

Zou 't verzilten?

S. Bosch, B. van der Wateren-de Hoog, G.H.P. Oude Essink en P.G.B. de Louw

2009, Stromingen, jrg 15, nr 3, p. 3-17.

Verzilting bedreigt de toekomstige zoetwatervoorziening van het Hoogheemraadschap van Rijnland. De interne zoutdruk neemt toe doordat de kwel in (diepe) polders steeds zouter wordt. Tot op heden kon dit fenomeen met actief beheer onder controle worden gehouden, maar als gevolg van de stijging van de zeespiegel dreigt de zoetwaterinlaat bij Gouda te verzilten. Samen met de nog onbekende effecten van veranderende neerslag- en verdampingspatronen gaf dit aanleiding tot een onderzoek naar de zouthuishouding in het beheersgebied. In dit artikel bespreken we de opzet en werking van een modelinstrumentarium voor deze problematiek en enkele resultaten van het onderzoek.

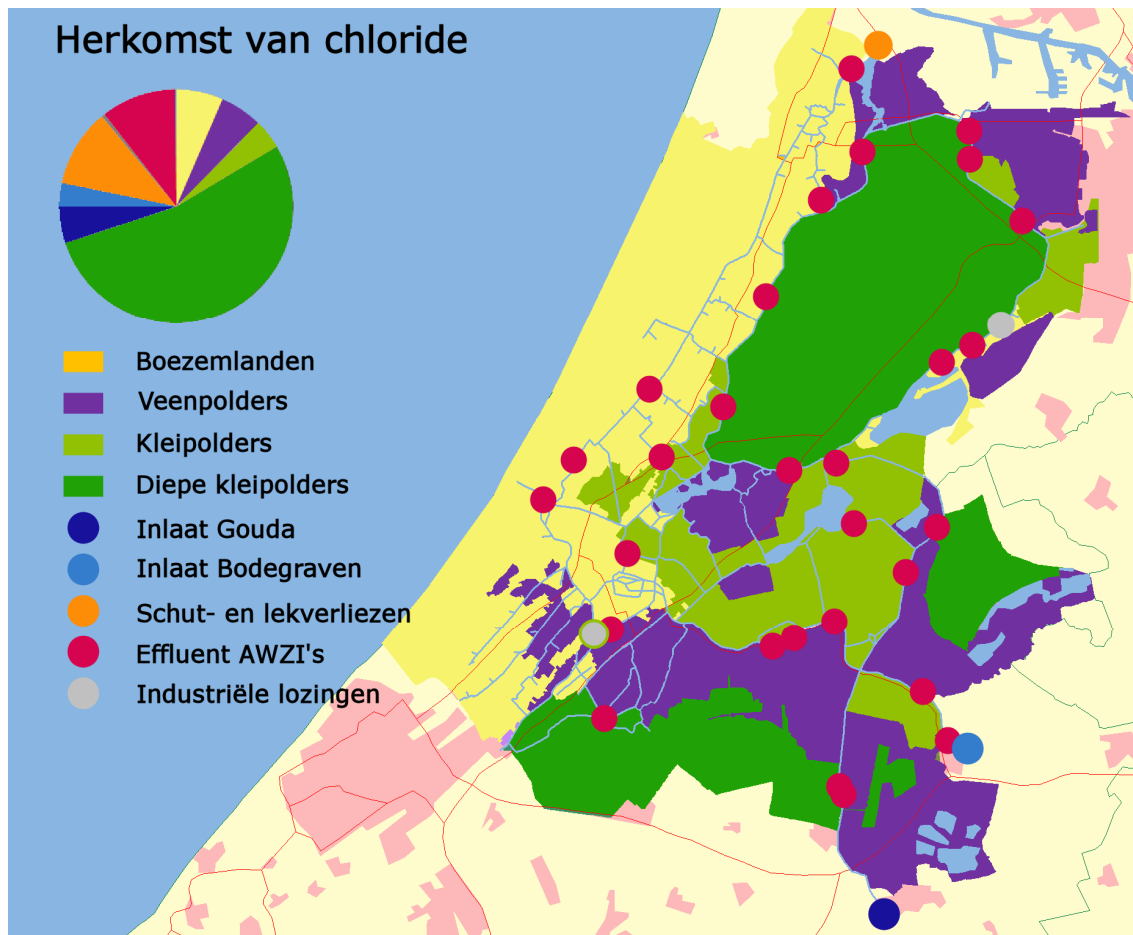
Inleiding

Te hoge concentraties aan chloride kunnen schadelijk zijn voor landbouw, tuinbouw en natuur (onder andere Roest e.a., 2003). Verschillende soorten landgebruik, zoals de sierteelt in de omgeving van Boskoop en de bollenteelt in de kuststrook stellen hoge eisen aan de waterkwaliteit, maar ook natuurgebieden als Nieuwkoop en de Reeuwijkse plassen zijn gevoelig voor te veel zout.

Tot op heden is het Hoogheemraadschap goed in staat geweest de grote aanvoer van chloride te bestrijden door intensief door te spoelen, maar doordat rond 2030 ook het inlaatpunt op de Hollandsche IJssel dreigt te verzilten (Beijk, 2008), komt dit beleid onder druk te staan. In de studie die wij hier beschrijven, hebben we een modelinstrumentarium ontwikkeld waarmee we toekomstige ontwikkelingen en het effect van maatregelen tegen verzilting kunnen onderzoeken. Met dit instrumentarium hebben we de droge nazomer van 2003 onderworpen aan diverse KNMI '06 klimaatscenario's en getoetst aan de geldende normen voor chloride. Daarnaast hebben we enkele oplossingsrichtingen verkend.

De herkomst van chloride in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland

Het watersysteem van Rijnland heeft jaarlijks ca. 180.000 ton aan chloride te verwerken. Het overgrote deel hiervan (bijna driekwart) is afkomstig uit kwel (KIWA, 2004). Het restant is ongeveer gelijkelijk verdeeld over het effluent van afvalwaterzuiveringen, instroom via sluizen en de inlaat van water. Figuur 1 geeft inzicht in de herkomst van chloride op de boezem.



