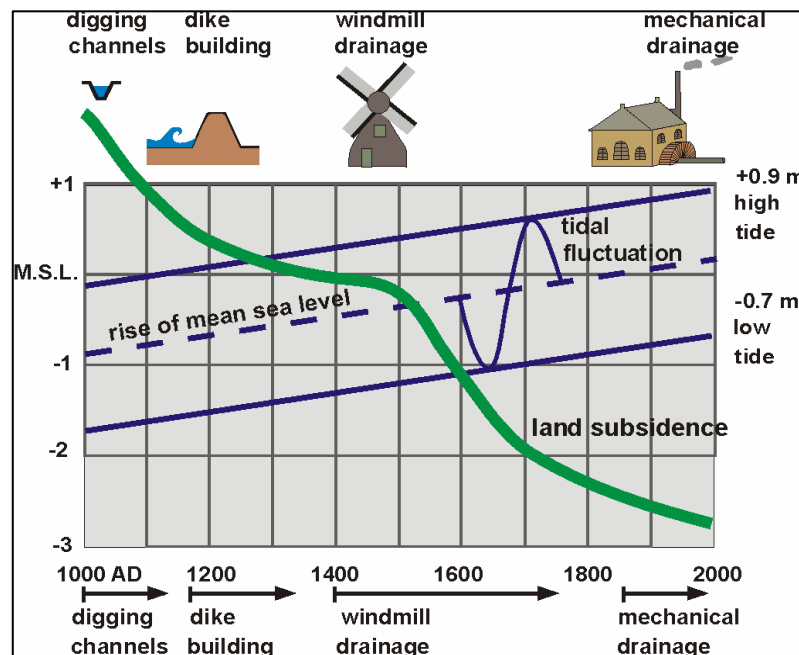


Figuur 6.3: De absolute snelheid op -65m N.A.P. in de Provincie Zuid-Holland: alleen het grondwater is zichtbaar waar het zoutgehalte groter is dan 1000 mg Cl/l.

6.4 Het effect van een zeespiegelstijging

De intrusie van zout grondwater bedreigt het grondwatersysteem in het Nederlandse kustgebied. De autonome verzilting van de ondergrond is een omvangrijk, langzaam en nauwelijks omkeerbaar proces. Zelfs bij een constante zeespiegel zal het autonome verziltingproces nog een aantal eeuwen duren. Door het grote peilverschil van enkele meters tussen het zeeniveau en het achterliggende polderland dringt zeewater de watervoerende pakketten in een relatief hoog tempo binnen. Bovendien zal zout grondwater vanuit diepere (mariene) watervoerende pakketten opwellen. Deze processen zijn al vele eeuwen aan de gang en worden veroorzaakt door de continue daling van het waterpeil en daaraan gelieerd het maaiveld (figuur 6.4). Natuurlijke ontwikkelingen en antropogene activiteiten liggen hieraan ten grondslag. Zo heeft het afgraven van veen in West-Nederland ten behoeve van de zoutwinning geleid tot grote verlagingen in het maaiveld. De grootste bodemdaling in de veen- en kleigebieden in het westen en noorden van het land is het gevolg van twee, door mensen gestuurde, processen: 1. de ontwatering van de bodem (een traag en continu proces), en 2. de inpoldering van het land (een relatief abrupte verandering in het maaiveld).

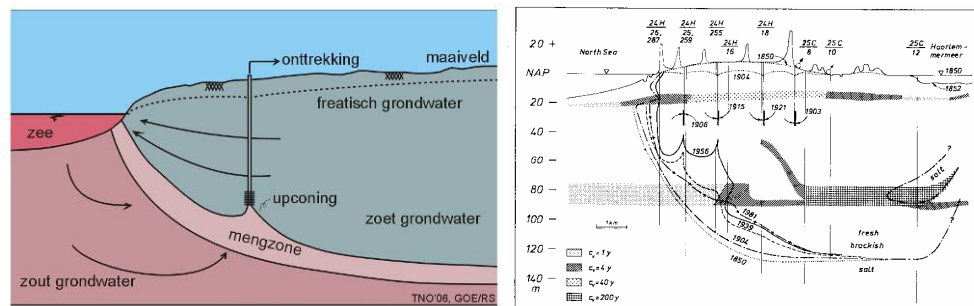
Voor de aanleg van de laaggelegen droogmakerijen vanaf het begin van de Gouden 17^{de} Eeuw heeft waarschijnlijk gedurende de afgelopen eeuwen een sterke toestroming van zout grondwater veroorzaakt vanuit de zee en de diepe watervoerende pakketten. Deze ontwikkelingen in het verleden hebben nog steeds invloed op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Door de verlaging van het polderpeil als gevolg van de daling van het landoppervlak begon het grondwater tussen de verschillende poldergebieden, elk met een eigen gecontroleerd polderpeil lager dan het gemiddeld zeeniveau, sneller te stromen. Kwelwater in de centrale delen van de diepe polders in het kustgebied is vaak brak. Tegelijk vindt infiltratie van oppervlaktewater plaats in de duingebieden en vanuit ondiepe zoetwatermeren.



Figuur 6.4: Schets van de continue daling van het maaiveld en stijging van de zeespiegel gedurende de afgelopen 1000 jaar; lag 1000 jaar geleden het maaiveld nog gemiddeld 2.5 m boven het zeeniveau, momenteel ligt het land 2.5 m onder het zeeniveau (bron: G.P. van der Ven, 1993).

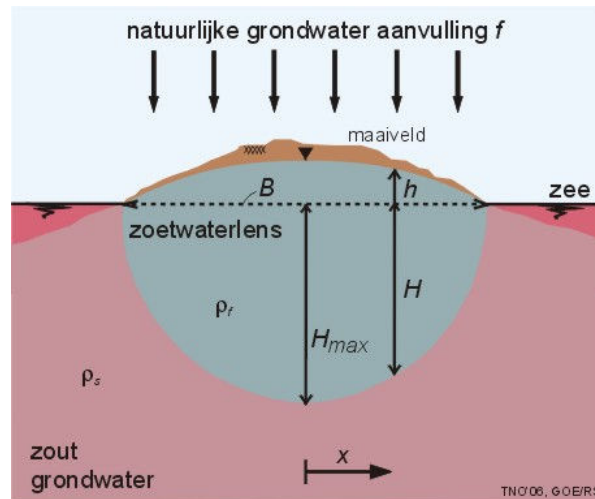
6.5 Zoetwaterlenzen in duingebieden

De volumes zoet grondwater in de zoetwaterlenzen in het Hollandse duingebied (DZH, Waternet, en PWN) zijn momenteel goed te beheren. In de jaren 1950 was dat wel anders; zo hebben bijvoorbeeld destijds in het duingebied van Waternet grote onttrekkingen in het eerste watervoerend pakket gezorgd voor een snelle opkegeling (upconing) van brak en zout grondwater (Stuyfzand, 1993) (figuur 6.5a en 6.5b). Sindsdien is men overgeschakeld op kunstmatige infiltratie in het freatisch watervoerend pakket vanuit oppervlaktewater plassen. Grondwater werd vervolgens niet meer onttrokken uit het eerste watervoerend pakket. Het opgetrokken brakke en zout grondwater kon langzaam naar zeker wegzakken en/of zich in oostelijke richting naar de Haarlemmermeer verplaatsen.

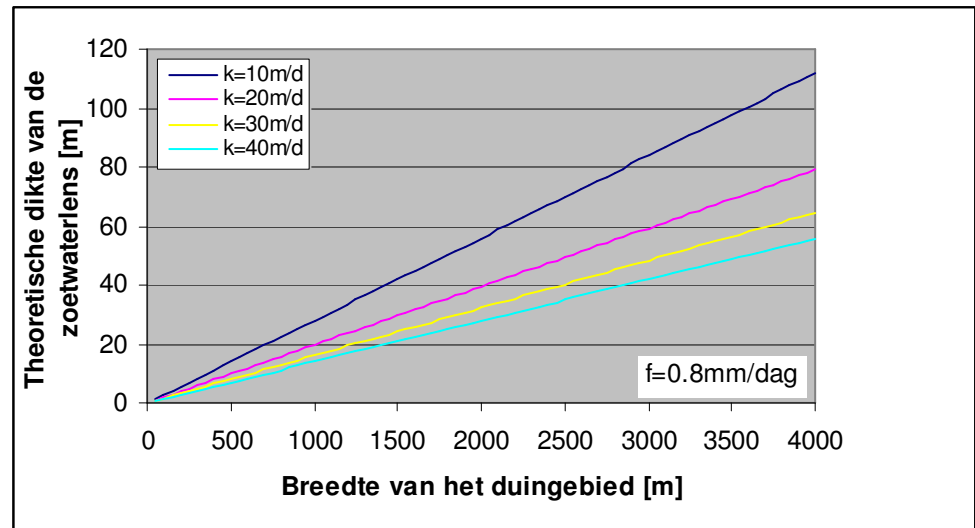


Figuur 6.5: a. Schematisatie van het opkegelen (upconing) van brak grondwater onder een onttrekking in de duinen in het kustgebied; b. Verandering in de positie van het brak-zout grensvlak in een geschematiseerd profiel over de duinen van Waternet ten zuiden van Zandvoort aan Zee (Stuyfzand, 1993).

De dikte van de zoetwaterlens kan ingeschat worden aan de hand van een analytische vergelijkingen (Oude Essink, 2001b), figuur 6.6. Hierbij zijn de volgende parameters van belang: de breedte van het duingebied B , de hydraulische doorlatendheid van het watervoerend pakket k , de natuurlijke grondwater aanvulling f en het relatieve dichtheidsverschil tussen zoet en zout grondwater α . Figuur 6.7 laat zien dat er een lineair verband bestaat tussen de breedte van het duingebied en de theoretische dikte van de zoetwaterlens. Deze theoretische dikte wordt bereikt als: a. er geen grondwateronttrekkingen aanwezig zijn, b. er geen weerstandslaag aanwezig is waardoor een groot deel van het geïnfiltreerde grondwater in de freatische watervoerende laag wordt afgevoerd, en c. het systeem de tijd krijgt om een dynamische evenwichtssituatie in te stellen.



Figuur 6.6: Schematische weergave van een dynamische zoetwaterlens die drijft op het zoute grondwater.



Figuur 6.7: Theoretische dikte van de zoetwaterlens, als een functie van de breedte van het duingebied en de hydraulische doorlatendheid. De natuurlijke grondwateraanvulling in dit voorbeeld is gelijk aan 0.8mm/dag.

De zogenaamde karakteristieke snelheid om een dynamische evenwichtssituatie te bereiken geeft een impressie van de snelheid van verzilten van deze zoet-zout grondwatersystemen. Aan de hand van analytische vergelijkingen is in te schatten hoe snel zo'n dynamische zoetwaterlens zich ontwikkelt. De karakteristieke tijdsduur T voordat de zoetwaterlens 99.5% van zijn uiteindelijke vorm heeft bereikt is (Boekelman 2001; Oude Essink, 2001b):

$$T = 3 \frac{\pi n B}{8} \sqrt{\frac{(1 + \alpha)}{k f \alpha}} \quad (1)$$

waarin:

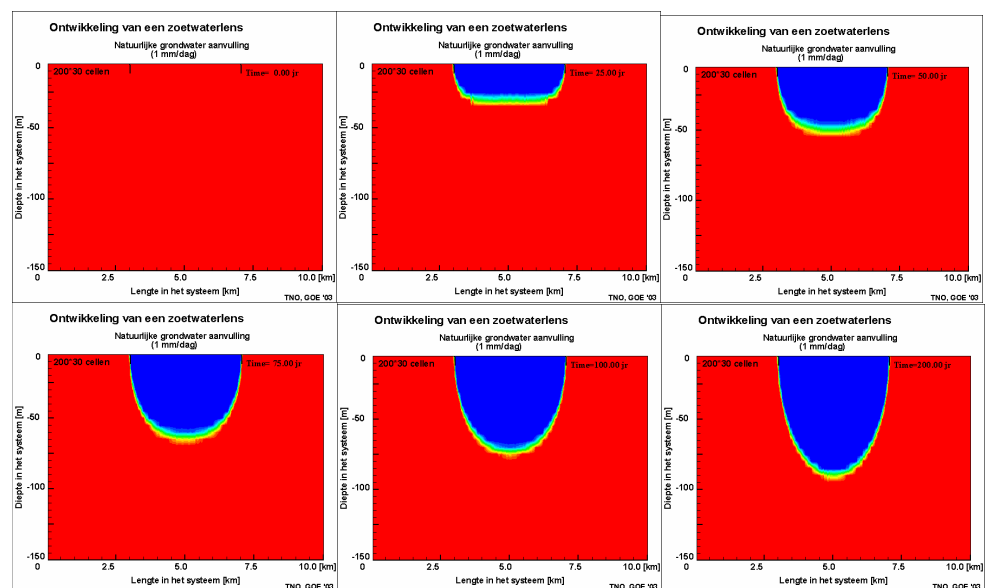
T = karakteristieke tijdsduur [dag],

k = hydraulische doorlatendheid [m/dag],

n = effectieve porositeit [-],

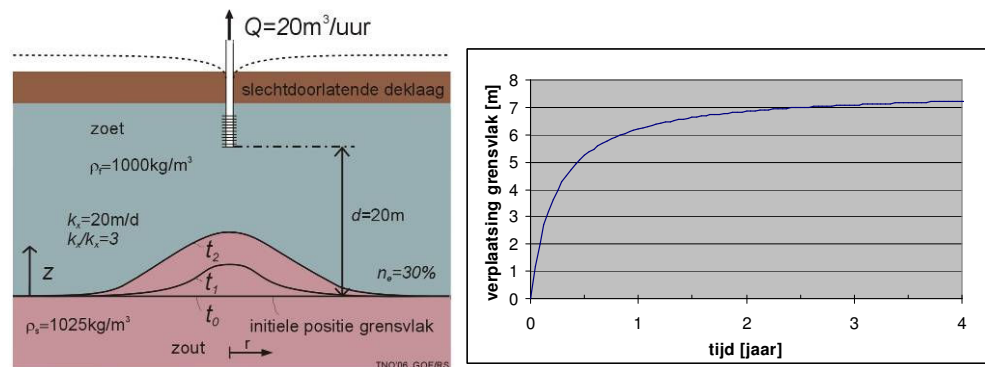
- B = breedte van zoetwaterlens [m],
 f = natuurlijke grondwater aanvulling [m/dag],
 α = $(\rho_s - \rho_f) / \rho_f = 0.025$, relatieve dichtheidsverschil [-],
 ρ_s = dichtheid van zout grondwater, 1025 kg/m^3 ,
 ρ_f = dichtheid van zoet grondwater, 1000 kg/m^3 .

Duidelijk is dat de lengte van de karakteristieke tijdsduur wordt bepaald door de breedte van het duingebied B , de natuurlijke grondwateraanvulling f en de hydraulische doorlatendheid van de bodem k . Voor de meeste zoetwaterlensen in de duingebieden in het Hollandse kustgebied ligt deze karakteristieke tijdsduur T tussen de 75 en 200 jaar. Het ontwikkelen van een dergelijke zoetwaterlens is dus een langdurig proces. Ook met numerieke modellen kan de ontwikkeling van een zoetwaterlens inzichtelijk worden maken, zie figuur 6.8.

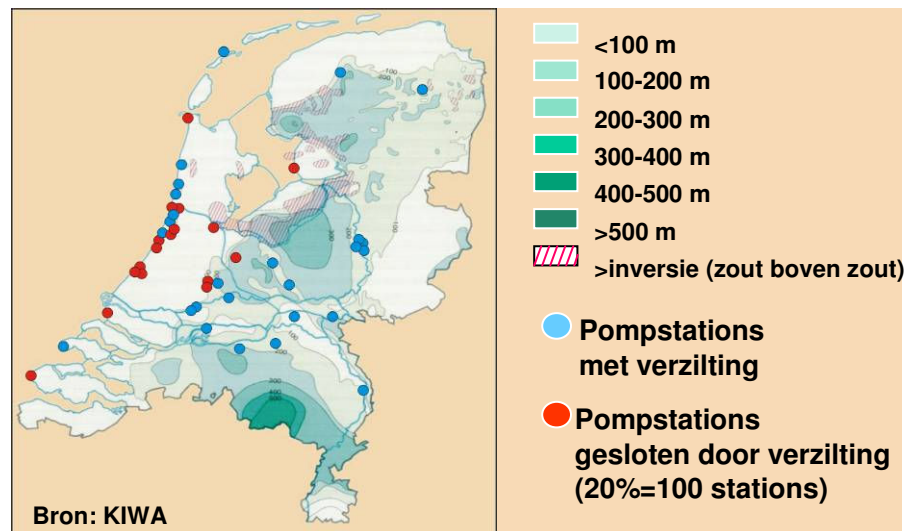


Figuur 6.8: Voorbeeld van een numeriek model waarmee de ontwikkeling van een zoetwaterlens in het Nederlandse kustgebied wordt gekwantificeerd.

