

**Deltares-rapport**

**2008-U-R0434/A**

**Koploper Klimaat Werkpakket Watervoorziening**

Datum	14 april 2008
Auteur(s)	M. Hoogvliet (Deltares) G. Oude Essink (Deltares) W. Werkman (Waterdienst) S. Bosch (Siebe Bosch Hydroconsult)
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Waterdienst
Projectnummer	034.79286/01.04
Aantal pagina's	59 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Goedgekeurd door	J.C. Gehrels

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

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

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

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>3</b>
1.1	Probleemschets .....	3
1.2	Doel.....	3
<b>2</b>	<b>Algemene schets van klimaateffecten op verzilting.....</b>	<b>5</b>
2.1	Bodemdaling.....	5
2.2	Oppervlaktewater (externe verzilting) .....	5
2.3	Grondwater (interne verzilting) .....	6
2.4	Achtergronden watervoorziening en verzilting Rijnland.....	7
<b>3</b>	<b>Aanpak.....</b>	<b>9</b>
3.1	Verzilting bij inlaatpunten .....	9
3.2	Zoutbelasting via grondwater .....	14
3.3	Gecombineerde zoutbelasting binnendijks gebied.....	19
3.4	Effecten op landbouw .....	22
3.5	Inschatting van knikpunten door de Waterschappen .....	23
<b>4</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>25</b>
4.1	Verzilting bij inlaatpunten .....	25
4.2	Zoutbelasting via grondwater .....	29
4.3	Resultierend chloridegehalte in oppervlaktewater binnendijks gebied.....	34
4.4	Effecten van verzilting grondwater op landbouw .....	38
4.5	Inschatting van knikpunten door de Waterschappen .....	41
<b>5</b>	<b>Mogelijke adaptatiestrategieën.....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>48</b>
6.1	Huidig beleid .....	48
6.2	Maatregelen .....	48
6.3	Knikpunten .....	49
6.4	Onderbouwing .....	51
6.5	Onderzoeksagenda.....	52
<b>7</b>	<b>Geraadpleegde literatuur .....</b>	<b>55</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Calibratie Rijnland model	

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemschets

In de Nederlandse overgangswateren (de gebieden waar zoet en zout water elkaar ontmoeten) komt zoutindringing vanuit zee op natuurlijke wijze voor. Onder invloed van wisselende omstandigheden als getij en rivierafvoer dringt zout water hier tweemaal daags de rivieren op. De mate waarin dit optreedt is van belang voor de gebruikers van zoet water, zij zijn gebaat bij zo zoet mogelijk water in het hoofdsysteem (de rijkswateren). Als het oppervlaktewater ter hoogte van de innamepunten van drinkwaterbedrijven en waterschappen te zout wordt, dan zullen deze gebruikers (indien mogelijk) de inname van het water ten behoeve van drinkwaterproductie, peilbeheersing en doorspoeling van de binnendijkse watersystemen, staken. Hierdoor kunnen productiebeperkingen (drinkwater) of droogtedan wel zoutschade ontstaan. In tegenstelling tot de directe droogteschade in de landbouw als gevolg van een neerslagtekort, kan dus ook op deze indirecte manier schade ontstaan.

Het proces van zoutindringing, dat sterk afhankelijk is van de waterstand op zee en de grootte van de rivierafvoer, wordt ook wel aangeduid met de term 'externe verzilting'. De term 'interne verzilting' wordt gebruikt voor de kwel van brak grondwater naar het oppervlaktewater van de polders en de diepe droogmakerijen. Samen zorgen externe en interne verzilting voor een belasting van de kwaliteit van het oppervlaktewater, die voor sommige gebieden al op korte termijn tot grote knelpunten kan leiden. De fysische omstandigheden worden in deze gebieden dusdanig anders dat huidige functies niet of alleen in aangepaste vorm kunnen worden gehandhaafd. Er vindt dan een omslag plaats waarbij bestaande (water)beheersstrategieën niet meer houdbaar zijn om de gewenste ruimtelijke en maatschappelijk-economische functionaliteit te kunnen handhaven. Aanpassing van de strategieën vergt bewustwording, ruimtelijke oplossingen (lokaal maatwerk), oplossingen vanuit het waterbeheer (ook maatwerk en afstemming tussen gremia) en acceptatie.

In het werkpakket 'identificatie van bestaande strategieën en knikpunten watervoorziening' zijn de grenzen van de voorziening van voldoende zoet water verkend.

## 1.2 Doel

Er is in dit werkpakket geanalyseerd hoe verzilting en droogte doorwerken op met name de rijkswateren. Daarnaast is gekeken naar de wisselwerking tussen de effecten in deze rijkswateren en de effecten in aangesloten/aangrenzende wateren en gebieden: de regionale watervoorziening. Binnen deze gebieden kunnen talloze functies worden onderscheiden die gebruik maken van en eisen stellen aan de kwaliteit en kwantiteit van de watervoorziening. De belangrijkste daarvan zijn:

- Landbouw;
- Scheepvaart;
- Energievoorziening (koelwater);
- Drinkwater;

- Recreatie;
- Natuur;
- Stedelijk gebied.

In verband met de beperkte doorlooptijd van het project is ervoor gekozen om de focus allereerst te leggen op landbouw en de problemen die hier worden ondervonden ten gevolge van verzilting van grondwater en oppervlaktewater. Als aandachtsgebied is gekozen voor Zuidwest Nederland en in het bijzonder het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Hier is verziltingsbestrijding, nu en in de toekomst, één van de belangrijkste aandachtspunten in het waterbeheer.

In het werkpakket zijn de volgende doelen nagestreefd:

- Inzicht krijgen in hoeverre het chloridegehalte van de rijkswateren wijzigt nabij belangrijke inlaatpunten, onder invloed van (extreme) zeespiegelstijging en klimaatverandering;
- Bepalen van de intensiteit van brakke kwel in het binnendijks gebied, onder invloed van klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging;
- Bepalen van de gecombineerde zoutbelasting van externe en interne verzilting en zoeken van kritieke grenzen van de watervoorziening voor de functie landbouw;
- Bepalen van moment waarop bestaande beleid/maatregelstrategieën niet langer optimaal functioneren;
- Identificeren van mogelijke maatregelen en samenstellen van adaptatiestrategieën;
- Opstellen van een 'onderzoeksagenda' voor Deltares aan de hand van de in dit project opgedane ervaring en gesignaleerde kennishiaten.

## 2 Algemene schets van klimaateffecten op verzilting

Bij het beschrijven van de verziltingseffecten in het oppervlaktewater moet onderscheid worden gemaakt tussen het hoofdwatersysteem (de rijkswateren) en het binnendijks gelegen watersysteem (poldersloten en boezems):

- In het hoofdwatersysteem is sprake van *externe verzilting*;
- In het binnendijks gelegen watersysteem is sprake van *interne verzilting*.

In de navolgende paragrafen worden de principiële mechanismen beschreven waarmee klimaatverandering en zeespiegelstijging bijdragen aan externe en interne verzilting. Interne verzilting wordt daarnaast bepaald door een derde factor die zelf ook door klimaatverandering wordt beïnvloed: bodemdaling. In paragraaf 2.1 wordt daarom allereerst ingegaan op de relatie tussen bodemdaling en klimaatverandering.

Omdat in de studie wordt ingezoomd op het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland, wordt in paragraaf 2.4 het watervoorzieningssysteem van Rijnland uitgelicht.

### 2.1 Bodemdaling

Het klimaat is direct en indirect van invloed op de mate van bodemdaling. Directe invloeden hebben betrekking op oxidatie van veen. Belangrijke variabelen hierbij zijn regenval, temperatuur en in mindere mate zeespiegelstijging. Een warmer klimaat met drogere zomers heeft vooral gevolgen voor veenweidegebieden. Oxidatie van de organische bestanddelen in veen wordt veroorzaakt door bacteriële activiteit. Deze neemt toe met hoger wordende temperatuur. Drogere, warmere zomers zullen bij gelijkblijvend peilbeheer tot gevolg hebben dat de grondwaterspiegel in de zomer verder uitzakt, waardoor een grotere dikte wordt belucht en kan oxideren.

Bodemdaling is indirect afhankelijk van de wijze waarop het waterbeheer reageert op het veranderende klimaat. In de afgelopen eeuwen is het maaiveld in West-Nederland al een paar meter lager komen te liggen als gevolg van een steeds efficiëntere en toenemende ontwatering. Deze ontwatering leidde en leidt nog steeds tot het droogvallen van veenpakketten, waardoor deze bij toetreding van zuurstof vergaan (oxideren), en tot verlaging van de waterspanning in de samendrukbare pakketten, waardoor compactie (klink) optreedt. Bij voortzetting van de traditionele ontwatering zal de spiraal van 'peilverlaging → bodemdaling → peilverlaging' niet worden doorbroken. Een veranderend klimaat vraagt daarom vooral in de veenweidegebieden om herbezinning in het peilbeheer m.b.t. hoe te reageren op drogere zomers en nattere winters en tegelijkertijd verdere bodemdaling te voorkomen.

### 2.2 Oppervlaktewater (externe verzilting)

Door klimaatveranderingen is het zeer welmogelijk dat de kwaliteit en de kwantiteit van het oppervlaktewater in het Noordelijk Deltabekken (zie figuur 4) anders wordt dan nu het geval is. Door veranderingen in de afvoer van de grote rivieren (hogere afvoer in de winters, lagere afvoer in de zomers) en door zeespiegelstijging veranderen waterstanden ten opzichte van de huidige situatie en zal, met name bij lage afvoer in de zomer, de zoutindringing in het hoofdwatersysteem vanuit zee toenemen. Dit is het gevolg van de

afname van de tegendruk van het rivierwater op het zeewater, waardoor zeewater verder landinwaarts kan komen. Het punt waar de invloed van het getij nog merkbaar is zal ook verder landinwaarts komen te liggen.

Stormen kunnen dit effect nog versterken. Bij het optreden van stormen zal de hoogte van de waterstand op zee toenemen ten opzichte van het astronomische getij. Dit leidt tot een hogere druk vanuit zee, waardoor de zoutindringing tijdelijk verder toeneemt.

De zoutindringing leidt tot een toename van de kans dat bij belangrijke waterinnamepunten langs de rivieren de genormeerde zoutconcentratie, gedurende een te lange periode wordt overschreden. Op dat moment is er sprake van externe verzilting. Het in te nemen water heeft de verziltingsgrens overschreden.

### **2.3 Grondwater (interne verzilting)**

In het grootste deel van West-Nederland is het diepere grondwater brak tot zout. Op de kuststrook na bestaat dit uit zeewater dat in de ondergrond is achtergebleven toen de zee zich uit dit deel van ons land terugtrok. Van oorsprong was dit mariene grondwater vrijwel immobiel, maar onder de invloed van droogmakerijen en inpolderingen is het langzaam grootschalig in beweging gekomen. Uit onderzoek is duidelijk geworden dat dit proces, hoewel het al eeuwen geleden op gang kwam, nog lang niet is uitgewerkt. De grootste verzilting ten gevolge van de ontginning van West-Nederland staat ons zelfs nog te wachten. Deze autonome verzilting van de ondergrond is een omvangrijk, langzaam en nauwelijks omkeerbaar proces.

Het mechanisme hierachter verloopt als volgt: in relatief hoog gelegen gebieden dringt regenwater de ondergrond in. Hier treedt dus verzoeting op. Het zoete regenwater verdringt het ter plaatse aanwezige zoute grondwater, dat zich zijdelings in de richting van relatief lager gelegen gebieden verplaatst. Het zoute water dat daar al aanwezig is komt daardoor noodgedwongen omhoog. Op sommige plaatsen kan het de wortelzone bereiken en schade toebrengen aan gewassen. Belangrijker is echter dat het uitstroomt naar het oppervlaktewater, waardoor dit ongeschikt wordt voor landbouwkundig gebruik, tenzij het met veel zoet rivierwater wordt verdund.

De zoutgehaltes in het ondiepe grondwater zullen dus in ieder geval toenemen, ook zonder klimaatverandering. In een deel van Nederland zullen de zoutgehaltes in het grondwater gaan lijken op die vandaag de dag in Zeeland te vinden zijn, waar het waterbeheer vaak al gestuurd wordt door verziltingsprocessen in het grond- en oppervlaktewatersysteem. Regio's die met hoge zoutgehaltes rekening zullen moeten gaan houden zijn met name Zeeland, West-Nederland en de gebieden in de kop van Noord-Holland, Texel en Friese kust (WL, oktober 2007). Op plaatsen waar natuurlijke of kunstmatige kortsluitingen (wellen, zandige geulen) bestaan tussen het brakke watervoerend pakket en het oppervlaktewaterstelsel, vindt de sterkste interne verzilting plaats.

Klimaatverandering (voornamelijk toename van de verdamping en afname van de hoeveelheid neerslag in de zomer), zeespiegelstijging en bodemdaling verergeren de interne verzilting, maar hun bijdrage verloopt relatief traag, waardoor deze processen op lange termijn niet tot plotselinge nare verrassingen zullen leiden. Toch veroorzaakt klimaatverandering ook op korte termijn problemen, omdat hierdoor onder andere ten gevolge van externe verzilting in de zomer wellicht te weinig doorspoelwater

beschikbaar zal zijn om het oppervlaktewater voldoende zoet te houden voor landbouwkundig gebruik. In feite hebben de waterbeheerders in het Westen van het land nu al moeite om in droge zomers de beschikbaarheid van zoet water te garanderen.

## 2.4 Achtergronden watervoorziening en verzilting Rijnland

Hoogheemraadschap van Rijnland is één van de (zo niet oudste) waterschappen in onze delta. Het is een zeer interessant gebied gezien vanuit waterbeheer. Deltares (TNO Bodem en Grondwater) heeft hier in het verleden al onderzoek uitgevoerd (een verziltingsstudie met zoetzout model) en doet dit nog steeds (wellenstudie, wellenreductiepijlot). Het gebied bestaat uit diepe polders en duingebieden waar in de 50-iger jaren erg veel grondwater werd onttrokken. Dat heeft tot geleid tot opkegeling van brak/zout grondwater vanuit de onderliggende mariene pakketten.

In de zomer laat Rijnland in Gouda water uit de Hollandsche IJssel in naar de boezem. Jaarlijks wordt, afhankelijk van de weersomstandigheden, ongeveer 40 tot 100 miljoen kubieke meter water ingelaten. Dit inlaten gebeurt hoofdzakelijk in de periode mei tot en met september.

Waterinlaten is op de eerste plaats nodig om de verdamping te compenseren. Er is verdamping uit het open water, maar ook alle bomen en planten verdampen veel (grond)water. Ten tweede is er ook water nodig om het watersysteem door te spoelen. In de zomer komt er zout water uit diepe polders aan het oppervlak en dit zoute kwelwater moet worden afgevoerd. Doordat er in de zomer geen overschot aan neerslag is, moet er extra water worden aangevoerd om het watersysteem te kunnen doorspoelen. De aanvoer in verband met de verdamping en de aanvoer voor het doorspoelen bedragen ieder ongeveer 50% van de totale inlaat bij Gouda.

In het Hoogheemraadschap van Rijnland is verziltingsbestrijding, nu en in de toekomst, één van de belangrijkste aandachtspunten in het beheersgebied (Kiwa, 2005). De verzilting kent een aantal oorzaken. De belangrijkste processen en activiteiten die momenteel tot de zoutbelasting van het oppervlaktewater leiden, zijn:

- De kwel van brak grondwater naar het oppervlaktewater van de polders en de diepe droogmakerijen (circa 60%);
- Schut- en/of lekwater (brak of zout) via scheepvaartsluizen. Dit speelt vooral in de omgeving van Spaarndam, nabij het Noordzeekanaal (circa 20%);
- Inlaat water uit de Hollandsche IJssel. In de zomer laat Rijnland bij Gouda water in, om de waterstanden van boezem en polders op peil te houden. Ook is de inlaat bedoeld om de boezem door te spoelen (gelijktijdig inlaten en uitmalen om o.a de zoutbelasting te verminderen). Het water van de Hollandsche IJssel bevat ook chloriden (ongeveer 5%);
- De restpost vormen de lozingen van afvalwaterzuiveringen, de industrie en bouwwerkzaamheden. Voorbeelden zijn het toepassen van zeezand voor nieuwe woning- en bedrijven terreinen, de aanleg van nieuwe infrastructuur, als de HSL en de verbreding van de A4) (circa 15%).

De zoutvracht vanuit de kwelpolders zal in de toekomst toenemen, ongeveer evenredig met het debiet. Dit is aantoonbaar in de Haarlemmermeerpolder. Op dit moment worden de watergangen doorgespoeld met zoet water, om ervoor te zorgen dat de chlorideconcentratie niet boven de 200 mg/l komt. Toch treden er in de huidige situatie

af en toe problemen op met betrekking tot doorspoelen. In geval van extreme droogte kan een beregeningsverbod worden ingesteld. Zo is in de droge zomer van 2003 vanwege de lage Rijnafvoer het inlaatpunt bij Gouda verzilt door indringen van zout water vanuit de Noordzee. Bij herhaling zou dit structurele gevolgen kunnen hebben voor gevoelige gewassen, in bijvoorbeeld het boomkwekerijgebied van Boskoop en omgeving.

De waterbalans van Rijnland, de aanvoer en afvoer van water, zal door klimaatverandering wijzigen. Naast een toenemende afvoer zal de waterbehoefte voor peilhandhaving in het gebied van Rijnland toenemen. Ontwikkelingen als het "Ander beheer van de Haringvlietsluizen" (Getemd Getij) in 2015 en veranderingen in de Rijnafvoer ten gevolge van klimaatverandering zullen ertoe leiden dat de Hollandsche IJssel in de toekomst vaker verzilt. Hierdoor zal het inlaten van zoet water via de Hollandsche IJssel minder goed mogelijk zijn. Eventuele uitbreiding van de sluisen bij IJmuiden (Zeepoort IJmond) zullen een toenemende verbraking van het Noordzeekanaal tot gevolg hebben. Dit kan leiden tot een verdergaande verzilting van het noordelijke deel van de boezem via de schutsluis bij Spaarndam. Functiewijzigingen in het gebied (steden, natuur) stellen veranderende eisen aan de waterkwaliteit en kunnen daarmee eveneens reden zijn voor veranderingen in de waterbehoefte.



## 3 Aanpak

Om de doelstellingen van het werkpakket te behalen zijn de werkzaamheden opgesplitst in zes onderdelen:

1. Bepalen van de verandering in de waterkwaliteit bij de inlaatpunten in de rijkswateren (externe verzilting);
2. Bepalen van zoutbelasting via grondwater in binnendijs gebied (interne verzilting);
3. Bepalen van gecombineerde zoutbelasting van oppervlaktewater in binnendijsgebied, vanuit inlaatpunten en via grondwater;
4. Bepalen van effecten van verzilting op landbouw;
5. Beoordelen van knikpunten watervoorziening (combineren van uitkomsten studie met expert judgement door de Waterschappen).

In de navolgende paragrafen wordt beschreven hoe deze onderdelen zijn aangepakt.

### 3.1 Verzilting bij inlaatpunten

Regionale waterbeheerders zijn afhankelijk van de mogelijkheid tot inname van oppervlaktewater vanuit het hoofdsysteem. Deze mogelijkheid tot inname wordt bepaald door de chlorideconcentratie en/of de waterstand van het hoofdsysteem ter plaatse van de innamepunten. In dit onderdeel is bepaald in welke mate het chloridegehalte bij de inlaatpunten verandert onder invloed van klimaatveranderingen en zeespiegelstijging, en beperkingen veroorzaakt voor de waterinname.

Stapsgewijs zijn daartoe de effecten van klimaatverandering opgevoerd. Het resultaat van dit onderdeel, de verzilting van de inlaatpunten, wordt beschreven in termen van gemiddelde chloridegehalten en overschrijdingsduur van de huidige kwaliteitsnormen (voor inname). De modellering is uitgevoerd door de Waterdienst met het ééndimensionale model SOBEK, waarmee berekeningen kunnen worden uitgevoerd op het gebied van waterloopkundige vraagstukken. Er kunnen met dit model onder andere waterstanden en zoutgehalten op verschillende locaties worden uitgerekend (SOBEK-NDB model versie 1.1.0). Het SOBEK-NDB model is uitgebreid gekalibreerd en geverifieerd. De beschrijvingen van de kalibratie en verificatie van het SOBEK-NDB zijn opgenomen in werkdocumenten (RIZA, 2000 en RIZA, 2003). Het Noordelijk Deltabekken, waarvoor de modelleringen zijn uitgevoerd wordt weergegeven in figuur 4.

Hieronder volgt ten eerste een korte toelichting op de geanalyseerde scenario's. Vervolgens wordt het systeem van dagelijks optredende en extreme verzilting van het Rijn-Maasmondingsgebied beschreven. Na een beschrijving van de belangrijkste uitgangspunten bij de berekeningen wordt ingegaan op de innamepunten in het gebied.

#### **Toegepaste klimaatscenario's**

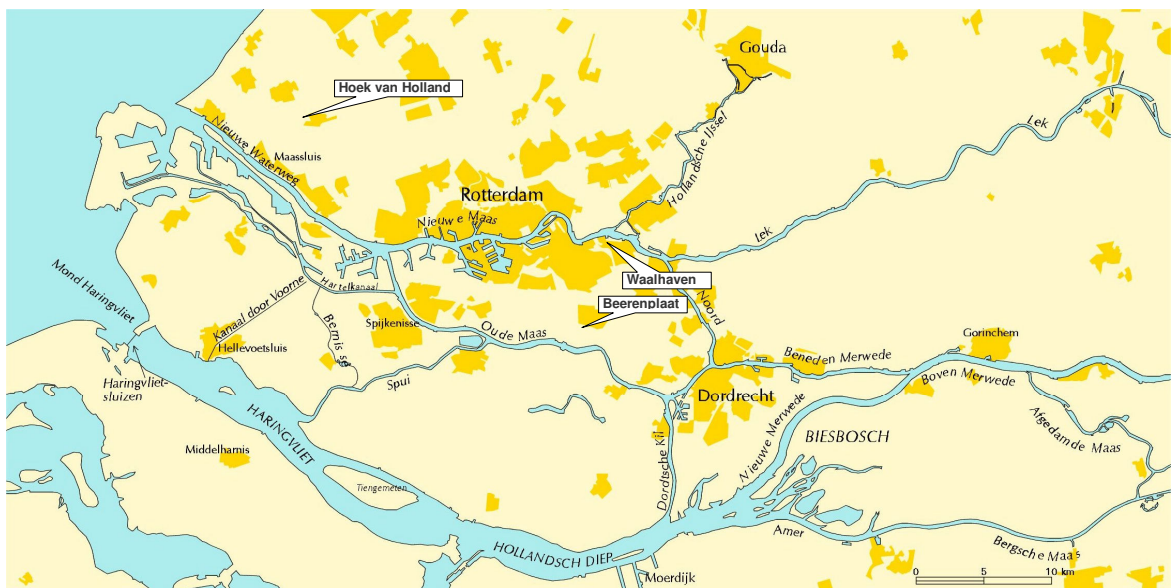
Uitgangspunt bij het project is dat vrij extreme scenario's worden bekeken. Er is gekozen voor:

1. Huidige situatie;
2. W+ 2050 zeespiegelstijging 35 cm, afvoer op jaarbasis 8% afname;

3. W+ 2100 zeespiegelstijging 85 cm, afvoer op jaarbasis 12% afname;
4. W+ 2100 zeespiegelstijging 200 cm, afvoer op jaarbasis 12% afname.