Figuur 1 Herkomstverdeling van chloride in het Rijnlandse boezemstelsel

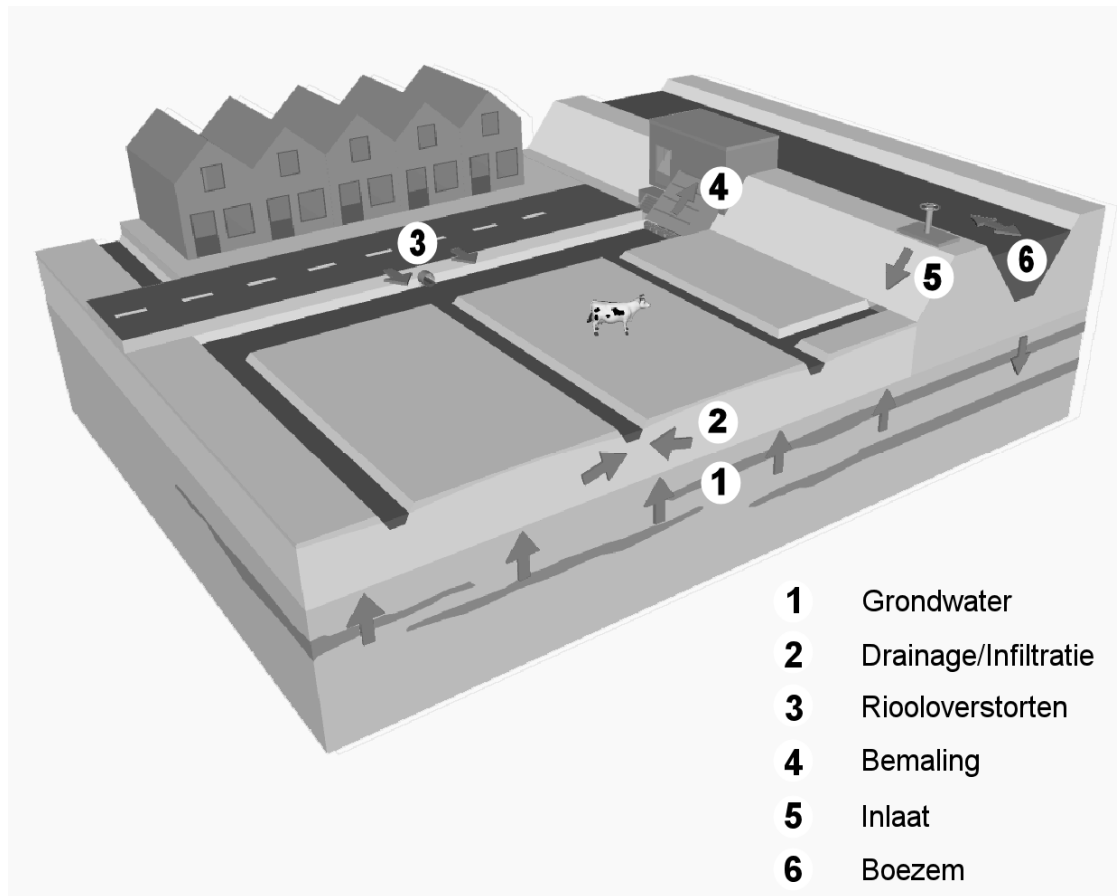
De ondergrond van Rijnland bevat van nature brak tot zout grondwater, wat vooral een erfenis is van Holocene transgressies (Post, 2004). Opwaartse stroming van grondwater (kwel) zorgt ervoor dat dit zout in het oppervlaktewater van de polders terecht komt. De diepe droogmakerijen zoals de Haarlemmermeer en Polder de Noordplas zijn door hun hoge kweldruk verantwoordelijk voor meer dan de helft van de totale chloridebelasting van het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland (KIWA, 2004). Vooral door de zogenaamde 'wellen', en in mindere mate zandbanen kwelt daar veel chloriderijk en nutriëntenrijk water op. Wellen zijn locaties waar zeer geconcentreerd een grote hoeveelheid kwelwater voorkomt. Zeker de helft van de zoutvracht in de diepe droogmakerijen van Rijnland komt via wellen binnen (De Louw e.a., 2004 en Favier e.a., 2006).

In deze studie kijken we naar de chlorideconcentratie als maat voor het zoutgehalte van het grondwater.

Modelstudie

Om de toekomstige ontwikkeling in kaart te kunnen brengen, is een modelinstrumentarium (bestaande uit MOCSENS3D, SOBEK en een Emissieplugin voor SOBEK) ontwikkeld dat een relatie legt tussen factoren als neerslagpatronen, waterbeweging en kwaliteit in polders en boezem en zeespiegelstijging, bodemdaling en veranderende neerslag. Het modelinstrumentarium moest daarom kunnen rekenen met waterbeweging en zouttransport in het grondwater- en

oppervlaktewatersysteem; zowel in polders als op de boezem. Figuur 2 illustreert om welke processen het gaat.



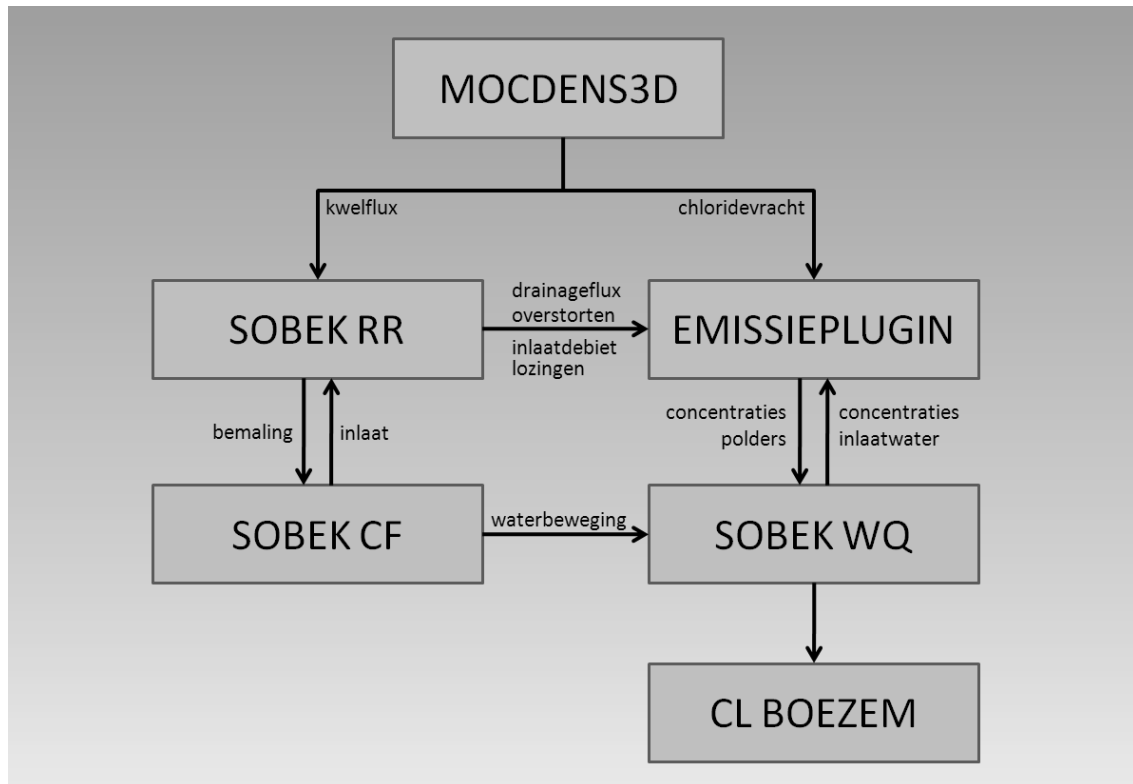
Figuur 2 Te modelleren water- en zoutstromen