Het opkengelen van brak en zout grondwater onder deze lenzen, dat wil zeggen het vertikaal omhoog komen van een zoet-zout grensvlak tengevolge van bijvoorbeeld een grote onttrekking, kan echter een acute verzilting veroorzaken. Dit verziltingsproces is veel sneller, omdat het hier gaat over een proces in het verticale vlak waar zoet en zout grondwater veel dicht bij elkaar liggen. Analytische vergelijkingen (Dagan en Bear, 1968; Schmorak en Mercado, 1969) geven aan dat binnen enkele maanden het zoet-zout grensvlak meters omhoog is geschoven (figuur 6.9). Figuur 6.10 laat zien hoe het gesteld is met de verzilting van pompstations in Nederland tengevolge van grondwateronttrekkingen.



Figuur 6.9: a. Voorbeeld van een analytisch model waarmee de opkegeling van zout grondwater onder een onttrekking wordt berekend, b. verplaatsing van zoet-zout grensvlak onder een grondwateronttrekking.



Figuur 6.10: Pompstations in Nederland die last hebben van verzilting evenals de pompstations die zijn gesloten omdat het onttrokken grondwater te veel brak was (Grakist et al., 2002).

Verwacht wordt dat door een toekomstige zeespiegelstijging de zoetwaterlenzen onder druk komen te staan. Echter, een voorspelde toename van de natuurlijke grondwateraanvulling in deze gebieden zal echter kunnen betekenen dat de zoete grondwaterreserves in deze lenzen nauwelijks zullen verminderen.

6.6 Verzilting in droogmakerijen

6.6.1 Haarlemmermeerpolder en het duingebied onder Zandvoort

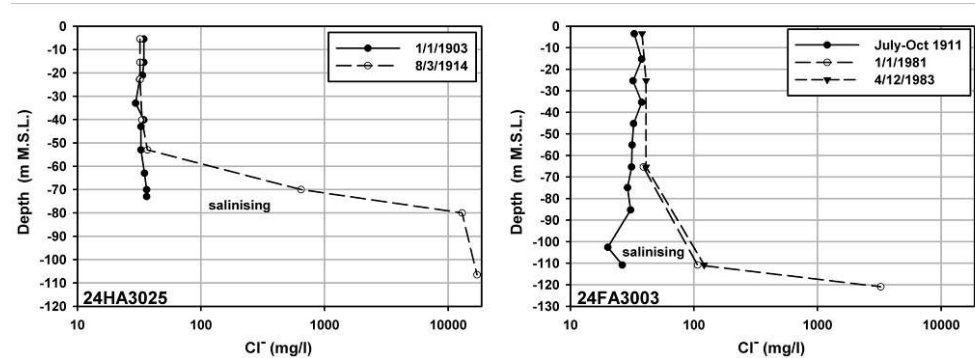
In het kustgebied tussen het duingebied onder Zandvoort en de Haarlemmermeerpolder is er de afgelopen eeuwen veel veranderd in de waterhuishouding (Roebert, 1987;

Stuyfzand, 1993). De verandering in de grondwaterstromingspatronen zijn in dit gebied goed beschreven, en de numerieke modellen bevestigen de theorieën (Kooiman, 1989; Oude Essink, 1996).

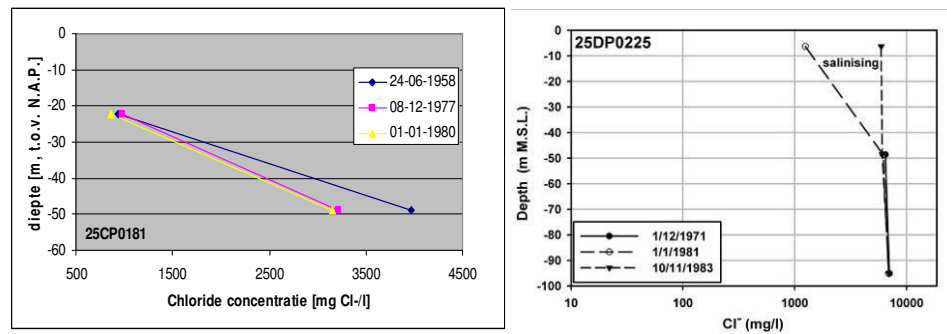
In de middeleeuwen lagen in de veenlanden tussen Amsterdam, Haarlem en Leiden vele meren. Een aantal meren vloeide samen door afkalving van hun oevers en door ontvening, en zo ontstond het Haarlemmermeer. Het Haarlemmermeer is vervolgens drooggelegd in de jaren 1848-1852 (Schultz, 1992). De Haarlemmermeerpolder is een grote diepe polder (oppervlakte 18000ha, met gemiddeld polderpeilen tussen -4.5 en -6 m N.A.P.) die op zo'n 10 kilometer van de huidige kustlijn ligt.

Vanaf het begin van de 20^{ste} eeuw is grondwater onttrokken uit het duingebied van het Waterleiding Bedrijf Amsterdam (WLB, thans Waternet). Het grensvlak tussen zoet en zout grondwater kwam ter plaatse van de onttrekkingen meters omhoog (zie figuur 6.5b en 6.11). Eind jaren 1950 was het onttrekkingsdebiet uit het eerste watervoerend pakket maximaal, zo'n 18 miljoen m³. Een aantal onttrekkingsputten zijn hierdoor verzilt (zie figuur 6.5b). Bovendien is ter plaatse van de huidige Rijnland polders vanaf midden 19^{de} eeuw veel zand afgegraven waardoor ook daar het stijghoogtepatroon flink is veranderd.

Bovenstaande processen hebben geleid tot veranderingen in het grondwaterstromingsregime (figuur 6.13). Vanaf het moment van de drooglegging van de Haarlemmermeer vond een sterke toestroming van zout zeewater richting het centrale deel van de polder plaats. Bovendien trad opkegeling van zout grondwater op uit de mariene watervoerende lagen. Onder de Rijnland polders is het grondwater verzoet (figuur 6.12a).

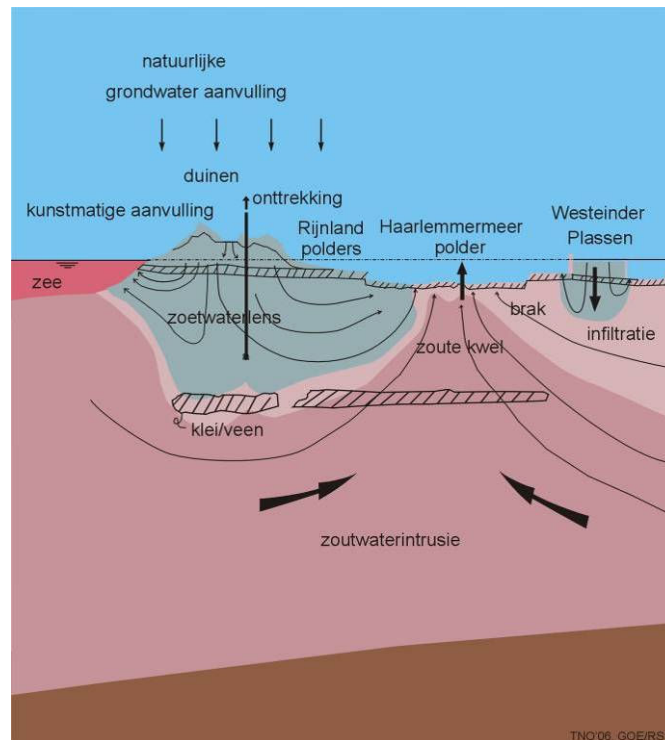


Figuur 6.11: Verandering in de chloride concentratie in twee observatiebuizen in het duingebied van WLB: het grensvlak tussen zoet en brak grondwater is de afgelopen eeuw omhooggekomen.



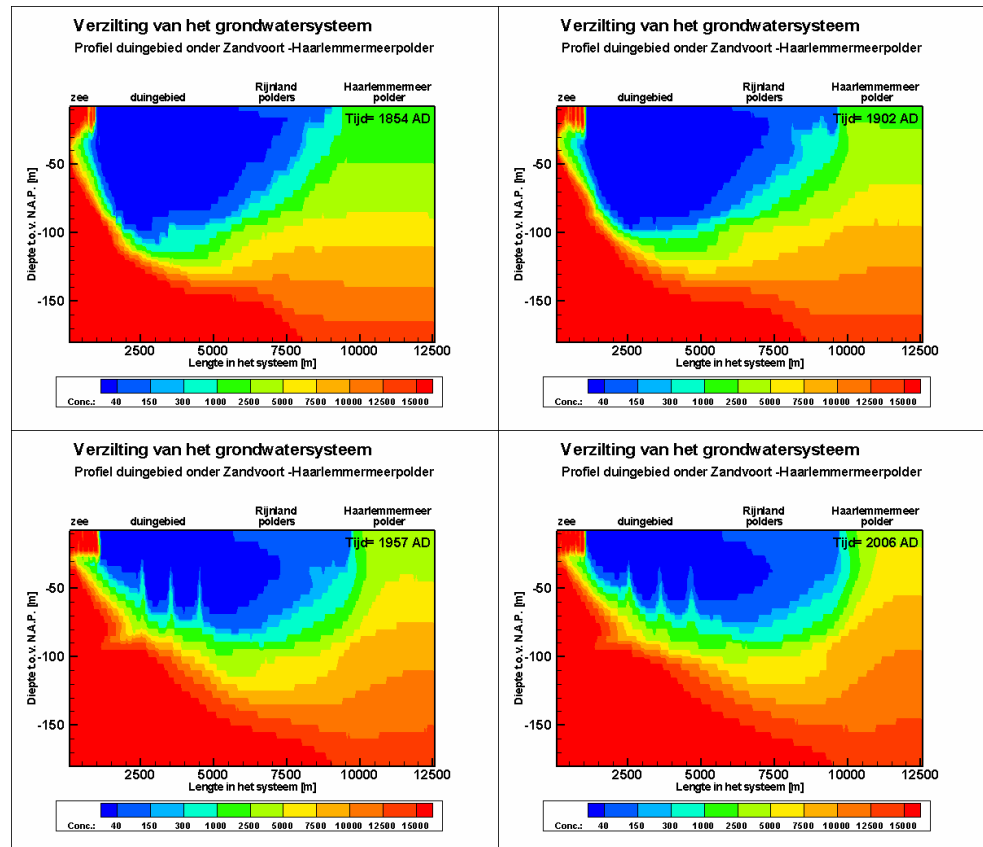
Figuur 6.12: Verandering in de chloride concentratie in één observatiebuis (25CP0181) aan de westkant van de Haarlemmermeerpolder: verzoeting van het grondwatersysteem, waarschijnlijk door instroming van zoet grondwater vanuit de duinen en de Rijnland polders. Observatiebuis 25DP0225 bevindt zich in de polder zelf. In het eerste watervoerend pakket treedt een sterke verzilting op.

Voor de toekomst is te verwachten dat zeespiegelstijging en bodemdaling de verzilting van de ondergrond zullen versnellen. Het grondwater onder het centrale deel van de Haarlemmermeerpolder zal over het algemeen meer zout bevatten. In het westelijke deel van de polder is dit daarentegen niet het geval: het grondwater dat vanuit de duinen en de Rijnland polders zal binnenstromen is zoet (figuur 6.12a). Bovendien zal vanuit bijvoorbeeld de Westeinder Plassen zoet grondwater toestromen (figuur 6.13). Figuur 6.14 laat aan de hand van modelberekeningen de globale stromingsprocessen zien: zout grondwater kegelt op onder de onttrekkingspunten én de Haarlemmermeer; zoet grondwater uit de duinen en de Rijnland polders stroomt richting de Haarlemmermeerpolder; brak grondwater wordt ingesloten ter plaatse van een slechtdoorlatende leemlaag (tussen -80m en -90m N.A.P.); en door een zoet-zout inversie stroomt onder de zee zoet grondwater door de deklaag naar de zoute zeebodem.



Figuur 6.13: Een schematisatie van de verandering in de zoet-zout verdeling van het grondwatersysteem in het duingebied van het Waterleiding Bedrijf Amsterdam en de Haarlemmermeerpolder: verzilting in het centrale deel van de Haarlemmermeerpolder maar tegelijkertijd verzoeting aan de west- en oostkant van de polder door instroming van zoet grondwater uit respectievelijk de duinen en de Westeinder Plassen.

Modelberekeningen hebben aangetoond dat de zoutbelasting op het oppervlaktewater in de polder over 50 jaar wel eens bijna 40% kan zijn toegenomen. Weliswaar is voor de toekomst meer neerslag voorspeld, maar een grotere zoetwaterlens in het duingebied is onwaarschijnlijk door de stijging van de zeespiegel.

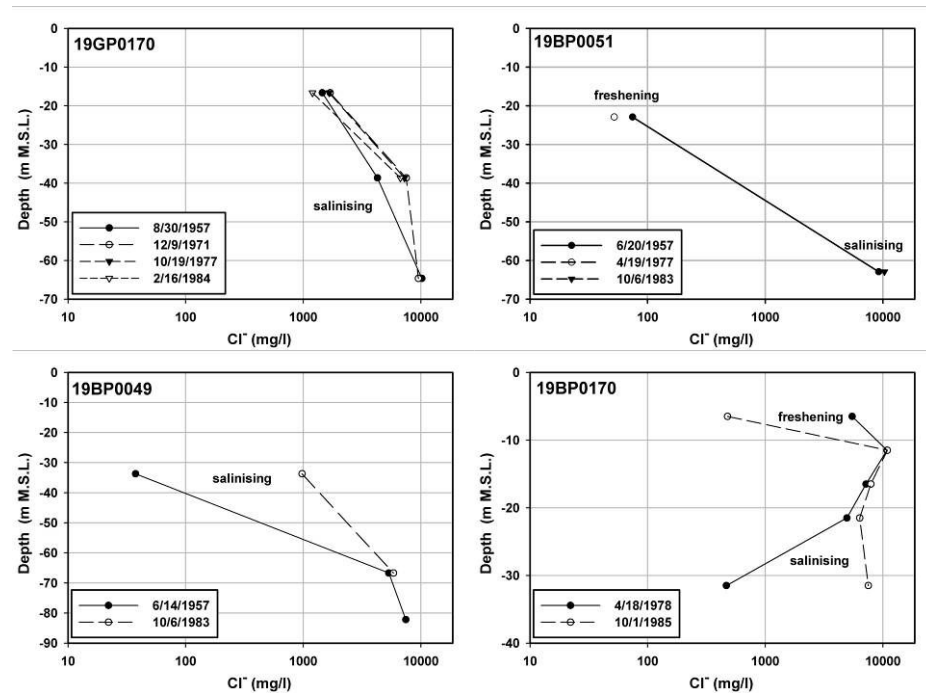


Figuur 6.14: Een numeriek model is gebruikt om de veranderingen in de zoet-zout verdeling van het grondwatersysteem in het duingebied van het Waternet (voorheen Waterleiding Bedrijf Amsterdam) en de Haarlemmermeerpolder in te schatten (Oude Essink, 1996) : a. de geschatte zoet-zout verdeling in 1854 AD, net na de drooglegging van de Haarlemmermeerpolder (Kooiman, 1986); b. 1902 AD: de berekende verdeling, net voordat er wordt begonnen met het onttrekken van grondwater uit het eerste watervoerend pakket; c. 1957 AD opgekelen van brak grondwater onder de onttrekkingspunten tijdens de grootste onttrekkingen uit het eerste watervoerend pakket; d. huidige situatie: verzilting van het grondwater onder de Haarlemmermeerpolder.

6.6.2 Diepe droogmakerijen in Noord-Holland als de Beemster en de Schermer

In Noord-Holland bevinden zich een aantal oude diepe droogmakerijen: Beemster (drooggelegd in 1608-1612), de Purmer (1618-1622), de Wormer (1625-1626), en de Schermer (1633-1635). Deze droogmakerijen liggen tussen de 10 en 25 kilometers vanaf de Noordzee kustlijn. De gemiddelde polderpeilen zijn ondieper dan die in de Haarlemmermeerpolder. Zoutwater intrusie vanuit de zee met als gevolg verzilting van de onderliggende grondwatersystemen lijkt mede door kleinere topografische verschillen in eerste instantie minder relevant dan in de situatie van de Haarlemmermeerpolder. Echter, deze polders zijn minstens 200 jaar eerder aangelegd, zodat het zoute grondwater twee eeuwen langer de tijd heeft gehad om het systeem binnen te dringen. Bovendien is het doorlaatvermogen van de ondergrond in dit gebied is bijna twee keer zo groot als in het gebied rondom de Haarlemmermeerpolder. Het laaggelegen systeem ligt tevens geïsoleerd tussen twee (relatief) hooggelegen mariene grondwatersystemen: de Noordzee en het IJsselmeergebied met een zoute ondergrond. Toestroming van diep grondwater is, met uitzondering van water uit de zoetwaterbel

van Hoorn overwegend brak tot zout (Beekman en Appelo, 1991; Oude Essink, 2001b). Figuur 6.15 laat zien dat verzilting en verzoeting op verschillende plaatsen in deze polders optreedt: het grondwater onder de polder de Wormer zowel verzoet als verzilt.