### Zoutindringing in Midden West-Nederland

Zoutindringing via Nieuwe Waterweg, Nieuwe en Oude Maas komt twee maal per dag voor. Op de Nieuwe Maas is de invloed van verzilting onder normale omstandigheden merkbaar tot de Waalhaven (zie figuur 1). Bij de volgende ebperiode trekt het zoutfront zich dan weer terug tot voorbij Maasluis, een afstand van ongeveer 16 km. Bij een rivierafvoer beneden 1000 m<sup>3</sup>/s verzilt de monding van de Hollandse IJssel. Als ook gelijktijdig een kortdurende waterstandverhoging bij Hoek van Holland optreedt als gevolg van een sterke noordwestenwind, reikt het zoutfront tot enkele kilometers op de Lek en de Noord. Langs de Oude Maas passeert het zoutfront dan in elk geval de splitsing met het Spui, waar het belangrijke innamepunt Bernisse net bereikt wordt.



Figuur 1: Kaart van de overgangswateren in het benedenrivierengebied.

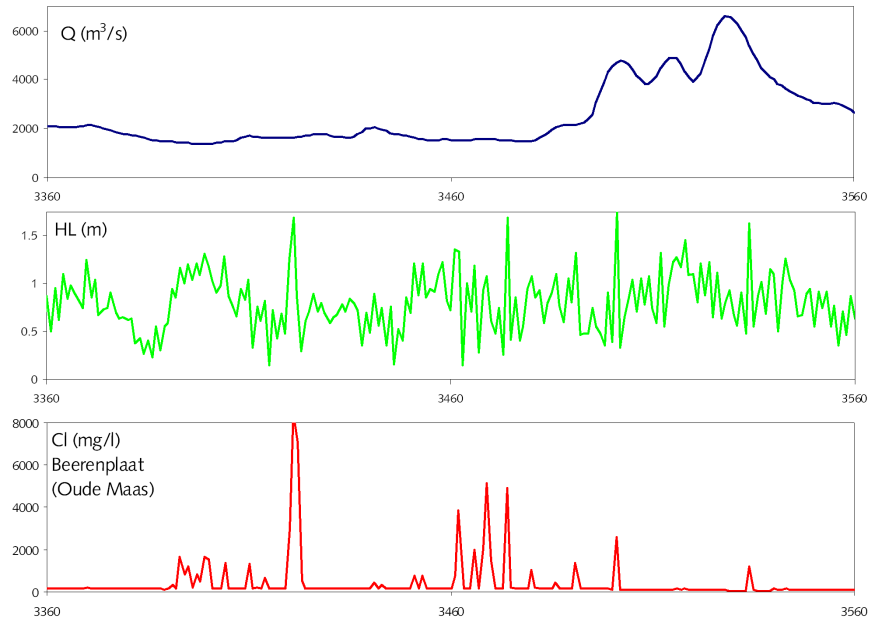
De mate van externe verzilting in het Noordelijk Deltabekken wordt met name bepaald door twee factoren:

1. verhoging van de waterstand op zee (door storm), en
2. lage rivierafvoeren.

De kans op verzilting bij het gelijktijdig optreden van deze twee factoren is extra groot. Een lage afvoer alleen hoeft nog niet tot een extreme mate van externe verzilting te leiden, evenmin als een forse verhoging van de zeewaterstand als gevolg van een sterke noordwestelijke wind.

In figuur 2 is een voorbeeld gegeven van de variatie in de tijd van de belangrijkste randvoorwaarden en de resulterende chlorideconcentratie op een meetpunt in de Oude Maas, nabij de Beerenplaat. In het bovenste paneel is het verloop van de rivierafvoer van de Rijn te Lobith weergegeven. In het middenpaneel is de HL-parameter uitgezet. Deze getijde grootte is het verschil tussen het bijna gelijktijdig optreden van hoogwater bij Hoek van Holland en laagwater bij Moerdijk. Bij afvoeren lager dan

2000 m<sup>3</sup>/s treedt regelmatige verzilting op, zelfs bij gemiddelde waarden van de HL-parameter. In de getoonde periode komt vier maal een forse verhoging van de zeewaterstand voor (HL groter dan 1.5 meter). Het effect van deze verhogingen neemt af bij toenemende afvoer; de laatste piek valt samen met een periode van relatief hoge afvoer.



Figuur 2: Verloop van de Rijnafvoer bij Lobith (boven), de H-L parameter (midden) en de corresponderende verzilting op de Oude Maas, locatie Beerenplaat.

### Uitgangspunten modelberekening

Ten behoeve van de Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland (RIZA, januari 2005) zijn ten aanzien van externe verzilting karakteristieke jaren bepaald. Dit is gedaan op basis van afvoerniveaus en de verhoging van de waterstand op zee. Terwijl een jaar als 1976 als 'extreem zout' wordt gekenmerkt, hebben de omstandigheden in 1996 geleid tot een 'gemiddeld zout' jaar. De mate van verzilting van dit jaar heeft een herhalingsstijd van eens per 3,3 jaren. Voor onderhavig project is een jaar als 1996 een geschikt uitgangspunt omdat het aangeeft dat een dergelijke verzilting frequent optreedt.

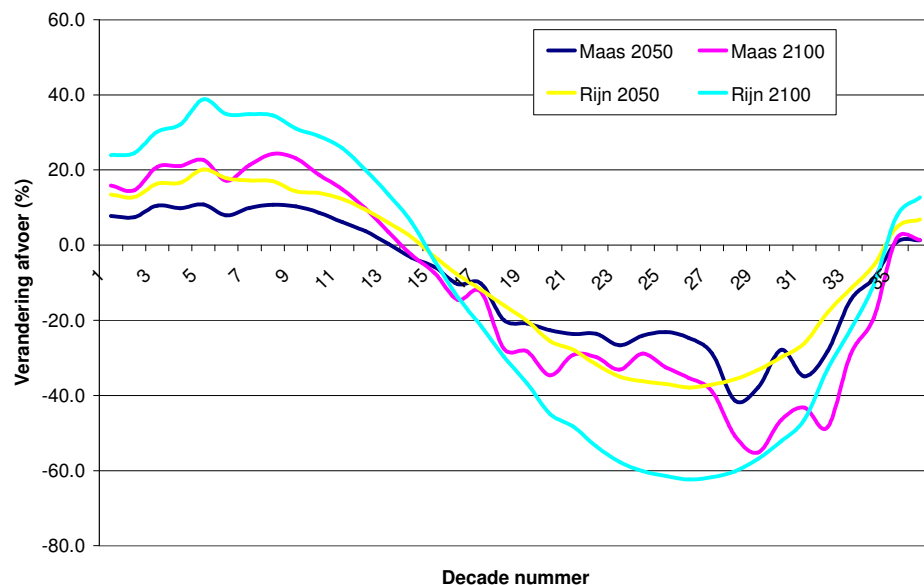
Hieronder worden de belangrijkste toegepaste randvoorwaarden voor de uitgevoerde scenarioberekeningen beschreven.

### Zeespiegelstijging

Ten opzichte van de referentiesituatie stijgt de zeespiegel in het tweede en derde scenario volgens de bovenkant van de bandbreedte van de KNMI'06 scenario's (KNMI, 2006). In het 4<sup>e</sup> scenario wordt een extreme zeespiegelstijging meegenomen van 2 meter.

### Afvoer

Als afgeleide van de KNMI scenario's zijn met behulp van de modellen Rhineflow en Meuseflow schattingen gemaakt voor de verandering van afvoeren van Rijn en Maas (Carthago, 2007). Jaargemiddeld neemt de afvoer in de W+ scenario's af (zie figuur 3). De maximale afname wordt bereikt in september (Rijn) of oktober (Maas). Voor beide rivieren is deze afname in deze periode meer dan 50% bij het zichtjaar 2100.



Figuur 3 Verandering van de afvoer bij Eijsden en Lobith over 50 en 100 jaar volgens de W+ scenario's.

### Chlorideconcentraties op de bovenranden

De zoutlozingen in Duitse en Franse mijnen zijn de laatste twintig jaar sterk afgenomen. Dit is duidelijk merkbaar in de chlorideconcentraties bij Lobith en Eijsden. Binnen een jaar is de zoutlast min of meer constant. Dit leidt ertoe dat de concentratie afhankelijk is van de rivierafvoer. RIZA heeft voor de periode rond het jaar 2000 deze relaties bepaald

voor Rijn en Maas. In deze studie zijn hiermee de chloridegehalten Lobith en Eijsden bepaald bij de scenario's huidige situatie (eerste) en zichtjaar 2050 (tweede). Dit betekent dat bij een afgenomen afvoer in 2050 de chlorideconcentraties stijgen. Voor het derde en vierde scenario (zichtjaar 2100) zijn de concentraties van 2050 overgenomen.

### Innamepunten

In de Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland<sup>1</sup> (RIZA, januari 2006) zijn de belangrijkste inlaatpunten in het noordelijke deltabekken geïdentificeerd. Voor elk van de locaties is bekend wanneer de inlaat wordt gestremd (drempelwaarde chlorideconcentratie). Voor enkele inlaatpunten geldt dat de duur van de overschrijding bepalend is. Pas wanneer de stremmingsduur een drempelwaarde overschrijdt zullen de waterschappen een probleem hebben (bijvoorbeeld peilbeheer kan niet meer op orde worden gehouden). Figuur 4 toont de ligging van een selectie van de belangrijkste inlaatpunten in het gebied van de Rijn-Maasmonding, het noordelijk deltabekken.



Figuur 4: Locatie van belangrijke inlaatpunten in het noordelijk deltabekken.

<sup>1</sup> In de Zoetwaterverkenning hebben Rijk, provincies en waterschappen de zoetwaterproblemen verkend. De gezamenlijke aanpak was ingegeven door de onderlinge afhankelijkheid bij het zoeken naar oplossingen. Doel van de verkenning is het in beeld brengen van de aard en omvang van droogte en verzilting in de regio, verwachte ontwikkelingen en daarnaast het bepalen van een strategie met concrete maatregelenpakketten om de problemen aan te pakken. De belangrijkste vaststelling is dat alleen kostenefficiënte maatregelen denkbaar zijn met/bij lokaal maatwerk en/of het meeliften met andere belangen.

De locaties, de grens- of drempelwaarden en de maximale stremmingsduur zijn door de beheerder van de systemen opgegeven (RIZA, 2006). Tabel 1 bevat een opsomming van deze criteria.

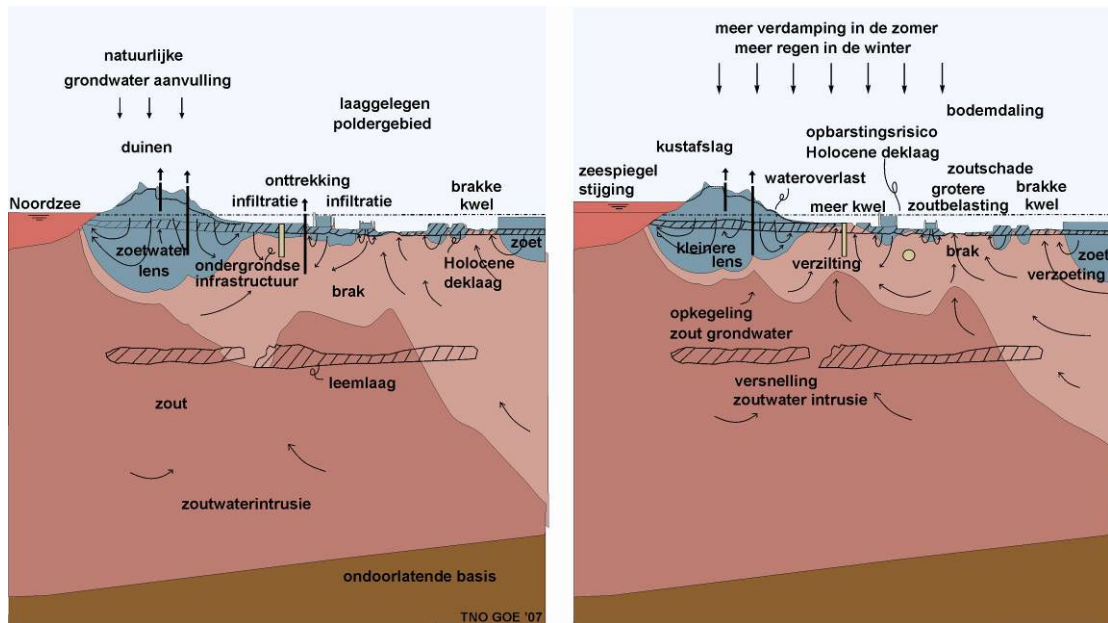
Tabel 1: Grenswaarden per locatie.

Beheer	Locatie	Riviertak	Grenswaarde	Maximale stremmingsduur
WS Rivierenland	Woudrichem	Boven Merwede	250 mg/l	-
WS Rivierenland	Kinderdijk	Lek	250 mg/l	48 uur
WS Hollandse Delta	Den Bommel	Haringvliet	200 mg/l	-
WS Hollandse Delta	Ridderkerk hevel	Noord	250 mg/l	12 uur
WS Hollandse Delta	Puttershoek	Oude Maas	250 mg/l	12 uur
WS Hollandse Delta	De Bosschen	Oude Maas	250 mg/l	12 uur
WS Hollandse Delta	Nieuw Beijerland sluis	Spui	250 mg/l	12 uur
WS Hollandse Delta	Bernisse	Spui	150 mg/l	7 uur
HHRS Stichtse Rijnlanden	Waaiersluis	Hollandse IJssel	200 mg/l	-
HHRS Stichtse Rijnlanden	Gemaal de Koekoek	Lek	200 mg/l	-
HHRS Schieland en Krimpenerwaard	Snelle Sluis	Hollandse IJssel	250 mg/l	12 uur
HHRS Schieland en Krimpenerwaard	Schilthuis	Nieuwe Maas	250 mg/l	12 uur
HHRS Rijnland	Gouda inlaat	Hollandse IJssel	250 mg/l	48 uur
Overig	Volkeraksluizen	Hollands Diep	250 mg/l	-
Overig	Vreeswijk	Lek	200 mg/l	-
Overig	Schoonhoven	Lek	250 mg/l	-
Overig	Krimpen Kering	Hollandse IJssel	250 mg/l	48 uur

### 3.2 Zoutbelasting via grondwater

In dit onderdeel is middels modellering de dynamische interne zoutbelasting bepaald van het binnendijks gebied van Zuidwest Nederland, onder invloed van klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging. Bij het thema grondwater gaat het vooral om de volgende mogelijke bedreigingen (zie figuur 5):

- de toename van de zoutbelasting op het oppervlaktewater door een toename van de hoeveelheid en een verhoging van het zoutgehalte van het kwelwater;
- de verhoging van de stijghoogten in de watervoerende pakketten en de freatische grondwaterstanden;
- het 'opbarsten' van de slechtdoorlatende Holocene deklaag door toename van de stijghoogte in het watervoerend pakket.

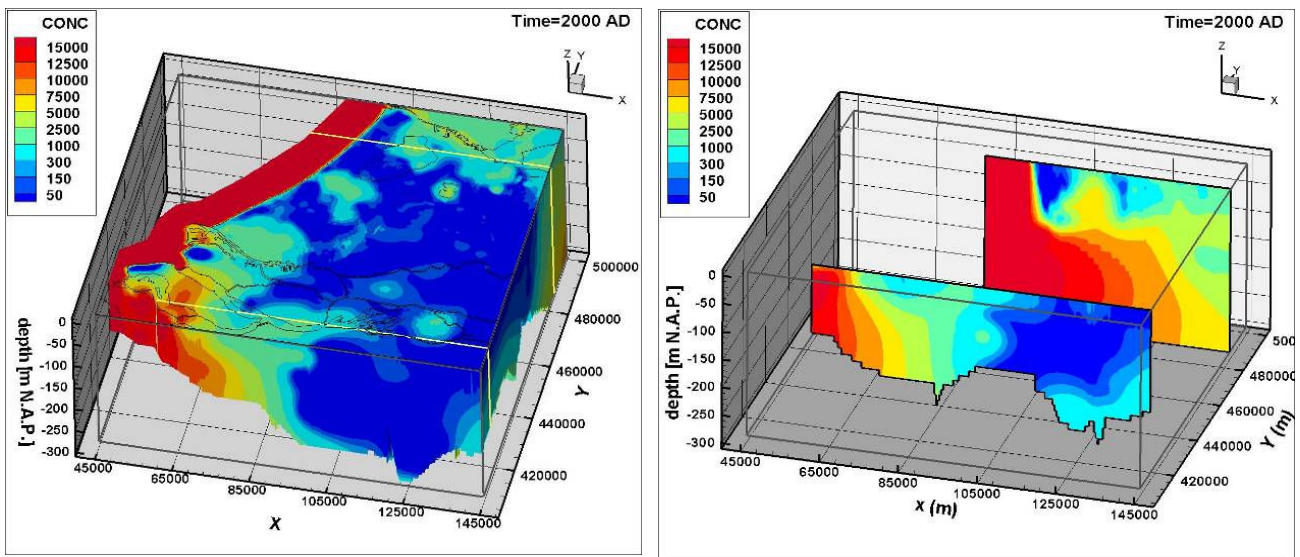


Figuur 5: vereenvoudiging van het regionale grondwatersysteem in het kustgebied: links huidige situatie en rechts toekomstige situatie. Zoutwater intrusie vindt op regionale schaal plaats omdat het gemiddeld polderpeil enkele meters lager ligt dan het gemiddeld zeeniveau, terwijl op lokale schaal verzoeting kan optreden op de overgang van hooggelegen gebieden waar infiltratie plaatsvindt en laaggelegen droogmakerijen.

### Modelinstrumentarium

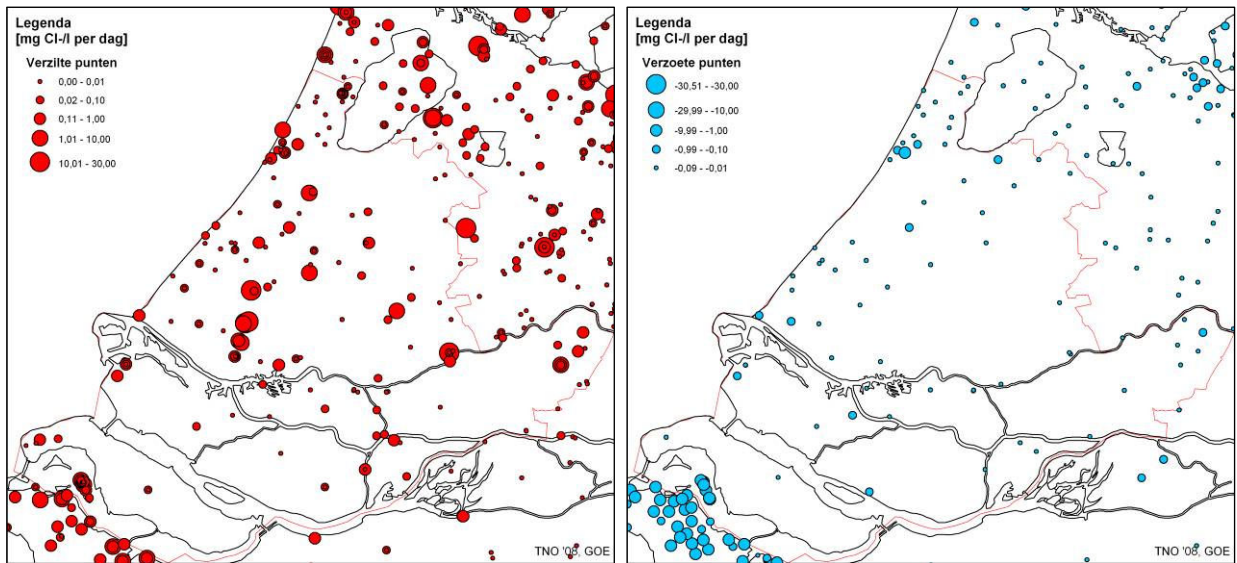
Uit de studie van het KIWA (KIWA, 2005) is gebleken dat de bijdrage vanuit de ondergrond een belangrijke rol heeft. De TNO modelstudie van 2004 (Minnema, Kuijper en Oude Essink, 2004), waarin de grondwatercomponent wordt behandeld, vormt de basis van dit verkennend onderzoek naar de verzilting van het oppervlaktewatersysteem. Hieronder volgen enkele karakteristieke onderdelen van deze modelstudie.

Het gebruikte modelinstrumentarium is verfijnd en uitgebreid om de effecten van zeespiegelstijging en een veranderd neerslag-en verdampingspatroon volgens de KNMI'06 scenario's te kwantificeren. Het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS) is gebruikt bij de geologische en hydrogeologische kartering van de ondergrond van de provincie Zuid-Holland en omgeving. De deklaagweerstand, die in beperkte mate is gecorrigeerd voor de aanwezigheid van zandbanen, is gebaseerd op weerstanden afkomstig van de deklaagkartering (ondiepe DINO-boorgegevens). De verdeling van zoet, brak en zout grondwater (en indirect de initiële dichtheidsverdeling) binnen Zuid-Holland is bepaald aan de hand van chloride concentratie analyses van TNO (DINO-Qua) en de provincie Zuid-Holland (figuur 6).



Figuur 6: Ruimtelijk verdeling chlorideconcentraties (mg Cl-/l) in de provincie Zuid-Holland.

