



Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland

Onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0

Alterra-rapport 2439
ISSN 1566-7197

L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J. Delsman, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, M.P.C.P. Paulissen,
G.H.P. Oude Essink, M. Hoogvliet en P.N.M. Schipper

Zoetwatervoorziening in het
Hoogheemraadschap van Rijnland

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Hoogheemraadschap Rijnland en ondersteund vanuit kennisbasis (KB 14 Leven met Zout), KB-14-005-020

Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland

Onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0

L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J. Delsman, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, M.P.C.P. Paulissen, G.H.P. Oude Essink, M. Hoogvliet en P.N.M. Schipper

Alterra-rapport 2439

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013



Hoogheemraadschap van
Rijnland

Referaat

L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J. Delsman, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, M.P.C.P. Paulissen, G.H.P. Oude Essink, M. Hoogvliet en P.N.M. Schipper, 2013. *Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap Rijnland; onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0*. 2013. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2439. 90 blz.; 18 fig.; 13 tab.; 60 ref.

Het veiligstellen van de toekomstige zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland kan in beginsel op verschillende manieren worden geeffectueerd. Elke maatregel die hiertoe wordt overwogen beïnvloedt het chloridegehalte van het polderwater en daarmee de kwaliteit van het beregeningswater voor de landbouw en de ecologische kwaliteit. Een aanzienlijke reeks maatregelen is geëvalueerd met behulp van €ureyeopener 1.0, een in MS Excel ontwikkeld analyse-instrument, bedoeld voor interactief gebruik. De handelingsruimte die beschikbaar is om anders om te gaan met zoet water zijn geanalyseerd en in beeld gebracht, uitgedrukt in effect op de watervraag (m³), zoutschade aan landbouwgewassen (€) en effecten op de natuur (kwalitatief).

Trefwoorden: regionaal waterbeheer, verzilting, zoetwaterbeheer, zoutschade, landbouw, natuur, beslissingsondersteunend systeem, €ureyeopener 1.0

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2439
Wageningen, juli 2013

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Probleemstelling	9
1.2 Doelstelling en kennisvragen	9
1.3 Toepasbaarheid van resultaten in Deltaprogramma	11
1.4 Algemene beschrijving €ureyeopener 1.0	11
1.5 Leeswijzer	12
2 Module zoutschade landbouwgewassen	13
2.1 Relatie chloridegehalte in het beregeningswater en in de wortelzone	13
2.2 Van vier naar zes gevoeligheidsklassen	21
2.3 Toekenning zoutgevoeligheid aan landgebruikscategorieën	22
2.4 Thematische kaarten	24
2.5 Aandachtspunten	26
3 Module doorspoelen	29
3.1 Rekenschema	29
3.2 Berekening doorspoelbehoefte verzoeting	30
4 Module zoutschade aan natuur	33
4.1 Zoutschade aan natuur	33
4.1.1 Natura 2000-gebieden	33
4.1.2 KRW-normen; achtergrond KRW zoutnormering en ecologische kwaliteit	35
4.2 Vertaling naar euro's	37
5 Resultaten van modelanalyses	39
5.1 Geanalyseerde maatregelen	39
5.2 Zoutschade aan de landbouw en natuur	40
5.2.1 De referentiesituatie	41
5.2.2 Maatregel 1: In alle gebieden oppervlaktewater met hoger zoutgehalte toestaan	42
5.2.3 Maatregel 2: Water met hoger chloridegehalte inlaten bij Gouda	43
5.2.4 Maatregel 3: Boskoop wordt zelfvoorzienend	44
5.2.5 Maatregel 4: Dichten van wellen	45
5.2.6 Maatregel 5: Peilopzet in oppervlaktewater tegen brakke kwel	46
5.2.7 Maatregel 6: Verandering van landgebruik in de Bollenstreek	46
5.2.8 Maatregel 7: Zoetwateraanvoer sturen op behoefte: locatie, tijd, kwaliteit	46
5.2.9 Effecten van de besproken maatregelen samengevat	47
6 Conclusies en aanbevelingen	51
6.1 Conclusies	51
6.2 Aanbevelingen	52
Literatuuropgave	53