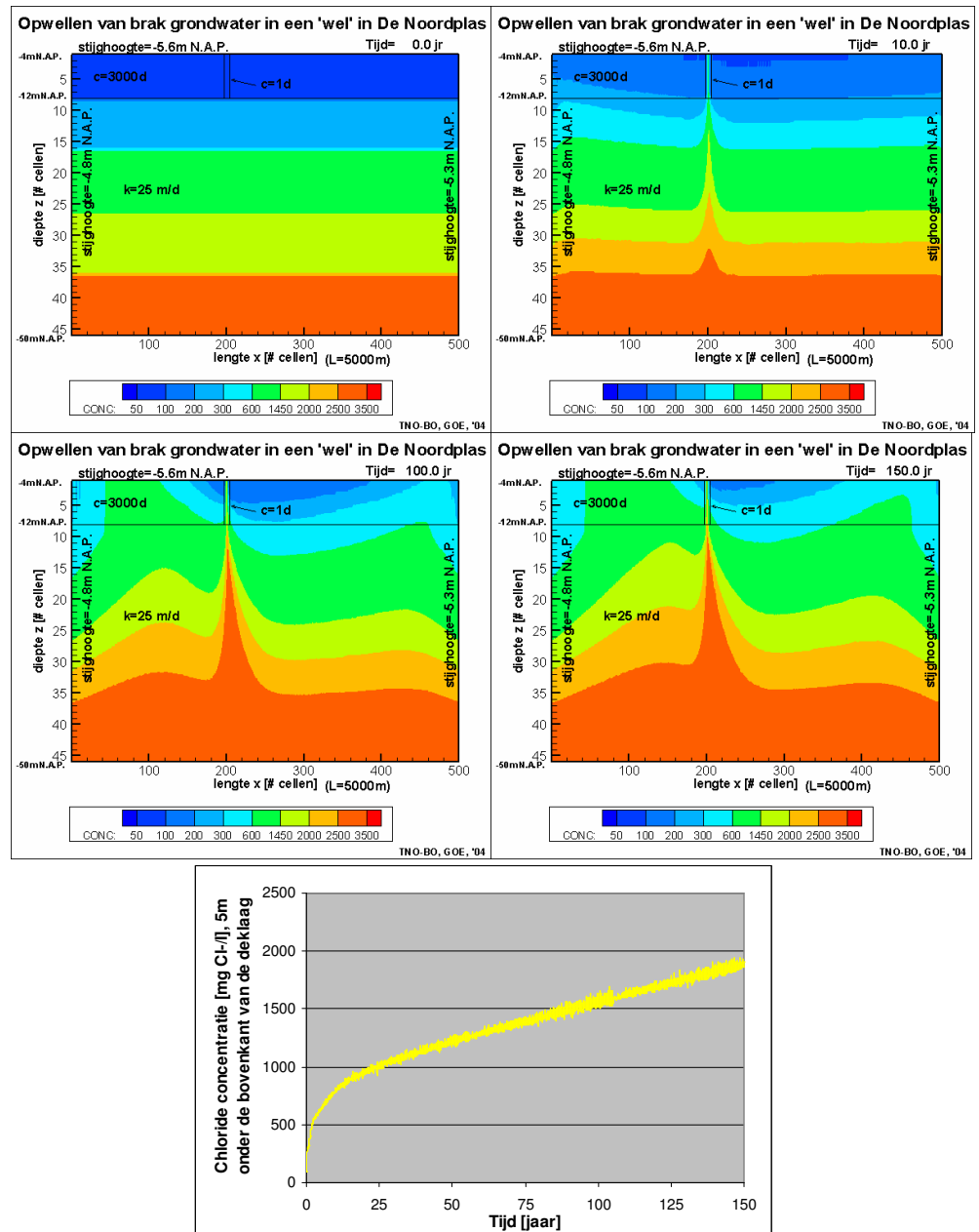
Figuur 6.15: Verandering in de chloride concentratie in twee observatiebuizen onder de Noord-Hollandse droogmakerijen: verzoeting van het topsysteem en verzilting van de diepere watervoerende pakketten (19GP0170 onder Purmer, 19BP0051 onder Schermer, 19BP0049 1.5km ten noorden van Schermer, en 19BP0170 4km ten noorden van Schermer). Zoet-zout inversies en de paleohydrologie (trans- en regressies) lijken een belangrijke rol te spelen.

6.6.3 Polders De Noord- en Zuidplas

De polders De Noordplas (4500ha, drooglegging 1868) en De Zuidplas (drooggelegd 1828-1840) in Zuid-Holland, ten oosten van Zoetermeer, karakteriseren zich als laaggelegen polders met een brakke ondergrond. In deze polders bevinden zich een groot aantal wellen (figuur 6.16). Wellen zijn plaatsen waar de deklaag doorbroken is en de doorlatendheid groot. Zodoende kan opkwellend water zeer geconcentreerd omhoog komen. Bovendien zijn er duidelijk zandbanen in het gebied te karteren (de Louw et al., 2004). De kwelintensiteit is er zeer groot, wel enkele dm tot vele meters (!) per dag. Brak tot zout grondwater kan hier gemakkelijk omhoog stromen naar het oppervlaktewatersysteem. De wellen dragen zodoende in grote mate bij tot de zoutbelasting op het oppervlaktewatersysteem. Het is in de lijn der verwachting dat de zoutconcentratie onder deze wellen zal toenemen in de loop van de tientallen jaren, met als gevolg een nog grotere zoutbelasting (figuur 6.17). Modelberekeningen wijzen uit dat onder een wel het zoute grondwater snel omhoog kan komen. Als het diepere grondwater verder verzilt, zal de chloride concentratie in de wel ook toenemen.



Figuur 6.16: Voorbeelden van wellen in het polderlandschap.

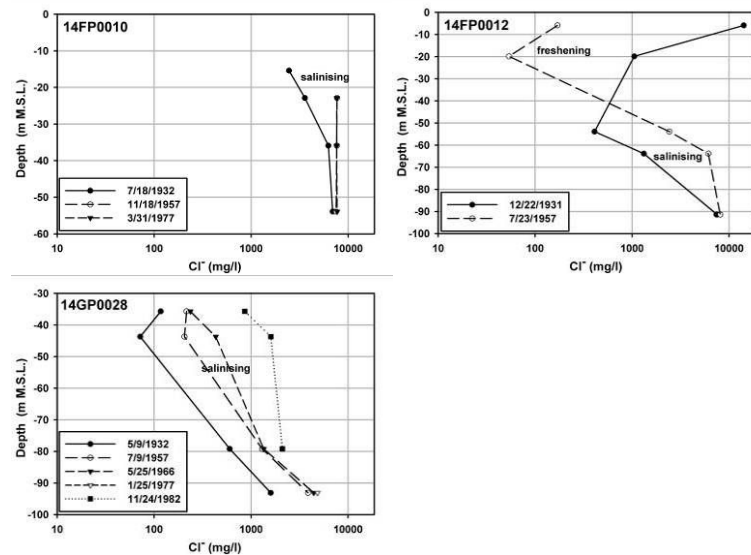


Figuur 6.17: Voorbeeld van een numeriek model waarmee het opwellen van brak grondwater ter plaatse van een wel in de Polder De Noordplas wordt ingeschat. De chloride concentratie in de wel is snel hoog opgelopen, terwijl in de gewone deklaag het grondwater in de eerste tientallen jaren nog zoet blijft.

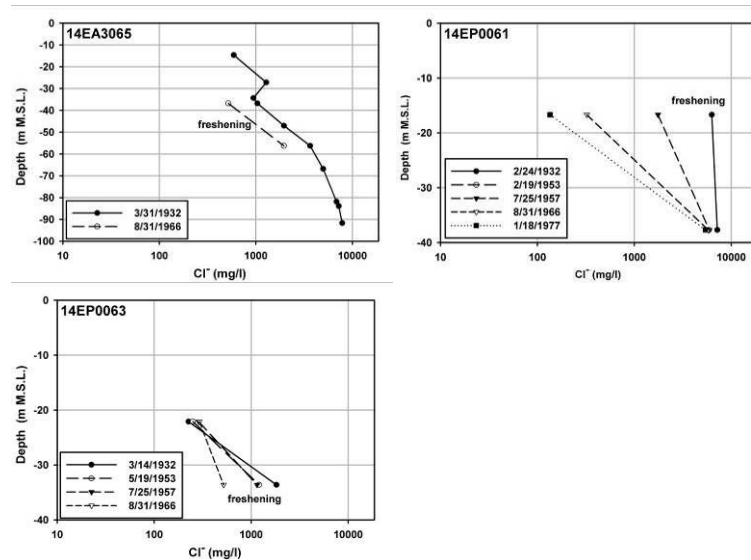
6.6.4 Wieringermeer

De Wieringermeerpolder is een van de grootste polders van Nederland en heeft een oppervlakte van ongeveer 200 km². De hoogte van de polder varieert tussen de 6 meter onder NAP in het zuidoosten tot 1 meter boven NAP op de terp bij Wieringerwerf (met uitzondering van de dijken). Dit voormalige deel van de zoute Zuiderzee is in 1930 drooggelegd. De polder trekt door de lage stijghoogte diep grondwater aan, waardoor veel kwel optreedt. Doordat in dit grondwater veel zouten zijn opgelost, is de eerste verwachting dat deze diepe polder zal verzilten (figuur 6.18). Een ander patroon dat verwacht wordt is dat langs de grens tussen de diepe polder en het hooggelegen oude

eiland Wieringen verzoeting optreedt, aangezien het water hier een korte, ondiepe stroombaan zal afleggen (figuur 6.19). Chloride concentratie reeksen komen overeen met deze hypothesen.



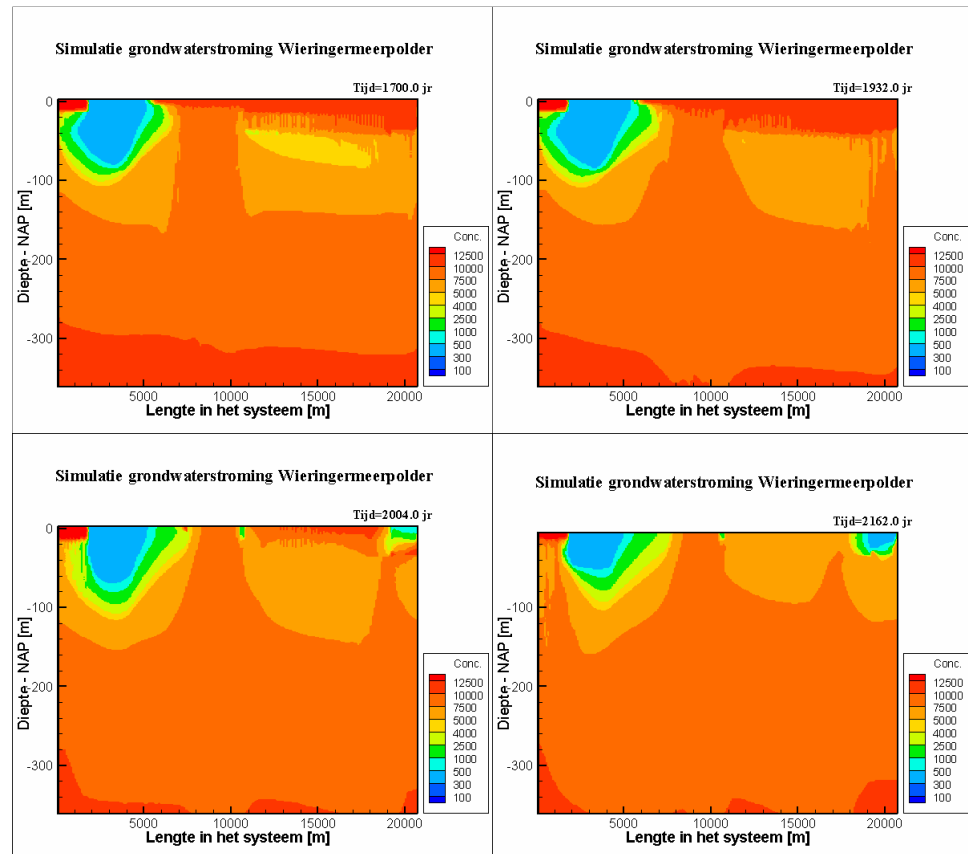
Figuur 6.18: Verziltig van het grondwatersysteem onder de Wieringermeerpolder: de chloride concentraties in de drie observatiebuizen nemen toe. In deze peilbuizen is het verziltingsproces na de aanleg van de Wieringermeerpolder in beeld gebracht. Mogelijke verklaringen zijn: 14FP0010: in de polder, op enige afstand van het IJsselmeer; 14FP0012: in het centrale deel van de polder; en 14GP0028: in de polder, op de rand met de Groet en Waard polder.



Figuur 6.19: Verzoeting van het grondwatersysteem op de grens tussen Wieringen en de Wieringermeerpolder: de chloride concentraties in de drie observatiebuizen nemen af. Door het creëren van een stijghoogteverschil is het grondwater hard gaan stromen, met als gevolg verzoeting van het grondwatersysteem. In deze peilbuizen is op een prachtige wijze het verzoetingproces na de aanleg van de Wieringermeerpolder in beeld gebracht.

Met behulp van een 2D numeriek model is getracht (Bader, 2005) een impressie te geven in de veranderingen in de zoet-zout verdeling als gevolg van de inpoldering en het zoet worden van de voormalige Zuiderzee (figuur 6.20). De situatie in 1700 AD is

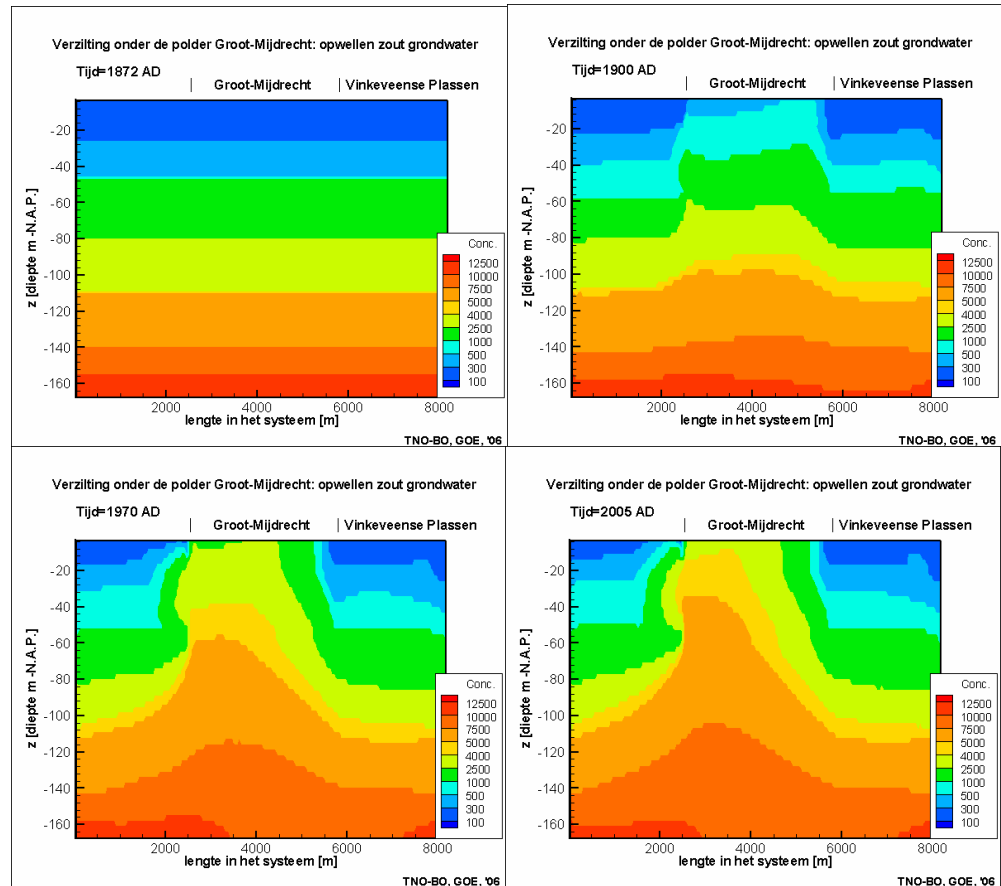
natuurlijk moeilijk vast te stellen, maar aangenomen is dat het grondwatersysteem in 1300 AD brak tot licht zout was. Tot 1932 AD infiltreerde zout zeewater vanuit de Zuiderzee het grondwatersysteem binnen. Vanaf 1932 AD veranderde de stroming van infiltratie naar kwel, en stroomde zoet IJsselmeer water in het bovenste deel van het grondwatersysteem vanuit het oosten de Wieringermeerpolder binnen. Tenslotte wordt aangenomen dat in de toekomst de kwel in het centrale deel van de polder brak tot zout zal zijn. Bovendien wordt het verzoetingsproces langs de rand tussen het IJsselmeer en de polder gecontinueerd. Het volume in de zoetwaterlens onder Wieringen zal iets kleiner worden doordat relatief veel zoet grondwater afstroomt richting de diepe polder.



Figuur 6.20: Verandering in de zoet-zout verdeling in een 2D dwarsprofiel over de Wieringen, de Wieringermeerpolder en het IJsselmeer.