Er zijn 5772 chlorideconcentratie analyses meegenomen in de modellering. De dichtheid van het grondwater in Zuid-Holland is niet constant in ruimte en tijd, omdat de chlorideconcentratie van het water varieert (zie figuur 7). De stroming van grondwater wordt beïnvloed door deze verschillen in de dichtheid van het grondwater.



Figuur 7: Overzicht van de locaties van observatiebuizen in de provincie Zuid-Holland waar de chlorideconcentratie minimaal twee keer is gemeten. Zowel a: verzilting (toename chlorideconcentratie als een functie van de tijd) als b: verzoeting van het grondwater treedt op. Bron: DINO Qua. De complexe verzoetings- en verziltingspatronen variëren in ruimte en tijd.



### Toegepaste klimaatscenario's

Met het numerieke modelinstrumentarium zijn drie scenario's doorgerekend voor een periode van 100 jaar om de veranderingen in de zoet-brak-zout verdeling in het grondwater te volgen:

#### Referentie situatie

Situatie waarbij de zeespiegelstijging constant blijft, het maaiveld niet verandert en de huidige aanvulling naar het grondwatersysteem (figuur 8) niet verandert. Het doel van deze exercitie is de autonome verzoetings- en verziltingsprocessen in het studiegebied te onderscheiden,

#### W+ KNMI'06 klimaatscenario

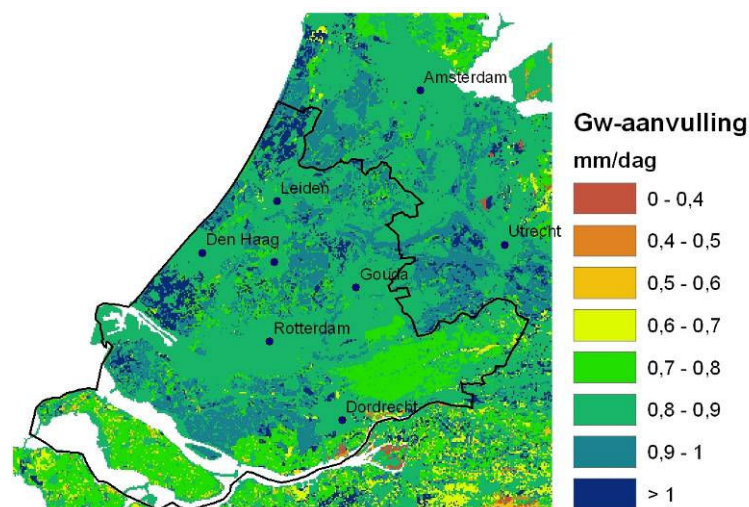
- de zeespiegel stijgt met 85 cm over 100 jaar, in lineaire stapjes van 0.85 cm per jaar;
- de maaiveldhoogte verandert conform de voorspellingen van het hoge scenario van WB21 (Haasnoot, 1999, figuur 9). Het huidige maaiveld (figuur 10) wordt dus in het model gedurende de komende 100 jaar aangepast in het gehele studiegebied, in lineaire numerieke tijdstapjes van 1 jaar. Voorbij 2050 is de WB21 geëxtrapoleerd;
- de grondwateraanvulling verandert conform het KNMI'06 W+ scenario: de neerslag- en verdampingswaarden nemen jaarlijks toe en zijn jaargemiddelden.

#### W+ KNMI'06 klimaatscenario plus 200cm

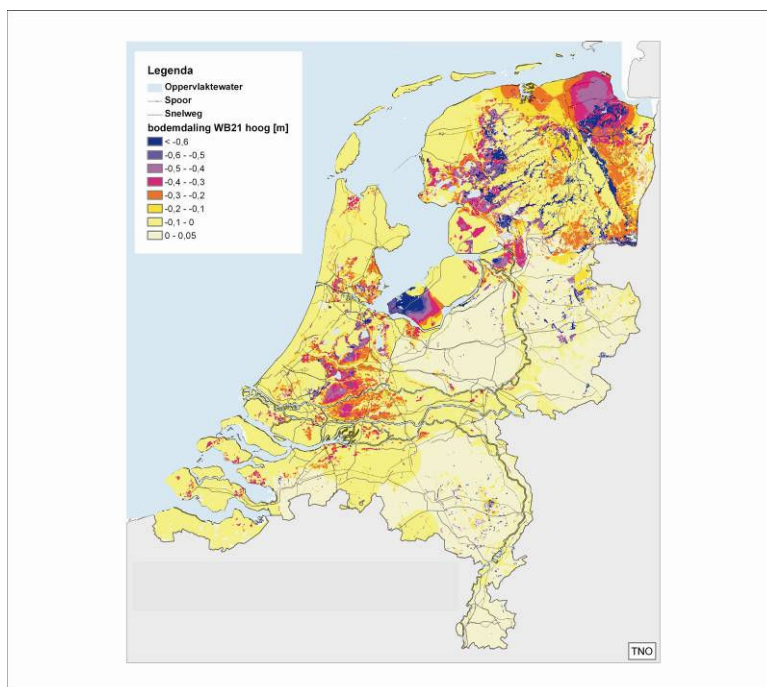
Zoals vorig scenario, alleen nu inclusief een extreme zeespiegelstijging van 2m (over 100 jaar).

De volgende momenten in de tijd worden apart bekeken:

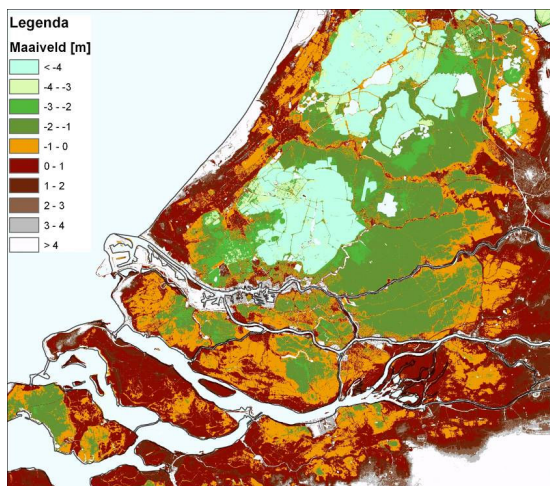
1. huidige situatie;
2. W+ 2050;
3. W+ 2100;
4. W+ 2100 en 2m zeespiegelstijging.



Figuur 8: Aanvulling (mm/dag) naar het grondwatersysteem voor de referentiecasi: huidige situatie in 2000.

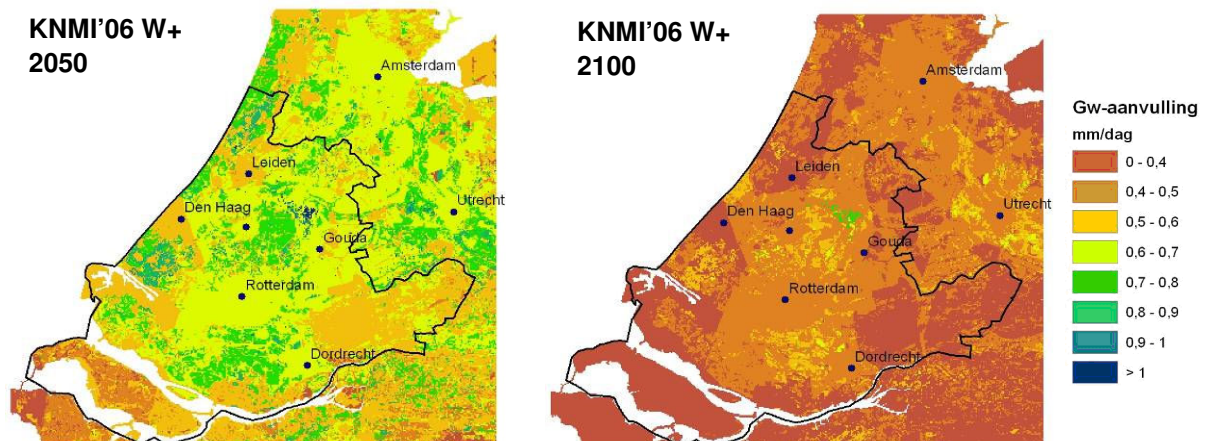


Figuur 9: Bodemdalingsprognose (conform WB21 Hoog): 2050 t.o.v. 2000, in m.



Figuur 10: Maaiveld in het gehele studiegebied van de provincie Zuid-Holland.

Om het effect van veranderende neerslag- en verdampingspatronen op het grondwatersysteem te kwantificeren is in onderhavige studie het bovenste deel van het grondwatersysteem, het zogenaamde topsysteem, nauwkeuriger gesimuleerd dan in de TNO studie van 2004. Het grondwatersysteem is dynamisch (niet-stationair) gemaakt, en wel door waterlopen (zijnde rivieren, boezems en sloten), het afwateringssysteem via drainage en de grondwateraanvulling (de resultante van neerslag minus verdamping) afzonderlijk te modelleren.



Figuur 11: Aanvulling (mm/dag) naar het grondwatersysteem voor twee momenten in de tijd: 2050 en 2100 berekend op basis van het KNMI'06 W+ scenario.

### 3.3 Gecombineerde zoutbelasting binnendijs gebied

In deze stap is een relatie gelegd tussen de interne zoutbelasting en de zoutconcentratie bij de inlaatpunten. Hiertoe zijn de resultaten van de onderdelen 1 en 2 met elkaar gecombineerd in een model.

Er stonden twee kant en klare modellen ter beschikking waarmee het gevolg van interne en externe verzilting kan worden doorgerekend. De Waterdienst beschikt over MOZART/DM en het Hoogheemraadschap van Rijnland over een SOBEK-boezemmodel dat in een Verziltingsstudie (KIWA, augustus 2004) is gebruikt. Om twee redenen is besloten het Rijnland model te gebruiken. Enerzijds is het gebied veel nauwkeuriger geschematiseerd (in MOZART/DM is de boezem 1 grote bak), anderzijds was de personele ondersteuning voor de rekensommen op korte termijn eenvoudiger te regelen. Ook heeft het Hoogheemraadschap van Rijnland zelf ondersteuning aan het project verleend. Gevolg van deze keuze is dat ruimtelijk gezien verder is ingezoomd op Rijnland. De output van het Rijnlandmodel bestaat uit chlorideconcentraties in de polders door het jaar heen.

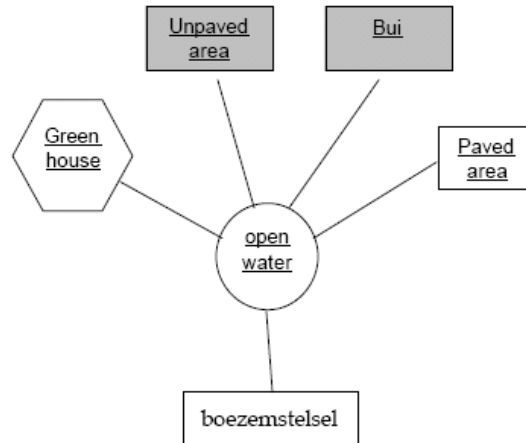
#### Modelinstrumentarium Rijnland

Het SOBEK-model van Rijnland bestaat uit twee modules:

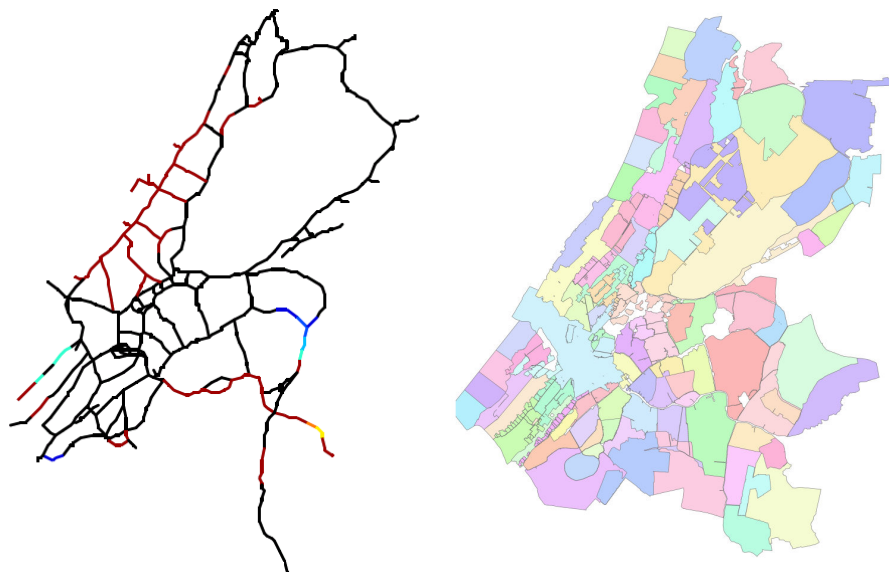
- De Flow-module, waarmee de stroming en de zoutconcentratie in het boezemstelsel wordt gesimuleerd;
- De Rainfall/Runoff-module (RR), waarmee de interactie tussen de boezem en de aanliggende polders wordt gesimuleerd.

De Flow-module communiceert met de RR-module via een aantal vergaarbakken (open water knopen), die al het oppervlaktewater voorstellen dat niet in de Flow-module is meegenomen. De open water knopen vergaren het water uit drie deelmodellen: verhard oppervlak (paved area), onverhard oppervlak (unpaved areas) en kassen (greenhouses). Daarnaast kent de module een flux uit de netto neerslag (bui) die direct op het open water valt. De open water knopen kunnen onderling communiceren via bijvoorbeeld gemalen en stuwen. Figuur 12 geeft de samenhang tussen deze voor de koppeling

relevante deelprocessen schematisch weer. In figuur 13 zijn de geschematiseerde boezem en polders weergegeven.



Figuur 12: Herkomst van fluxen in de Rainfall/Runoff-module naar de open water knoop en koppeling aan de Flow-module (boezem).



Figuur 13: Schematisatie van de boezem (links) en de polders (rechts) in Rijnland.

Voor verziltingberekeningen (van de boezem) legt Rijnland normaliter de gemeten (of ingeschatte) chloridegehalten in de polders op aan de open water knopen van de RR-module. Bij de scenarioberekeningen in onderhavige studie wordt juist gezocht naar de resulterende chloridegehalten in de polders (voornamelijk de onverharde gebieden, landbouwgebieden).

In een voorgaande verziltingstudie van Rijnland (KIWA, juni 2004) is een eerste stap gezet om de chloridegehalten in de polders te kunnen berekenen. KIWA heeft hiertoe

een tijdreeksmodel (TRM) ontwikkeld. De achterliggende gedachte hierbij is dat de (zoute) kwelflux wordt gestuurd door de variabele verhouding tussen grondwaterstand en slootpeil. De rechtstreekse kwel op het oppervlaktewater kan hierdoor gedurende het jaar sterk veranderen. TRM verving in de verziltingstudie daarnaast ook de waterbalansberekening van de RR-module. In overleg met Rijnland (dat het nieuwe instrumentarium naar verwachting verder zal ontwikkelen) is voor onderhavig project besloten TRM niet te gebruiken. De belangrijkste reden hiervoor is dat de waterkwantiteit niet goed aansloot op de gemeten debieten. De standaard RR resultaten gaven betere resultaten. Om toch de chloridegehalten van de polders te kunnen berekenen is daarom gekozen voor een emissietool, ontwikkeld door het bureau Siebe Bosch Hydroconsult. Deze tool is tot op heden bij Rijnland ingezet om de emissie van stikstof en fosfaat naar het oppervlaktewater van de polders te bepalen. Naast een betere inschatting van de waterkwantiteit is ook de beperkte doorlooptijd van onderhavig project reden geweest om niet voor TRM te kiezen. De consequentie van deze keuze, die op voorhand is geaccepteerd, is dat ten opzicht van de verziltingsstudie wordt ingeleverd t.a.v. de waterkwaliteit maar de waterkwantiteit beter zal worden berekend.

De emissietool is zodanig aangepast dat ook de aanvoer van chloride via de ondergrond kan worden meegenomen. De aanpak is als volgt:

1. Vanuit MODFLOW wordt per polder een constante waarde voor de chlorideconcentratie en kwelflux aangeleverd (tezamen met de zoutvracht);
2. Deze zoutvracht wordt opgelegd aan de onderrand van de onverharde gebieden;
3. De berekende chlorideconcentratie bij innamepunt Gouda (SOBEK NDB) wordt als rand opgelegd aan het boezemsysteem;
4. De emissietool houdt twee balansen bij. Ten eerste in de bodem om de zoutvracht om te zetten naar een zoutgehalte in de drainageflux. Ten tweede in de open water knoop om het concentratieverloop in de tijd bij te houden. Drainage, kwel, inlaat vanuit de boezem, verdunning door neerslag en AWZI effluent bepalen de concentratie van het open water.

Gedurende de modelcalibratie is de methodiek meermalen verfijnd (zie bijlage A).

De zoutconcentratie bij Gouda (het belangrijkste inlaatpunt voor Rijnland) wordt geleverd door SOBEK NDB. Indien de chlorideconcentratie hoger wordt dan de grenswaarde van 250 mg/l (zie tabel 1) wordt de inlaat gestaakt en wordt overgeschakeld op de zgn. Kleinschalige Wateraanvoer (KWA). Dit waterakkoord bepaalt dat bij Bodegraven 7 m<sup>3</sup>/s wordt aangevoerd vanuit Amsterdam Rijnkanaal en Lek. Hiervan wordt 3 m<sup>3</sup>/s verder doorgeleid naar Delfland (dat weer 1 m<sup>3</sup>/s moet doortransporteren naar Schieland). Als de voor Rijnland resterende 4 m<sup>3</sup>/s onvoldoende is om het peil te handhaven zal bij Gouda toch verzilt water worden ingelaten. Deze laatstgenoemde maatregel is echter in het doorgerekende scenario's niet doorgevoerd. Het gevolg is dat in de modellering het peil in de boezem en sloten daalt. Het chloridegehalte wordt door het model onder dergelijke omstandigheden onderschat.

Een andere optie voor alternatieve wateraanvoer is de Tolhuissluisroute, waarbij IJsselmeerwater wordt aangevoerd via de Amstel. In overleg met Rijnland is besloten deze route niet te bestempelen als ' huidig beheer '. Dat betekent dat deze route dus ook niet in de voorgestelde berekeningen worden meegenomen. Ten tijde van watertekorten is het maar zeer de vraag of er voldoende IJsselmeerwater kan worden aangevoerd. De

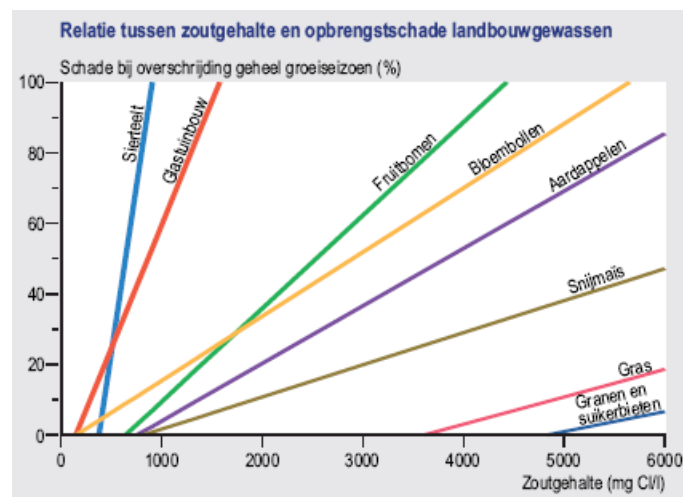
Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW) zal in dergelijke situaties adviseren over de landelijke waterverdeling.

Het doorspoelen van de boezem wordt meegenomen in de berekeningen. Het doorspoelen van de polders is echter nog niet goed in het model verwerkt. Ook deze beperking zal een vrij grote invloed hebben op de berekende chloridegehalten, met name in de Haarlemmermeerpolder.

### 3.4 Effecten op landbouw

Een belangrijk gevolg van de watertekorten is het optreden van schade aan landbouwgewassen. Deze schade kan een direct gevolg zijn van de droogte (droogteschade) of een indirect gevolg door verzilting van grond- en oppervlaktewater (zoutschade). Droogteschade en zoutschade door verzilting zijn geen onafhankelijk zaken. Dat de zoutschade momenteel in West-Nederland relatief gering is, is mede te danken aan de praktijk van doorspoelen. Dit komt er op neer dat het verziltende oppervlaktewater in West- en Noord-Nederland verdund wordt tot een chlorideniveau dat aanvaardbaar is voor beregening. In droge tijden gaat doorspoelen van het lage deel van Nederland echter ten kosten van beregening elders, zodat in feite zoutschade wordt voorkomen door droogteschade te accepteren. Droogteschade is minder erg dan zoutschade en wordt veroorzaakt doordat de gewassen niet die hoeveelheid water kunnen verdampen die nodig is voor een optimale groei.

De opbrengsten van de zogenaamde zoutgevoelige gewassen (in de sier- en heesterteelt, bij bollen en in de glastuinbouw) nemen af als het chloridgehalte van het grondwater of het beregeningswater te hoog wordt. Figuur 14 toont hoe de opbrengstschade toeneemt bij toenemend zoutgehalte in het beregeningswater. Ook de natuur ondervindt schade door verzilting. Dit speelt vooral bij fluctuaties in de chloridgehalten van het water.



Figuur 14: Zoutschadefuncties voor landbouwgewassen (MNP, 2005a).

Agrariërs hebben vaak meerdere bronnen van zoet water tot hun beschikking. Of zoutschade aan landbouwgewassen ook daadwerkelijk optreedt, hangt af van verschillende aspecten. Staan de gewassen op de volle grond (in de tuinbouw zijn vaak gesloten systemen van toepassing), worden de gewassen beregend met brak grondwater

of vanuit het oppervlaktewater; zijn waterbassins aanwezig van waaruit menging kan optreden, en hoe komt zout uit de ondergrond uiteindelijk in de wortelzone?

Samengevat zijn er drie wegen waarlangs zoutschade kan ontstaan:

- Door te hoge zoutconcentraties in het bodemvocht in de wortelzone;
- Wanneer te zout oppervlaktewater voor beregening wordt gebruikt;
- Wanneer te zout grondwater voor beregening wordt gebruikt.

Met de huidige modellen bleek het niet mogelijk om voldoende accurate uitspraken te kunnen doen over zoutschade in de wortelzone van de gewassen. Door de korte doorlooptijd van het project is ervoor gekozen om vooralsnog alleen de zoutschade te berekenen door beregening met verziltend grondwater, hoewel beregening met oppervlaktewater in Zuid-Holland eigenlijk belangrijker is. In de berekening zijn het landgebruik, de gewastolerantie voor zout en de gemodelleerde chlorideconcentraties in het grondwater met elkaar gecombineerd. De afname van de mogelijkheden om met het verziltende oppervlaktewater te beregenen kan indirect worden afgeleid uit de resultaten van de modellering van de oppervlaktewaterkwaliteit (zie paragraaf 4.3).