Bijlage 1	Informatie over bepaling van het zoutgehalte van bodemwater	57
Bijlage 2	Relaties tussen chlorideconcentratie in beregeningswater en gewasverdamping voor met model SWAP doorgerekende combinaties van bodems en gewassen	61
Bijlage 3	Voorbeeldberekening zoutschade in de landbouw	69
Bijlage 4	Zoutschade in de landbouw (% droge stof) gerelateerd aan de chlorideconcentratie van beregeningswater (kaarten)	73
Bijlage 5	Beheertypen en geschatte zoutgevoeligheid	89

Samenvatting

De zoetwatervoorziening van het Hoogheemraadschap van Rijnland staat incidenteel onder druk. De verwachte effecten van klimaatverandering, maaiveld daling en zeespiegelstijging op het (beheer van het) watersysteem maken dat het moeilijker wordt om onder alle omstandigheden te blijven voldoen aan de door gebruikers (landbouw en natuur) en het beleid (o.a. Kaderrichtlijn) gestelde eisen aan de waterkwaliteit. In het Deltaprogramma worden strategieën uitgewerkt om de huidige en toekomstige zoetwatervoorziening veilig te stellen. Dit onderzoek wil daaraan bijdragen door de perspectieven in beeld te brengen van het anders omgaan met zoet water in het beheersgebied van dit Hoogheemraadschap.

Voor het verkennen van de beschikbare 'handelingsruimte zoet water' is het noodzakelijk om inzicht te hebben in de mogelijke beperkingen rond de aanvoer van zoet oppervlaktewater en het chloridegehalte hiervan, en deze informatie te vertalen in (zout)schade aan landbouw en natuur. Hiertoe is in Excel een rekeninstrument ontwikkeld, '€ureyeopener 1.0' genaamd, voor het beheersgebied van Rijnland. In dit instrument is het boezempoldersysteem geschematiseerd, met behulp van kennistabellen die zijn ontleend aan resultaten geboekt met simulatiemodellen NHI, SWAP en Agricom, waar nodig aangevuld met expertkennis en geijkt op in de praktijk geregistreerde inlaathoeveelheden. Uitgaande van de bestaande- of referentiesituatie neemt de gebruiker een maatregel. Er zijn vele opties: streefwaarden en chloridegehalten van het (inlaat)water van boezemsegmenten en/of polders kunnen worden aangepast, polders kunnen worden afgekoppeld van zoetwateraanvoer, de route van ingelaten oppervlaktewater kan worden gewijzigd etc.

Het systeem voor aanvoer van zoet water in het Hoogheemraadschap van Rijnland is transparant. Alle polders zijn op de boezem 'aangesloten', en overtollig water wordt op de boezem geloosd. Binnen het beheersgebied van Rijnland komen verschillende typen bodems (klei, veen en zand) voor, en is sprake van een breed scala aan teelten. De chlorideconcentratie van het polderwater bepaalt de kwaliteit van het beregeningswater en daarmee de zoutschade aan de landbouw. Om schade in euro's te kunnen vertalen is per gewas een geldelijke opbrengst vastgesteld. Zoutschade, toegebracht aan bodem-gewas combinaties zijn afgeleid uit zoutschaderelaties die door tuinders, telers en agrariërs in Rijnland worden gebruikt, aangevuld met relaties beschreven in de wetenschappelijke literatuur. Voor een beperkt aantal landbouwgewassen is deze opbrengstderving berekend met model SWAP. Als referentiejaar is het jaar 1989, een '10% droog jaar', genomen.

Het chloridegehalte van het oppervlaktewater wordt getoetst aan KRW-normen. Kennis van het risico van zoutbelasting voor natuur (blootstellingskans \times effect) is in €ureyeopener 1.0 nog slechts beperkt opgenomen. In €ureyeopener 1.0 wordt onderscheid gemaakt in de zoutgevoeligheid van aquatische- en oeverbeheertypen. Het areaal aquatische- en oevernatuur binnen Natura 2000-gebieden in Rijnland is beperkt. Zoutschade aan aquatische- en oevernatuur wordt niet verdisconteerd; wel zijn voor deze natuurtypen indicatorwaarden voor chloride vastgesteld, waarop €ureyeopener 1.0 toetst.