Het modelinstrumentarium bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een neerslag-afvoermodel van de polders en boezemlanden, gebouwd in de SOBEK Rainfall-Runoff (RR) module (Nelen en Schuurmans, 2005);
- Een model voor de waterbeweging en -kwaliteit van de boezem, gebouwd in de SOBEK Channel-Flow (CF) en Water Quality (WQ) modules (Nelen en Schuurmans, 2005);
- Een regionaal grondwatermodel voor dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming en gekoppeld stoftransport, MODFLOW/MOCDENS3D (Minnema e.a., 2004, Oude Essink e.a., 2008) om bovenstaande modules te kunnen voeden met fluxen en chlorideconcentraties van de kwel;
- Een model dat het concentratieverloop in het polderwater berekent op basis van kwelstromen, drainage, riooloverstorten, inlaatwater en andere bronnen van chloride. Hiervoor hebben we de 'Emissieplugin voor SOBEK' gebruikt (Siebe Bosch Hydroconsult, 2009).

Meertrapsraket

Het gehele proces van grondwaterstroming en daaraan gekoppeld zouttransport tot een concentratieverloop op de boezem is daarmee een meertrapsraket geworden die vraagt om een opeenvolging van verschillende modelleerstappen plus enkele iteratieslagen. Figuur 3 illustreert dit proces.

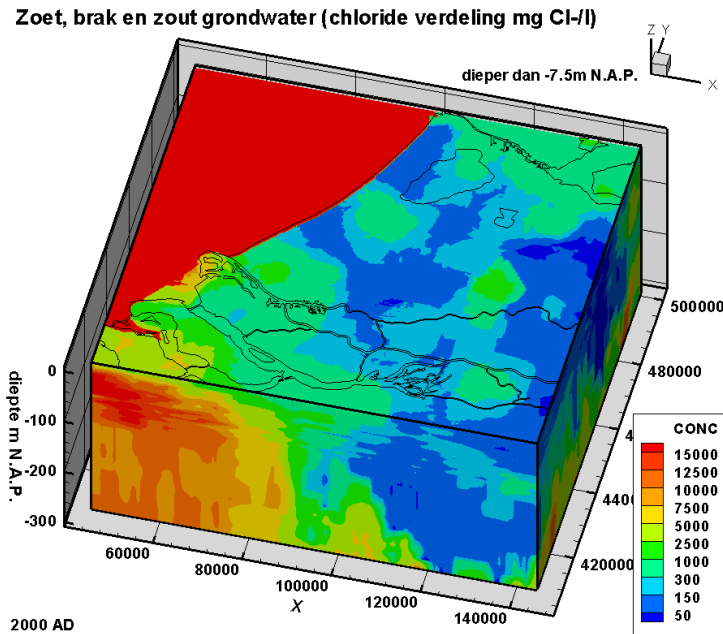


Figuur 3 De modelleerprocedure. N.B. omdat wij gebruik maakten van een al gecalibreerd SOBEK-RR model hebben we de kwelflux daarin uiteindelijk niet aangepast. Voor de chloridevracht (kg) hebben we dit uiteraard wel gedaan.

De werkwijze was als volgt:

Stap 1. Grondwater

De waterkwantiteitsmodule van MOCDENS3D (MODFLOW) berekent de kwel vanuit en de infiltratie naar de ondergrond van het beheersgebied. Veranderingen van de fluxen in de tijd zijn het gevolg van bodemdaling, zeespiegelstijging en polderpeilen. De waterkwaliteitsmodule berekent het transport van zout (chloride) door de ondergrond en produceert chlorideconcentraties voor de kwel- en infiltratiefluxen. Het betreft een gekoppeld systeem omdat dichtheidsverschillen die het zouttransport veroorzaakt op hun beurt de stroming van het grondwater beïnvloeden. Zie het kader *Grondwatermodel*.



Figuur 4 Verbeterde ruimtelijke verdeling chlorideconcentraties (mg Cl/l) in de provincie Zuid-Holland, zoals gebruikt in deze studie. Behalve grondwateranalyses zijn ook VES- en boorgatmetingen meegenomen.

Het gesimuleerde gebied bevat de gehele provincie Zuid-Holland en delen van Noord-Holland, en is dus groter dan het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Het onderscheidend vermogen in het horizontale vlak is $250 \times 250 \text{ m}^2$. Het model heeft vijf watervoerende pakketten en de simulatieperiode betreft in totaal honderd jaar.

Stap 2. Hydrologie en Stoffentransport

De neerslag-afvoermodule van SOBEK berekent de drainagefluxen, riooloverstorten, kwel, bemalingen en inlaten binnen iedere polder. Vervolgens zetten we de Emissieplugin in om de chloridevrachten uit het grondwatermodel te laten 'meeliften' op deze waterstromen. Het samenspel van zout uit de ondergrond met ingelaten zout uit de boezem en overige bronnen leidt uiteindelijk tot een concentratieverloop in het polderwater. Zie het kader *Emissieplugin*.

Stap 3. Waterkwaliteit

Het berekende concentratieverloop van het polderwater dient op zijn beurt als randvoorwaarde voor het waterkwaliteitsmodel van de boezem. Door daarnaast het boezemmodel te voeden met concentraties op de boezeminlaten, AWZI-effluent en schut- en lekverliezen ontstaat een massabalans voor chloride op de boezem.