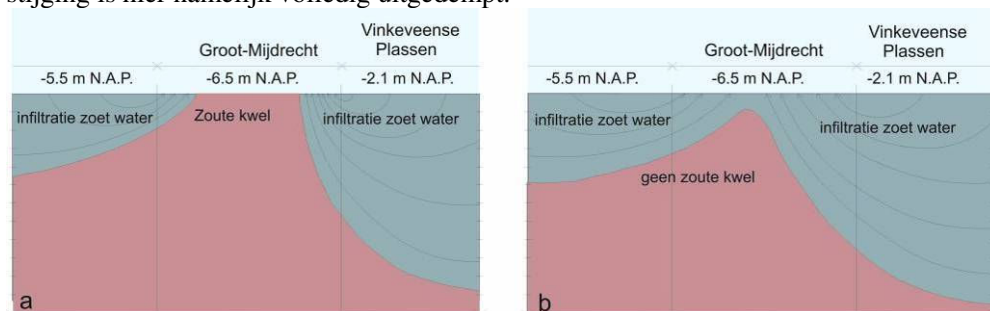
6.6.5 Groot-Mijdrecht

De polder Groot-Mijdrecht in de Provincie Utrecht is één van de diepste polders van Nederland (freatische polderpeilen variëren van -5.60m tot -6.25m N.A.P.). De polder is drooggelegd in de jaren 1872-1877 en is ongeveer 20km² groot (Koppen, 1985). De Holocene deklaag in het gebied is dun, met hydraulische weerstanden van 80 tot 250 dagen. Door deze lage weerstand en de hooggelegen Vinkeveense Plassen (peil -2.10m N.A.P.) ten oosten van de polder reedt er een sterke kwel op van enkele mm/dag. Zoet grondwater infiltrert in de Vinkeveense Plassen en stroomt onder de dijk de polder Groot-Mijdrecht in. In het centrale deel van de polder is de kwel zout (figuur 6.21), met chloride concentraties van enkele duizenden mg Cl⁻/l (Boekelman, 1981). De huidige zoutbelasting vanuit deze polder is groot.



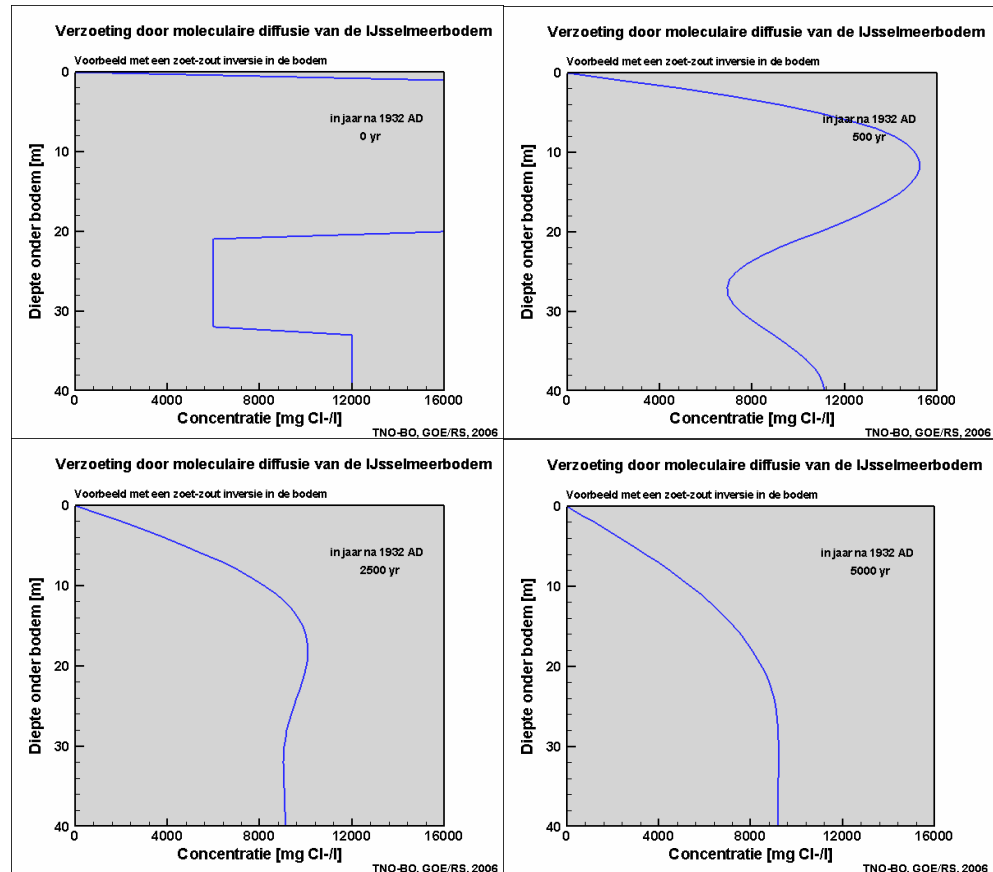
Figuur 6.21: Voorbeeld van een numeriek model waarmee het opwellen van brak grondwater onder de Polder Groot-Mijdrecht.

Voor de toekomstige situatie zijn er twee scenario's mogelijk (figuur 6.22, van Dam, 1986, Boekelman en Oude Essink, 1994): a. in het centrale deel van de polder wordt zoute kwel continue aangevoerd vanuit de diepere watervoerende lagen waar het grondwater zout is; b. de infiltratie van zoet grondwater vanuit met name de Vinkeveense Plassen zal het zoute grondwater wegdrücken, zodat uiteindelijk alleen zoete kwel in de polder Groot-Mijdrecht zal optreden. Een zeespiegelstijging heeft op deze afstand van de kustlijn geen invloed op het watersysteem: de invloed van een stijging is hier namelijk volledig uitgedempt.



Figuur 6.22: Twee mogelijke situaties zijn in de toekomst mogelijk wat betreft de zoet-zout verdeling onder de polder Groot-Mijdrecht.

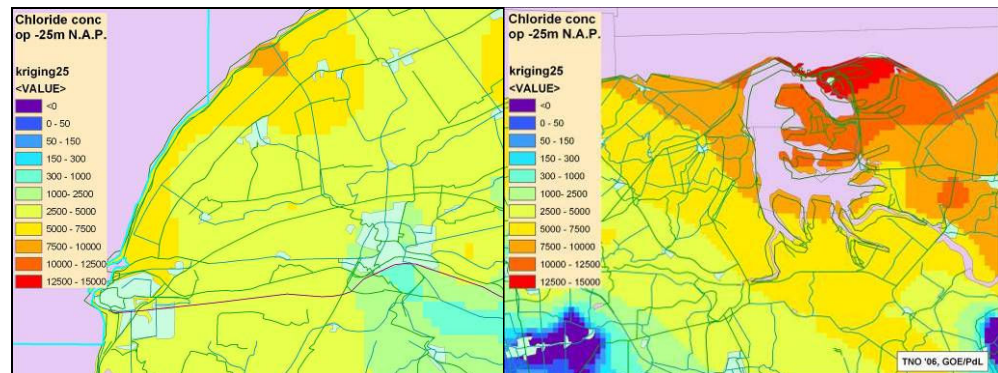
Transport van zoet en zout grondwater treedt normaliter op door advectief, dispersief en diffusief transport van zout. Als de snelheid in het grondwatersysteem onder het IJsselmeer bij benadering verwaarloosbaar klein is, dan wordt de menging van zoet en zout grondwater alleen veroorzaakt door moleculaire diffusie. Een inschatting van de snelheid van verzoeten van het grondwatersysteem onder het IJsselmeer kan gegeven worden aan de hand een simpele berekening, gebruikmakend van de zogenaamde diffusie-vergelijking (Oude Essink, 2001b). Figuur 6.24 laat zien hoe lang het duurt voordat de chloride concentratie in de bovenste meters van de IJsselmeerbodem enigszins afneemt, indien alleen moleculaire diffusie een rol speelt.



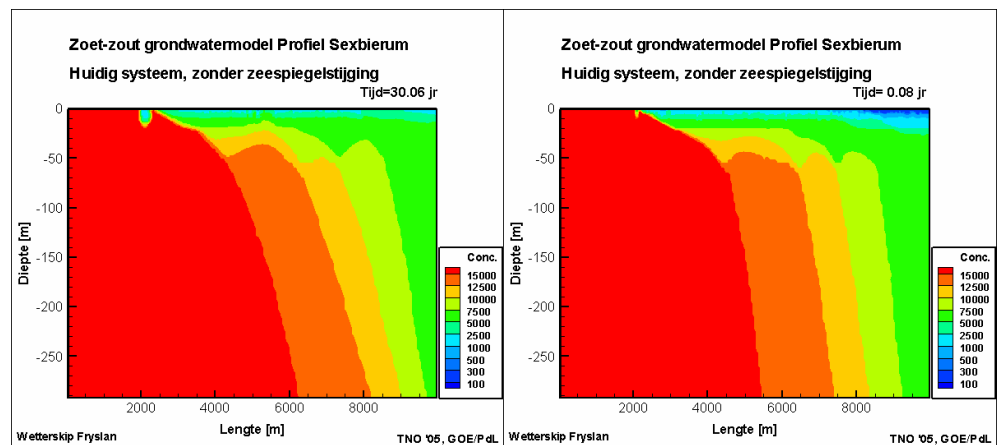
Figuur 6.24: Voorbeeld van verzoeting van het grondwater onder het IJsselmeer door moleculaire diffusie, 500 en 2500 jaar na het verzoeten van het oppervlaktewater.

6.9 Noord-Nederland

In het kustgebied van de provincies Friesland en Groningen bevindt zich grondwater met hoge zoutconcentraties (figuur 6.25). Bodemdaling door met name menselijke activiteiten (zowel gaswinning als zoutwinning) zal waarschijnlijk leiden tot het verlagen van de gecontroleerde waterpeilen in het poldersysteem. De peilverlagingen heeft een toenemende verzilting van het grond- en oppervlaktewater tot gevolg. Bovendien wordt door een stijging van de zeespiegel en een verandering in neerslag- en verdampingspatroon een grotere belasting op het grond- en oppervlaktewatersysteem verwacht. Met behulp van 2D modelberekeningen is in het gebied rondom Barradeel (Friesland) de verplaatsing van het zoete, brakke, en zoute grondwater ingeschat (figuur 6.26). Een verdubbeling van de zoutbelasting op het oppervlaktewater behoort in sommige gebieden tot de mogelijkheden.



Figuur 6.25: De chloride concentratie verdeling op -25 m N.A.P. in Friesland: a. Barradeel in het noordwesten waar zoutwinning plaats vindt, en het gebied rond het Lauwersmeer. Zout grondwater bevindt zich in de bovenste watervoerende pakketten.

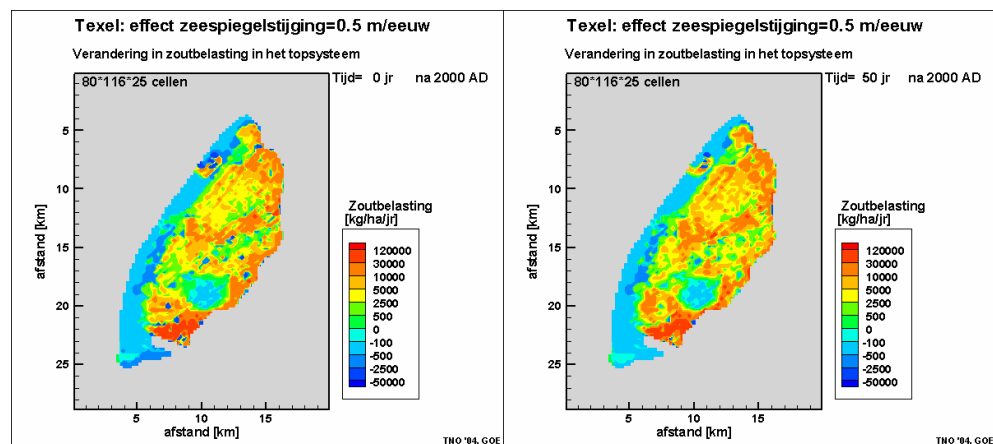


Figuur 6.26: Voorbeeld van een verandering in zoet-zout verdeling in profiel 1 over de stad Sexbierum, Friesland gedurende 30 jaar voor scenario 0 (huidige waterpeilen zonder zeespiegelstijging en zonder bodemdaling).

6.10 Waddeneilanden

De Waddeneilanden kunnen wat zoet-zout verdeling betreft worden beschouwd als autonome watersystemen in een zoute omgeving. Zoet grondwater is aanwezig in de zoetwaterlenzen onder de duingebieden. In de laaggeleden poldergebieden aan de kant van de Waddenzee is zout grondwater vlak onder het oppervlakte terug te vinden. Landbouw is echter mogelijk in deze gebieden door de aanwezigheid van dynamische regenwaterlenzen (zie hoofdstuk 7 regenwaterlenzen). Een toekomstige zeespiegelstijging geeft aanleiding tot meer zoute kwel in de poldergebieden, met als gevolg een grotere zoutbelasting op het oppervlaktewatersysteem. Omdat in de toekomst ook meer neerslag is te verwachten zal het volume van de zoetwaterlens waarschijnlijk nauwelijks afnemen.

Voor het eiland Texel is met behulp van 3D dichtheidsafhankelijke modellen uitgerekend dat voor het jaar 2050 de kwel zo'n 11% toeneemt in de polders t.o.v. de huidige situatie, en dat de zoutbelasting ongeveer 23% toeneemt (Vugt et al., 2003) (figuur 6.27).



Figuur 6.27: Voorbeeld van een numeriek model waarmee de toename van de zoutbelasting op het topsysteem van het eiland Texel wordt gemodelleerd: de gebieden met een lichte zoutbelasting (groen) worden kleiner.

6.11 Zeeland

Bijna de gehele provincie Zeeland bestaat uit polders. De hoogteverschillen zijn gering; momenteel bevindt het grootste deel van het maaiveld zich rondom N.A.P. Een belangrijk kenmerk van Zeeland is dat het buitenwater nooit ver weg is en dat vrijwel elke polder direct op het buitenwater kan lozen. Boezemwateren komen daarom nauwelijks voor. Momenteel is vrijwel overal het grondwater grotendeels brak tot zout, veroorzaakt door de geologische ontstaansgeschiedenis en de inpolderingen gedurende de laatste eeuwen. Alleen boven in de bodem is meestal een laag zoet water aanwezig. De dikte van dit zoete grondwater varieert van enkele decimeters (regenwaterlenzen in landbouwpercelen) tot ongeveer 30 meter (diepe grote zoete watersystemen onder duinen en kreekruigen).

Klimaatverandering in de vorm van een zeespiegelstijging en een veranderend neerslagen verdampingspatroon, alsmede bodemdaling kunnen leiden tot een verandering in het grondwater- en oppervlaktewatersysteem. De zoete grondwatersystemen kunnen onder druk komen te staan. Waterhuishoudkundige compenserende maatregelen zullen op

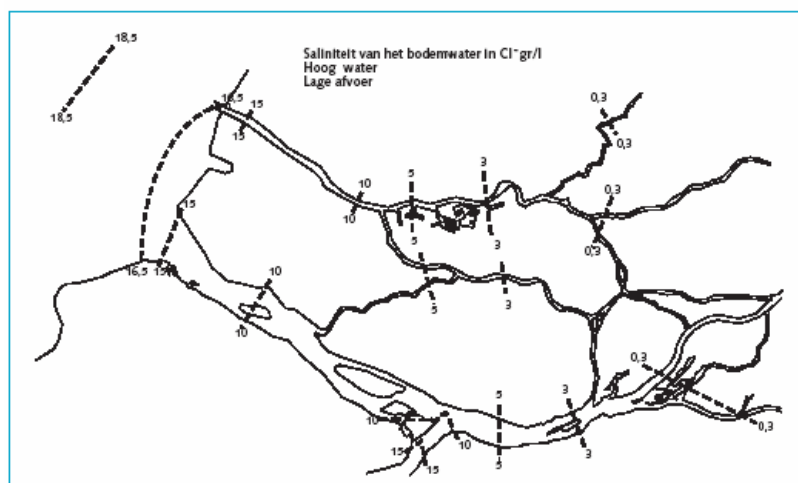
maat gesneden moeten worden om enigszins de te verwachte afname in het volume van de zoetwatervoorraden te compenseren.

6.12 Het rivierengebied

In het rivierengebied (zie figuur 6.1) spelen een aantal processen die van belang zijn in relatie tot zoet-zout processen.

In de eerste plaats is (of was) er benedenstrooms een overgangsgebied naar zee (Noordzee of Zuiderzee). Bij lage afvoer en hoogwater getijde kon de zee relatief ver het land binnendringen. Figuur 6.28 toont de chloridegehalten in het oppervlaktewater van het Hollandsch Diep voordat deze van zee werd afgesloten. In het Land van Altena wordt plaatselijk ondiep brak grondwater aangetroffen dat mogelijk afkomstig is van een historische zeewaterintrusie (Geirneart, 1972). Ook ten oosten van Katwijk komt langs de Leidsche Rijn brak grondwater voor dat afkomstig is van de tijd toen de Rijn hier nog in open verbinding stond met zee.