Uit deze eerste verkenningen blijkt dat er, wat betreft het operationele zoetwaterbeheer, in Rijnland sprake is van handelingsruimte: er zijn opties om incidenteel/structureel andere keuzes te maken. Ook is vastgesteld dat de ligging van een polder in de wateraanvoerketen ten opzichte van de zoetwaterinlaat bij Gouda in hoge mate bepaalt hoe de water- en chloridebalans op (elders getroffen) maatregelen reageert.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Het grondgebruik in Nederlandse kustregio's wordt in toenemende mate geconfronteerd met verzilting. Over de urgentie en prognose van dit probleem bestaat structureel onduidelijkheid. Er is een toenemende discussie over de zoetwaternormering. Uit recent onderzoek van Alterra onder twaalf waterschappen¹ blijkt dat deze vaak verschillende ideeën hebben over de waterkwaliteit die nodig is voor een bepaalde vorm van landgebruik. Het zoutgehalte van het oppervlaktewater dat waterschappen in verziltingsgevoelige gebieden nog acceptabel vinden blijkt sterk regiogebonden. Deels komt dit omdat er nog te weinig bekend is over de zoutgevoeligheid van verschillende gebruiksfuncties onder de Nederlandse klimaat- en bodemomstandigheden. Er wordt geregeld te werk gegaan volgens ongeschreven beheersregels. Daarnaast is er weinig bekend over het functioneren van het totale watersysteem ten aanzien van zoet water.

De verscheidenheid waarmee regionale waterbeheerders en gebruikers omgaan met de watervoorziening in relatie tot verzilting is van invloed op de nationale zoetwatervoorziening waarvoor binnen het Deltaprogramma strategieën worden uitgewerkt. Er is behoefte aan een nadere precisering van de werkelijke urgentie en het handelingsperspectief. Rijkswaterstaat Waterdienst heeft daarom op verzoek van het Deelprogramma Zoetwater opdracht gegeven aan Alterra, de Bakelse Stroom en Deltares om de kansrijkheid van anders omgaan met zout water (verziltingsmanagement) te analyseren en in beeld te brengen.

1.2 Doelstelling en kennisvragen

Doel is het analyseren en in beeld brengen van de kansrijkheid van anders omgaan met verzilting in tijden van waterschaarste. Het draait om de vraag of het benutten van een 'Handelingsruimte Zout' een substantiële bijdrage ('meer dan een druppel op de gloeiende plaat') kan leveren aan het verkleinen van de zoetwaterproblematiek.

Gezien de complexiteit van de problematiek is de aandacht in eerste instantie gericht op één regio, te weten Midden-West Nederland, en in het bijzonder het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Rijnland is mede gekozen omdat er bij opdrachtnemers Alterra, 'De Bakelse Stroom' en Deltares veel gegevens en kennis aanwezig is over de werking van het systeem.

Ver beneden de bodem van Rijnland is de geschiedenis van overstromingen vanuit zee terug te lezen in het zoute grondwater. Grondwater wordt van hoger gelegen gebieden, zoals duinen en plassen, naar de lager gelegen polders gestuwd. Het grondwater komt in deze polders als kwel naar boven. Het bovenste, zoete grondwater stroomt als eerste naar boven. Daarna zijn de diepere grondwaterlagen aan de beurt. Die zijn over het algemeen zout, als gevolg van vroegere overstromingen. Het kwelwater zal daardoor in de toekomst steeds zouter worden.

¹ Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel en H.T.L. Massop, 2011. Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Rapport 2200, Alterra, Wageningen.

Desondanks brengt de rijke en gevarieerde bodem van Rijnland zo'n vier miljard euro per jaar op. De omgeving van Boskoop is het centrum van de Nederlandse sierteelt. Uitgestrekte kassengebieden rond Aalsmeer leveren een scala aan groenten en bloemen. Op de zandgronden achter de duinen groeien de bollen waar Nederland wereldberoemd om is. Boskoop, Aalsmeer en de Bollenstreek behoren tot de belangrijkste *greenports* van ons land. Akkerbouw, zoals aardappel, maïs- en graanteelt, doet het uitstekend op de kleigrond van polders en droogmakerijen. Naast deze economische functies herbergt Rijnland zeldzame natuurgebieden, zoals de Nieuwkoopse Plassen en de Reeuwijkse Plassen. Juist de lucratieve teelten en unieke natuurgebieden zijn kwetsbaar. Vooral bollen, bomen en bloemen kunnen slecht tegen zout water. Aardappelen zijn er beter tegen bestand, maar uitgerekend deze akkers liggen in de diepe polders waar de verzilting hard toeslaat. Ook de bijzondere planten en dieren in natuurgebieden zijn afhankelijk van zoet water. Een deel van Rijnland bestaat uit veenbodems. Deze bodems klinken langzaam in. De bodemdaling is te vertragen door het waterpeil te verhogen. Daar is zoet water voor nodig. Zout water lijkt de bodemdaling te versterken.