Stap 4. Iteratie

De nieuw berekende concentratiewaarden op de boezem vormen op hun beurt weer nieuwe concentraties voor het inlaatwater van de polders. De Emissieplugin moet daarom opnieuw gedraaid worden om de polderconcentraties te vernieuwen. Dit leidt op zijn beurt weer tot andere chloridevrachten naar de boezem etc. etc. Er was een drietal handmatige iteratieslagen voor nodig om de balansfout te reduceren tot onder de 1%.

Validatie en calibratie

Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft een zeer omvangrijk meetnet voor (onder andere) chlorideconcentraties. Door meetwaarden te gebruiken als randvoorwaarden voor het waterkwaliteitsmodel van de boezem, kunnen we ook het concentratieverloop op de boezem simuleren. In deze vorm is het SOBEM-waterkwaliteitsmodel van de boezem al enkele jaren in gebruik bij het Hoogheemraadschap. Ook de chloridebalans van de boezem zoals afgebeeld in figuur 1 is afgeleid uit de resultaten van dit basismodel.

In deze studie hebben we de randvoorwaarden voor het waterkwaliteitsmodel van de boezem echter niet langer betrokken uit gemeten concentraties in de polders, maar berekend door de stappen 1 en 2 van de eerdergenoemde werkwijze te doorlopen. Op die manier worden de concentraties in de polders een functie van processen als zeespiegelstijging, bodemdaling en een veranderend neerslag- en verdampingspatroon.

Bij validatie van de resultaten bleek echter dat de berekende concentraties in de diepe droogmakerijen veel te laag waren. In de meeste gewone kleipolders, veenpolders en boezemlanden simuleerde het model de concentraties echter wel adequaat. De grote afwijkingen in diepe droogmakerijen wijten we aan een fenomeen dat uitsluitend in dit type polders voorkomt: wellen. Door de grote kwelflux in wellen treedt zogenaamde *upconing* van dieper (25 tot 45m) en daardoor zouter grondwater op. De chloridevracht uit de ondergrond mag daarom niet worden berekend met alleen de diffuse kwelflux en -concentraties. Ook de fluxen en concentraties uit wellen zijn nodig:

$$M = (K_{diffuus} * C_{diffuus} + K_{wellen} * C_{wellen}) / 1000$$

Hierbij is:

M = chloridevracht uit de ondergrond (kg/d)

$K_{diffuus}$ = diffuse kwelflux (m³/d)

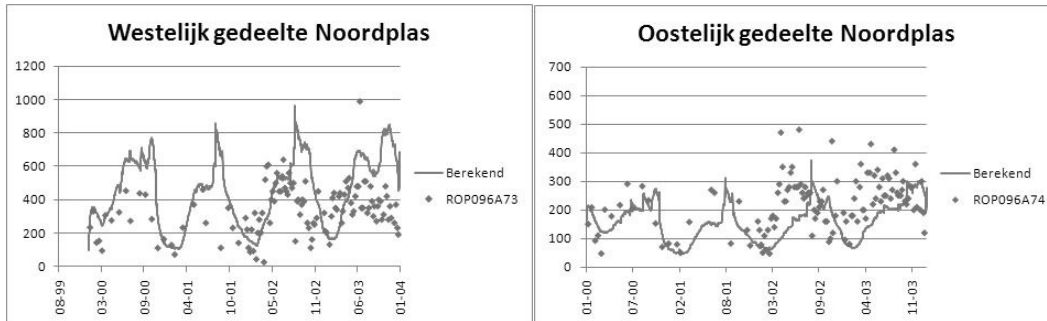
$C_{diffuus}$ = chlorideconcentratie diffuse kwel (mg/l)

K_{wellen} = kwelflux uit wellen (m³/d)

C_{wellen} = chlorideconcentratie wellen (mg/l)

Welfluxen zijn echter moeilijk te kwantificeren. Voor de diepe kleipolder Polder de Noordplas heeft TNO/Deltares een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar het verschijnsel (De Louw et. al., 2004). Met een meetprogramma en modelstudies zetten zij een gedetailleerde water- en stoffenbalans op en concludeerden dat circa 60% van de totale zoutvracht afkomstig is uit wellen, terwijl slechts 20% afkomstig is van diffuse kwel uit het eerste watervoerende pakket.

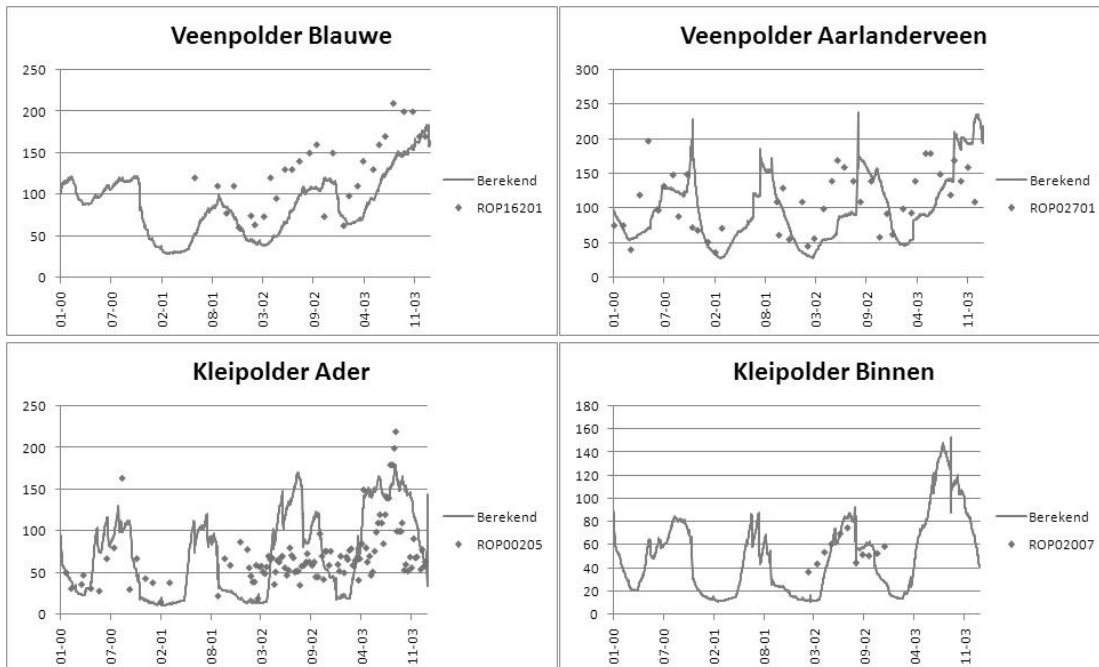
Ons MOCDENS3D-model heeft een te groot schaalniveau (250 x 250 m²) om individuele wellen in diepe droogmakerijen te schematiseren. De chlorideconcentraties in wellen kunnen er echter wel uit worden afgeleid, namelijk uit de concentraties op grote diepte (ca. 35m). Het volume water uit de wellen K_{wellen} blijft dan de enige onbekende. De waarde hiervoor hebben we afgeleid met het bovengenoemde percentage van 60% uit de chloridebalans die TNO/Deltares voor de Noordplas heeft opgesteld. Dit leidde tot een goede fit voor de concentraties, zoals in figuur 5 wordt getoond.