In de tweede plaats kan de zoet-zout grens in het riviergebied plaatselijk ondiep liggen. Dit is bijvoorbeeld het geval langs de IJssel en de Maas in het oosten van Brabant en in Limburg. Dit wordt veroorzaakt door de opwaarts gerichte grondwaterstroming. In het westelijk deel van het riviergebied infiltreren de waterlopen en ligt het zoet-zout grensvlak juist ondiep in de aangrenzende (diepe) polders. Extreme voorbeelden hiervan zijn de Vechtpolders; Horstermeer en Bethunepolder. Hier vindt zeer sterke kwel plaats waardoor opkegeling is veroorzaakt. Deze verzilting heeft een nadelige invloed op de waterkwaliteit van de Vechtboezem.

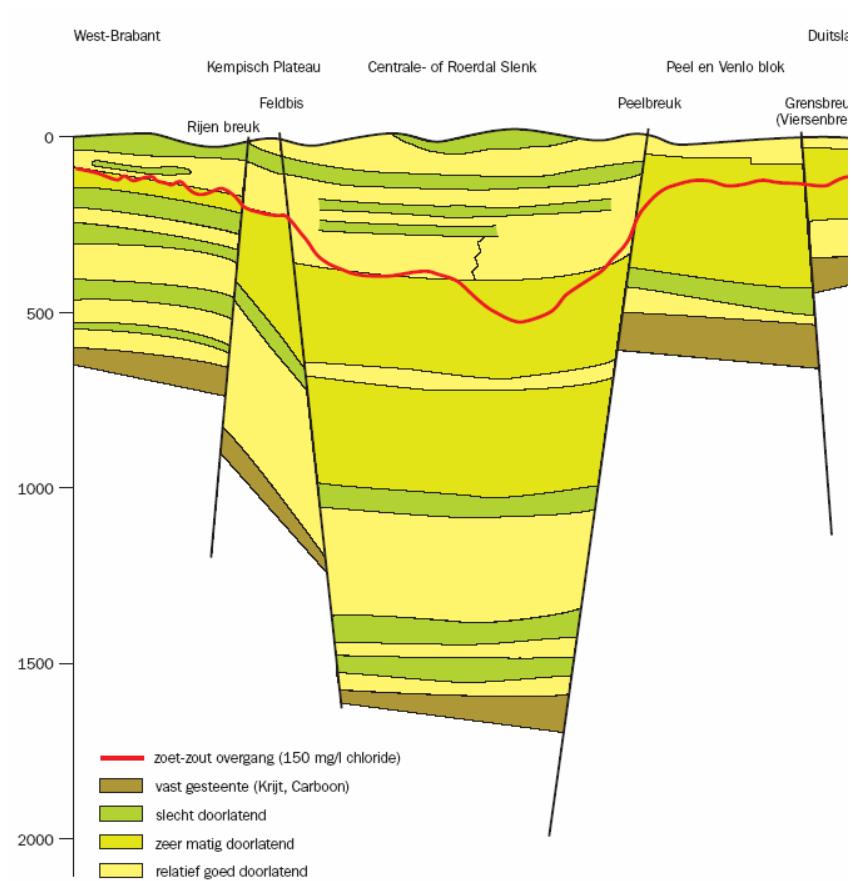


Figuur 6.28: Chloridegehalten in het oppervlaktewater in de Delta.

6.13 Het Pleistocene zandgebied

Over de zoet-zout processen in het zandgebied is minder bekend. Hier zijn van oudsher ook weinig problemen op het gebied van verzilting. Een uitzondering vormen de lokale verziltingsprocessen rond pompstations. Als gevolg van opkegeling van de zoet-zout overgang komt dit op veel plaatsen voor. Over eventuele verzilting op regionale schaal is weinig bekend.

Het is mogelijk dat in het zuidwesten van de Roerdalslenk (omgeving Roermond) op grote diepte verzilting plaats vindt. Hier ligt de zoet-zout overgang zeer diep. Dit is mede veroorzaakt door grondwater dat vanuit Duitsland toestroomde. Dit verzoetingsproces was zeker tot in de vijftiger jaren nog actief. Als gevolg van de



Figuur 6.30: Een supraregionaal hydrogeologisch oost-west profiel door de provincie Noord-Brabant. De basis in dit profiel bestaat uit de top van het 'vaste' gesteente. Indicatief is de diepteligging van de brakwatergrens aangebracht. Een risicogebied voor verzilting vormt het oostelijk deel van de Roerdalslenk dat tegen de Peelhorst ligt. Onder de Peelhorst ligt de zoet-zout overgang zeer ondiep.

6.15 Het Zeelandse grondwater onder de Klei van Boom

In Zeeland wordt plaatselijk brak grondwater, voor industriële doeleinden, gewonnen onder de Klei van Boom of Barthoonse klei. Hier is sprake van een bijzondere situatie doordat deze watervoerende lagen aan de bovenzijde worden afgedekt door ondoorlatende kleilagen (figuur 6.31). De voeding van dit grondwater vindt (en vond) op Belgisch grondgebied plaats (figuur 6.32).

Mogelijk is deze grondwatervoorraad geschikt voor de watervoorziening in de toekomst. Zeker als een startegische watervoorziening in geval van calamiteiten.

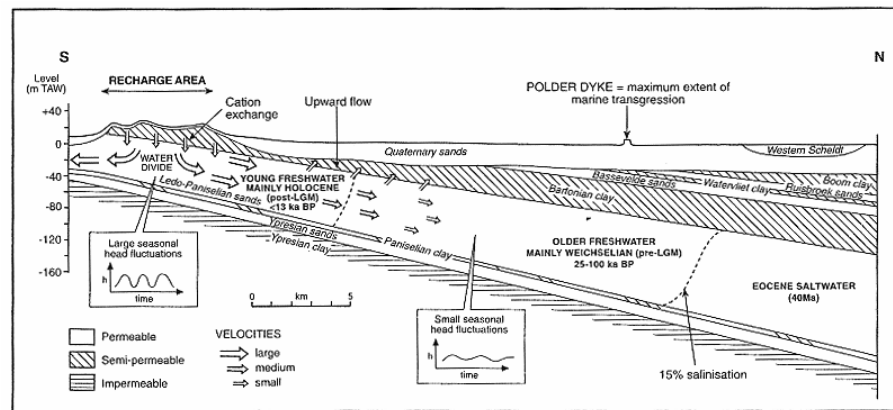


Fig. 11. Present day (0 BP) groundwater flow situation in extended profile A-A'. Age and origin of the groundwater.

Figuur 6.31: De grondwaterstroming vanuit het zandgebied in Vlaanderen en Zeeuwsch-Vlaanderen in noordelijke richting. Dikke kleilagen beschermen dit grondwater voor verzilting vanuit het ondiepe zoute grond- en oppervlaktewater (Walreavens e.a., 2001).

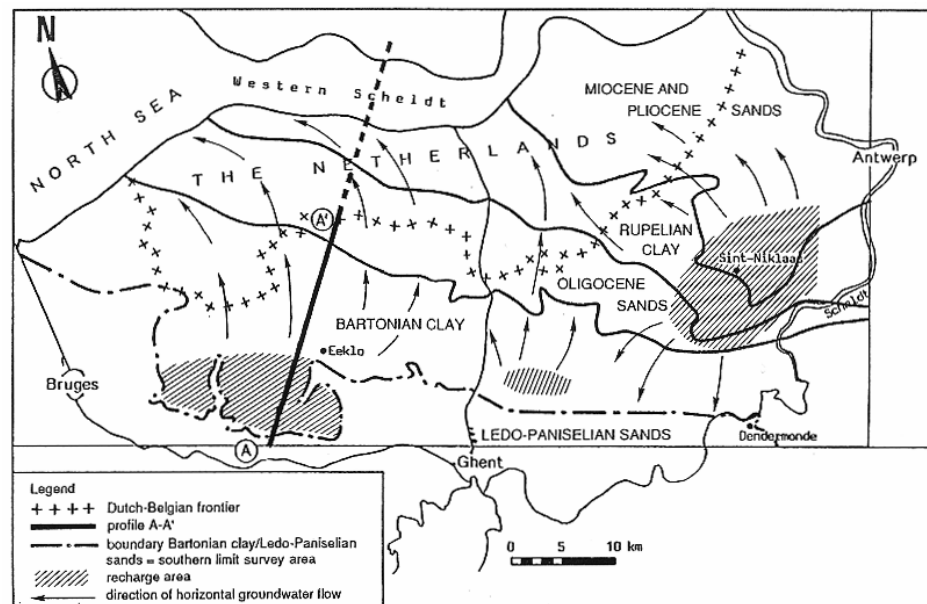


Fig. 2. Natural groundwater flow in the semi-confined Ledo-Paniselian aquifer.

Figuur 6.32: De ligging van de belangrijkste infiltratiegebieden (arcering) voor het zoete en brakke grondwater onder de Klei van Boom in Zeeland (Walreavens e.a., 2001).

6.16 Classificatie van verzilte grondwatersituaties

Aan de hand van bovenstaande gebieds- en systeemgerichte beschrijvingen van de zoet-zout processen is het mogelijk de volgende situaties te onderscheiden:

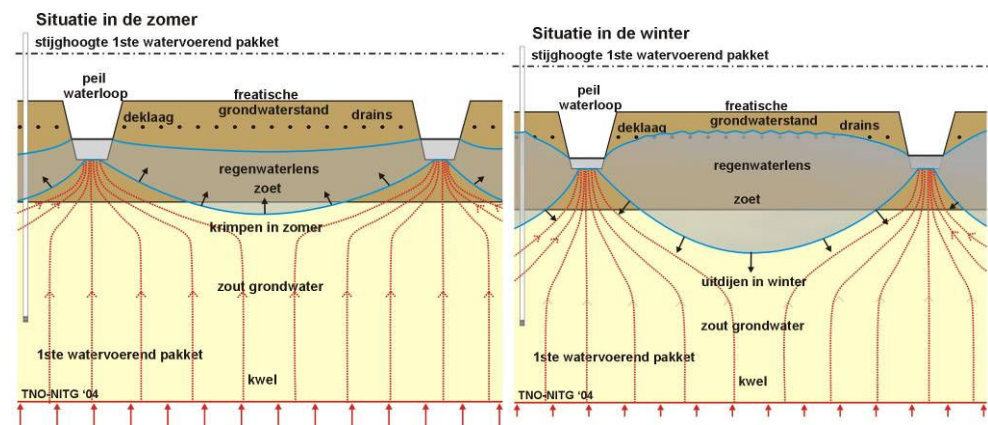
Proces	Oorzaak	Voorbeeld
1. Onomkeerbare menselijke ingreep (in stijghoogteveld) uit het verleden	<i>Polderaanleg</i>	Haarlemmermeerpolder, Beemster, Purmer, Wormer, Schermer,
	<i>Grondwaterstandsverlaging tijdens afgraving van zand, veen of klei</i>	Rijnland Polders tussen duingebied Zandvoort en Haarlemmermeerpolder
2. Onomkeerbare menselijke ingreep (in chemische facies) uit het verleden	<i>Een historische activiteit heeft zout water zodanig verplaatst dat herstel na stopzetting van de ingreep niet op kan treden</i>	DSM-Delft
3. (Nog) actieve onomkeerbare menselijke ingreep	<i>Maaiveldddaling gas- en zoutwinning</i>	Barradeel II (Friesland)
	<i>Maaiveldddaling door peilbeleid</i>	Veenwiedegebied Zuid-Holland
	<i>Opbarsting (bouwwerkzaamheden)</i>	Schiphollijn
4. (Nog) actieve omkeerbare menselijke ingreep	<i>Grondwaterwinning (herstel duurt echter in de orde van 10 x zo lang als ontstaan van de verzilting)</i>	Grondwateronttrekkingen in de Hollandse duinen
	<i>Omkering grondwaterstroming</i>	Roerdalslenk
5. Historische natuurlijke oorzaak	<i>Verzilting vanuit afgesloten zeearmen, estuaria of rivieren</i>	IJsselmeer, Hollandsch Diep
6. Actieve (semi-) natuurlijke oorzaak	<i>Landinwaarts oprukkende zee door zeespiegelstijging (ontstaan sluffers)</i>	Sluffers
	<i>Landinwaarts oprukkende zoutwatertong in (infiltrerende) open rivierarmen</i>	Nieuwe Waterweg
7. Combinaties	<i>Verzilting (infiltrerende) boezemwater door polderuitwatering of wateraanvoer</i>	Vecht, Boezem van Rijnland
	<i>Verzilting (infiltrerende) kanalen door sluislekkage</i>	Noordzeekanaal
	<i>Ander combinaties</i>	

Bovenstaande situaties kunnen vervolgens worden onderverdeeld naar:

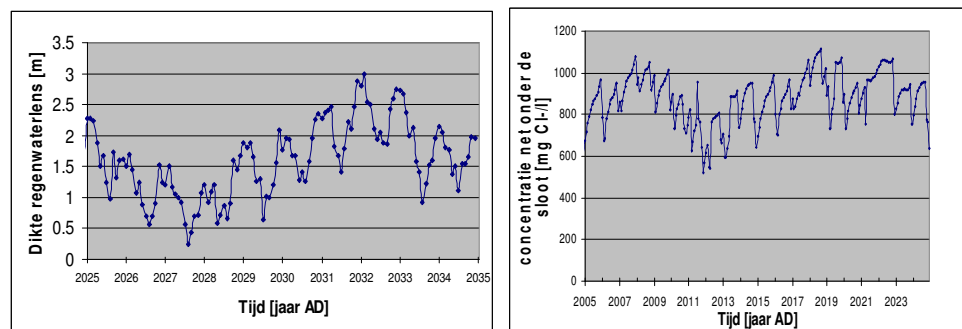
a. In evenwicht	<i>Zal alleen voor kleine systemen gelden, o.a. langs dijken en kleine kreekkruggen</i>
b. Niet in evenwicht, uitbreidend	<i>Veel voorkomend, droogmakerijen</i>
c. Niet in evenwicht, uitbreidend/aan de bron verzoetend	<i>Aan de randen (diepe) polders, IJsselmeer, Hollandsch Diep, Krammer-Volkerak</i>
d. Niet in evenwicht, herstellend	<i>Gesloten of afgenomen grondwaterwinningen (o.a. duinen)</i>

7 Regenwaterlenzen

In het vorige hoofdstuk is de aandacht voor verzilting en verzoeting van het watersysteem met name gericht op het regionale en diepere grondwater. In kwelgebieden draagt het zoute grondwater significant bij tot de verzilting van het oppervlaktewater. Zo levert in het Hoogheemraadschap van Rijnland zoute kwel verreweg de grootste bijdrage (60%) aan de zoutbelasting van het oppervlaktewater (Het zout der Aarde, 2005). In grote delen van de provincie Zeeland welt zelfs in de wintersituatie zout grondwater op uit het eerste watervoerend pakket. Landbouw op percelen is hier echter mogelijk door de aanwezigheid van zoete regenwaterlenzen die drijven op zout grondwater (figuur 7.1). Deze regenwaterlenzen worden gevoed in de winter door overtollige neerslag en krimpen door een neerslagtekort gedurende de zomerperiode. Dientengevolge varieert de dikte van de zoetwaterlens over het seizoen en zelfs over meerjarige natte en droge periodes (figuur 7.2). Dientengevolge zal ook de zoutbelasting vanuit het grondwater op het oppervlaktewater variëren.



Figuur 7.1: Dynamiek van een regenwaterlens in een zoute omgeving: conceptueel stromingsbeeld in de winter- en zomersituatie.



Figuur 7.2: a. de dikte van de regenwaterlens varieert gedurende zowel het seizoen als over meerjarige natte en droge periodes; b. de variatie in de zoutconcentratie van het grondwater net onder de sloot.

8 Verziltingsbedreiging voor ecologie en oppervlaktewater

8.1 Inleiding

De KRW hoopt bij te dragen aan het voorkomen (en herstel) van een verzilting van oppervlaktewater zodat ecologie en drinkwatervoorziening niet in gevaar komen. Dit geldt ook voor grondwater. Hier is de relatie met de ecologie echter indirect, namelijk doordat grondwater een bron voor oppervlaktewater kan zijn.

8.2 Verzoeting als probleem

Er zijn in Nederland 5 typen zoet-zout gradiënten te onderscheiden.

1. estuariene trajecten (zee, getijde en rivierinvloed)
2. binnendijkse brakke gebieden
3. sluffers (onder invloed van zee)
4. kwelderkreken
5. discontinue estuariene gradiënten (bij spui/sluis uitlaten).

De natuur in Nederland heeft de afgelopen decennia eerder te lijden van verzoeting dan verzilting. Het areaal zoutwatergetijdegebied is gehalveerd sinds 1350. Met name brak- en zoetwatergetijdegebieden zijn zeldzaam geworden (bron: Nat. Programma herstel zoet-zoutovergangen). Dit heeft verschillende gevolgen:

- trekvisserij (steur, zalm, zeeforel) zijn afgescheiden van hun paaigronden
- estuariene habitats zijn verdwenen
- kusten en oevers groeien niet meer mee met het veranderende zeeniveau en rivierafvoeren
- de na afsluiting ontstane zoetwaterbekkens zijn biologisch instabiel (zuurstofloosheid onderste waterlagen, eutrofiering).