### 3.5 Inschatting van knikpunten door de Waterschappen

Om te beoordelen wanneer de grenzen van de bestendigheid van het huidige systeem tegen externe verzilting echt zijn bereikt, is informatie nodig over de grenswaarde van de zoutconcentratie waarbij de drinkwaterbedrijven en de waterschappen de inname van rivierwater staken of wanneer er schade ontstaat. Tot welk niveau verzilting geaccepteerd kan worden is niet eenvoudig te bepalen. Enerzijds is de verhouding tussen kosten en baten van eventuele anti-verziltingsmaatregelen bepalend. Anderzijds is ook de publieke opinie een factor van betekenis (bijvoorbeeld de inlaat van brak water bij Gouda in 2003). Grasland en veeveelt ondervinden over het algemeen nog geen schade indien het zoutgehalte onder de 1000 mg/l blijft. De teelt van gladiolen en Rhododendron ondervindt al zoutschade als het zoutgehalte hoger is dan 300 mg/l. Indien het zoutgehalte hoger dan 200 mg/l is, is het gehalte te hoog voor drinkwaterbereiding.

Om meer inzicht in de mate van acceptatie te krijgen zijn aan een viertal waterschappen de volgende vragen gesteld:

- Wat is de meest kwetsbare sector of gewastype in jullie gebied (de sector of gewastype dat bij een stijgende chlorideconcentratie als 1<sup>e</sup> in de problemen komt). Wat kan deze sector of dit gewastype nog hebben;
- Er zijn normen voor het stoppen van inlaten. Worden deze officiële normen in de praktijk ook daadwerkelijk gehandhaafd. Als dat niet het geval is; wanneer wordt naar uw mening daadwerkelijk geen water meer ingelaten;
- Gegeven de nieuwe resultaten van de verziltingsberekeningen onder KNMI'06 scenario's aangevuld met extreme varianten in deze koploper studie; wanneer zijn belangrijke maatregelen of strategiewijzingen noodzakelijk;
- Gegeven de nieuwe resultaten van de verziltingsberekeningen onder KNMI'06 scenario's aangevuld met extreme varianten in deze koploper studie; wanneer moet het huidige beleid volledige worden omgegooid. (bv grootschalige aanpassing waterverdeling, RO maatregelen, stoppen met doorspoelen).

De antwoorden geven richting aan de bepaling van de knikpunten: bij welk niveau van klimatologische veranderingen is wijziging van beleid of strategie noodzakelijk.



## 4 Resultaten

### 4.1 Verzilting bij inlaatpunten

In deze paragraaf wordt de verzilting bij de inlaatpunten in het Noordelijk Deltabekken geschetst voor de vier onderzochte oppervlaktewatersscenario's.

De verzilting bij een 'gemiddeld zout' jaar als 1996 wordt in de tabellen 2 en 3 voor de vier scenario's weergegeven. Tabel 2 toont de jaargemiddelde chlorideconcentraties bij de belangrijkste inlaatpunten. In tabel 3 is de overschrijdingsduur weergegeven volgens de door de waterbeheerder aangegeven normen. In figuur 15 wordt voor enkele inlaatpunten het verloop van de chlorideconcentratie in de tijd getoond.

Tabel 2 Jaargemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) voor vier scenario's.

Riviertak	Locatie	Gem. [Cl] Huidig	Gem. [Cl] 2050, +35 cm	Gem. [Cl] 2100, +85 cm	Gem. [Cl] 2100, +200 cm
Nieuwe Maas	Schilthuis	360	720	1430	1730
Oude Maas	De Bosschen	450	720	1350	1680
Oude Maas	Puttershoek	110	140	310	410
Spui	Sluis Nw Beijerland	250	300	610	930
Spui	Bernisse	240	230	400	690
Haringvl.-Hol. Dp	Den Bommel	120	120	140	210
Haringvl.-Hol. Dp	Volkeraksluizen	100	110	130	160
Hollandsche IJssel	Krimpen Kering	120	230	670	790
Hollandsche IJssel	Snelle Sluis	120	230	660	830
Hollandsche IJssel	Gouda inlaat	120	230	660	830
Hollandsche IJssel	Waaijersluis	120	230	660	830
Lek	Kinderdijk	110	170	490	610
Lek	Schoonhoven	100	110	170	210
Lek	Gemaal de Koekoek	100	110	140	160
Lek	Vreeswijk	110	110	120	120
Noord	Ridderkerk	120	200	540	660
Waal	Woudrichem	110	110	110	110

Tabel 3 Overschrijdingsduur drempelwaarde (in dagen) per inlaatpunt voor vier scenario's.

Riviertak	Locatie	Drempel mg/l en duur	Duur Huidig	Duur 2050, + 35 cm	Duur 2100, +85 cm	Duur 2100, +200 cm
Nieuwe Maas	Schilthuis	250, 12 uur	19	81	137	146
Oude Maas	De Bosschen	250, 12 uur	10	43	112	142
Oude Maas	Puttershoek	250, 12 uur	0	2	47	61
Spui	Sluis Nw Beijerland	250, 12 uur	41	38	109	269
Spui	Bernisse	150, 7 uur	281	279	279	331
Haringvl.-Hol. Dp	Den Bommel	200	0	0	53	183
Haringvl.-Hol. Dp	Volkeraksluizen	250	0	0	27	57
Hollandsche IJssel	Krimpen Kering	250, 48 uur	0	50	118	125
Hollandsche IJssel	Snelle Sluis	250, 12 uur	1	75	139	155
Hollandsche IJssel	Gouda inlaat	250, 48 uur	0	76	139	156
Hollandsche IJssel	Waaijersluis	200	13	97	148	170
Lek	Kinderdijk	250, 12 uur	0	14	73	87
Lek	Schoonhoven	250	0	0	38	41
Lek	Gemaal de Koekoek	200	0	0	33	35
Lek	Vreeswijk	200	0	0	6	10
Noord	Ridderkerk	250, 12 uur	0	17	72	90
Waal	Woudrichem	250	0	0	0	0

De meest zeewaarts gelegen locatie, Schilthuis, laat een sterke toename zien van de gemiddelde chlorideconcentratie. Bij het meest landinwaarts gelegen punt daarentegen, Woudrichem, is en blijft verzilting een onbekend fenomeen.

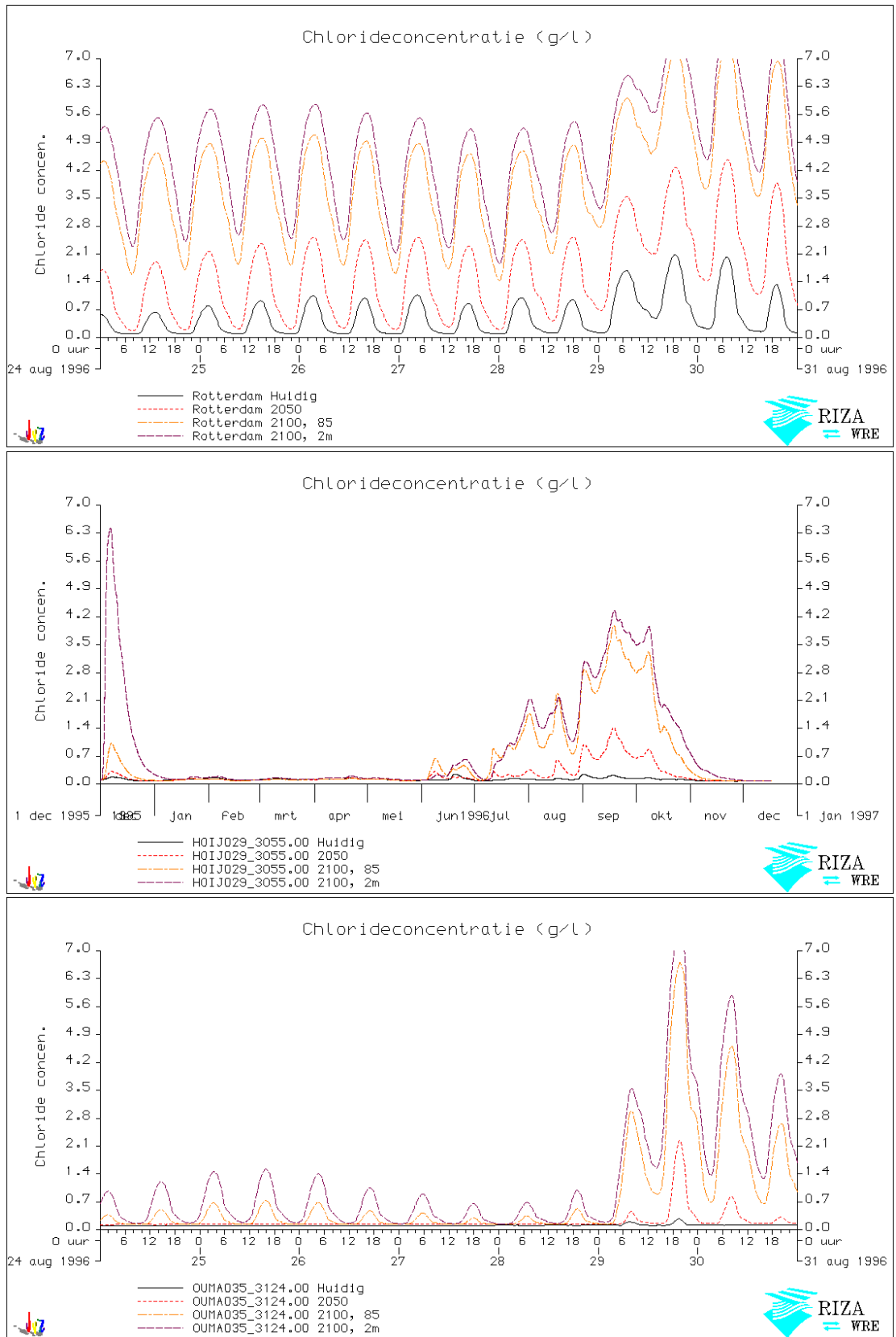
De voor Schilthuis getoonde periode in figuur 15 geeft aan dat in het zichtjaar 2050 bij vloed de rivierwaterconcentratie nog kan worden bereikt. Met de hogere zeespiegelstijging in de 2100 scenario's gaat dit basisniveau sterk omhoog. Locatie Puttershoek op de Oude Maas is minder gevoelig voor zeespiegelstijging en afname van de afvoer (ook figuur 15). Deze locatie ligt dan ook meer stroomopwaarts dan Schilthuis.

Op de Lek, een Rijntak met een laag debiet in de zomer, is verzilting niet aanwezig in de huidige situatie. In 2050 verzilt de Lek tijdelijk tot bij Kinderdijk. In 2100 is een tijdelijke verhoging berekend op de Lek tot aan Vreeswijk.

De Hollandsche IJssel is bij droogte een min of meer stilstaande bak water. Bij dreigende verzilting van het meetpunt ter plaatse van de kering bij Krimpen a/d IJssel worden waterschappen gemaand de inname te beperken zodat de zouttong zo min mogelijk de Hollandsche IJssel wordt opgetrokken. De kering wordt echter niet gesloten bij dreigende verzilting. Wateraanvoer voor het op peil houden van de sloten en kanalen moet gegarandeerd blijven, ongeacht het zoutgehalte bij de innamepunten. Uit de berekeningen blijkt dat tussen de verschillende locaties op deze riviertak geen grote verschillen bestaan. Wel zijn de normen voor inlaatstremming anders waardoor de stremmingsduur kan verschillen. Klimaatverandering heeft een groot effect op de zoetwatervoorziening in dit gebied. Volgens de huidige normering kan over 100 jaar bijna het gehele groeiseizoen geen water worden ingenomen. In paragraaf 4.3 wordt nader ingegaan op de gevolgen van de externe verzilting op de situatie binnen de beheersgebieden van waterschappen. Het beheersgebied van Rijnland is voor deze

nadere analyse gekozen als studiegebied. Voor Rijnland is er onder normale omstandigheden één belangrijk inlaatpunt; Gouda. Figuur 15 (midden) toont de verzilting bij dit inlaatpunt voor de vier scenario's. In deze grafiek is één inspelmaand (met hoge piek) meegenomen die niet in de analyse is verwerkt. In de huidige situatie wordt de norm bij Gouda niet overschreden. In de toekomstscenario's wordt de norm overschreden in de periode van eind juni tot eind november. Het aantal dagen in deze tijdspanne waarin de norm niet wordt overschreden neemt af, gaande van de situatie 2050 tot de situatie 2100 met 2 meter zeespiegelstijging. Het verschil tussen 85 cm zeespiegelstijging en 2 meter zeespiegelstijging is hier niet groot.

In de berekeningen is rekening gehouden met het beheer van de Haringvlietsluizen volgens het Kierbesluit. Ook in eerdere berekeningen is gebleken dat een 1-dimensionaal model zoals SOBEK NDB in het westelijke deel van het Haringvliet en het Spui het dispersieve transport overschat. Zelfs in het scenario Huidige Situatie wordt de norm voor inlaat naar de Bernisse zeer vaak overschreden. De norm is hier erg laag i.v.m. watervoorziening voor de glastuinbouw in Delfland en proceswater voor de industrie in het havengebied. Meer oostelijk, bij het nieuwe inlaatpunt van Goeree en bij de Volkeraksluizen zijn er geen problemen tot 2050. De scenario's van de situatie 2100 geven jaargemiddeld nog steeds lage chloridegehalten. De overschrijdingen worden echter langdurig.

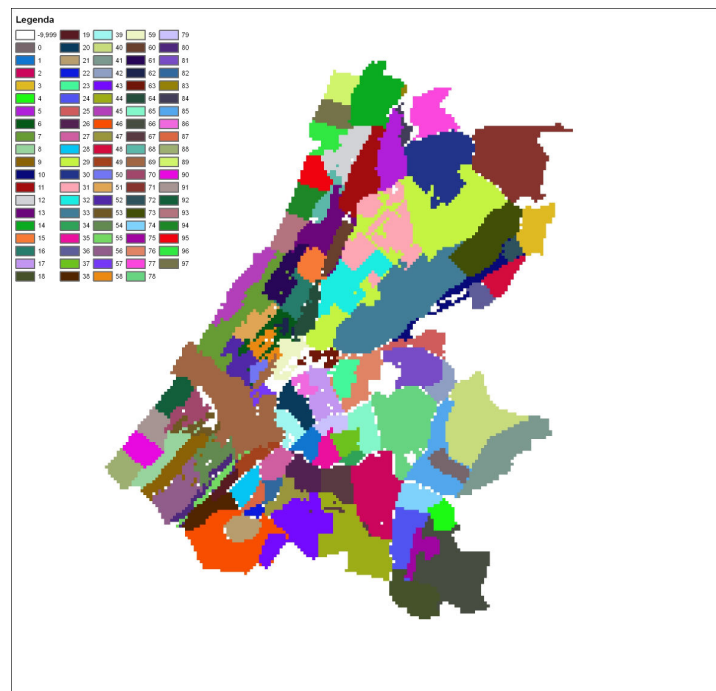


Figuur 15 Verloop van de chlorideconcentratie bij de inlaatpunten Schilhuis (boven), Gouda (midden) en Puttershoek (onder). De tijdschaal (x-as) in de drie figuren is niet gelijk.

## 4.2 Zoutbelasting via grondwater

De drie grondwaterscenario's zijn doorgerekend met het grondwatermodel MODFLOW en het stoftransportmodel MOCDENS3D. Per modelcel van het grondwatersysteem zijn gedurende 100 jaar voor elke tijdstep van 1 jaar fluxen, chloride concentraties en zoutvrachten berekend.

De koppeling tussen het grondwater- en het oppervlaktewatersysteem is als volgt tot stand gebracht. Per karakteristiek deelgebied van het Hoogheemraadschap (figuur 16) worden de met het grondwatermodel berekende fluxen en zoutvrachten doorgegeven aan het oppervlaktewatermodel SOBEK, die vervolgens het oppervlaktewatersysteem van het binnendijkse gebied doorrekent.

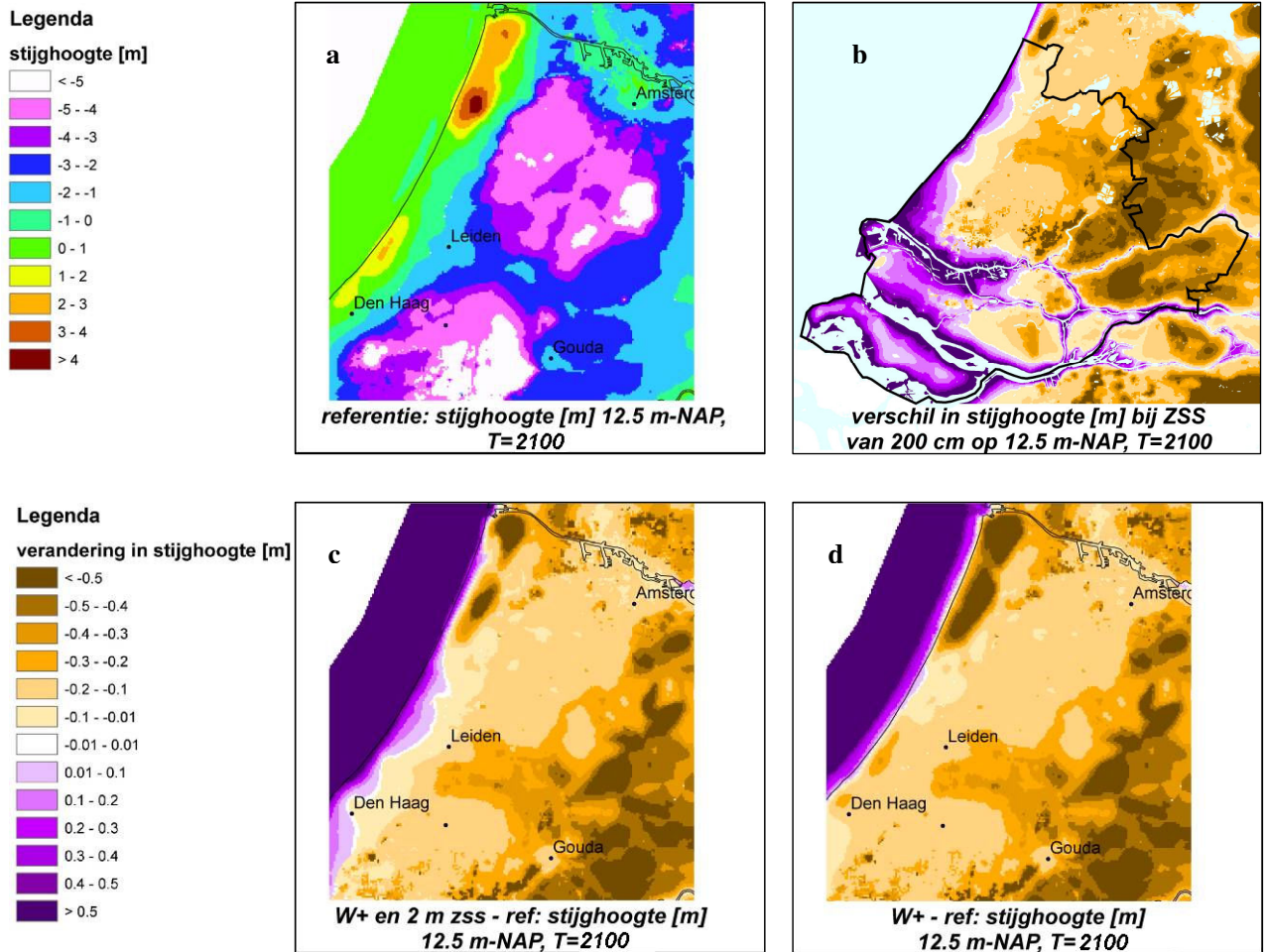


Figuur 16: Per deelgebied (afgebakend poldersegment) is per model cel van 250\*250m2 zowel de flux als de chlorideconcentratie berekend.

Figuur 17a toont de zoetwaterstijghoogte op -12.5m NAP in de provincie Zuid-Holland. De twee systemen met lage zoetwaterstijghoogten zijn duidelijk zichtbaar: de Haarlemmermeerpolder inclusief de Polder Groot-Mijdrecht in het noorden en het Veenweidegebied, de DSM onttrekking onder Delft en de Alexanderpolder in het zuiden. Het regionale verschil in stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op -12.5 m NAP is te zien in de figuren 17c en d: tussen de twee klimaatscenario's van zeespiegelstijging en verandering in grondwateraanvulling en de referentie situatie: W+ KNMI'06 klimaatscenario (W+ en +85cm) en W+ KNMI'06 klimaatscenario plus 200cm (W+ en +200cm).

Verrassend is het verschil in effect op de stijghoogte direct langs de Noordzeekustlijn tussen het zuiden en het noorden (figuur 17b). In het zuiden van het gehele gebied, in de Zuid-Hollandse Eilanden en het Rotterdamse Havengebied, is een significante stijghoogteverhoging is te verwachten, omdat het met de zeespiegel meestijgende waterpeil in de grote estuariene wateren altijd dichtbij is.

Langs de Noordzeekustlijn boven Den Haag speelt ook de verandering in grondwateraanvulling in de hooggelegen duingebieden nog een belangrijke rol. Ten opzichte van de referentie situatie neemt de grondwateraanvulling bij de W+ KNMI'06 klimaatscenario's flink af (vergelijk figuur 8 met 11). Door de afname in grondwateraanvulling daalt de stijghoogte in dit duingebied ten opzichte van de referentie situatie, zodat de verhoging van de stijghoogte door een zeespiegelstijging beperkt blijft en in het duingebied zelfs een stijghoogtedaling zichtbaar is.