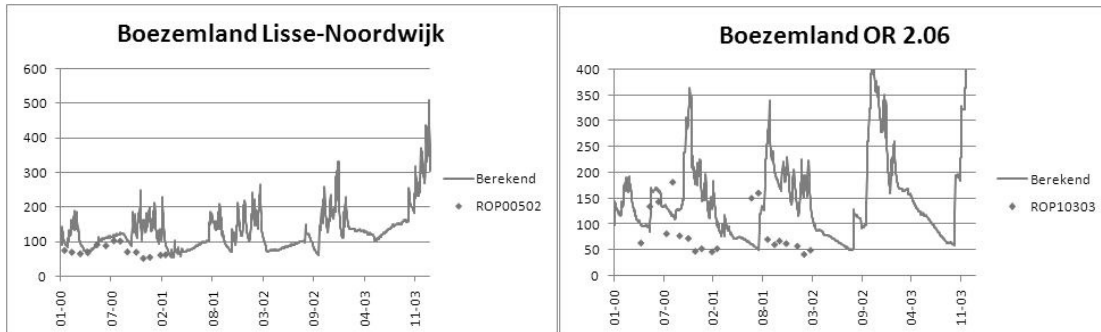


Figuur 5 gesimuleerde chlorideconcentraties (mg/l) voor Polder de Noordplas, vergeleken met meetwaarden

De verhouding tussen de chloridevracht uit kwel en wellen in Polder de Noordplas bleek helaas niet op te gaan voor de overige diepe droogmakerijen, zoals de Driemanspolder, polder Nieuwkoop, Tempel en de noordwestelijke Haarlemmermeer. Omdat voor deze gebieden geen gedetailleerde chloridebalansen beschikbaar waren, hebben we door calibreren deze verhoudingen moeten afleiden, wat uiteraard verre van ideaal is. Nader onderzoek naar de invloed van wellen in de diepe droogmakerijen is daarom sterk aan te bevelen.

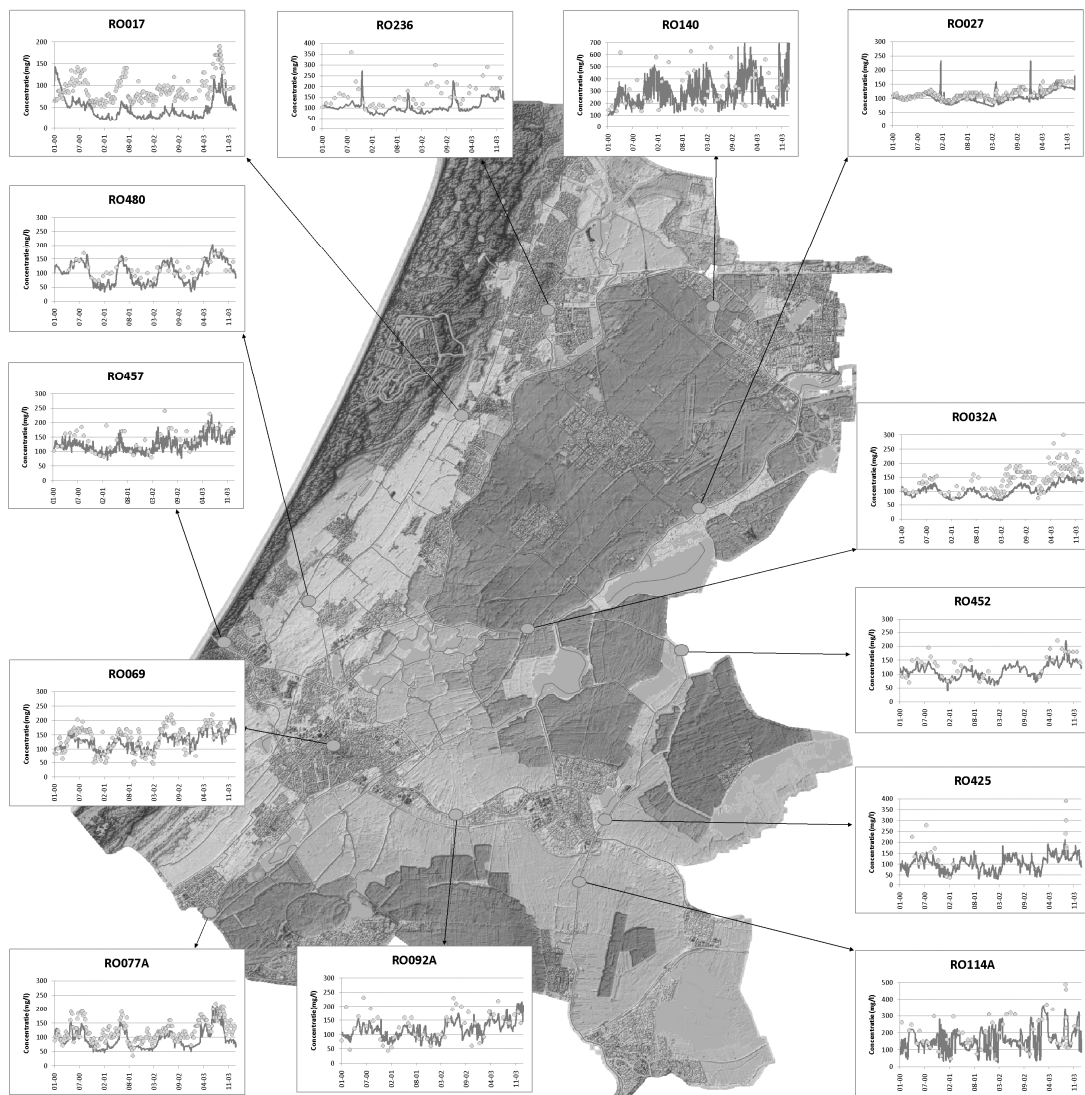
Op de kleipolders, veenpolders en boezemlanden hebben we geen calibratie uitgevoerd. Figuur 6 geeft een indruk van de resultaten voor de verschillende poldersoorten.