Verzilting is niet alleen een Rijnlands probleem. Een groot deel van Nederland heeft ermee te maken. Op veel plaatsen langs de kust neemt de zoute kwel toe, zeker in de diepe droogmakerijen. Daarnaast kruipt het zoute zeewater steeds verder de rivieren op om zich daar te vermengen met het zoete water.

Daarnaast blijkt dat verziltingsgevoelig landgebruik juist in kwetsbare gebieden plaatsvindt. Vooral in de diepe polders nemen de zoutgehalten toe. Langs de duinen blijft de verzilting beperkt in vergelijking met de diepe polders. Toch kan de schade ook hier aanzienlijk zijn, omdat bollenteelt gevoelig is voor zout. Zoet rivierwater speelt nu nog een centrale rol in het waterbeheer: we gebruiken het in grote hoeveelheden om de waterstanden op peil te houden en de zoute kwel weg te spoelen. Als de rivieren in de toekomst verder verzilten, is het huidige waterbeheer niet meer te combineren met kwetsbare teelten.

Het waterbeheer is sinds jaar en dag berekend op deze omstandigheden. Met een uitgekiend systeem van inlaten en uitlaten wordt het kwelwater weggespoeld met zoet rivierwater. Via het gemaal bij Gouda laat Rijnland zoet water uit de Hollandse IJssel het beheergebied in stromen. Op drie plaatsen wordt overtollig water het gebied weer uitgemalen. De inlaat vindt plaats in de zomer. In die periode gebruiken de gewassen veel water en is de verdamping groot, terwijl er juist weinig neerslag valt. In een gemiddelde zomer laat Rijnland 40 tot 60 miljoen kubieke meter rivierwater in. Ongeveer de helft daarvan is nodig om de waterstanden op peil te houden, de andere helft om het zoute kwelwater weg te spoelen. In een jaar tijd spoelt gemiddeld 180 kiloton zout het gebied uit.

In droge zomers stroomt weinig water door de rivieren. Het zoute zeewater kan dan ver landinwaarts reiken waardoor het rivierwater verzilt. Als het zoutgehalte in de rivier hoger wordt dan 250 milligram per liter, wordt de inlaat bij Gouda zo mogelijk gestaakt om schade aan gewassen te voorkomen. Maar juist in een extreem droge zomer moet Rijnland veel water inlaten om de dijken stabiel te houden: zo'n 85 miljoen kubieke meter. In deze bijzondere omstandigheden kan Rijnland bij Bodegraven een beperkte hoeveelheid zoet water inlaten. Als dat niet genoeg is, moet Rijnland desnoods toch het zoutere water uit de Hollandse IJssel inlaten. Dat was bijvoorbeeld het geval in de droge zomer van 2003. Tot nu toe komt een droogte zoals in 2003 ongeveer eens in de tien jaar voor.

De toekomst brengt meer zout. De kwelstroom wordt zouter en door klimaatverandering verzilten ook de rivieren. Daar is het huidige waterbeheer niet tegen bestand. Rond 2025 vormt het zout een directe bedreiging

voor de kwetsbare teelten en bijzondere natuur. Oplossingen zijn denkbaar, maar vragen veel tijd. In het deelprogramma zoetwater wordt dit uitgewerkt.²

Het projectteam heeft stapsgewijs, in enkele werksessies, de volgende kennisvragen behandeld:

- welke mogelijkheden zijn er om anders om te gaan met verzilting, bijvoorbeeld de mogelijkheden om bij Gouda water met een hoger chloridegehalte in te laten?
- welke bijdrage leveren die mogelijkheden aan het oplossen van de zoetwaterproblematiek?
 - wat is de hydrologische effectiviteit van de maatregelen (m^3 en zoutgehalte)?
 - hoe beïnvloedt de maatregel eventuele zoutschade aan landbouw (€) en natuur (kwalitatief)?