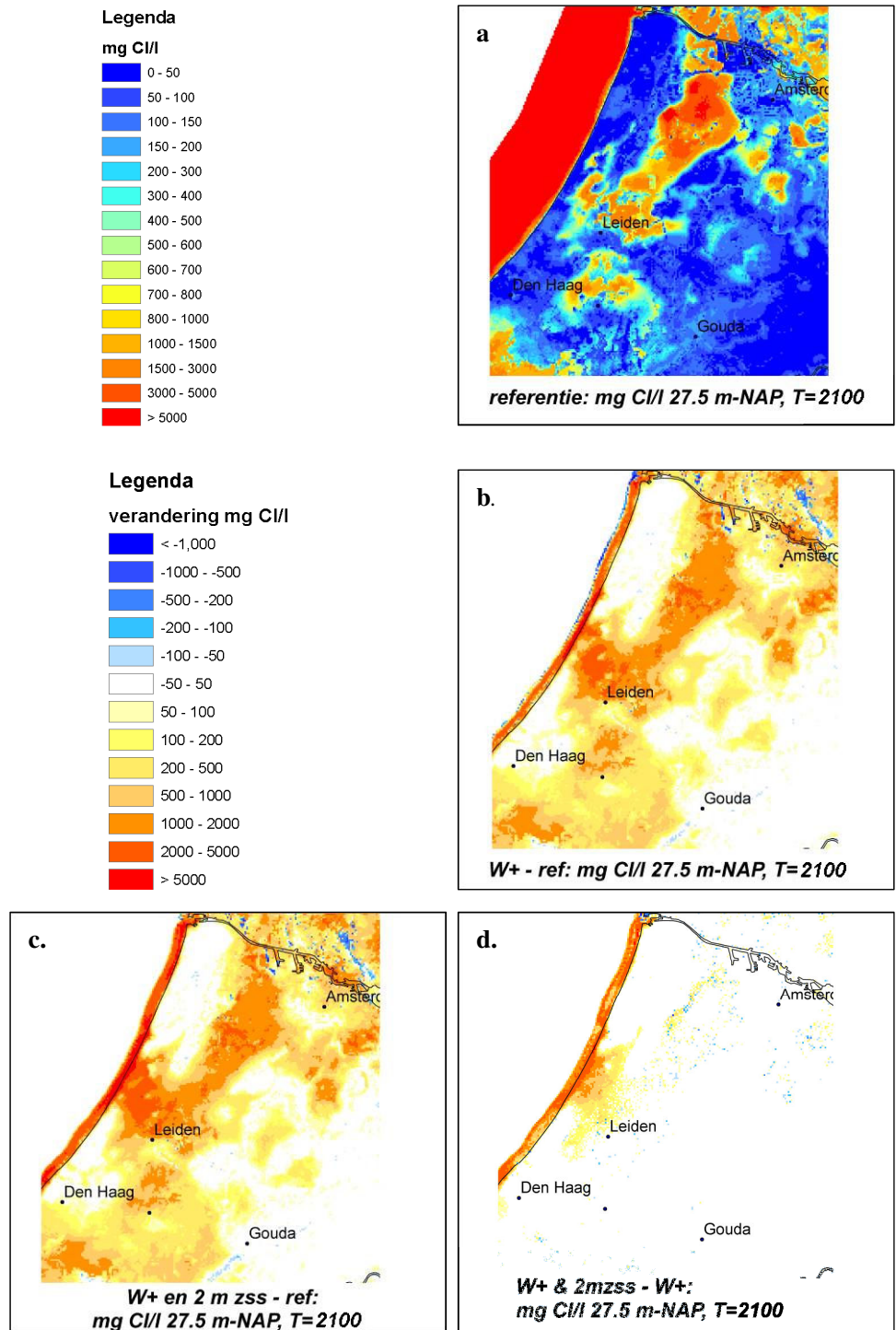
Figuur 17: a. Stijghoogteverdeling in de referentie situatie (2100, zonder klimaatverandering of zeespiegelstijging); b, c en d: de invloedssfeer van een zeespiegelstijging bij verschillende klimaatscenario's in de vorm van verschil in stijghoogte (m) op een diepte van -12.5 m NAP:

b. verschil tussen W+ KNMI'06 klimaatscenario met 2m ZSS en referentie situatie voor geheel Zuid-Holland

c. verschil tussen W+ KNMI'06 klimaatscenario met 2m ZSS en referentie situatie voor het studiegebied van HHR van Rijnland

d. verschil tussen W+ KNMI'06 klimaatscenario met 85cm ZSS en referentie situatie voor het studiegebied van HHR van Rijnland.

Als de invloed van klimaatscenario's op de zoet-brak-zout verdeling wordt bekeken dan blijkt voor beide gemodelleerde klimaatscenario's dat het grondwatersysteem meer zout bevat t.o.v. de referentie situatie in 2100 zonder klimaatverandering en zeespiegelstijging (figuur 18). Belangrijke aandachtsgebieden liggen ten noorden van Leiden en in de Haarlemmermeerpolder. De extra zeespiegelstijging zorgt slechts in een smalle kuststrook voor verhoogde chloride concentraties (figuur 18d), met name in het gebied ten noordwesten van Leiden waar door de voormalige monding van de Rijn slechtdoorlatende lagen zijn geërodeerd en goed watervoerende pakketten zijn afgezet.



Figuur 18: Chloride concentratie op -27.5m NAP: a. referentie situatie (2100, zonder klimaatverandering of zeespiegelstijging); b, c en d: de verschillen tussen de klimaatscenario's en de referentie situatie voor het jaar 2100:

b. verschil tussen W+ KNMI'06 klimaatscenario en referentie situatie

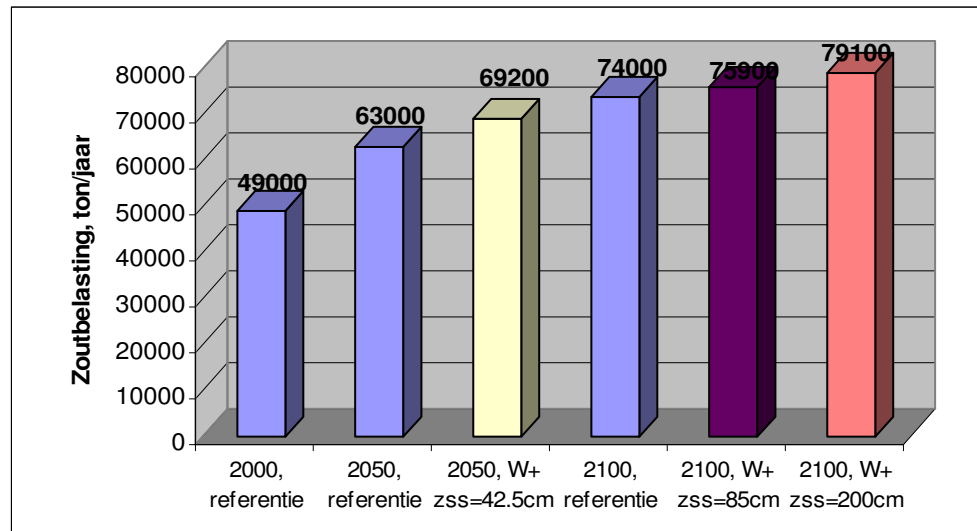
c. verschil tussen W+ KNMI'06 klimaatscenario met 2m ZSS en referentie situatie



d. verschil tussen W+ KNMI'06 klimaatscenario met 2m ZSS en W+ KNMI'06 klimaatscenario met 85cm ZSS

(kleuren geel-rood betekenen verzilting). De klimaatscenario's leiden tot extra verzilting.

Figuur 19 toont de totale zoutvracht in ton/jaar vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater in de Haarlemmermeerpolder. De grootste toename in zoutvracht ontstaat door het autonome verziltingsproces en in het bijzonder ter plaatse van de locaties waar de deklaag dun is en de kwel groot. De klimaatscenario's inclusief de zeespiegelstijging zullen verder voor een lichte toename van de zoutvracht zorgen. De duingebieden zijn op dit moment infiltratiegebieden en zullen dit ook in de toekomst blijven (figuur 20).

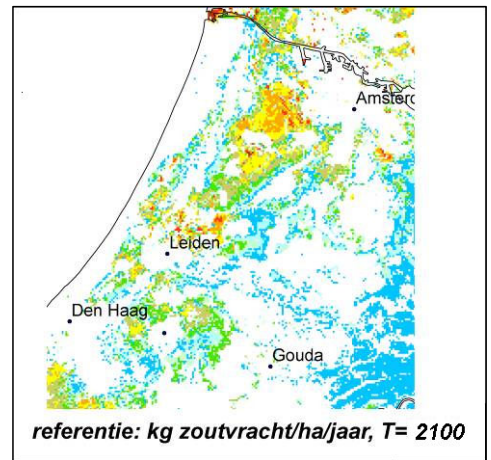
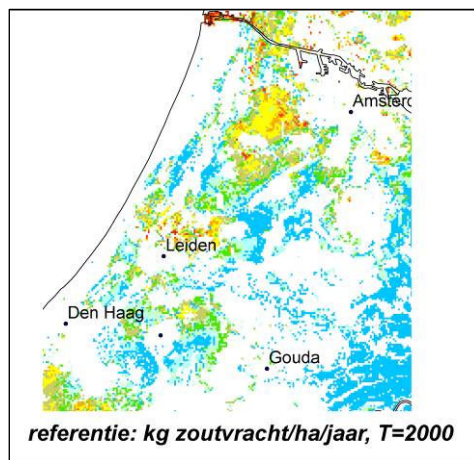


Figuur 19: Zoutvracht vanuit het grondwater in de Haarlemmermeerpolder (ronde eenheden ton/jaar): blauw is referentie situatie voor 2000, 2050 en 2100; W+ KNMI'06 klimaatscenario plus 42,5cm ZSS voor 2050 is +40%, W+ KNMI'06 klimaatscenario plus 85cm ZSS voor 2100 is +56% en W+ KNMI'06 klimaatscenario plus 200cm ZSS voor 2100 is +60%, respectievelijk, t.o.v. de huidige situatie op 2000 AD.

**Legenda**

**kg zoutvracht/ha/jaar**

- infiltratie
- 0 - 100
- 100 - 250
- 250 - 500
- 500 - 1000
- 1000 - 2500
- 2500 - 5000
- 5000 - 10000
- 10000 - 30000
- > 30000



Figuur 20: Zoutvracht in kg/ha/jaar, referentie situatie voor het jaar 2000 en 2100

### 4.3 Resultierend chloridegehalte in oppervlaktewater binnendijks gebied

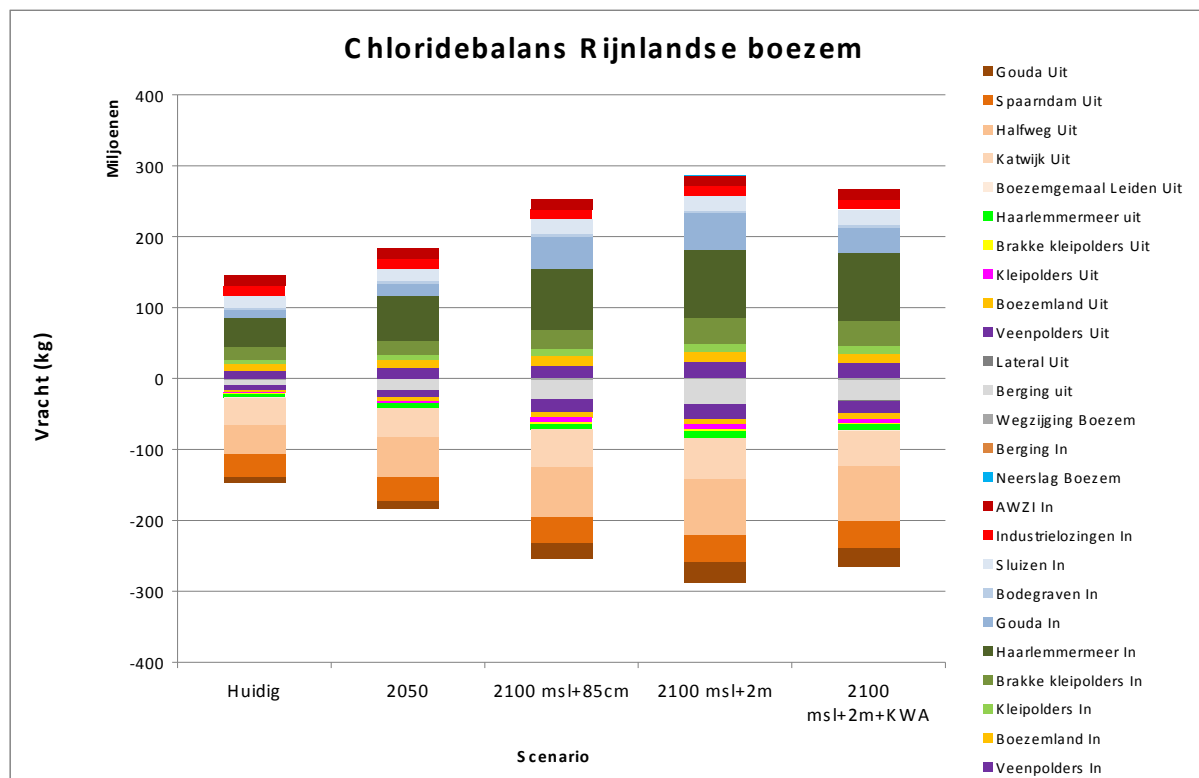
#### Calibratie Rijnland model

Een groot deel van de uitgevoerde werkzaamheden betrof de calibratie van het Rijnland model. Omdat nog relatief weinig ervaring bestaat met het koppelen van modellen, is hierbij nieuwe kennis vergaard die in een vervolg op dit project kan worden benut. Bijlage A bevat een beschrijving van de calibratiewerkzaamheden.

#### Resultaten van de scenarioberekeningen

Er is een extra scenario doorgerekend waarbij de waterverdeling uit het waterakkoord Kleinschalige Wateraanvoer (KWA, zie paragraaf 3.3) is ingeschakeld. Dit is gedaan bij de situatie in 2100 W+, met 2 meter zeespiegelstijging. De KWA is feitelijk een beleidsstrategie, een maatregel, die momenteel kan worden gevolgd om watertekorten op te vangen.

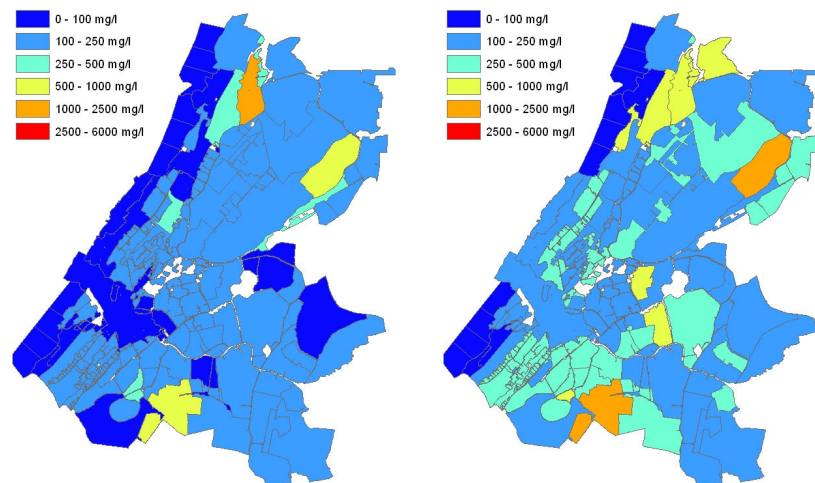
Figuur 21 toont de chloridebalans van de boezem. De totale vracht richting boezem neemt in de scenario's gestaag toe. Pas bij het laatste scenario, waarbij de KWA is meegenomen, daalt de vracht door afname van de inlaat via Gouda. De totale vracht verdubbelt in 100 jaar tijd. Deze stijging kan voornamelijk worden toegeschreven aan kwel in de brakke kleipolders en Haarlemmermeer en de inlaat van zouter water bij Gouda. Ter vergelijking, uit de gemeten chlorideconcentraties van 200-2003 is een gemiddelde boezembelasting geschat van 160 miljoen kg chloride.



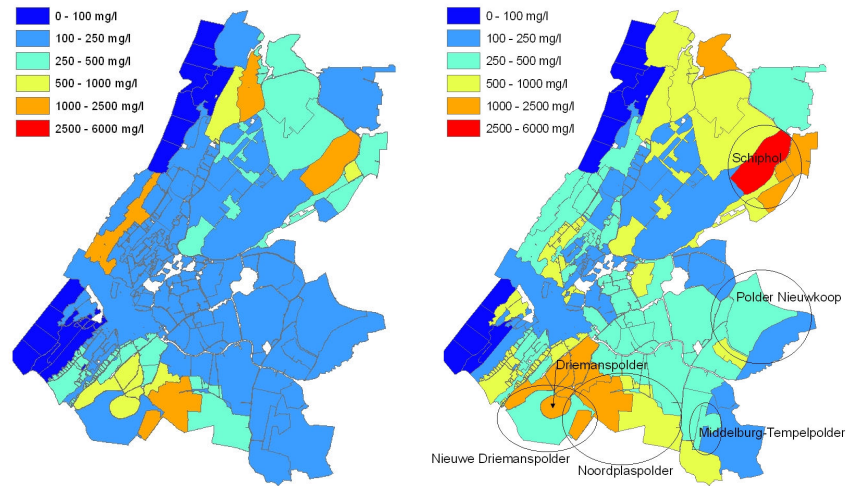
Figuur 21: Chloridebalans (vracht in kg) van Rijnlands boezem voor de 4 onderzochte scenario's. Inkomende posten gaan richting de boezem en staan boven de horizontale 0-as.

In de figuren 22a t/m 22e zijn de jaargemiddelde chlorideconcentraties (links) en het 95-percentiel (rechts) van alle dagwaarden weergegeven. Dit laatste houdt in dat de concentratie slechts 5% van de tijd groter is dan de weergegeven waarde. Het beeld van de 95-percentiel kan representatief worden gesteld voor de situatie gedurende droge perioden in de zomer. Omdat problemen zich hoofdzakelijk in de zomer voordoen is dit beeld belangrijker dan het beeld van de jaargemiddelden.

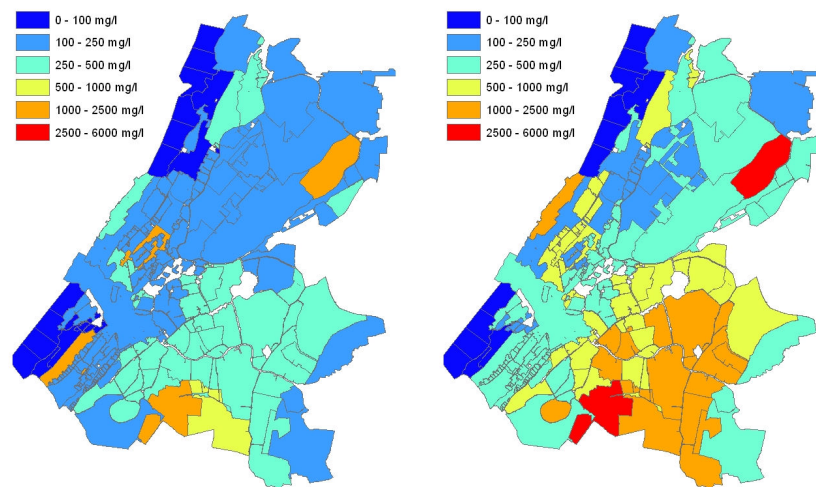
In de huidige situatie heeft de Noordplas en het gebied Schiphol in de Haarlemmermeer een hoog chloridegehalte. Daarnaast verassend genoeg ook de boezemlanden in het noordwesten. Bij een toenemende mate van klimaatverandering en zeespiegelstijging nemen de concentraties vooral toe in het noordelijke deel van de Haarlemmermeerpolder (en daarbuiten) en het zuidoosten van het gebied, nabij de inlaat van Gouda. De bekende brakke polder Middelburg-Tempel kent vanaf het scenario 2 meter zeespiegelstijging concentraties boven de 1000 mg/l. Het stopzetten van de inlaat bij Gouda bij hogere chlorideconcentraties dan 250 mg/l heeft minder effect dan men zou veronderstellen. Ook hier speelt het ontbreken van doorspoeling naar de polders een grote rol. Inlaat van boezemwater wordt in het model slechts geïnitieerd door verdamping, infiltratie en beregening.



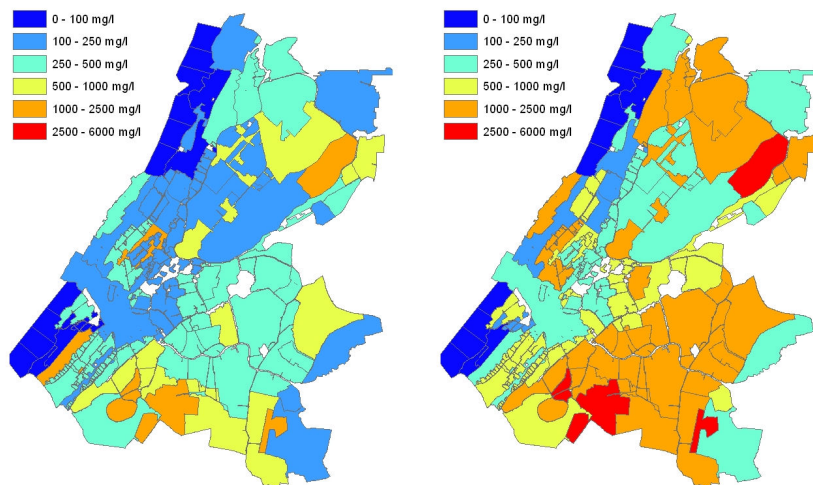
Figuur 22a: Chlorideconcentraties in oppervlaktewater, scenario Huidige situatie



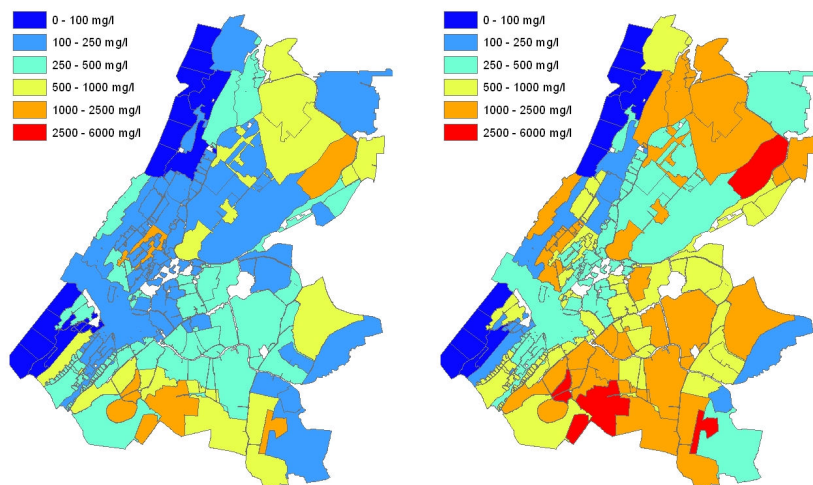
Figuur 22b: Chlorideconcentraties in oppervlaktewater, scenario 2050, 35cm zeespiegelstijging



Figuur 22c: Chlorideconcentraties in oppervlaktewater, scenario 2100, 85cm zeespiegelstijging



Figuur 22d: Chlorideconcentraties in oppervlaktewater, scenario 2100, 2m zeespiegelstijging



Figuur 22e: Chlorideconcentraties in oppervlaktewater, scenario 2100, 2m zeespiegelstijging, KWA

Tabel 1 in paragraaf 4.4 geeft aan wat de drempelwaarde (maximale chlorideconcentratie) in het beregeningswater is voor verschillende gewassen. Wanneer deze concentraties worden afgezet tegen de concentraties in het oppervlaktewater in de figuren 22a t/m 22e wordt duidelijk dat op de lange termijn het oppervlaktewater in grote delen van Rijnland als bron voor beregening ongeschikt wordt voor veel gewassoorten.