Figuur 6 het gesimuleerde (lijnen) versus gemeten (punten) concentratieverloop in verschillende soorten gebieden

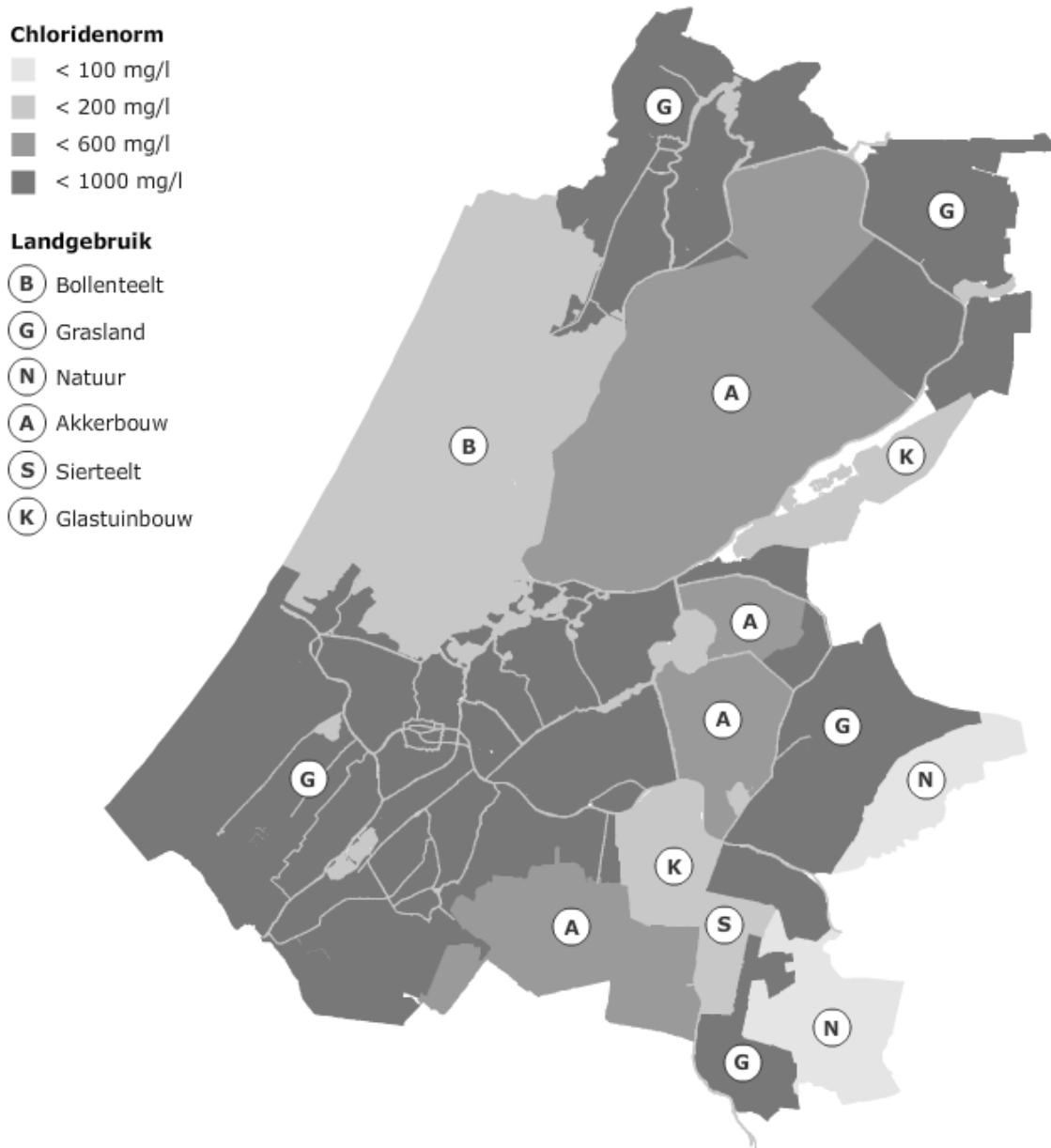
Het berekende concentratieverloop in elk van de polders gebruikten we vervolgens als randvoorwaarde voor het waterkwaliteitsmodel van de boezem. In figuur 7 presenteren we het resultaat.



Figuur 7 Gemeten (punten) en gesimuleerde (lijnen) chlorideconcentraties op de boezem voor de periode van 2000 t/m 2003.

Scenario's

Het ontwikkelde modelinstrumentarium stelde ons in staat om voor verschillende scenario's de chlorideconcentraties toetsen aan de geldende normen. De normen voor polders zijn afkomstig van (Provincie Zuid-Holland 2006), en die voor de boezem uit de Vierde Nota Waterhuishouding (Rijkswaterstaat, 1998). Figuur 8 laat zien wat het overwegende landgebruik en de bijbehorende chloridenorm in verschillende deelgebieden van het beheersgebied is.



Figuur 8 Chloridenormen en het overwegende landgebruik per polder.

Om de effecten van klimaatverandering en voorgenomen ingrepen in beeld te krijgen, onderzochten we de huidige situatie en vier scenario's. Dit doen we door de gemiddelde polder- en boezemconcentraties over de periode van 15 juli 2003 t/m 15 september 2003 te toetsen aan de

eerdergenoemde chloridenormen. 2003 was een droge zomer en kan voor verzilting als een 'worst case' situatie worden beschouwd. 2003 is een droge zomer (1/10 jaar), een situatie die in 2050 wel eens als normaal kan worden beschouwd.

a) Huidige situatie

b) Beleids optie 2050 G+

Dit scenario bestaat uit de huidige situatie, onderworpen aan randvoorwaarden van het jaar 2050 met klimaatscenario G+. Dit betekent dat het systeem te maken krijgt met een grotere waterbehoefte door de klimaatverandering, hogere zoutconcentraties bij het inlaatpunt op de Hollandsche IJssel en hogere chlorideconcentraties van kwel. Het waterbeheer blijft hetzelfde als nu. Er wordt dus zowel ingelaten voor peilhandhaving als doorspoeling.

c) Accepteren verzilting 2050 G+

In dit scenario passen we het waterbeheer aan ten opzichte van het vorige scenario. Om de waterbehoefte te beperken worden de polders en de boezem niet meer doorgespoeld en wordt alleen water ingelaten ten behoeve van peilhandhaving.