Ook binnendijkse, vaak kwelafhankelijke, brakke gebieden verzoeten omdat het buitenwater zoet is geworden en omdat de grondwaterstand is verlaagd waardoor planten in regenwaterlenzen wortelen. Het areaal zilte graslanden is hierdoor sterk afgenomen.

8.3 Verzilting als probleem

In relatie tot verzilting van oppervlaktewater bestaan de volgende actuele problemen:

1. De zoutwaterovergang in de Nieuwe Waterweg. Door verdieping van de vaargeul is zoutwater landinwaarts opgerukt. De Nieuwe Waterweg raakte tot aan Vlaardingen verzilt en was niet meer geschikt als waterbron voor de tuinbouw in het Westland. Bij droogte dringt het zoute water nog dieper het land binnen en worden ook andere inlaten bedreigd. Dit geldt voor inlaten voor de drinkwatervoorziening en voor de wateraanvoer naar land- en tuinbouwgebieden.
2. Sluisverliezen; dit speelt o.a. bij het Noordzeekanaal.

3. Brakke- of zoute kwel in diepe polders. Deze kwel beïnvloedt ook de waterkwaliteit van het boezemwater. De boezem van Rijnland wordt verzilt door o.a. kwelwater uit de polders Haarlemmermeerpolder en Groot Mijdrecht. De Vecht wordt verzilt door kwelwater uit de Horstermeer.
4. Brakke of zoute 'dijkse' kwel: langs zeeramen of voormalige zearmen worden op veel plaatsen gronden of oppervlaktewateren langs de dijken beïnvloed.
5. Opbarsting; in gebieden met zoute kwel kan bij bouwwerkzaamheden door opbarsting van de bodem preferente stroming ontstaan. Deze hoeveelheden zijn veel groter dan bij 'normale' kwel.
6. Chloridevervuiling. Door allerlei bronnen kan het oppervlaktewater verrijkt worden met chloride. Als gevolg van de Franse kalimijnen bezat het Rijnwater lange tijd chlorideconcentraties boven 250 mg/l, meer dan 100 mg/l boven de drinkwaternorm.

9 Waterbeheerders en KRW-zoutwaterintrusie

9.1 Inleiding

Om een beeld te krijgen wat er leeft bij de waterbeheerders in Nederland in relatie tot de uitwerking “monitoring zoutwaterintrusie” heeft een telefonische enquête plaatsgevonden aan de hand van de volgende vragenlijst:

1. Wat wordt volgens u verstaan onder ‘zoutwaterintrusie’ volgens de KRW? (trefwoorden: intrusie, opkegeling, regionale stijging zoet-zout grensvlak)
2. Welke rol speelt het zoet-zout grensvlak bij de afbakening van grondwaterlichamen?
3. Wat wordt er momenteel in de provincie op het gebied van monitoring zoutwaterintrusie gedaan of is verplicht (de KRW niet in beschouwing genomen)?
4. Wat is momenteel de meetpraktijk op dit gebied?
 - a. Regionaal, provinciaal ?
 - b. Rond grondwaterwinningen (‘kleine grondwaterlichamen’)?
 - c. Rond industriële winningen?
 - d. Zijn er anderen die zoutwaterintrusie meten (Waterschappen, Rijkswaterstaat?)
5. Welke meetinstrumenten worden gebruikt (zoutwachters, grondwatermonsters etc.)?
6. Wat is meetfrequentie, meetnetdichtheid en waarom?
7. Gaan alle meetresultaten naar DINO?
8. Denkt u dat het zoet-zout grensvlak in beweging is, en met welke snelheid?
 - a. Regionaal
 - b. Lokaal
9. Welke processen zorgen voor eventuele zoutwaterintrusie?
10. Wordt er wat betreft meetmethode en meetnetinrichting afgestemd met buurprovincies of –landen?
11. Is een zoet-zoutmodel beschikbaar?
 - a. Met alleen zoutcorrectie stijghoogte?
 - b. Met dichtheidsstroming?
12. Hoe interpreteert u de KRW op het gebied van de verplichting tot ‘monitoring zoutwaterintrusie’? Meetdoel, meetnet, meetfrequentie?

9.2 Wat wordt verstaan onder zoutwaterintrusie?

Het proces “zoutwaterintrusie” wordt door Elderhorst (Fryslân) als: “een landinwaarts gerichte stroming van zout grondwater vanuit zee of zout buitenwater”. Reiniërs (Noord-Holland), Nienhuis (Waternet) en Hoogewoud (Riza) definiëren het proces breder als: “Aantasting van de voorraad zoet grondwater door indringing van zout grondwater door menselijke handelen en door autonome ontwikkeling”. Hierbij wordt de kanttekening gemaakt dat dit ook voor oppervlaktewater geldt.

In Zeeland (Kaland) spreekt men liever over “zoetwaterintrusie”. Hier is immers sprake van een bijna aaneengesloten zoutwatervoorraad, waar door plaatselijke

omstandigheden zout grondwater wordt verdrongen door van boven af infiltrerend zoet grondwater (regen). Dit gebeurt onder kreekruggen en in de duinen.

De regionale stijging van het zoet-zout grensvlak wordt ook wel onder de term “verzilting” genoemd.

Onder “opkegeling” wordt verstaan: het verticaal omhoogtrekken van het zoet-zout grensvlak onder een onttrekkingsput.

9.3 Rol zoet-zout grensvlak bij begrenzing grondwaterlichamen

Zowel in Zeeland, Noord-Holland en Friesland wordt in specifieke gevallen onderscheid gemaakt. Noord-Holland heeft grondwaterlichaam 5 nu opgesplitst naar grondwaterlichaam 5a (zoet) en 5b (zout). In Friesland wordt het zoute grondwater als een apart grondwaterlichaam beschouwd. Utrecht vindt onderscheid belangrijk omdat de chemische kwaliteit sterk verschilt.

Ook Hoogewoud (Riza) kan zich voorstellen dat regio's aan een splitsing denken. Dit heeft volgens hem weinig invloed op de kwantiteitsmonitoring omdat grondwatersystemen (lees: aquifersystemen) ruimtelijk immers in verbinding staan. Een opdeling brengt echter wel extra verplichtingen met zich mee op het gebied van karakterisatie (beschrijving), kwaliteitsmonitoring en bepaling achtergrondwaarden.

9.4 Wat vindt nu plaats op het gebied van zoet-zout monitoring?

De meeste provincies hebben tot nu toe geen specifiek zoet-zout meetnet ontworpen en gebruikt. De provincie Noord-Brabant heeft wel, los van de KRW, in 2005 een meetnet laten ontwerpen. Een selectie van deze meetpunten wordt gebruikt voor de KRW-verplichtingen. In Fryslân vindt jaarlijks een chloride-monitoring plaats. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van alle putten van het landelijk RIVM-meetnet en alle putten uit het primaire meetnet. Daarnaast heeft Fryslân een viertal gebiedjes aangewezen waar binnenkort zoutintrusie wordt gemonitord. Zeeland bezit geen specifiek zoet-zout meetnet. Wel kan het stijghoogtemeetnet binnen de zoete grondwatervoorraden (kreeken, duinen) als dusdanig worden beschouwd.

In Noord-Holland, Noord-Brabant en Limburg zijn in het verleden op bepaalde plekken zoutwachters geplaatst om het zoet-zout grensvlak te volgen. Dit zijn meestal ad hoc activiteiten. Een reguliere verslaggeving (of zelfs meting) vindt niet plaats.

Wel hebben provincies bij verschillende (niet alle!) vergunningen van waterbedrijven monitoringsverplichtingen voorgeschreven.

Bij de waterbedrijven vindt in het algemeen een meer intensieve waterkwaliteitsmonitoring plaats. Hierbij is incidenteel een specifiek zoet-zout meetnet ingericht, in de vorm van zoutwachters. De meetnetten van de duinwaterwinningen hebben een heel ander karakter. Hier bevinden zich meetnetten met een grote dichtheid. Waternet heeft voor de monitoring van het zoet-zout grensvlak een selectie gemaakt 70-80 grondwatermeetpunten waar om de 5 jaar chloridemetingen worden verricht. Daarnaast bezitten zij verschillende zoutwachters die in het verleden jaarlijks werden gemeten. Het stijghoogtemeetnet (1 x 3 maanden) levert aanvullende informatie.

Op Rijksniveau vindt geen specifieke zoet-zout monitoring plaats. De meetpunten uit het Landelijk meetnet grondwaterkwaliteit en de provinciale meetnetten kunnen wel informatie leveren over verzilting in Holoceen Nederland.

9.5 Welke meetinstrumenten worden gebruikt?

De volgende metingen worden gebruikt:

- 1) Stijghoogtenmeetpunten (o.a. Zeeland, Waternet); een trendmatige daling van de stijghoogte in een spanningswaterpakket waar de zoet-zoutovergang aanwezig is, kan verzilting veroorzaken.
- 2) Zoutwachters.
- 3) Chloridemetingen; hiervoor wordt o.a. het Landelijk- en Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit gebruikt.
- 4) Sonderingen; de provincie Zeeland heeft de intentie om met behulp van sonderingen het zoutgehalte te monitoren.
- 5) EM-boorgatmetingen; deze methode is in Noord-Brabant toegepast.
- 6) Geo-elektrische methode; o.a. ERT.
- 7) Geleidbaarheidsmetingen (o.a. divers).
- 8) Dichtheidsmodellen.
- 9) Ruwwater monitoring; deze methode wordt bij drinkwaterwinningen gebruikt.
- 10) Stijghoogtemetingen; in Zeeland wordt de stijghoogte in het zoute grondwater onder het zoete grondwaterlichaam gemonitord.

9.6 De huidige meetpunt dichtheid en de meetfrequentie

Hierbij kan duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen meetnetten rond:

- 1) Kleine grondwaterlichamen (pompputten); deze kennen een dicht meetnet rond de pompputten en een hoge meetfrequentie.
- 2) Waterleidingduin grondwaterlichamen; deze gebieden zijn veel groter dan de eerste maar kennen ook een zeer gedetailleerd meetnet. Waternet gebruikt in de duinen zoutwachters en neemt eens in de vijf jaar grondwatermonsters voor chloridebepaling.
- 3) Grote regionale grondwaterlichamen; in het algemeen wordt zoet-zout monitoring niet erg belangrijk geacht. Men gaat ervan uit dat buiten de winningen weinig veranderingen optreden of dat deze zeer langzaam voltrekken.

9.7 Gegevensbeheer

Uit de interviews blijkt dat de meeste chemische analyses niet naar DINO worden aangeleverd. Dit geldt zeker voor veel waterleidingbedrijven. Deze leveren, indien verplicht, data aan de provincies. Veel provincies beheren de gegevens zelf. Fryslân is bezig de data naar DINO te leveren. Opvallend is dat er inmiddels heel veel zoutwachters zijn geïnstalleerd, maar dat de meetdata nauwelijks beschikbaar zijn. Veel zoutwachters zijn al heel lang niet gemeten.

9.8 Deskundigenoordeel over actueel risico voor verzilting

In de kustprovincies zijn de grondwaterbeheerders van mening dat verzilting optreedt maar dat dit proces zeer langzaam verloopt (snelheid vaak onbekend) en dat dit proces plaatselijk sterk kan verschillen.

Bij grondwaterwinningen kan het verziltingsproces echter zeer snel verlopen.

Als belangrijkste oorzaken voor deze verzilting worden genoemd:

- 1) Peilbeheer,
- 2) Inpolderingen in het verleden,
- 3) Zeespiegelstijging,
- 4) Klimaatverandering,
- 5) Grondwateronttrekkingen.

9.9 Afstemming meetnetten

Uit de interviews volgt dat de afstemming van zoutwaterintrusiemetnetten, maar ook die van stijghoogtemetnetten, niet plaatsvindt. Dit geldt tussen provincies onderling, tussen provincies en buurlanden, maar ook tussen provincies en waterleidingbedrijven. Noord-Holland werkt wel met Zuid-Holland samen op het gebied van monitoring met zoutwachters. Waternet stemt zijn meetnet ook af met de provincies Noord- en Zuid-Holland.

Door de KRW zal dit echter wel verbeteren. Door de KRW monitoringsplannen werken de provincies binnen deelstroomgebieden samen aan een gemeenschappelijk meetnet. Afstemming tussen deelstroomgebieden moet nog plaatsvinden.

9.10 Is een zoet-zout model beschikbaar?

In de volgende tabel is aangegeven of zoet-zout grondwatermodellen beschikbaar zijn.

	<i>Zoet-zoutmodel</i>	
Zeeland	Mocdens3D (gepland)	Advectief/dispersief
Zuid-Holland	Mocdens3D	Advectief/dispersief
Noord-Holland	Mocdens3D	Advectief/dispersief
Friesland	Nagrom	Advectief
Groningen	Niet	-
Waternet (duingebied)	Modflow+swi	Advectief
DZH (duingebied)	Triwaco	Advectief
PWN		
Wieringerrandmeer	Mocdens3D	Advectief/dispersief
Texel	Mocdens3D	Advectief/dispersief
Terschelling	Triwaco	Advectief
Goeree-Overflakkee	Seawat (gepland)	Advectief/dispersief
Utrecht	Niet	
Limburg	Niet	
Noord-Brabant	Niet	<i>Wel gebiedsdekkend model</i>

Het in Friesland beschikbare Nagrom model is echter lang niet gebruikt. TNO werkt momenteel samen met de noordelijke provincies Friesland, Groningen, Drenthe en

Overijssel, inliggende waterschappen en Vitens aan een gebiedsdekkend gedetailleerd model waarmee in de toekomst ook zoet-zout kan worden gesimuleerd.

9.11 Hoe wordt de KRW richtlijn geïnterpreteerd?

Zeeland: Hier wordt gekozen voor een pragmatische benadering. Rond onttrekkingen wordt de stijghoogte en chloridegehalten in de meetpunten gemonitord. In de kreekzoetwaterlichamen worden 8-9 meetpunten geselecteerd. Voor de KRW is dit een beperkte selectie uit het bestaande meetprogramma. Als nu een te uitgebreid meetnet wordt voorgesteld zal verandering in een later stadium zeer moeilijk worden.

Noord-Holland: in die delen van de ondergrond waar een voorraad zoet grondwater aanwezig is die grensvlakken heeft aan zout grondwater wordt op strategische punten het grensvlak gevolgd, liefst met metingen uit het verleden. Uit een analyse van de meetresultaten zal voor het definitieve monitoringsplan een meetnet opgesteld worden.

Fryslân: In Fryslân is '*duurzaamheid*' een sleutelwoord in het tweede Waterhuishoudingsplan. Dit geldt met name ook ten aanzien van zoutinrusie. In Fryslân wordt bewust gekozen voor een peilbeleid. De zoutinrusie welke een gevolg hiervan is, wordt aanvaard als consequentie. Het systeem, inclusief zoutwaterinrusie, gaat naar een nieuwe evenwichtssituatie, waarin dus sprake is van meer locaties met zoute kwel, meer ondiep zout grondwater en dus vermindering van zoetwater voorraden. De monitoring moet deze overgang naar een nieuwe evenwichtssituatie in beeld brengen. Op deze wijze willen we dit ook in de KRW inbrengen.

Noord-Brabant: In Noord-Brabant is in 2005 een zoet-zout meetnet voor de provincie ontworpen. Dit ontwerp is gebaseerd op: (1) kartering van het zoet-zout grensvlak, (2) kartering van gebieden waar ten hoogte van het zoet-zout grensvlak een opwaarts gericht stroming is, (3) kartering van de gebieden waar risico kan bestaan voor (laterale) zoutwaterinrusie, (4) kartering van de gebieden waar sterke grondwaterstands- of stijghoogtedalingen hebben plaatsgevonden. Het grootste deel van dit meetnet wordt ook gebruikt voor het KRW-meetnet. Hiervoor zijn in Limburg op vergelijkbare wijze meetpunten geselecteerd.

Utrecht: deze provincie wil enkele meetpunten rond winningen selecteren en enkele in regionale grondwaterlichamen.

RIZA: Voor de KRW moet eerst de informatieschaal worden bepaald. Bij grondwaterwinningen moeten meer worden gemeten, in regionale grondwaterlichamen minder. Ook het gehanteerde conceptuele model is belangrijk. Dit bepaalt waar veranderingen verwacht worden.

Waternet: Het waterleidingbedrijf heeft hier niet zoveel mee te maken. De provincies regelen dit. Wat betreft monitoring richt de kernactiviteit zich op monitoring voor de drinkwatervoorziening (zie VEWIN-rapport ?).