#### 4.4 Effecten van verzilting grondwater op landbouw

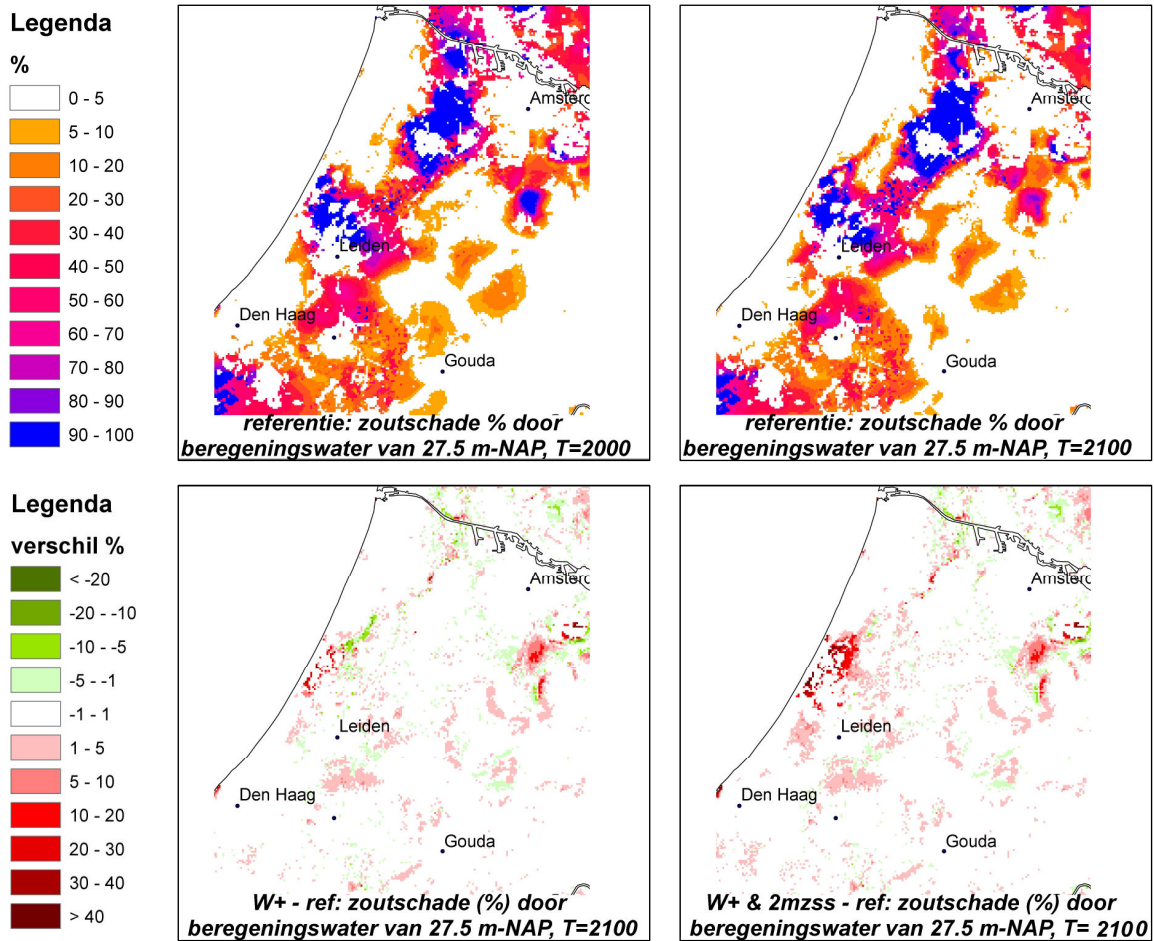
Op basis van het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland, parameters betreffende de gewastolerantie voor zout (Roest et al, 2003; zie tabel 4) en de gemodelleerde chlorideconcentraties in het grondwater (zie figuur 18) is bepaald in welke gebieden niet kan worden beregend met grondwater.

Tabel 4: Gemiddelde drempelwaarde [mg Cl/l] en hellingshoek voor zoutschade per gewasgroep (Roest et al., 2003). Boven de drempelwaarde zal schade ontstaan aan de gewasgroep. Het percentage van het gewas dat beschadigd is kan worden berekend met behulp van de helling, de snelheid waarmee de verhoogde chlorideconcentratie invloed heeft op het beschadigen van een gewasgroep. Bron gewasopbrengst prijspeil 2050 euro/ha: 'Investeringsruimte droogte KNMI '06 scenario's Royal Haskoning', Voor glastuinbouw is 1.5\*opbrengst fruit gebruikt.

Landgebruik	Drempel- waarde wortelzone [mgCl/l]	Helling Wortelzone [% / mgCl/l]	Drempel- waarde berekening [mgCl/l]	Helling berekening [% / mgCl/l]	Gewasopbrengst prijspeil 2050 (Euro/ha)
gras	3606	0.0078	962	0.0294	1080
mais	815	0.0091	217	0.0343	1200
Aardappelen	756	0.0163	202	0.0610	4240
bieten	4831	0.0057	1288	0.0212	2640
granen	4831	0.0058	1288	0.0218	880
Overige landbouwgewassen	4831	0.0058	1288	0.0218	4600
glastuinbouw	1337	0.0141	356	0.0527	17850
boomgaard	642	0.0264	171	0.0991	11900
bollen	153	0.0182	41	0.0683	26000
gras in bebouwd gebied	3606	0.0078	962	0.0294	1080

In figuur 23 worden de resultaten van de zoutschadeberekening getoond als een procentueel oppervlak van het totale gewas, in het geval er zou worden beregend met grondwater in het desbetreffende gebied.

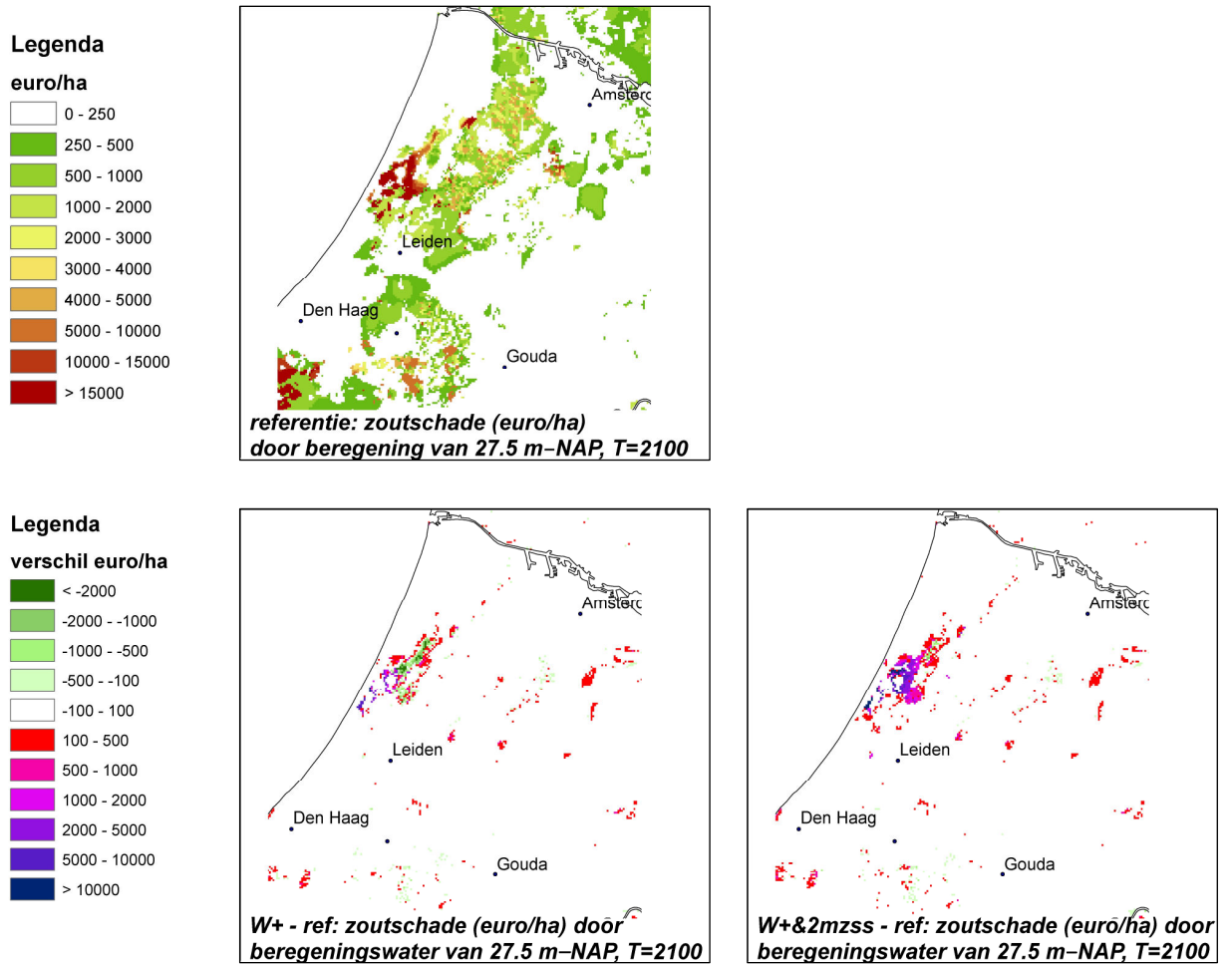
De bovenste kaartjes in deze figuur tonen als referentie de zoutschade in de huidige situatie (jaar 2000) en de zoutschade die in het jaar 2100 optreedt zonder klimaatverandering of zeespiegelstijging, maar met doorgang van het autonome verziltingsproces. De twee onderste plaatjes tonen de toename van de zoutschade onder invloed van klimaatverandering en zeespiegelstijging ten opzichte van de referentie situatie in 2100.



Figuur 23: zoutschade, in % van het totale oppervlak, door beregeningsgrondwater afkomstig van 27.5 m-NAP, referentiecasses voor de jaren 2000 en 2100 en de verschillen tussen de klimaatscenario's W+ 85cm ZSS en W+200cm ZSS en de referentiecasse 2100 (kleur rood betekent toename schade; verschil van 10% betekent bijv. 80% gewasschade bij klimaatscenario en 70% bij referentie case 2100).

Over het algemeen lijkt het erop dat grote delen van het studiegebied niet kan worden beregend met grondwater, omdat de chloride concentraties veel te hoog zijn. In het kustgebied ten noordwesten van Leiden wordt zoutschade verwacht voor de bollen.

In figuur 24 zijn de percentages zout schade met behulp van de verwachte gewasopbrengst in 2050 (tabel 4) omgezet in euro/ha. Ook hier lijkt vooral het bollengebied ten noordwesten van Leiden de grootste extra schade op te lopen indien berekend wordt met grondwater. Berekening met grondwater is hier dan feitelijk niet meer mogelijk, er is sprake van een ‘knikpunt’.



Figuur 24: zout schade in euro/ha door beregeningsgrondwater afkomstig van 27.5 m-NAP, referentiecasi voor het jaar 2100 en de verschillen tussen de referentiecasi 2100 en de maatscenario's W+ 85cm ZSS en W+ 200cm ZSS (kleuren paars-rood betekenen toename kosten).



Het verbouwen van andere, meer zout-resistente, gewassen (tabel 5) lijkt een relatief eenvoudige strategie. Overleg tussen LTO, Hoogheemraadschap van Rijnland en Provincie om bij het bepalen van ruimtelijke plannen voor de middellange termijn rekening te houden met de fysieke veranderingen in het watersysteem, is noodzakelijk.

Tabel 5: Klassenindeling chloridegehalte aan de hand van gewassen

Klasse	Chloride gehalte (mg/l)	Omschrijving	Soort gewas
1	0 - 150	Zoet	substraat, bloembollen
2	150-500	Licht brak	glastuinbouw,
3	500-1000	Matig brak	aardappelen
4	1000-1500	Brak	suikerbieten, glastuinbouw
5	1500-2000	Licht zout	
6	>2000	Zout	gras, granen, suikerbieten

#### 4.5 Inschatting van knikpunten door de Waterschappen

Aan vier waterschappen is middels een aantal vragen verzocht om de knikpunten in de zoetwatervoorziening van hun gebied te identificeren. Hieronder worden per vraag de reacties van de waterschappen weergegeven.

De volgende contactpersonen bij de waterschappen zijn benaderd:

- Hoogheemraadschap van Rijnland (B. van der Wateren-De Hoog, F. van Kruiningen);
- Hoogheemraadschap Delfland (K. Huizer);
- Waterschap Hollandse Delta (L. Apon);
- Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (J. Biesma).

**Vraag 1** *Wat is de meest kwetsbare sector of gewastype in het beheersgebied (de sector of gewastype dat bij een stijgende chlorideconcentratie als 1<sup>e</sup> in de problemen komt). Wat kan deze sector of dit gewastype nog hebben?*

##### *Rijnland*

Vanuit het huidige beheer vormen de bollen, snijbloemen (Aalsmeer) en sierteelt (Boskoop) de knelpunten. Deze gebieden zijn als Greenports aangewezen. Deze sectoren kunnen nu al bij droogte niet veel meer hebben, hoewel er een tendens is naar grotere onafhankelijkheid van oppervlaktewater (exclusief bollen).

Opgemerkt wordt dat veen ook kwetsbaar kan zijn, niet voor chloride maar wel voor sulfaat. Sulfaat kan veenoxidatie en daarmee bodemdaling, veroorzaken. In 2006 werd bijvoorbeeld de sulfaatconcentratie voor de veenpolders te hoog door het binnendringen van de zouttong vanuit Rotterdam op de Delflandse boezem. In dit geval is er extra bemaald om de zouttong terug te dringen. Veenbehoud speelt daarmee naast landbouw een rol in de strategie in droge perioden.

### *Delfland*

In dit gebied is glastuinbouw de meest kritische gebruiker van oppervlaktewater. Ook hier neemt de afhankelijkheid van oppervlaktewater af vanwege de beschikbaarheid van gietwaterbassins of het gebruik van grondwater. Deze sector is het meest kwetsbaar omdat er nog veel grondgebonden glastuinbouw is en daarnaast bedrijven met een bassin als het lang droog is een tekort aan gietwater krijgen en over moeten schakelen op een andere bron, bijvoorbeeld oppervlaktewater. Voor de kritische waarde van het chloridegehalte wijst Delfland naar de landelijke cijfers: substraatteelt: 50 mg/l en grondgeboden teelt 150 mg/l.

### *Hollandse Delta*

Dit waterschap wijst de industrie in het Rijnmondgebied aan als de meest kwetsbare sector. Belangrijkste probleem in deze sector is vooral corrosie van leidingen en die treedt al op boven de 150 mg/l. Maar ook processen (bijv. in koeltorens) worden beïnvloed. Wanneer het water verder verzilt en/of door verzilting er onvoldoende water beschikbaar zal zijn voor de industrie, dan is de verwachting dat overgeschakeld zal worden op leidingwater. Dit heeft echter vergaande financiële consequenties. De gevoeligheid in de landbouw is minder goed bekend. Het waterschap geeft aan dat de glastuinbouw weliswaar gevoelig is maar kan beschikken over water uit eigen bassins. Het probleem voor deze sector in een zeer droge zomer is onbekend. Het waterschap geeft aan dat de gevoeligheid van landbouwgewassen voor verzilting landelijk ter discussie staat.

### *Schieland en de Krimpenerwaard*

Het hoogheemraadschap geeft aan dat de ecologische functie van oppervlaktewater de meest kritische factor is. Alle oppervlaktewater in het beheersgebied heeft een ecologische functie. Het maakt daarbij niet uit of het water gelegen is in een natuurgebied. De MTR-waarde voor chloride hiervoor bedraagt 200mg/l. Wat de eisen van het grondgebruik betreft, stelt glastuinbouw van oudsher de hoogste eisen met 200 mg/l. De veel toegepaste substraatteelt stelt veel hogere eisen aan de gietwaterkwaliteit, het oppervlaktewater kan hier nooit aan voldoen. Daardoor kan de glastuinbouw nauwelijks via oppervlaktewater in de eigen aanvoerbehoefte voorzien. Glastuinbouw is dus grotendeels onafhankelijk geworden van het oppervlaktewater.

**Vraag 2** *Er zijn normen voor het stoppen van inlaten. Worden deze officiële normen in de praktijk ook daadwerkelijk gehandhaafd. Als dat niet het geval is; wanneer wordt daadwerkelijk geen water meer ingelaten?*

### *Rijnland*

Rijnland stopt bij 250 mg/l met inlaten bij Gouda, conform de officiële grenswaarde. De kleinschalige wateraanvoer (KWA) wordt dan in werking gesteld. Als er dan nog onvoldoende is wordt er o.a. bijgemengd tot 300 mg/l bij het kruispunt van de Oude Rijn met de Gouwe (inlaat is dan ergens tussen 250 en 400 afhankelijk van debiet). Wanneer categorie 1 uit de Verdringsreeks in het geding komt (veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade, door handhaven peilbeheer) zal hoe dan ook water ingelaten worden (bij Gouda). Rijnland ziet de Tolhuissluisroute als een noodoplossing.

### *Delfland*

De belangrijkste inlaat voor Delfland betreft de Brielse Meerleiding. De bediening van deze inlaat gebeurt door Hollandse Delta. Daar wordt 150 mg/l gehanteerd als norm. Delfland hanteert zelf geen norm voor het water vanuit het Brielse Meer. Water inlaten

voor peilhandhaving heeft namelijk de hoogste prioriteit (categorie 1 Verdringingsreeks). Dat betekent dat, als het nodig is, dus ook water wordt ingelaten van meer dan 150 mg/l.

#### *Hollandse Delta*

De norm van 150 mg/l bij de inlaat Bernisse (vanuit Haringvliet-Spui) is hard. Daarboven wordt met inlaten gestopt. Bij andere inlaatpunten is dat minder het geval en op veel inlaatpunten weet het waterschap niet exact welke kwaliteit water wordt ingelaten. Het water zal bij toenemende verzilting langzaam steeds ongeschikter worden maar voor een deel van de teelten zal het zeker nog soelaas bieden. Hollandse Delta geeft aan dat er nog geen duidelijk beleid is vastgelegd ten aanzien van het omgaan met langdurige verzilting van de inlaatpunten.

#### *Schieland en de Krimpenerwaard*

Dit hoogheemraadschap stopt in de praktijk met inlaten bij 250mg/l. De aanvoerfunctie verschuift dan naar een inlaatpunt dan nog niet verzilt is en vervolgens naar de Kleinschalige Wateraanvoer voorzieningen. Tot op heden is op deze wijze altijd voldoende zoet water aangevoerd. Het hoogheemraadschap is dus nog niet in een situatie beland waarbij het werd gedwongen om water met hogere chloridegehalten in te laten.

**Vraag 3** *Gegeven de nieuwe resultaten van de verziltingsberekeningen onder KNMI'06 scenario's aangevuld met extreme varianten in deze koploper studie; wanneer zijn belangrijke maatregelen of strategiewijzingen noodzakelijk.*

#### *Rijnland*

Rijnland ziet al bij het scenario 2050 met 35 cm zeespiegelstijging de omstandigheden zodanig verslechteren dat er belangrijke maatregelen of strategiewijzingen noodzakelijk zijn. De inlaat is dan voor ongeveer de helft van het inlaatseizoen niet beschikbaar volgens huidig beleid.

#### *Delfland*

Het inlaatregime voor het Brielse Meer zal opnieuw moeten worden bezien als een stremming van het inlaatpunt dermate vaak voorkomt dat het niet meer mogelijk is om voldoende water in het meer in te laten (compensatie van wat er aan onttrokken wordt). Nu is het nog zo dat er met een groter debiet kan worden ingelaten dan dat er doorgaans aan onttrokken wordt. Dat betekent dat er ondanks een kortdurende stremming, toch voldoende water kan worden ingelaten om aan de watervraag van de onttrekkers van het Brielse Meer te voldoen.

#### *Hollandse Delta*

De Hollandse Delta wijst op langdurige verzilting van de Bernisse inlaat. Bij de Bernisse zal als eerste gezocht moeten worden naar alternatieven als langdurig verzilting op gaat treden. Uiteraard is het Brielse Meer wel een buffer waar men enkele dagen mee vooruit kan zonder verre gaande consequenties. Hollandse Delta betwijfelt echter of het wekenlang zonder inlaat kan.

#### *Schieland en de Krimpenerwaard*

Het hoogheemraadschap verwacht dat twee van de vier KNMI scenario's voor het jaar 2050 (de "+" scenario's) zulke ernstige gevolgen hebben dat een strategiewijziging noodzakelijk is. Volledige acceptatie van de interne verzilting acht men onwaarschijnlijk.

**Vraag 4** *Gegeven de nieuwe resultaten van de verziltingsberekeningen onder KNMI'06 scenario's aangevuld met extreme varianten in deze koploper studie; wanneer moet het huidige beleid volledige worden omgegooid (bijv. grootschalige aanpassing waterverdeling, RO maatregelen, stoppen met doorspoelen).*

#### *Rijnland*

Bij het scenario 2050, +35 cm moet het huidige beleid al worden omgegooid. Te denken valt aan het niet meer doorspoelen, functies worden niet meer bediend (of gebruikers moeten de eigen broek ophouden).