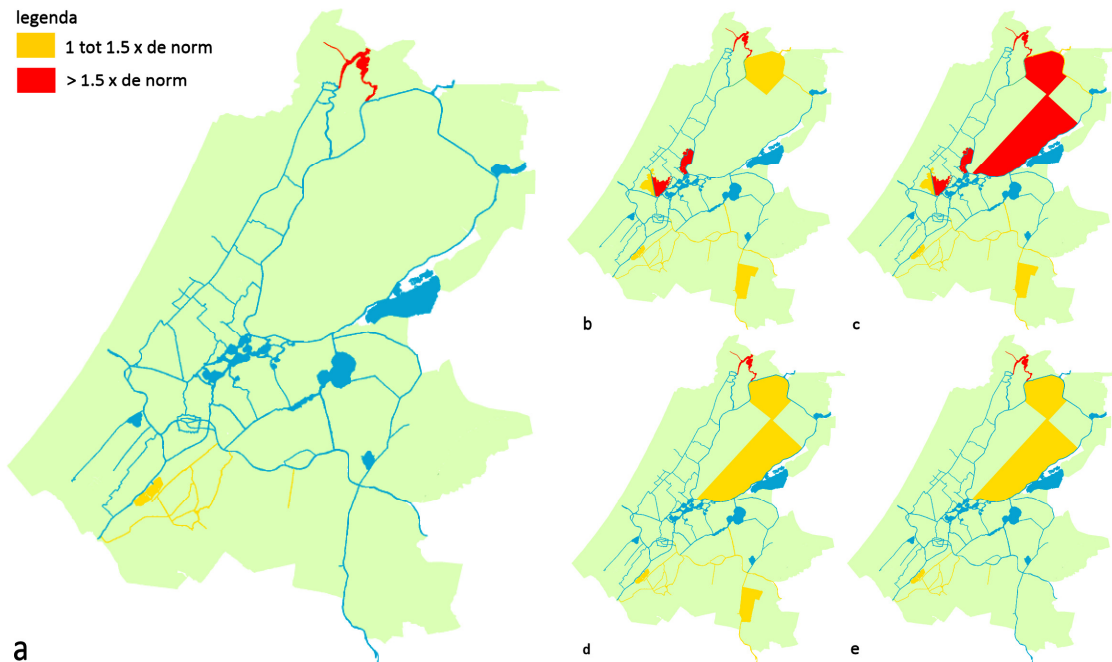
d) Standstill verzilting 2050 G+

Dit scenario bouwt voort op het voorgaande: "accepteren van verzilting". Het voegt daar ingrepen aan toe die verzilting in met name de diepe polders moeten tegengaan. Hierbij valt te denken aan het dichten van wellen (in onderzoek, weldichting Rijnland) en het opzetten van polderpeilen. Aangenomen wordt dat door die maatregelen de huidige aanvoer van chloride uit de ondergrond niet zal toenemen.

e) Zoete aanvoer 2050 G+

Ook dit laatste scenario bouwt voort op het voorgaande, namelijk "standstill verzilting". Hierbij nemen we aan dat er meer zoet water kan worden aangevoerd, en wel via het alternatieve inlaatpunt bij Bodegraven. Voor Rijnland is er dan $7 \text{ m}^3/\text{s}$ beschikbaar. In periodes dat voor peilhandhaving meer water nodig is, laten we het restant alsnog bij Gouda in.

In de huidige situatie voldoet vrijwel het gehele boezemsysteem aan de normen Figuur 9 demonstreert het resultaat van de toetsing voor de huidige situatie en elk van de scenario's.



Figuur 9 Toetsing van de gemiddelde chlorideconcentraties voor de extreem droge nazomer van 2003 aan de norm (a= huidig, b=beleidsoptie, c=accepteren verzilting, d=standstill verzilting, e=zoete aanvoer).

De resultaten geven een duidelijk beeld van de verzilting. In de huidige situatie voldoen alle polders en vrijwel de gehele boezem aan de chloridenormen (figuur 9a). Na toepassing van het klimaatscenario G+ voor 2050 en de bijbehorende zeespiegelstijging en autonome verzilting zien we echter dat enkele gebieden niet langer zullen voldoen (figuur 9b). Het gaat om een akkerbouwgebied in de Haarlemmermeer, de bollenteelt ten noorden van Leiden en de sierteelt nabij Gouda. Als niet langer wordt doorgespoeld, zal het grootste gedeelte van de Haarlemmermeer falen (figuur 9c). De beoogde maatregelen tegen verzilting, zoals peilopzet en wellen dichten kunnen – indien succesvol - op deze termijn de gevolgen van toenemende verzilting verzachten (figuur 9d). Als daar bovenop ook nog zoet water wordt aangevoerd via Bodegraven, kan het resultaat bijna vergelijkbaar zijn met de huidige situatie. Alleen de Haarlemmermeer krijgt te maken met een extra overschrijding van de norm ten opzichte van de huidige situatie (figuur 9e).

Conclusie

Het modelinstrumentarium is goed in staat het concentratieverloop van chloride op de boezem te simuleren. Ook geeft het een gedetailleerd inzicht in de herkomst ervan. Hier moet echter wel de kanttekening worden geplaatst dat het vóórkomen van wellen in de (diepe) kleipolders een moeilijk te kwantificeren bijdrage levert aan de totale zoutvracht. Aanvullend onderzoek naar de bijdrage van wellen is daarom aan te bevelen.

Met de technische koppeling van grondwatermodel tot en met boezemmodel wordt een analyse van stofstromen op zowel polder- als boezemniveau mogelijk. Toekomstscenario's kunnen hiermee eveneens worden doorgerekend.

De toegepaste werkwijze is flexibel en kan snel inzicht geven in de ontwikkeling en de verspreiding van overschrijdingen van – in dit voorbeeld – chloridenormen in het polder-boezemsysteem van Rijnland. Effecten en locaties van maatregelen worden zo snel inzichtelijk (Hoogheemraadschap van Rijnland, 2008). Met verdere verbetering van de koppeling tussen grond- en oppervlaktewater en verfijning van de wijze waarop de polderhydrologie is geschematiseerd, kan het worden gebruikt om beleidsbeslissingen te onderbouwen en toe te lichten.