Een voorgestelde maatregel is in beginsel aantrekkelijk als er in tijden van zoetwaterschaarste sprake is van verwaarloosbare/beperkte/aanvaardbare effecten op landbouw en natuur, terwijl

- (i) de doorspoelbehoefte wordt verminderd,
- (ii) de streefwaarden voor chloride in aangevoerd oppervlaktewater worden verhoogd,
- (iii) de kosten om de maatregel te realiseren in verhouding staan met de baten³.

1.3 Toepasbaarheid van resultaten in Deltaprogramma

De resultaten moeten bijdragen aan de overkoepelende evaluatie van maatregelen door het Deelprogramma Zoetwater, fase 2. Dat betekent dat de resultaten bruikbaar moeten zijn bij het invullen van de informatiebehoefte voor de Blokkendoos DPZW. Deze wordt als volgt samengevat.

- Welke mogelijkheden zijn er om de doorspoelbehoefte te verminderen en wat is de mate van vermindering (in m^3/s of %) per mogelijkheid (hoeveel levert een maatregel op, en waar levert een maatregel iets op)?
- Welke mogelijkheden zijn er om de chloridenorm bij de inlaat Gouda te verhogen? Waar is sprake van extra zoutschade en hoe groot is deze? Kunnen schades worden voorkomen door bepaalde delen van het systeem van de zoetwatervoorziening los te koppelen?
- Als de chloridenorm bij inlaat Gouda en/of bij bepaalde functies zonder al te nadelige effecten en/of in combinatie met andere ingrepen kan worden verhoogd zijn dure maatregelen in het hoofdwatersysteem misschien niet nodig. De kosten om nadelige effecten lokaal op te lossen kunnen worden vergeleken met de kosten die moeten worden gemaakt om delen van het systeem los te koppelen (en dus op een andere manier van zoet water te voorzien), of door hogere zoutschade te accepteren.
- De resultaten moeten bij voorkeur opgeschaald kunnen worden naar geheel Laag Nederland.

1.4 Algemene beschrijving €ureyeopener 1.0

Om de analyse te structureren en systematisch te kunnen werken is, voor het beheersgebied van Rijnland, in Excel het rekeninstrument '€ureyeopener' ontwikkeld⁴. Het oppervlaktewatersysteem van Rijnland wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van talrijke polders die (nagenoeg) allemaal afzonderlijk het overtollige

² Deze informatie over het Hoogheemraadschap van Rijnland is gebaseerd op publicatie 'Zoet en Zout, Verzilting in Rijnland' (2009). Birgitta van de Wateren (Rijnland), persoonlijke mededeling.

³ De kosten van maatregelen zijn (vooralsnog) niet gekwantificeerd.

³ Stuyt, L.C.P.M., 2012. Kansrijkdom van anders omgaan met zout. Een druppel op de gloeiende plaat, of niet? Memo 27 blz.

⁴ Inmiddels is een vervolgvorsie ontwikkeld voor de regio 'Zuidwestelijke delta en Rijnmond-Drechtsteden'. Deze vervolgvorsie, €ureyeopener V2, is een generiek toepasbaar 'metamodelplatform', geprogrammeerd in Microsoft Excel.

water lozen op de boezem. Zoet water wordt ingelaten bij Gouda. Via de boezem komt dit inlaatwater terecht in de oppervlaktewateren van de polders. €ureyeopener 1.0 combineert relaties tussen:

- het volume inlaatwater met bijbehorend zoutgehalte en het resulterende zoutgehalte van de polderwateren, gegeven de hoofdstructuur van de boezems en polders van Rijnland. Hierna aangeduid als de 'module doorspoelen';
- de chlorideconcentraties van polderwateren en zoutschade aan landbouwgewassen als hiermee wordt berekend, hierna aangeduid als de 'module zoutschade landbouwgewassen';
- de chlorideconcentraties van polderwateren en zoutschade aan natuur: 'module zoutschade natuur'.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de methodiek van het ontwikkelde modelinstrument '€ureyeopener 1.0' zoals toegepast voor het beheersgebied van Rijnland, en de resultaten van de uitgevoerde analyses. In een eerder stadium werd hierover al een ongepubliceerde memo¹ opgesteld. De methodiek wordt behandeld in hoofdstuk 2 (module zoutschade landbouwgewassen), hoofdstuk 3 (module doorspoelen) en hoofdstuk 4 (zoutschade aan natuur). Resultaten van rekenscenario's zijn samengevat in hoofdstuk 5. Dit rapport wordt afgesloten met vijf bijlagen.