#### *Delfland*

In de huidige situatie onttrekt Delfland water aan het Brielse Meer en als dat niet voldoende is aan Rijnland. Als de Hollandse IJssel vaker verzilt kan de situatie ontstaan dat Rijnland, eerder dan Delfland, overweegt om de boezem te laten verzilten. Dat zou betekenen dat water vanuit Rijnland dan niet meer voldoet aan de eisen die Delfland daar aan stelt en dat Delfland dan alleen is aangewezen op Brielse Meer water. Dat is tot nu toe vrijwel altijd genoeg, maar dat wijzigt mogelijk in de toekomst als gevolg van de klimaatverandering. Dat zou dus een verandering van het huidige beleid betekenen. Momenteel is het overigens zo dat de bestaande leiding vanuit het Brielse Meer een grotere capaciteit heeft dan wat binnen de huidige waterverdeling is toegestaan (6 i.p.v. 4 m<sup>3</sup>/s). Er kan dus nog worden overwogen om de huidige waterverdeling van het Brielse Meer water te veranderen en meer water naar Delfland te leiden.

#### *Hollandse Delta*

Het waterschap stelt de vraag welke mogelijkheden/alternatieven er zijn. De industrie kan zich op leidingwater richten en sommige kapitaalintensieve teelten ook. Voor de rest van de landbouwsector is er geen alternatief. De beheersgebieden zijn eilanden, water kan niet zomaar van elders worden aangevoerd tenzij er hoge kosten worden gemaakt. Deze kosten wegen niet op tegen het rendement van de landbouwsector.

#### *Schieland en de Krimpenerwaard*

Het hoogheemraadschap geeft aan dat de “+” scenario's (voor het jaar 2050) aanleiding zullen geven voor ingrijpende maatregelen. De waterverdeling over de grote rivieren kan waarschijnlijk niet voldoende uitkomst bieden, RO-maatregelen staan los van de ecologische functie van het water en doorspoelen gebeurt al nauwelijks in het beheersgebied. De afweging zal dan bestaan uit accepteren, maatregelen in het hoofdwatersysteem (bijv. verziltingsstuw in de monding van de Lek) versus gebiedsmaatregelen (aanvoerkanalen, lange leidingen). Een combinatie van deze drie is waarschijnlijk.

## 5 Mogelijke adaptatiestrategieën

Het RIZA heeft in een studie, waarin vergelijkbare modelberekeningen zijn gedaan, de effecten van verschillende oplossingsgerichte strategieën onderzocht (RIZA, oktober 2005). Uitgaande van deze studie en de resultaten van de modellering en enquête onder waterschappen kunnen vier beleidsstrategieën worden voorgesteld om verzilting en droogte te bestrijden en daarmee de watervoorziening op peil te houden:

- A. tegengaan verzilting bij de bron;
- B. wateraanvoer;
- C. bergen en flexibel peil;
- D. reduceren doorspoelen.

### *Strategie A: Tegengaan verzilting bij de bron*

Strategie A is gebaseerd op peilopzet, bijvoorbeeld in combinatie met (regen)water vasthouden of door in de meest kritische periode (de zomermaanden) minder water uit te slaan. De mate van peilopzet wordt zodanig afgestemd op de brakke kwel dat de overdruk van het diepe grondwater wordt gecompenseerd door het nieuwe peil. Voor de Hollandse Eilanden betekent dit veelal een beperkte peilopzet. Andere hoogheemraadschappen, vooral in Rijnland, Amstel Gooi en Vecht en Delfland, krijgen een dermate hoog peil dat landbouw soms niet langer mogelijk is. Sommige gebieden kunnen zelfs onder water komen te staan, met name de diepe droogmakerijen. Omliggende gebieden kunnen hinder ondervinden van de gekozen maatregelen doordat de kweldruk zich verplaatst. De watervraag neemt toe door de lokaal toegenomen peilopzet in de zomer en het toegenomen oppervlak aan open water. Door de afname van brakke kwel zou de doorspoeling in deze strategie kunnen worden verminderd, waardoor de totale watervraag minder sterk toeneemt.

De strategie is effectief ten aanzien van het reduceren van de verzilting. De mate van peilopzet moet echter goed worden afgewogen omdat de toename van de natschade en de kosten van het omzetten van landbouwgrond naar natuur groot zijn. De locaties dienen zodanig te worden gekozen dat negatieve effecten op omliggend gebied beperkt blijven.

Voor een gebied als Goeree-Overflakkee lijkt de strategie kansrijk omdat een beperkte peilopzet het zoutbezwaar substantieel beperkt. Ook beperkte peilopzet in droogmakerijen ligt voor de hand. Daarnaast kan de toename van de natschade door peilopzet vermeden worden door ondiepe en intensieve drainage. De natuur vaart wel bij deze strategie door nieuw ontstane natuurgebieden en vernatting van landbouwgebieden. Een ander voordeel van de maatregel is de toename van de beregeningsmogelijkheden door de afname van het chloridegehalte in het oppervlaktewater.

Peilopzet, of het loslaten van de gewoonte om het peil te handhaven, gaat tevens bodemdaling tegen. Bij voortzetting van de traditionele ontwatering zal de spiraal van 'peilverlaging → bodemdaling → peilverlaging' niet worden doorbroken. Een veranderend klimaat vraagt daarom vooral in de veenweidegebieden om herbezinning in het peilbeheer m.b.t. hoe te reageren op drogere zomers en nattere winters en tegelijkertijd verdere bodemdaling te voorkomen.

*Strategie B: Wateraanvoer*

Strategie B bestaat uit maatregelen die er op gericht zijn het water aan te voeren tot aan de plek waar dit het hardste nodig is. De strategie richt zich op enkele knelpunten in de wateraanvoer van zowel het hoofdwatersysteem naar het regionale systeem, als ook van sloot richting de wortelzone. Maatregelen zijn o.a. de uitbreiding van beregening, de aanleg van een tweede Brielse Meerleiding om de tekorten in Delfland en Schieland op te heffen, het verplaatsen van waterinlaatpunten naar punten die in geringere mate verzilten en het vergroten van de inlaatcapaciteit.

De strategie zorgt door de toegenomen beregening en extra peilopzet voor een toename van de watervraag en daarmee tot een groter oppervlaktewatertekort. Het grondwatertekort neemt af als gevolg van de extra beregening. Ook de droogteschade neemt af. Door de extra aanvoer neemt de fractie gebiedsvreemd water toe en de verblijftijd af. Het uiteindelijke resultaat op de landbouw is positief, de droogteschade neemt vooral door de toegenomen beregening af. De maatregelen hebben overwegend een negatief effect op de natuur. Vooral de voedselarme natuur ondervindt schade door de toegenomen aanvoer van gebiedsvreemd water.

Een andere maatregel bestaat uit het verhogen van de grenswaarde voor de chlorideconcentratie op innamepunten vanuit het rijkswater naar de regionale watersystemen. Om dit te kunnen doen is o.a. nauwkeuriger inzicht noodzakelijk in de daadwerkelijke zouttolerantie van de binnendijks gelegen functies.

*Strategie C: Bergen en flexibel peil*

In strategie C wordt een parallel getrokken met de WB21 trits vasthouden - bergen - aan-/afvoeren. Hierin wordt voor natuurgebieden een natuurlijk fluctuerend peil aangehouden (natuurgebieden moeten hun eigen broek ophouden), en voor overige gebieden een flexibel peil binnen bepaalde grenzen. Hierdoor neemt de watervraag af (of: de afhankelijkheid van het landelijk gebied ten aanzien van de aanvoer vanuit de rijkswateren), en daarmee het tekort aan oppervlaktewater. De afname van de droogteschade in de landbouw is beperkt. Daarnaast ontstaat aanzienlijke natschade, die echter door optimalisatie teruggebracht zou kunnen worden (zoals in strategie A). De peilopzet werkt ook positief op de vermindering van brakke kwel. Door de vermindering van de watervraag neemt de verblijftijd sterk toe. De natuur profiteert van de toename van zowel de voorjaarsgrondwaterstand als het oppervlaktewaterpeil. Lokaal kan de strategie echter ook een verdrogend effect hebben op kwelafhankelijke natuurgebieden.

Overigens is in veengebieden een langdurig laag oppervlaktewaterpeil met het oog op extra veenafbraak ongewenst. Door de ondergrens van het gehanteerde flexibele peil niet verder te laten dalen dan het oorspronkelijke zomerpeil kan dit worden voorkomen maar nemen de voordelen van de strategie ook sterk af. Een andere optie is het ruimtelijk beperken van de strategie tot droogmakerijen en overige klei of zandgebieden.

Ook stedelijke vernieuwing en transformatie naar glastuinbouw bieden kansen om verzilting te verminderen, door het aanleggen van voorzieningen om regenwater op te vangen en te infiltreren in de bodem. Stedelijke vernieuwing kan echter ook de verzilting vergroten, namelijk wanneer voor de berging van regenwater waterpartijen worden gegraven. Voorkomen moet worden dat deze waterpartijen onnodig diep

worden ontgraven en vermeden moet worden dat deze op plaatsen met intensieve kwel worden gepland.

*Strategie D: Reduceren doorspoelen*

Strategie D gaat uit van het stoppen van doorspoeling in een deel van West-Nederland wanneer de watervoorziening door externe verzilting wordt beperkt. Voor de aanvoer van water voor (beregening van) gevoelige teelten worden alternatieven gebruikt. Aangezien doorspoeling één van de grootste watervragers is, neemt door deze maatregel de watervraag en daarmee het tekort aan oppervlaktewater fors af. Daarmee is meer water beschikbaar voor beregening, al is dit water wel van slechtere kwaliteit (o.a. door toename zoutgehalte). Ook de verblijftijd van het water neemt toe in deze gebieden.

De droogteschade voor de landbouw kan door de toegenomen beschikbaarheid van oppervlaktewater lokaal afnemen. Dit is tevens de enige strategie die niet hoeft te leiden tot een toename van de natschade. De effecten voor de natuur zijn beperkt tot met name de aquatische ecotoopgroepen. Vooral de (nu al aanwezige) brakke aquatische vegetatie reageert positief op een toename van het zoutgehalte.

De strategie werpt de vraag op hoe noodzakelijk doorspoeling nu eigenlijk is voor de watervoorziening van grondgebonden gewassen, tenzij het voor andere doeleinden dan verziltingbestrijding is bedoeld.

## 6 Conclusies

De watervoorziening van Zuid West-Nederland zal door klimaatverandering in de toekomst verder onder druk komen te staan. Voor een deelgebied, Het Hoogheemraadschap van Rijnland, is een verkennende studie uitgevoerd naar de effecten van verschillende KNMI'06 scenario's over de komende 100 jaar. Daarin is naast zeespiegelstijging en afname van de laagwaterafvoer (met als gevolg verdere landinwaartse indringing van zeewater) en een veranderend neerslag- en verdampingspatroon, rekening gehouden met bodemdaling. In de studie staat de verziltingsproblematiek van het grond- en oppervlaktewatersysteem centraal. De studie laat zien wat bij stapsgewijze versterking van klimaatverandering en zeespiegelstijging de gevolgen zijn van externe (buitendijkse) en interne (binnendijkse) verzilting en het uiteindelijke resulterende zoutgehalte in de poldersloten bij handhaving van het huidige waterbeheer.

### 6.1 Huidig beleid

Het huidige beleid in de watervoorziening is gericht op het ondersteunen en in stand houden van bestaande functies, voornamelijk drinkwaterwinning en landbouw, maar ook natuur. Wanneer het oppervlaktewater bij innamepunten en in het binnendijks gebied te zout wordt leidt dit tot productieverlies en zout/droogteschade.

Om het beleid te operationaliseren wordt o.a. gebruik gemaakt van een normering in de zoutconcentratie bij de innamepunten. Deze is afgestemd op de functies in de van water te voorziene gebieden. Maatgevende grenswaarden voor sleutelfuncties zijn:

- 1000 mg/l voor grasland en veeteelt;
- 300 mg/l voor gladiolen en rhododendron;
- 200 mg/l voor drinkwaterbereiding en sommige ecologische functies.

Wanneer de grenswaarden worden bereikt kunnen de meeste waterschappen noodroutes aanwenden om zoet water aan te voeren. Indien deze routes onvoldoende capaciteit hebben moet volgens het huidige beleid alsnog brak water worden ingelaten om het peilbeheer te handhaven en zo categorie 1 uit de Verdringsreeks (veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade) te beschermen. De functieondersteuning komt dan in het geding.

### 6.2 Maatregelen

De grenswaarde die geldt bij de innamepunten ligt over het algemeen op 250 mg/l. Wanneer deze grenswaarde bij (bijvoorbeeld) het belangrijke innamepunt Gouda meer dan 48 uur wordt overschreden, ontstaat een knelpunt in de watervoorziening.

Maatregelen die momenteel worden genomen zijn:

- Het aanvoeren van zoet water uit andere bronnen in droge perioden;
- Bijmenging van verzilt water met zoet water;
- Doorspoelen van (door brakke kwel) verzilt oppervlaktewatersysteem;
- Verbeteren doorstroming boezemsysteem;
- Verhoging polderpeil om kwel te verminderen.



Deze maatregelen zijn weinig robuust en eindig in hun toepassingsperspectief. Er is daarom nu al sporadisch een beweging gaande richting studies naar toleranties in waterbehoefte, peilhandhaving en functiehandhaving.

### 6.3 Knikpunten

In de studie is gezocht naar 'knikpunten'. Dit is het moment waarop bestaande beleid/maatregelstrategieën niet langer optimaal functioneren en moet worden overgeschakeld naar een alternatieve strategie. In de navolgende alinea's is voor verschillende thema's aangegeven welke knikpunten worden verwacht.

#### Oppervlaktewater

De zoetwatervoorziening lijkt bij de huidige normering in 2050 in gevaar te komen bij inlaatpunten op de Nieuwe Maas, Oude Maas (tot aan het Spui) en de Hollandsche IJssel. Vanaf 2100 wordt ook in het oostelijke deel van de Oude Maas, het Hollandsch diep en de Lek de waterinname langdurig beperkt.

Een jaar dat qua externe verzilting gekenschetst wordt als een jaar dat eens per drie jaar voorkomt (1996) geeft in de huidige situatie geen problemen op het voor Rijnland belangrijke inlaatpunt Gouda. De situatie zal voor Rijnland en Schieland en de Krimpenerwaard in 2050 (bij 35cm zeespiegelstijging) echter zodanig zijn verslechterd dat er sprake is van een knikpunt, de huidige strategie zal dan geen soelaas meer bieden. Het optreden van dit knikpunt wordt bepaald door een afweging tussen de ontwikkelingen in chloridegehalten, de gevolgen/risico's voor de te bedienen functies en de kosten-baten (wat is betaalbaar, wat is maatschappelijk onacceptabel en wat zijn de limieten aan de ruimte en van de techniek).

De meest extreme omstandigheden die zijn bekeken (W+ scenario voor het jaar 2100 met 2 meter zeespiegelstijging) geven een situatie waarin bij Gouda de huidige norm gedurende bijna de helft van het jaar niet wordt gehaald. In deze periode zal Rijnland alleen ten behoeve van peilbeheer water inlaten via Gouda. In combinatie met de toegenomen zoute kwel zal onder deze omstandigheden het chloridegehalte in de polders en boezemsysteem dusdanig oplopen dat beregning (volgens de huidige beregningssystemen) in een groot gebied van Rijnland veelal onmogelijk is.

Delfland doet op basis van de resultaten van de scenarioberekeningen geen uitspraken over knikpunten. Daarvoor is meer informatie nodig, met name de langdurige verzilting van de Bernisse inlaat (die bepalend is voor de kwaliteit van het voor Delfland belangrijke Brielse Meer water) is cruciaal, en juist over deze inlaat zijn de modelresultaten nog onzeker. Als mogelijke beleidsmaatregel voor Delfland wordt gewezen op wijziging van de vastgelegde waterverdeling waardoor de maximale capaciteit van de Brielse Meer leiding mag worden benut.

Hollandse Delta ziet (nog) geen mogelijkheden om alternatieve beleidstrategieën te gaan volgen. De beheersgebieden zijn eilanden, water kan niet zomaar van elders worden aangevoerd. Het is daarom moeilijk om te spreken over knikpunten waarop een andere strategie moet worden gevolgd. De industrie zou kunnen overschakelen op (duur) leidingwater of ontzilting. Inzicht in de kosten-baten zijn dan van belang om in te schatten wanneer dit moment zal aanbreken.

### **Grondwater**

Het grondwatersysteem in het Nederlandse kustgebied, en in het bijzonder in het Hoogheemraadschap van Rijnland, zal de komende 100 jaar voornamelijk verzilten door autonome ontwikkelingen. Het peilverschil van gemiddeld minstens 3,5m tussen zeespiegelniveau en maaiveldhoogte heeft de afgelopen honderden jaren een grondwaterstroming in gang gezet naar de laaggelegen poldergebieden. Op dit moment komt brak-zout grondwater vanuit de ondergrond omhoog. De zoutvracht naar de laaggelegen kwelgebieden neemt hierdoor flink toe en zal de waterkwaliteit in het oppervlaktewater doen verslechteren.

Het effect van zeespiegelstijging, bodemdaling en een veranderd neerslag- en verdampingspatroon (W+ klimaatscenario) in termen van zoutvracht is secundair: weliswaar neemt de zoutvracht naar het oppervlaktewater toe door bovenstaande processen, maar deze toename is relatief klein t.o.v. de bijdrage vanuit het autonome proces. Zo blijft de invloedssfeer van een zeespiegelstijging op het grondwatersysteem over het algemeen beperkt tot de eerste kilometers vanaf het open (zee)water, en is het extra effect van een zeespiegelstijging in bijvoorbeeld de Haarlemmermeerpolder niet meer significant.

De gewone KNMI'06 klimaatscenario's als G en W zijn in termen van kwelfluxen en zoutvrachten minstens zo interessant als het hier doorgerekende extremere W+ klimaatscenario. De gewone KNMI'06 klimaatscenario's hebben door de toename in neerslagoverschot indirect een toename in kwel naar het oppervlaktewater en daarmee in zoutvracht tot gevolg (voor 2100 geeft het nattere W scenario zelfs een grotere zoutlast dan het W+ met 2m zeespiegelstijging).

In hoeverre een knikpunt optreedt, hangt af van hoe het oppervlaktewaterbeheer de toename in zoutbelasting vanuit het grondwater zal opvangen, bijv. door middel van grotere doorspoeldebieten vanuit inlaatpunten.

### **Landbouw**

De meest kwetsbare sector verschilt per gebied; van kapitaalintensieve teelten in Rijnland, glastuinbouw in Delfland, aquatische ecologie in Schieland en de Krimpenerwaard tot industrie in de Hollandse Delta. Voor de glastuinbouw zien overigens zowel Hollandse Delta als Delfland pas problemen ontstaan bij langdurige verzilting van de Bernisse inlaat.

Wanneer in de landbouw grondwater wordt toegepast voor beregening zal in de komende 100 jaar in de Bollenstreek ten noordwesten van Leiden als eerste een grote toename in zoutschade optreden.

In deze studie is de nadruk gelegd op droge, verziltende klimaatomstandigheden en zijn geen extreem natte scenario's gemodelleerd. Toch kunnen deze omstandigheden tot wateroverlast voor de landbouw leiden, bijvoorbeeld wanneer wordt gekozen voor een adaptatiestrategie met peilopzet in combinatie met (regen)water vasthouden of door in de meest kritische periode (de zomermaanden) minder water uit te slaan. Enkele gebieden krijgen hierdoor een dermate hoog peil dat landbouw soms niet langer mogelijk is. Sommige gebieden kunnen zelfs onder water komen te staan, met name de diepe droogmakerijen. Ook omliggende gebieden kunnen overlast ondervinden van de gekozen maatregelen, doordat de kweldruk zich verplaatst.

### **Opbarsting**

Met betrekking tot veiligheidsaspecten zijn de gevolgen van verhoogde grondwaterdruk voor eventueel opbarsten van de deklaag van belang. Dit risico neemt toe, maar lijkt zich te beperken tot goed te identificeren zones langs de grote wateren en in de IJsselmeerpolders. Het toenemende risico heeft gevolgen voor de stabiliteit van dijken (WL, 2007, zie voor meer informatie uitkomsten Werkpakket Technische Aspecten).

Opbarsting leidt tevens tot het ontstaan van wellen, natuurlijke of kunstmatige kortsluitingen tussen het brakke watervoerend pakket en het oppervlaktewaterstelsel. Hier vindt de sterkste interne verzilting plaats. Wellen vormen momenteel reeds een probleem. Bij stijgende waterstanden in rivieren en boezems zal met name langs de randen van de diepe polders het aantal wellen toenemen en de verzilting versnellen.

### **6.4 Onderbouwing**

Samenvattend is het waarschijnlijk dat de komende 100 jaar een knippunt optreedt in het oppervlaktewaterbeheer in het Hoogheemraadschap van Rijnland en andere gebieden in onze delta, gezien:

- de toename in zoutvracht vanuit de ondergrond (grondwater) de komende 100 jaar;
- het feit dat de huidige verziltingsproblematiek in het Hoogheemraadschap van Rijnland grotendeels nu al wordt veroorzaakt door zoute kwel;
- de waarschijnlijkheid dat in de zomer door klimaatverandering droge omstandigheden vaker voorkomen, leidend tot tekorten aan water van voldoende kwaliteit;
- de zoutwaterindringing in het oppervlaktewatersysteem vanuit de zee, wat leidt tot een afname in de beschikbaarheid van water van voldoende kwaliteit.

Een en ander heeft waarschijnlijk tot gevolg dat inlaatpunten voor de watervoorziening/doorspoeling (in bovenstroomse richting) moeten worden verlegd en dat beregening vanuit het oppervlaktewater in droge zomers bemoeilijkt wordt, met droogte- en daaraan gelieerd zoutschade tot gevolg. Aan een serieuze discussie betreffende het al dan niet kunnen (en willen) handhaven van de chlorideconcentratienorm in het oppervlaktewater in het Nederlandse boezemsysteem (behalve Zeeland) valt binnen 10 jaar niet meer te ontkomen. Aangezien in sommige gebieden het eerste knippunt in de watervoorziening naar verwachting reeds voor 2050 wordt bereikt moet nu al worden gestart met het verkennen van alternatieve strategieën.

Er kunnen verschillende oplossingsgerichte beleidsstrategieën worden gevolgd om verzilting en droogte te bestrijden en daarmee de watervoorziening op peil te houden. Kernbegrippen in deze strategieën zijn:

- tegengaan verzilting bij de bron;
- wateraanvoer;
- bergen en flexibel peil;
- zuinig met water.

Omdat elke strategie naast voordelen ook nadelen kent, zal in de praktijk per gebied moeten worden gezocht naar een optimale mengvorm tussen maatregelen.