Kader Emissieplugin

De 'Emissieplugin' is een onafhankelijke applicatie die aansluit op de modelschematisatie van SOBEK. Deze tool leest relevante parameters en hydrologische fluxen in en laat stofvrachten hierop meeliften. De gebruiker kan stofvrachten toekennen aan iedere mogelijke combinatie van bodemsoort en landgebruik. Het programma houdt dan een massabalans van die stof in het grondwater bij, en laat hem met de drainageflux meestromen naar het oppervlaktewater. Hij kan worden gevoed met emissiewaarden uit bijvoorbeeld de Landelijke Emissieregistratie, maar ook met kwelconcentraties. Het programma houdt ook rekening met het effluent van afvalwaterzuiveringen, afstromende water van stedelijk gebied en riooloverstorten. Vrachten die de gebruiker toekent aan onverhard gebied worden allereerst opgevangen in het freatische grondwater. Middels drainage en infiltratie wisselen grond- en oppervlaktewater de stof uit.

De stoffen uit de verschillende bronnen komen uiteindelijk samen in het oppervlaktewater van de polders (openwaterknopen van SOBEK). Daar berekent de Emissieplugin eventuele afbraakprocessen en schrijft het de resulterende concentraties weg als randvoorwaarde voor de waterkwaliteitsmodule van SOBEK.

De Emissieplugin is toegepast in diverse studies, waaronder de Visie op Watervoorziening van Delfland (Siebe Bosch Hydroconsult, 2008) en bij analyses voor de Kaderrichtlijn Water van Rijnland en Delfland.

Kader grondwatermodellering

De softwarecode die gebruikt wordt voor dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming en gekoppeld stoftransport is MOCDENS3D (Oude Essink, 1998, Minnema e.a., 2004, Oude Essink e.a., 2008, Kuijper e.a., 2005). De code is gebaseerd op de volgende twee onderdelen, die volledig geïntegreerd zijn: 1. MODFLOW (McDonald e.a., 1998) aangepast voor dichtheidafhankelijke grondwaterstroming, en 2. MOC3D (Konikow e.a., 1996) voor de verplaatsing van zoet, brak en zout grondwater. Met MOCDENS3D is het mogelijk niet-stationaire stroming van zoet, brak en zout grondwater te modelleren. Voorafgaand aan deze studie is MOCDENS3D toegepast in een flink aantal zoet-zout studies in Nederland, o.a. voor waterschappen, provincies en De Waterdienst. MOCDENS3D heeft dezelfde functionaliteit als SEAWAT.

Het onderhavige 3D model voor dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming en gekoppeld stoftransport beslaat de provincie Zuid-Holland, inclusief het gehele beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Voor iedere gridcel (rekengrid $250 \times 250 \text{ m}^2$) berekent het model een kwel- of infiltratieflux en de bijbehorende chlorideconcentratie als een functie van de tijd.

Literatuur

- Beijk, V. (2008) Klimaatverandering en verzilting. Modelstudie naar de effecten van de KNMI '06 klimaatscenario's op de verzilting van het hoofdwatersysteem in het Noordelijk Deltabekken. Rijkswaterstaat, Dienst Zuid-Holland, mei 2008.
- De Louw, P.G.B., R. Bakkum, Folkerts, H. Van Hardeveld, (2004) Het Effect van waterbeheer op de chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas. Syntheserapport: Definitieve water- en stoffenbalans en effecten van verschillende waterbeheersscenario's. TNO-rapport NITG 04-241-B1213.
- Favier, T., P.G.B. De Louw, R.J. Stuurman (2006) De morfologie en werking van wellen. H2O (20) 40-42.
- Hoogheemraadschap van Rijnland (2006) Pilot Wellen – onderzoeksvoorstel.
- Hoogvliet *et al.* (2008) Koploper Klimaat Werkpakket Watervoorziening, 2008-U-R0434/A, 59p.
- KIWA (2004) Het zout der aarde. Kwantificeren van de huidige en toekomstige (2050) knelpunten verzilting voor Rijnland; onderzoeksrapport in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland Projectnummer 30.4671.015
- Konikow, L.F., D.J. Goode en G.Z. Hornberger (1996), A three-dimensional method-of-characteristics solute-transport model (MOC3D); U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 96-4267, 87 pp.
- Kuijper, M., G.H.P. Oude Essink, R. van Binsbergen en B. Minnema (2005), Kijkje in de toekomst: klimaatveranderingen en verzilting in de provincie Zuid-Holland in beeld gebracht, H2O (8) 33-37.
- McDonald, M.G. en A.W. Harbaugh (1988), A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model; U.S.G.S. Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, 586 pp.
- Minnema, B., B. Kuijper en G.H.P. Oude Essink (2004) Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, 86 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.
- Nelen en Schuurmans. Jaarsimulaties voor Rijnlands boezem 2000-2003. Analyse en upgrade van het polder-boezemmodel, 2005, 52 pp. (opdracht HHRS Rijnland)
- Oude Essink, G.H.P. (1998) Simuleren van 3D dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming: MOCDENS3D. Stromingen 4(1): 5-23.
- Oude Essink, G.H.P., E. van Baaren en M. van Vliet (2008), Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland, Deltares-rapport 2008-U-R0322/A, 60 p.
- Post, V.E.A. (2004). De oorsprong van het brakke en zoute grondwater in het Nederlandse kustgebied, Stromingen 10 (2): 51-61.
- Provincie Zuid-Holland (2006) Beleidsplan Groen, water en milieu.
- Rijkswaterstaat (1998) Vierde Nota Waterhuishouding.

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.

Siebe Bosch Hydroconsult (2008) Visie op Watervoorziening, rapport voor het Hoogheemraadschap van Delfland

Siebe Bosch Hydroconsult (2009) Emissieplugin voor SOBEK; Online gebruikershandleiding, <http://www.learnsobek.com>

Wateren-de Hoog, B. van der, Verzilting en waterbehoefte, nu en in de toekomst. Hoogheemraadschap van Rijnland (2008)

Auteurs:

S. Bosch
Siebe Bosch Hydroconsult
Lulofsstraat 55, Unit 47
2521 AL 's-Gravenhage
+31(0)617682689
Hydroconsult@siebebosch.nl

B. van der Wateren-de Hoog
Hoogheemraadschap van Rijnland
Archimedesweg 1
2333 CM Leiden
+31(0)713063375
Birgitta.Wateren@rijnland.net

G.H.P. Oude Essink
Deltares
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
+31(0)303564761
gualbert.oudeessink@tno.nl

P.G.B. de Louw
Deltares
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
+31(0)303564761
perry.delouw@tno.nl