9.12 Enkele aantekeningen n.a.v. bijeenkomst 16-2-2006

Aan de hand van de discussies op deze de bijeenkomst kunnen de volgende punten worden onderscheiden:

- In het algemeen neemt de voorraad grondwater als gevolg van een grondwateronttrekking, in de Nederlandse situatie, nauwelijks af. Door grondwaterwinning ontstaat in principe ook meer aanvulling van bovenaf (infiltratie neemt toe). De winning kan wel tot verdroging, o.a. vermindering van de afvoer leiden.
- Dit geldt niet voor grondwaterwinning onder zeer slecht doorlatende pakketten. Hier is de aanvulling van bovenaf gering.
- Het verziltings- (en verzoetings)proces gaat in het algemeen (zeer) langzaam. Monitoring dient plaats te vinden op locaties met de meeste dynamiek.
- Op locaties waar verzilting van het oppervlaktewater plaats vindt door brakke of zoute kwel zou monitoring van alleen de oppervlaktewaterkwaliteit voldoen (bijvoorbeeld Groot Mijdrecht).
- (Kleine) grondwaterlichamen mogen worden geclusterd. De clustering zou gelden voor locaties onder gelijke omstandigheden (zelfde onttrekkingshoeveelheid, zelfde watervoerende pakket). In dit geval alleen monitoren op 1-2 locaties binnen dit cluster.
- Tijdens monitoring moet niet (alleen) naar normen worden gerefereerd maar naar trends worden gekeken, zoals bijvoorbeeld verzilting van het brakke grondwater,
- Bij grondwaterwinningen in een watervoerend pakket waar ook het zoet-zout grensvlak ligt gaat dit grensvlak ter plaatse van de winning altijd omhoog. Volgens Vitens kan dit worden gecompenseerd door winning van het brakke grondwater. Utrecht geeft aan dat dit opwellen van zout grondwater kan worden geaccepteerd omdat het geen invloed heeft op de ecologie en het volume zoet grondwater niet noemenswaardig doet afnemen. RIZA geeft echter aan dat dit niet kan worden geaccepteerd omdat de zoetwatervoorraad niet mag afnemen. Tevens moet worden bepaald hoe duurzaam gewonnen kan worden zonder verzilting te veroorzaken (Vitens).
- Er zou in kaart moeten worden gebracht waar oppervlaktewateraanvoer plaats vindt met water dat een chlorideconcentratie hoger dan 150 mg/l bezit.
- In Zuid-Holland verdwijnt in de toekomst door de actuele niet-omkeerbare zoutwaterintrusie 900 miljoen m³ zoet grondwater in de bovenste 25 m van het grondwatersysteem.
- Er zijn provincies die watervoerende pakketten hebben aangewezen voor de toekomstige drinkwatervoorziening en/of gebieden voor toekomstige drinkwatervoorziening.
- In het algemeen opteert men voor een minimale aanpak van de zoet-zout monitoring en wordt voorgesteld om TNO een voorstel te laten doen waarbij minimaal wordt gekeken naar de meetpunten die de provincies nu op het oog hebben.

10 Meetnet

10.1 Onderbouwing aanbevelingen voor omgaan met zoutwaterintrusie voor de KRW

Al of niet monitoren van zoutwaterintrusie

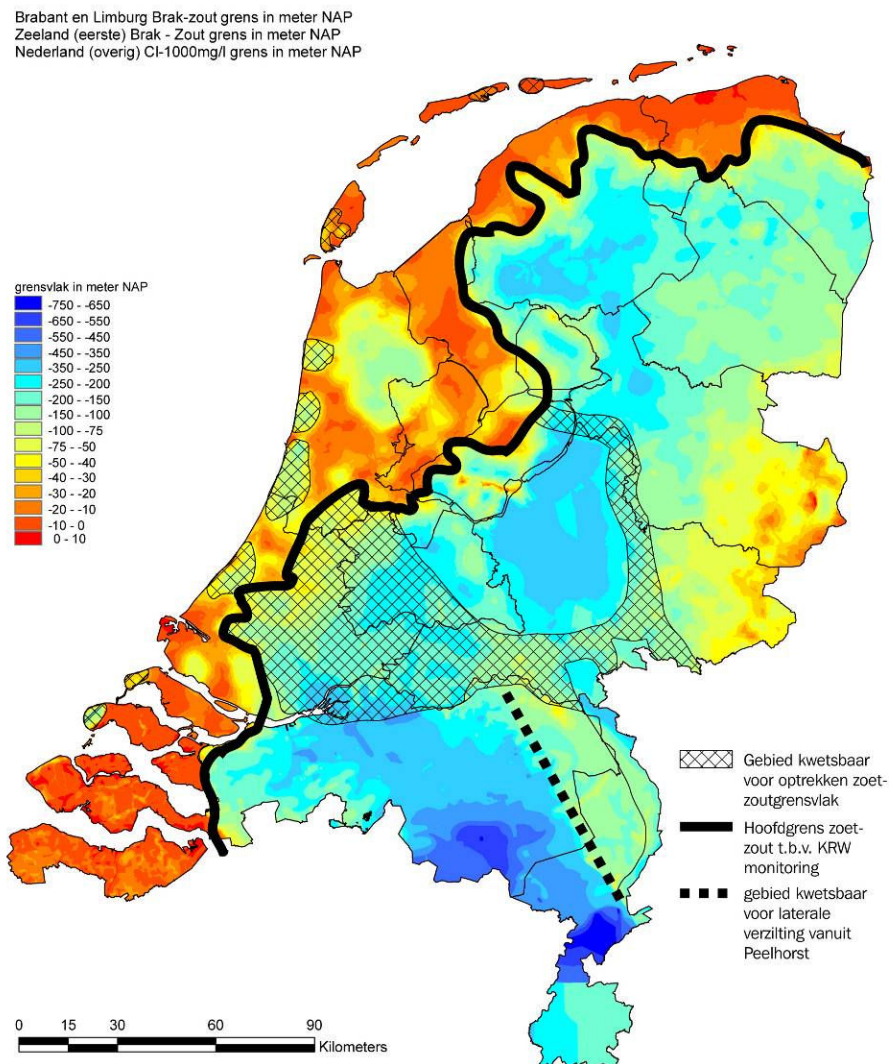
Zoals uit de technische analyse uit het onderhavige rapport blijkt speelt zoutwaterintrusie op verschillende schaalniveaus en als resultaat van zowel historische als recente processen. Vanuit Europees oogpunt bezien is de Nederlandse verdeling van zout en zoet water uniek en zal de EU duidelijk gemaakt moeten worden dat de Nederlandse situatie afwijkt van de gemiddelde situatie in Europa en waarom. Een goede onderbouwing van de totstandkoming van de Nederlandse zoet-zout water verdeling is dus belangrijk voor de Nederlandse KRW rapportages. Die onderbouwing zou zich onder andere moeten richten op het deels historisch karakter van de zoutwaterverplaatsing, waarbij de langzame verplaatsing van zout water nog samenhangt met inpolderingen in het verleden.

Voor een onderbouwing hiervan is de beschikking over verschillende rapportages en wetenschappelijke literatuur, zoals proefschriften en artikelen. Ook beschikken we binnen Nederland over de expertise om de veranderingen in het zoet-zout grensvlak te kunnen berekenen en te voorspellen. Van diverse gebieden zijn zoet-zout verplaatsingsmodellen beschikbaar, zij het niet landsdekkend. Voor het schaalniveau waarop de EU zich naar verwachting zal richten is het vooral van belang om te benadrukken dat de 'hoofdgrens' tussen zoet en zout grondwater in Nederland niet op zodanig relevante wijze verschuift dat daarbij de omvang van de zoete grondwatervoorraad wordt aangetast.

Aanbevolen wordt om een duidelijke beleidskeuze te maken voor één van de twee volgende opties, te weten:

1. goede onderbouwing van de totstandkoming van de huidige zoet-zout verdeling in Nederland en de verwachte verschuivingen daarin als gevolg van deels historische ontwikkelingen, op basis van bestaande wetenschappelijke inzichten en modelberekeningen, zonder dit te voor de KRW te ondersteunen met een monitoringsnetwerk.
2. dezelfde goede onderbouwing, ondersteund met een monitoringsnetwerk dat zich richt op het aantonen van de geringe verschuiving van de hoofdgrens tussen zoet en zout grondwater (**zie kaart 10.1**). Bij het bewaken van de 'hoofdgrens' gaat het dan om de slingerende lijn die op de kaart is aangegeven, en op de bewaking van de zoetwaterbellen in de duingebieden in de kuststrook en op de eilanden.

Risico van de eerste benadering is dat de EU hier op termijn geen genoeg mee neemt en zelf initiatief neemt voor gewenste vorm van monitoring. Immers, het is eenvoudiger aan te tonen dat Nederland geen actie heeft ondernomen op dit onderwerp, dan om aan te tonen dat de Nederlandse aanpak niet goed genoeg zou zijn. Het risico dat EU geen genoeg neemt met resultaat is bij de tweede optie veel kleiner, maar de kosten zijn hoger omdat een meetnet in stand moet worden gehouden.



Figuur 10.1 Diepteligging brak-zout grensvlak met de grens tussen het 'zoete' en brak-zoute gebied. Met arcering zijn gebieden aangeduid die kwetsbaar zijn voor verzilting.

Naast het ondiep voorkomen van zout en brak water in het westelijke en noordelijke kustgebied, zijn er in Nederland nog andere gebieden waar het brakke en zoute grondwater relatief ondiep voorkomt en waar de kans op het optrekken van het zoet-zout grensvlak groot is. Het gaat daarbij om de gebieden rond de grote rivieren Maas, Rijn en IJssel, waar de regionaal opwaartse stroming tot het op natuurlijke wijze optrekken van het grensvlak heeft geleid, en om het duingebied. Deze gebieden zijn met arcering in Figuur 10.1 weergegeven. Deze gebieden zijn relatief kwetsbaar voor het opkegelen van zout water rond winningen, en bij een groot aantal winningen is in meer

of mindere mate sprake van enige vorm van verzilting. Op dit moment wordt dit niet systematisch bijgehouden.

Aanbevolen wordt om deze problematiek in eerste instantie niet prominent op te nemen in de KRW rapportages, maar wel de benodigde informatie te verzamelen over verschuivingen van het zoet-zout grensvlak in deze gebieden en rond winningen in deze gebieden. Daarbij wordt aanbevolen om de meetgegevens uit individuele pompputten te registreren. De benodigde informatie is namelijk zelden uit kwaliteitsanalyse van het ruw water af te leiden, omdat de onttrekking uit verziltende putten wordt verminderd of stopgezet om verdere verzilting te voorkomen. Aanbevolen wordt om met provincies, waterleidingbedrijven en andere meetnetbeheerders afspraken te maken over dataverzameling en opslag. Als de EU over 10 jaar om nadere informatie vraagt, ligt de benodigde informatie klaar in de vorm van tijdreeksen van de zoet-zout ontwikkeling.

Afbakening op basis van zoet-zout grenzen

Zoals uit de in dit rapport gepresenteerde zoet-zout kaart blijkt is de zoet-zout verdeling in vooral westelijk Nederland complex met zoet en zout grondwater op korte horizontale afstand van elkaar. Dit complexe patroon wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van oude intrusiegebieden in de ondergrond, en door de huidige hydrologische situatie met infiltratie in hoger gelegen polders en boezemwater en kwel in de diepe polders en droogmakerijen. Uit eerdere studies (bijv. Passier en Broers, 2004, Fraters et al 2001) is al gebleken dat in het brakke en zoute grondwater andere achtergrondconcentraties voorkomen voor een aantal belangrijke stoffen waaronder fosfaat, ammonium en barium. Om die reden lijkt het nuttig om bij het begrenzen van grondwaterlichamen rekening te houden met de zoet-zout verdeling. In grote gebieden is de afwisseling van zoet, brak en zout water door de hydrogeologische situatie zo gecompliceerd, dat het afbakenen de grenzen op de schaal van de KRW rapportages echter niet zinvol is.

Daarom wordt aanbevolen om in het westen en noorden van Nederland onderscheid te maken tussen grondwaterlichamen met vrijwel uitsluitend *zoet water*, en grondwaterlichamen waarin *zout, brak en zoet water* naast elkaar voorkomen. Een dergelijke indeling is in het stroomgebied Rijn-West reeds voorgesteld voor het monitoringsprogramma (de grondwaterlichamen 5a en 5b). Vervolgens kunnen voor een aantal relevante stoffen aparte drempelwaarden worden opgesteld voor de grondwaterlichamen met zoet water, en de grondwaterlichamen met zoet-brak-zout water. Monitoring van de zoet-brak-zout grenzen binnen het heterogene 'grondwaterlichaam met zoet-brak-zout water' is dan voor de KRW waarschijnlijk niet zinvol, maar is wel nuttig voor het waterbeheer binnen de regio en kan dus worden ingevuld voor de eigen informatiebehoefte. Voor de KRW kan de monitoring zich dan beperken tot de regionale hoofdgrens tussen het zoete en zoute water.

Dataopslag en -beheer

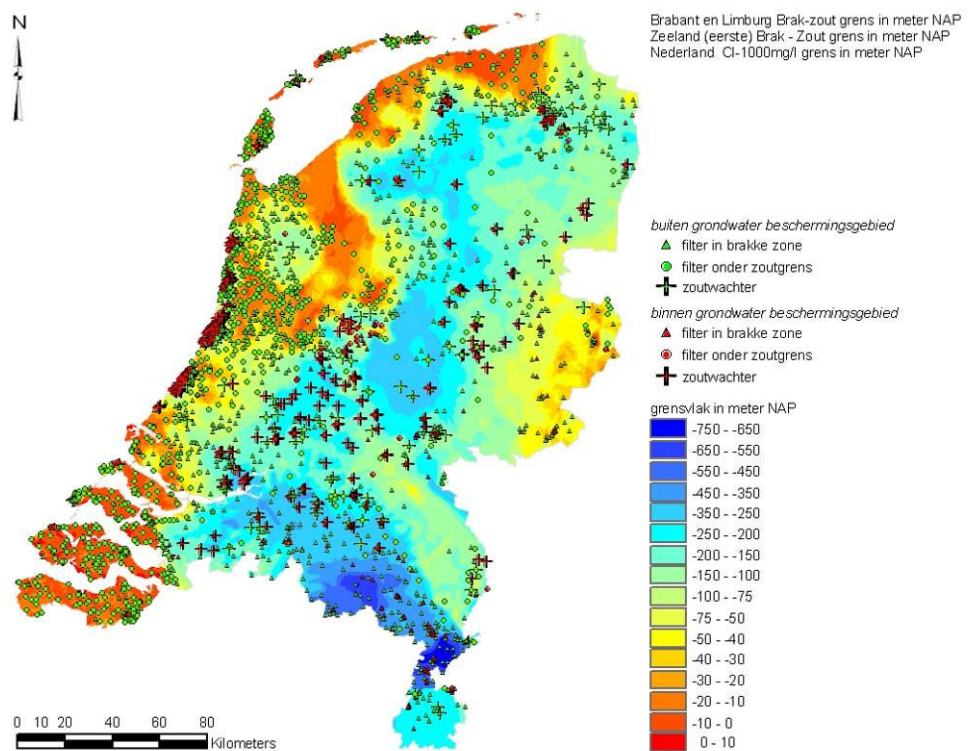
Uit de studie is gebleken dat informatie over het zoet-zout grensvlak niet op systematische wijze per provincie of landelijk wordt bijgehouden. Gegevens van zoutwachters bijvoorbeeld worden niet in een centrale database opgeslagen. Aanbevolen wordt om de ontsluiting van informatie over de ligging en verschuivingen in het zoet-zout grensvlak te verbeteren, bij voorkeur door centrale opslag van gegevens in een landelijke database.

10.2 Inventarisatie geschikte bestaande meetpunten

In het kader van het project heeft een inventarisatie plaats gevonden van beschikbare grondwatermeetpunten. Hiervoor zijn:

1. de locaties van alle bij TNO bekende zoutwachterlocaties opgevraagd,
2. alle diepe stijghoogtemeetpunten gecombineerd met de informatie over de diepteligging van het 150 en 1000 mg/l chloridevlak waardoor een onderverdeling kon worden gemaakt naar:
 - a. brakwatermeetpunten (filter in zone tussen 150-1000 mg/l Cl),
 - b. zoutwatermeetpunten (filter in zone > 1000 mg/l Cl).
3. er is onderscheid gemaakt of de locaties binnen of buiten een grondwaterbeschermingsgebied voor de drinkwatervoorziening liggen.

In figuur 10.2 en tabel 10.1 zijn deze mogelijk te gebruiken meetpunten aangegeven.



Figuur 10.2 De verspreiding van zoutwachters en diepe grondwatermeetpunten die bruikbaar zijn voor zoet-zout monitoring.

Tabel 10.1; Aantal voor zoet-zout monitoring beschikbare meetpunten in Nederland

methode	<i>Buiten drinkwater beschermingsgebied</i>	<i>Binnen drinkwater beschermingsgebied</i>	<i>totaal</i>
Filters in Brake zone	976	375	1351
Filters onder zoutgrens	991	268	1259
zoutwachters	386	146	532

11 Conclusies

Bij verzilting moet onderscheid worden gemaakt tussen zoutwaterintrusie en chloridevervuiling. Chloridevervuiling wordt veroorzaakt door antropogeen aangevoerd chloride op het landoppervlak of naar het oppervlaktewater. Bij zoutwaterintrusie is de zoutbron van natuurlijke origine (zee, zout paleowater).