## 6.5 Onderzoeksagenda

Gedurende de studie is meer inzicht ontstaan in de kennisvragen die spelen rond de onderzochte problematiek. Binnen het project is een start gemaakt met het beantwoorden een aantal van deze kennisvragen, met name gericht op de koppeling van grondwater- en oppervlaktewatermodellen. Onderstaand worden belangrijke vragen opgesomd. Deze kunnen worden ondergebracht in de onderzoeksagenda van Deltares.

### **Algemeen**

#### *Klimaateffecten op watervoorziening*

In dit project is t.a.v. watervoorziening alleen gekeken naar verzilting en de functie landbouw. De effecten van zeespiegelstijging en verandering in neerslag en verdamping op de watervoorziening van overige functies, zoals scheepvaart, energie, drinkwater, recreatie, natuur en stedelijk gebied, moeten nog worden belicht.

#### *(Grond)wateroverlast*

De invloed van extreme neerslagevents en meteorologische grondwaterdroogten op wateroverlast en droogte.

#### *Nat- droogte- en zoutschade aan landbouwgewassen*

In dit project is alleen de zoutschade bepaald in het geval berekening met grondwater plaatsvindt. In navolging hierop zou moeten worden bepaald wat de gecombineerde schade is door droogte, verzilting van bodemvocht, grond- en oppervlaktewater. Tevens zal de natschade moeten worden bepaald om een compleet beeld van de effecten van de klimaatscenario's te geven.

#### *Zouttolerantie landbouwgewassen*

Onderzoek naar de zouttolerantie van gewassen wordt aanbevolen om de gerapporteerde schadeparameters te toetsen aan de praktijk.

#### *Beheersen van verzilting*

Het gebruikte instrumentarium is geschikt om de gevolgen van verzilting te kwantificeren op een schaal die voor een beheersgebied als dat van Rijnland relevant is. Het is echter zeer gewenst om meer onderzoek te richten op de beheersingsmogelijkheden van verzilting, omdat de huidige doorspoelpraktijk een onnodig groot beroep doet op toevoer van zoet water en in de huidige vorm niet kan worden volgehouden.

#### *Bepalen effectiviteit van compenserende maatregelen,*

Vanuit technisch, praktisch, ruimtelijk en economisch perspectief.

### **Oppervlaktewatermodel**

#### *Werkwijze Rijnland modellering verbeteren en uitvoeren in gebieden met gelijke problemen (zoals regio Delfland en Noord-Holland)*

Uit de modellering van Rijnland kan worden geleerd dat met een relatief eenvoudig modelconcept al snel een goede stap kan worden gezet bij het verkrijgen van inzicht in de verzilting van het oppervlaktewater in het beheersgebied door interne en externe verziltingdruk. De behoefte aan dergelijke informatie bij waterschappen is groot.

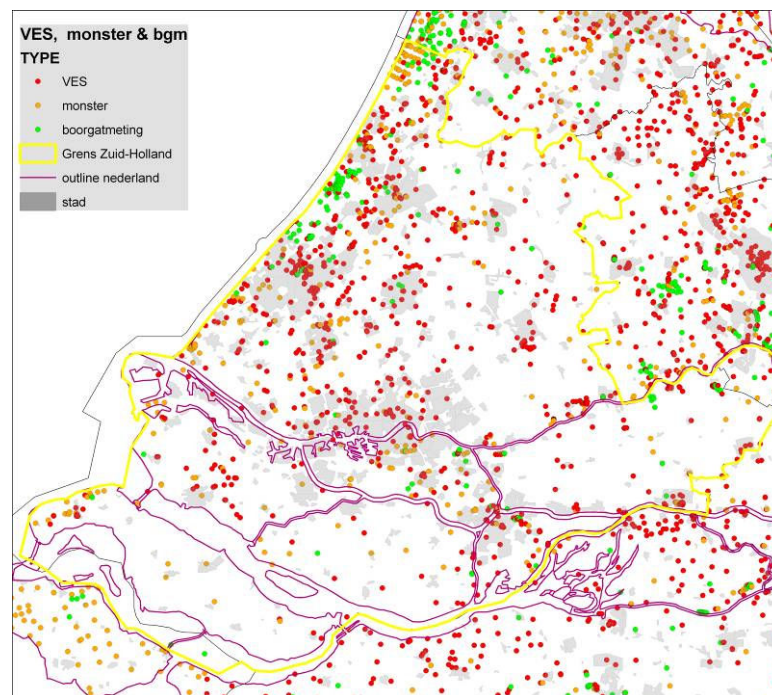
### **Grondwatermodel**

De TNO 2004 studie (Minnema et al, 2004) was bedoeld om uitspraken te doen over het diepere grondwater (dieper dan -10m NAP). In onderhavig project is met het

modelinstrumentarium juist gekeken naar het topsysteem (ondieper dan -10m NAP), zoals zoutbelasting vanuit het grondwater op het oppervlaktewatersysteem. Het vermogen van het modelinstrumentarium om nauwkeurige voorspellingen te doen over veranderingen in (de top van) het grondwatersysteem en het oppervlaktewatersysteem als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling zal flink toenemen als vooral de volgende twee activiteiten zouden worden uitgevoerd:

#### *Verbetering initiële zoet-brak-zout verdeling in de ondergrond*

Met name bovenin het topsysteem is deze verdeling nog niet op orde. De betrouwbaarheid van de initiële dichtheidsverdeling is sterk afhankelijk van het aantal metingen en de ruimtelijke verdeling daarvan. Onderin het grondwatersysteem zijn relatief weinig bruikbare metingen aanwezig, terwijl juist hier vaak brak en zout grondwater voorkomt. Momenteel is de zoet-brak-zout verdeling gebaseerd op 5772 chlorideconcentratie analyses; dit lijkt erg veel maar er zitten ook tijdreeksen bij. De concentraties zijn ook nog eens bemonsterd over een lange periode, waarvan een groot aantal van vóór 1960. De afgelopen jaren is in andere TNO-verziltingsstudies duidelijk geworden dat deze chlorideconcentratie analyses eigenlijk niet genoeg informatie geven over de zoet-brak-zout verdeling in de ondergrond. De afgelopen jaren heeft TNO daarom onderzoek gedaan om ook andere gegevensbronnen direct te incorporeren in de zoet-brak-zout verdeling in de ondergrond (o.a. Kloosterman, 2007). VES (Verticale Elektrische Sondering) en Boorgatmetingen zullen de initiële verdeling verbeteren (figuur 16).



Figuur 16: Locaties van VES-metingen, chlorideconcentratie analyses en boorgatmetingen in het studiegebied, die allemaal minder dan 5m zijn verwijderd van de onderkant van de deklaag (TNO, DINO; Oude Essink et al., 2005).

#### *Verbetering van het 3D geologisch topsysteem*

Voor een juiste doorvertaling van brak-zout grondwater in de vorm van zoutbelasting naar het oppervlaktewater is gedetailleerde kennis van het stromingsproces in een nauwkeurig gekarteerd topsysteem van belang. In de TNO 2004 studie is de

modelschematisatie van de ondergrond redelijk grof; weliswaar is REGIS I gebruikt, maar wellen of zandbanen zijn niet of onvoldoende meegenomen. In een verbeterd modelinstrumentarium zal het topsysteem met meer details (meer modellen) moeten worden weergegeven.

### **Overige vragen m.b.t. modelinstrumentarium**

#### *Verfijnen temporele discretisatie*

Om de effecten van bijvoorbeeld seizoensverschillen op het grondwater en oppervlaktewatersysteem te detecteren.

#### *Implementatie van gegenereerde toekomstige weervoorspellingen*

Invloed van veranderingen in neerslag- en verdampingspatronen op stijghoogte, grondwaterstanden en grondwaterstromingen. Hierbij moet rekening worden gehouden met de karakteristieke eigenschappen van de parameters in de klimaatscenario's.

#### *Interactie grondwater-oppervlaktewater*

Verbeteren van communicatie tussen onderzoeksdisciplines Grondwater en Oppervlaktewater. Gezamenlijk definiëren van concepten en schematisaties voor extreem natte en droge situaties. Koppelen van grondwaterkwantiteit aan grondwaterkwaliteitmodellen. Implementeren van reële data in gekoppelde modellen.

## 7 Geraadpleegde literatuur

Carthago (2007). Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas.

Haasnoot, M., J.A.P.H. Vermulst en Middelkoop, H., 1999, Impacts of climate change and land subsidence on the water systems in the Netherlands. Terrestrial areas, RIZA, Lelystad.

KIWA (juni 2004). Modelinstrumentarium verzilting Rijnland. Een koppeling van MOCSENS3D, TRM en SOBEK. Projectnummer 30.4671.015

KIWA (augustus 2004). Het zout der aarde. Kwantificeren van de huidige en toekomstige (2050) knelpunten Verzilting voor Rijnland. Projectnummer 30.4671.015

KIWA (2005), Het zout der aarde: kwantificeren van de toekomstige vraag naar en beschikbaarheid van goed water voor Rijnland; onderzoeksrapport in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

Kloosterman, F.H., 2007, Kartering zoet/brak/zout verdeling Nederland; Beschrijving van de ZZ-REGIS software suite. Concept TNO-rapport.

KNMI (2005). Zout, zouter, zoutst. Statistiek van de externe verzilting in Midden-West Nederland.

KNMI (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01. KNMI, De Bilt, 22 mei 2006, 82 blz.

Minnema, B., Kuijper, B., & Oude Essink, G.H.P., 2004, Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, 86 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.

RIZA (2000). Een Sobek-model van het Noordelijk Deltabekken kalibratie en verificatie, RIZA werkdocument 2000.128X.

RIZA (2003). Een Sobek-model van het Noordelijk Deltabekken kalibratie en verificatie zoutbeweging Noordrand, RIZA werkdocument 2003.047X.

RIZA (januari 2006). Aanvoerfrequenties verziltingsjaren t.b.v. Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland. Projectnummer 6100.016.36

RIZA (september 2005a). Droogtestudie Nederland. Watertekortopgave. RIZA-rapport 2005.015

RIZA (september 2005b). Droogtestudie Nederland. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. RIZA-rapport 2005.016

RIZA (oktober 2005). Water waar het wezen moet. Effecten van beleidsstrategieën voor droogte in Midden-West Nederland. RIZA rapport 2005.018.

Roest, C.W.J., P.J.T. van Bakel en A.A.M.F.R. Smit, 2003, Actualisering van de zouttolerantie van land- en tuinbouwgewassen ten behoeve van de berekening van de zoutschade in Nederland met het RIZA-instrumentarium, Alterra.

WL (oktober 2007). Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding.



## A Calibratie Rijnland model

Het model is met enkele grove slagen gecalibreerd op de gemeten polder- en boezemconcentraties in de periode 2000 tot en met 2003.

In eerste instantie is uitgegaan van het idee dat de chlorideconcentratie van de drainagefluxen vrijwel constant is in de tijd is. Dit betekent dat de menging met regenwater dat in de bodem is geïnfiltreerd, niet hoeft te worden meegenomen. In een later stadium is aan de hand van gegevens van de Noordplas geconstateerd dat de chlorideconcentraties van drainage en kwel wel degelijk variëren. Dit, en het inzicht dat reeds geïnfiltreerd water ook weer tot afstroming kan komen heeft geleid tot het bijhouden van de balans van de bodem. Deze bodembak, van 2 meter diepte, wordt gevoed door kwel (met zoutvracht afgeleid van MODFLOW), neerslag (10 mg/l) en infiltratie. De zoutvracht van de MODFLOW gridcellen (op de hoogte NAP -5m) is per polder gesommeerd. Water verlaat de bodembak via drainage richting het open water van de polders. Bij berekeningen is gebleken dat de bodembak zeer traag reageerde. De zoute kwel werd als het ware opgeslagen in de bodembak waardoor er tussen de twee scenario's met 85 cm en 2 meter zeespiegelstijging weinig verschil optrad qua chloridebelasting van het open water. Vanwege de beperkte doorlooptijd in het project is ervoor gekozen om in de uiteindelijke berekeningen de zoutlast bij een situatie van drainage direct door te sluizen naar het open water. Geïnfiltreerd zout wordt direct geloosd op het open water wanneer de stromingsrichting omslaat van infiltratie naar drainage. In een vervolg op dit project zal deze aanpak nader moeten worden geëvalueerd.

In brakke kleipolders leveren wellen een belangrijke bijdrage aan het zoutbezwaar. De gebruikte MODFLOW schematisatie (250\*250m) is te grof om een dergelijk proces goed te simuleren. Daarom is besloten om in enkele brakke kleipolders het zoutbezwaar met een factor 4 te verhogen (Driemanspolder, Polder Nieuwkoop, Noordplaspolder, Nieuwe Driemanspolder, Schiphol, Middelburg-Tempelpolder).

Naast een zoutlast via de drainageflux zijn de volgende rechtstreekse bronnen voor het open water in de berekening meegenomen:

Veenpolders: 30 kg/ha/j extra vanwege oude zoutlagen  
Riooloverstorten: 100 mg/l  
Kassen-effluent: 500 kg/ha/j

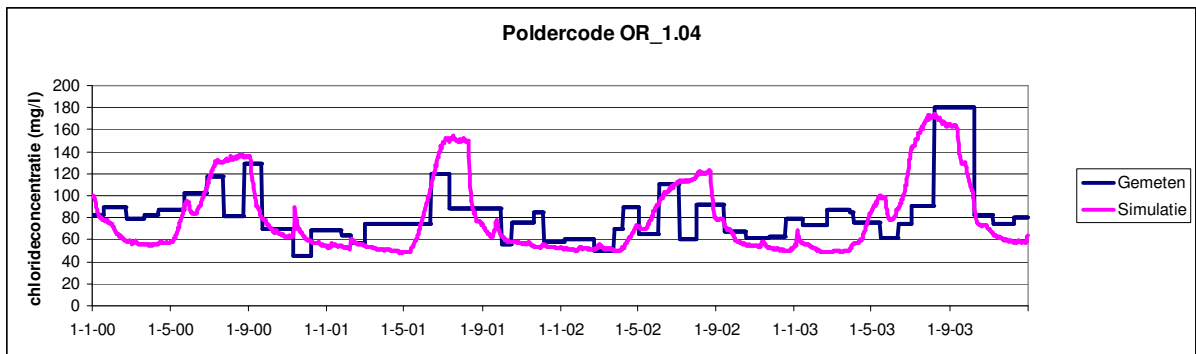
Er is voor gekozen om MODFLOW gedurende de calibratie 25 jaar extra te laten inspelen. De metingen die aan het model ten grondslag liggen komen namelijk uit de periode 1970-1980. De zoutvracht van 25 jaar na de initiële zoet-zoutsituatie in het model is over het algemeen groter, al zijn er ook plekken waar het zoutbezwaar daalt. Ook bij de toekomstscenario's is met deze extra inspeeltijd rekening gehouden.

De calibratie is snel en kwalitatief uitgevoerd. De calibratie is ten opzichte van de berekeningen van de eindresultaten met een eerdere modelversie uitgevoerd. Zoals hiervoor werd beschreven is op een zeker moment besloten de bodembak niet meer te gebruiken om via een balans de chlorideconcentratie bij te houden. Het resultaat van de calibratie kan in vijf karakteristieke groepen worden ingedeeld:

- Goed;
- Te laag in de zomer;
- Te hoog in de zomer;
- Structureel te hoog;
- Structureel te laag.

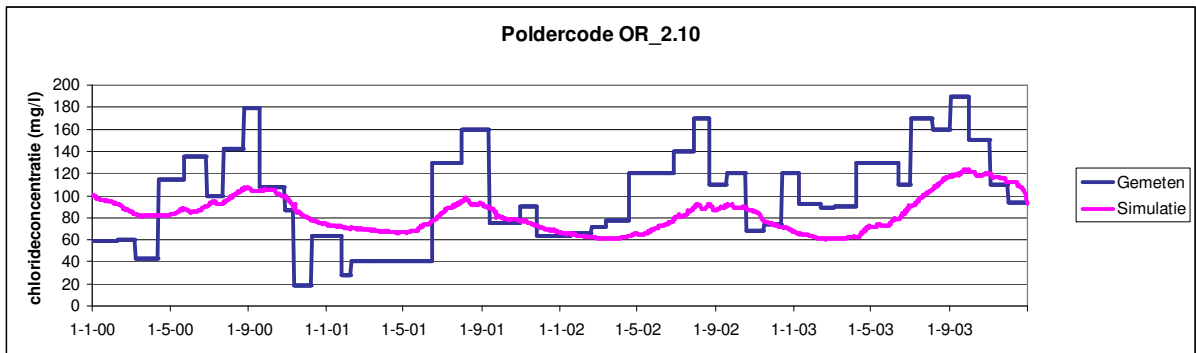
#### Categorie "goed"

Onderstaande figuur toont de modelresultaten (simulatie) en de gemeten chlorideconcentraties.



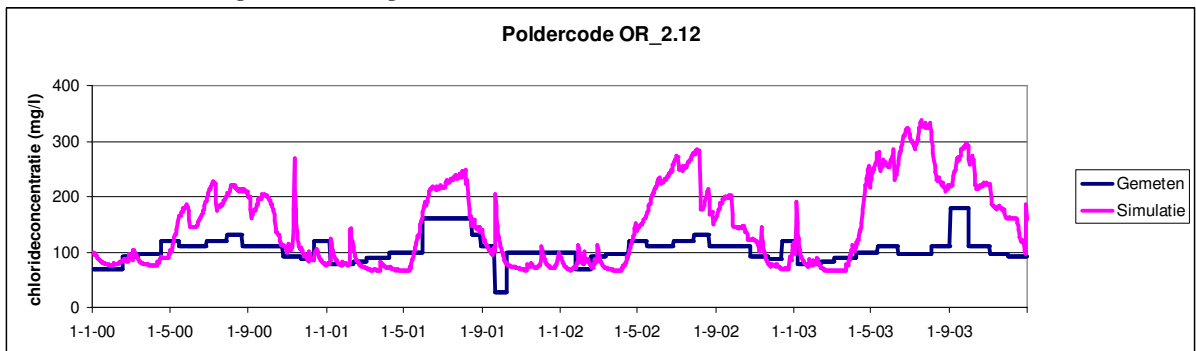
Meer dan de helft van de polders laat een dergelijk beeld zien. De concentratie in zowel de zomer als winter wordt vrij goed benaderd.

#### Categorie "te laag in de zomer"



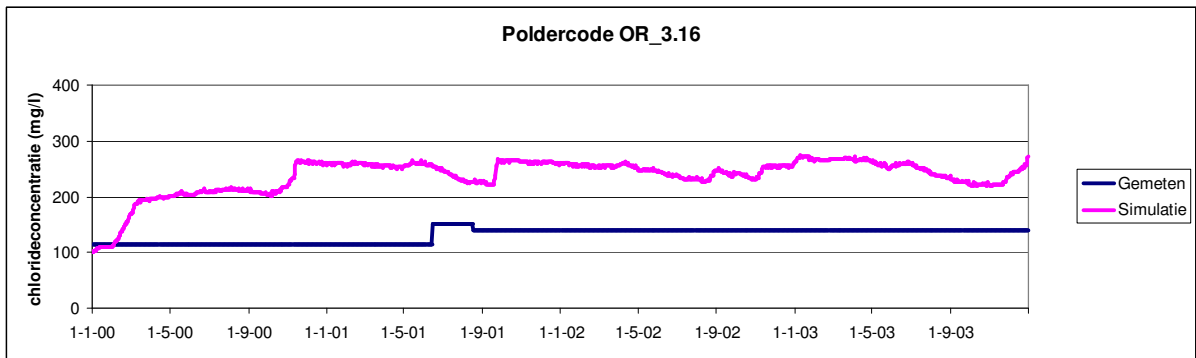
Dit is veel voorkomend beeld. Het SOBEK model van Rijnland blijkt niet goed in staat om de inlaten tijdens zomers te simuleren (mondelijke mededeling dhr. R. Bakkum, oud-medewerker Rijnland).

#### Categorie "te hoog in de zomer"



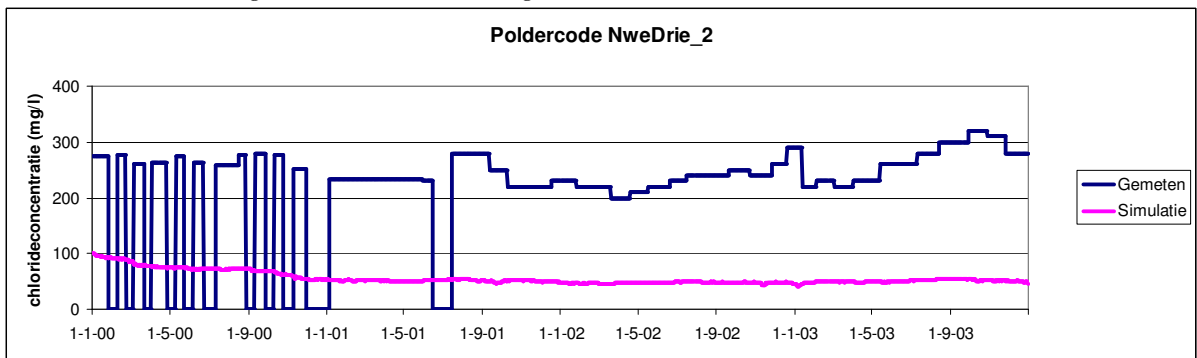
De verklaring hiervoor is niet eenvoudig vast te stellen. Ook hier zou het inlaatregime (te weinig doorspoeling) debet aan kunnen zijn.

*Categorie “structureel te hoog”*



Ook hier is de verklaring niet eenvoudig. Zowel de informatie uit de ondergrond (MODFLOW) als de berekening van de inlaat kan de oorzaak zijn voor deze afwijking.

*Categorie “structureel te laag”*



Dit voorbeeld betreft een brakke kleipolder. De berekende waarde is te laag ondanks de vermenigvuldiging van de zoutlast uit de diepe ondergrond met een factor vier. Andere brakke kleipolders zoals de Middelburg-Tempelpolder geven met deze factor wel goed resultaten.

Op basis van de ervaringen in dit project met het Rijnland model wordt aanbevolen om bij verdere ontwikkeling van het model door Rijnland te kijken naar:

- verbetering SOBEK-schematisatie voor inlaat- en doorspoelsituaties;
- verbetering van de beschrijving van wellen in de grondwatermodellering;
- verbetering van de hier aangepaste emissietool. Met name het gebruik van de bodembalans kan nog sterk worden verbeterd.