Onder zoutwaterintrusie wordt verstaan het verkleinen van de zoetwatervoorraad door binnendringing van (natuurlijk) zout grondwater. Onderscheid moet worden gemaakt tussen zoutwaterintrusie als gevolg van onomkeerbare ingrepen uit het verleden en omkeerbare actuele ingrepen. Dit omdat grondwaterstroming een traag proces is, en ingrepen in het (verre) verleden nog steeds hun weerslag hebben op de zoet-zout verdeling. Zo heeft de aanleg van de laaggelegen droogmakerijen vanaf het begin van de 17^{de} Eeuw gedurende de afgelopen eeuwen een sterke toestroming van zout grondwater veroorzaakt vanuit de zee en de diepe watervoerende pakketten. Zoutwaterintrusie veroorzaakt door oorzaken uit het verleden zal als een voldongen feit moeten worden geaccepteerd in tegenstelling tot de huidige, omkeerbare, ingrepen die leiden tot zoutwaterintrusie.

Het meetnet zoutwaterintrusie zou in voldoende mate kunnen putten uit bestaande monitoringsprogramma's die de afgelopen decennia zijn opgesteld. Een selectie van specifieke meetpunten uit deze bestaande monitoringsprogramma's zou gebaseerd moeten zijn op specifieke hydrogeologische kennis in de verschillende deelgebieden. Het moet mogelijk zijn verschillende deelgebieden samen te voegen bij het opstellen van de monitoringscampagne.

Het meetnet dient metingen te combineren met een gebiedsdekkend modelinstrumentarium om zodoende een kwantitatieve inschatting te maken van de 'zoete', 'brakke' en 'zoute' (sub-)grondwaterlichamen. Het modelinstrumentarium kan tevens gebruikt worden om te analyseren of, en zo ja hoe snel, toekomstige ontwikkelingen als klimaatverandering en menselijke activiteiten de zoet-zout verdeling in het grondwater doen veranderen. Het meetnet zoutwaterintrusie dient ook de interactie met het oppervlaktewater te beschouwen.

Op veel plaatsen binnen Nederland is een tendens gaande om de monitoring in het kader van de KRW zo minimaal mogelijk op te zetten, ingegeven door angst dat men in de toekomst vanuit Brussel kan worden aangesproken. Deze angst is voor monitoring van zoutwaterintrusie ongegrond als goed wordt aangegeven welke processen spelen en tevens beschreven wordt wat de (toekomstige) referentiesituatie wordt nadat het watersysteem een evenwicht heeft bereikt.

Op basis van deze studie is het goed mogelijk om een samenhangend meetnet voor zoutwaterintrusie voor heel Nederland te ontwerpen.

12 Literatuurreferenties

Bear, J. (1979). *Hydraulics of Groundwater*. New York, McGraw-Hill Book Company.

Beekman, H. E. (1991). *Ion Chromatography of Fresh- and Seawater Intrusion. Multicomponent dispersive and diffusive transport in groundwater*, Ph.D.-thesis, Free University of Amsterdam.

Boekelman, R. H. (1981). *Geo-electrical survey in the polder Groot-Mijdrecht*. Proc. 6th Salt Water Intrusion Meeting, Hannover, Germany, Verlag Heinz Heise.

Boekelman, R. H. en G. H. P. Oude Essink (1994). *Salt-water intrusion into groundwater systems. Groundwater contamination and control*. U. Zoller, Marcel Dekker: 101-117.

Bader, E. (2005), *Verziltings- en verzoetingsprocessen in Nederland, met speciale aandacht voor de Wieringermeerpolder*. Bachelorafsluiting Aardwetenschappen, stage bij TNO Bouw en Ondergrond, p. 61.

Beekman, H. E. and C. A. J. Appelo (1991). *Ion chromatography of fresh water intrusion along two transects of the fresh water-body of Hoorn, The Netherlands*. Proc. 11th SWIM; may 1990, Gdansk (Poland), Gdansk, Poland.

Dagan, G. and J. Bear (1968). *Solving the problem of local interface upconing in a coastal aquifer by the method of small perturbations*. J. Hydraul. Res. 6: 15-44.

Dam, J. C., van (1986). *Characterization of the interaction between groundwater and surface water: salinity*. *Conjunctive Water*, Budapest, IAHS Publ. no. 156.

Deelstroomgebied Rijn-noord, Nedereems en Rijn-oost (2005). *Concept-monitoringsplan grondwater KRW*. Concept eindrapport.

Deelstroomgebied Rijn-west (2005). *Concept-grondwatermonitoringsprogramma KRW*.

Deelstroomgebied Schelde (2005). *Concept monitoringsprogramma stroomgebied Schelde*.

Geirnaert, W., (1972); *The hydrogeology and hydrochemistry of the lower Rhine fluvial plain*. Leidsche Geologische mededelingen, deel 49, aflevering 1.

Grakist, G., C. Maas, et al. (2003). *Keeping our wells fresh*. Proc. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands.

Koppen, P. C., van (1985). *Geohydrologische studie van de polder Groot-Mijdrecht*, Delft University of Technology, The Netherlands.

Kooiman, J. W. (1989). Modelling the salt-water intrusion in the dune water-catchment area of the Amsterdam Waterworks. Proc. 10th Salt Water Intrusion Meeting, Ghent, 1988, Ghent, Belgium.

Kuijper, M., Oude Essink, G.H.P., Binsbergen, R., van & B. Minnema (2005). Kijkje in de toekomst: klimaatveranderingen en verzilting in de provincie Zuid-Holland in beeld gebracht, H2O (8) 33-37.

Louw, P., de, Bakkum, R., Folkerts, H., Hardeveld, H., van, et al. (2004). Het effect van waterbeheer op de chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas. TNO-rapport, p. 145.

Min. van Verkeer en Waterstaat, 2005; Karakterisering Nederlands Maasstroomgebied. Hoofdrapport en Kaartenbijlage.

Oude Essink, G. H. P. (2001a). Density dependent groundwater flow: salt water intrusion and heat transport. Lecture notes Utrecht University, Institute of Earth Sciences, The Netherlands, www.geo.vu.nl/~oudg/gwm2/gwm2.pdf, p. 136.

Oude Essink, G. H. P. (2001b). Salt Water Intrusion in a Three-dimensional Groundwater System in The Netherlands: a Numerical Study. Transport in Porous Media 43(1): 137-158.

Post, V. E. A. (2003). Groundwater salinization processes in the coastal area of the Netherlands due to transgressions during the Holocene. Ph.D.-theses, Amsterdam, The Netherlands, Vrije Universiteit: p. 138.

Roebert, A. J. (1987). Fresh water extraction and salt water encroachment in the Amsterdam dune water catchment area. Groundwater problems in coastal areas: a contribution to the International Hydrology Programme. E. Custodio and G. A. Bruggeman, Unesco: 464-473.

Schmorak, S. and A. Mercado (1969). Upconing of fresh-water sea-water interface below pumping wells, field study. Water Resour. Res. 5: 1290-1311.

Schultz, E. (1992). Water Management of the Drained Lakes in the Netherlands, (in Dutch), Delft University of Technology, 507 pp., Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad, ISBN 90-369-1087-0.

Stuyfzand, P.J. and R.J. Stuurman (1994). Recognition and genesis of various brackish to hypersaline groundwaters in the Netherlands. Paper 13th Salt Water Intrusion Meeting, Villasimius Sardinia.

Stuyfzand, P. J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, p. 366.

Minnema, B., Kuijper, M., Oude Essink, G.H.P. & Maas, C. (KIWA), (2004). Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland; in opdracht van de Provincie van Zuid-Holland. NITG 04-189-B, p.86.

Vugt, A. van, Oude Essink, G.H.P. & Biesheuvel, A. (2003) Modellerings van het zoet-zout grondwatersysteem op Texel, Stromingen, 9 (1), 33-46.

M.E. van Vliet, H.F. Passier, B. van der Grift, J. Brils, J. Joziase, P. Schipper, P. Clement, R. van Lanen (2006). Herkomst stoffen in het Maasstroomgebied. TNO Grontmij. TNO rapport – in voorbereiding.

Van der Aa, N.G.F.M., B. van der Grift, G. W. van Beusekom, E.A. Buijs, J.A. Meima, H.P. Broers en A.J.W. Kremers (2001). Integratie meetnetten bodem- en grondwaterkwaliteit. NITG 01-190-A.

Van den Akker, C. (1999). Vernatting door verzoeting. Stromingen 4 (1999). Nummer 2, pp 27-34.

Walreavens e.a.. (2001). Pleistocene and Holocene groundwaters in the freshening Ledo-Paniselian aquifer in Flanders, Belgium. In Paleowaters in Coastal Europe. Geological Society Special Publications No 189.

A Annex III to the ANNEX

ASSESSMENT OF GROUNDWATER CHEMICAL STATUS

1. The assessment procedure for determining the chemical status of a groundwater body, or group of bodies, shall be carried out in relation to all groundwater bodies or groups of bodies characterised as being at risk and in relation to each of the pollutants which contribute to the groundwater body or group of bodies being so characterised.
2. In undertaking any investigations referred to in Article 4 (2) (b), Member States shall take into account:
 - (a) the information collected as part of the characterisation to be carried out under Article 5 of Directive 2000/60/EC and under sections 2.1, 2.2 and 2.3 of Annex II thereto;
 - (b) the results of the groundwater monitoring network obtained in accordance with Annex V, section 2.4 of Directive 2000/60/EC; and
 - (c) any other relevant information including a comparison of the annual arithmetic mean concentration of the relevant pollutants in a monitoring point with the groundwater quality standards set out in Annex I and the threshold values set by Member States in accordance with Article 3 and Annex II.
3. For the purposes of investigating whether the conditions for good groundwater chemical status referred to in Article 4 (2) (b)(i) and (iv) are met, Member States shall, where relevant and necessary, and on the basis of appropriate aggregations of the monitoring results, supported where necessary by concentration estimations based on a conceptual model of the groundwater body or group of bodies, estimate the extent of the groundwater body having an annual arithmetic mean concentration for a pollutant higher than a groundwater quality standard or than a threshold value.

4. For the purposes of investigating whether the conditions for good groundwater chemical status referred to in Article 4(2)(b)(ii) and (iii) are met, Member States shall, where relevant and necessary, and on the basis of relevant monitoring results and of a suitable conceptual model of the groundwater body, assess:
 - the amounts and the concentrations of the pollutants being, or likely to be, transferred from the groundwater body to the associated surface water bodies or directly dependent terrestrial ecosystems;
 - the likely impact of the amounts and concentrations of the pollutants transferred to the associated surface waters and dependent terrestrial ecosystems;
 - **the extent of any saline or other intrusions into the groundwater body; and**
 - the risk from pollutants in the groundwater body to the quality of water abstracted, or intended to be abstracted, from the groundwater body for human consumption.
5. Member States shall present the groundwater chemical status of a groundwater body or group of bodies on maps in accordance with Annex V, sections 2.4.5 and 2.5 of Directive 2000/60/EC. In addition, Member States shall indicate on these maps all monitoring points where groundwater quality standards and/or threshold values are exceeded, where relevant and feasible.

B Draaiboek Grondwater

Monitoring van aantrekken van zout grondwater

Achtergrond van de problematiek

De Kaderrichtlijn Water stelt dat veranderingen in stromingsrichtingen, veroorzaakt door menselijk ingrijpen, niet mogen leiden tot zoutwater intrusie. Grootste risico is het verticaal aantrekken van zout water bij grondwaterwinningen. Daarnaast wordt door het draineren van water in de laag gelegen poldergebieden ook langzaam zout water omhoog getrokken.

De technische analyse van veranderingen in de ligging van het zoet-zout grensvlak vragen een systeemgerichte benadering. Veranderingen in de ligging kunnen namelijk alleen verklaard worden wanneer invloeden en processen van verschillende tijdschaal worden betrokken in de analyse. Bij de kustprovincies is inmiddels ervaring opgedaan met het meten en modelleren van het zoet-zout grensvlak. Toch ontbreekt het nog aan een landsdekkend beeld van de situatie. Dit is de reden dat dit onderwerp in de karakterisatie voor de KRW onvoldoende is uitgewerkt. Pas wanneer dit gebeurd is kan de monitoring hierop afgestemd worden.

Meetnet op hoofdlijnen

Voor de monitoring van de ligging van de zoet-zout grensvlak kan goed gebruik worden gemaakt van bestaande meetpunten. In deze paragraaf wordt aangegeven van welke meetpunten gebruik zou kunnen worden gemaakt. Het meetnet kan grofweg uit de volgende verschillende soort metingen bestaan:

1. veranderingen in het stromingspatroon worden gesignaleerd met het stijghoogtemeetnet (zie paragraaf 4.2);
2. metingen van de geleidbaarheid of het chloridegehalte per grondwaterwinning worden gebruikt voor het signaleren van veranderingen op puntniveau. Metingen van het chloridegehalte zijn per winning volgens de vergunning van de grondwaterwet meestal vergunningsplichtig ter controle van de ligging van het zoetzoutvlak. Dit onderdeel wordt in onderstaande paragraaf verder uitgewerkt;
3. Het monitoren van het chloride gehalte op regionale schaal is nog geen praktijk. Een eventuele uitbreiding van dit meetnet kan het beste worden gedaan nadat een regionale probleemanalyse is gemaakt (zie voorgaande paragraaf). Dit is als actiepunt 9.12 in hoofdstuk 9 van dit draaiboek gedefinieerd.

Waterlichamen in zout water gebieden

De monitoring in gebieden waar zout water op geringe diepte voorkomt heeft extra aandacht. Zout grondwater heeft een afwijkende samenstelling met bijvoorbeeld verhoogde concentraties fosfaat en arseen. Daardoor kan de kwaliteit van het grondwater als slecht worden gekwalificeerd ten gevolge van nature aanwezige concentraties stoffen. De wijze van monitoren hangt af van de aanpak waarop de grondwaterlichamen verticaal worden ingedeeld. Hierover is nog steeds discussie. Er worden twee oplossingen voorzien:

1. Er wordt gekozen voor een grondwaterlichaam waarin zowel zoet als zout groundwater voorkomt. Er wordt toegelicht dat de overschrijdingen van drempelwaarden wordt veroorzaakt door natuurlijke oorzaken.

2. Er wordt gekozen voor een opdeling in grondwaterlichamen van verschillende kwaliteit.

Toelichting bij een voorstel voor de regionale probleemanalyse

De volgende aanpak wordt voorgesteld voor een nadere inhoudelijke uitwerking (actie 9.12 in hoofdstuk 9 van dit draaiboek):

- voor de kuststreek wordt een korte beschrijving gemaakt van de zoet-zout problematiek. De huidige ligging van het zoet-zout grensvlak wordt beschreven inclusief de veranderingen in de tijd;
- met een systeemgerichte analyse wordt aangegeven in hoeverre deze veranderingen worden veroorzaakt door natuurlijke processen (zeespiegelveranderingen, eeuwenoude inpolderingen) of door menselijk ingrijpen (drainage, grondwateronttrekking);
- vervolgens wordt aangegeven in hoeverre de veranderingen in zoutgehalte een bedreiging vormen. Voor de Kaderrichtlijn Water zijn primair de belangen van natuur en drinkwatervoorziening van belang. Maar daarnaast kan ook het belang van de landbouw worden beschouwd;
- indien op grond van deze analyse wordt geconcludeerd dat de toestand van de grondwaterlichamen zal verslechteren dienen maatregelen te worden overwogen. Indien de maatregelen technisch en/of financieel moeilijk uitvoerbaar zijn kan dit worden toegelicht.

Het monitoringsprogramma voor het zoet-zout wordt afgestemd op de doelen en de goede toestand. De peilbuizen worden zo geselecteerd dat het filter een verschuiving van het onderliggende zoet-zout grensvlak tijdig kan signaleren. De meetpunten worden afgestemd op de lokale situatie en de specifieke achtergrondconcentratie. Wanneer mogelijk wordt gebruik gemaakt van meetpunten uit de beschikbare kwaliteitsmeetnetten, zoals het Landelijk Meetnet Grondwater of het Provinciaal Meetnet Grondwater. Maar voor de meeste stroomgebieden ligt het zoet-zout grensvlak (veel) dieper dan 25 meter beneden maaiveld. In deze gebieden wordt een beschikbare waarnemingsfilter geselecteerd uit andere meetnetten (bijvoorbeeld het Provinciale Primaire Meetnet voor Stijghoogten), of zonodig bijgeplaatst.

Aanpak in detail voor zoet-zout monitoring rond de winningen

Rond de winningen zijn op dit moment al veel metingen beschikbaar. De volgende selectie van meetpunten in de grondwaterlichamen rond de waterwinningen voor menselijke consumptie wordt voorgesteld:

- indien beschikbaar, wordt gebruik gemaakt van de zoutwachters. Dit zijn metingen van de geleidbaarheid op verschillende dieptes;
- indien geen zoutwachters beschikbaar zijn, wordt gebruik gemaakt van metingen van het chloride gehalte in minimaal twee peilbuizen. De peilbuis ligt in het pakket waaruit onttrokken wordt.