2 Module zoutschade landbouwgewassen

2.1 Relatie chloridegehalte in het beregeningswater en in de wortelzone

Voor de analyse van de resultaten van de Zoetwaterverkenning is het van belang inzicht te hebben in zoutschade in de landbouw. Zoutschade kan ontstaan als wordt beregend met te zout water en/of als zout grondwater via capillaire opstijging naar de wortelzone wordt getransporteerd (Stuyt et al., 2006). Zout in de wortelzone van landbouwgewassen (en natuur) verhoogt de osmotische potentiaal waardoor wateropname door de wortels kan worden geremd, met verdampingsreductie en opbrengstderving tot gevolg. Ook kan beregening met zout water bladverbranding en structuurschade aan de bodem veroorzaken. De chlorideconcentratie in het oppervlaktewater is voor waterbeheerders van oudsher bepalend voor het doorspoelbeheer en een essentiële variabele om in beeld te brengen, omdat de chlorideconcentratie in het beregeningswater gelijk is aan die in het oppervlaktewater, als hieruit wordt beregend.

Voor het regionale waterbeheer in zoutgevoelige regio's is de volgende kennisvraag van belang: *Wat is het effect van de zoutconcentratie van door het waterschap aangevoerd beregeningswater op de zoutschade aan landbouwgewassen?*

Bovenstaande vraag wordt in twee deelvragen ontleed.

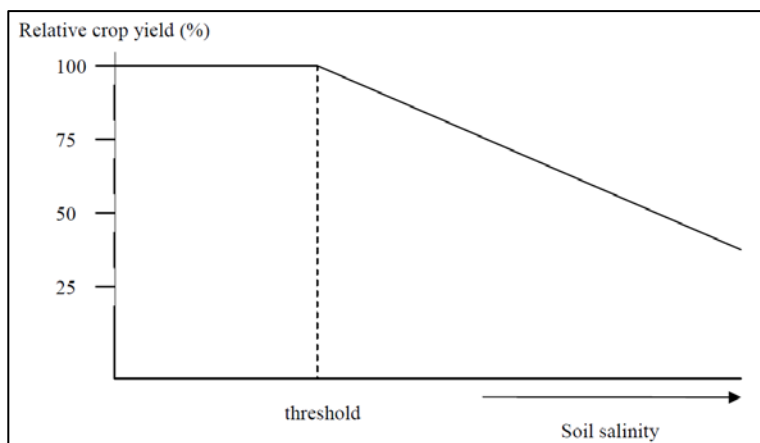
In analyses door Alterra rond de bepaling van de zoutschade aan landbouwgewassen wordt - ook in het kader van dit project - voortgeborduurd op werk van Maas en Hoffman (1977). Deze onderzoekers koppelden de zouttolerantie van gewassen destijds aan het elektrisch geleidingsvermogen EGV (identiek aan Electric Conductivity of EC) dat zij registreerden aan bodemonsters van de desbetreffende wortelzones.

Aandachtspunt hierbij is, dat de door hen in het laboratorium gemeten EC's gerelateerd zijn aan zoutgehalten in de wortelzone, maar hieraan getalsmatig niet gelijk. De eerste deelvraag luidt daarom: *hoe moeten de door Maas en Hoffman (1977) gerapporteerde, aan EC gekoppelde zouttoleranties van landbouwgewassen worden geïnterpreteerd?* Deze vraag wordt hieronder uitgewerkt in 'Stap 1'.

De tweede deelvraag luidt: *wat is de relatie tussen de zoutconcentratie van toegediend beregeningswater en de zoutconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone?* Deze vraag wordt uitgewerkt in 'Stap 2'.

Stap 1. *Interpretatie en toepassing van in de literatuur gerapporteerde zouttoleranties van landbouwgewassen.*

In wetenschappelijke literatuur rond de geïrrigeerde landbouw in (semi-)aride gebieden wordt een relatie gelegd tussen de relatieve zoutconcentratie van de grond in de wortelzone en de opbrengstreductie van landbouwgewassen. Hieruit resulterende *zoutschadefuncties*, voorgesteld door Maas en Hoffman (1977), worden gedefinieerd door een zoutshadedrempel, zijnde de maximum zoutconcentratie die een gewas zonder schade verdraagt, en een helling die de afname van de gewasopbrengst beschrijft, bij toenemende zoutconcentratie; zie Figuur 1.

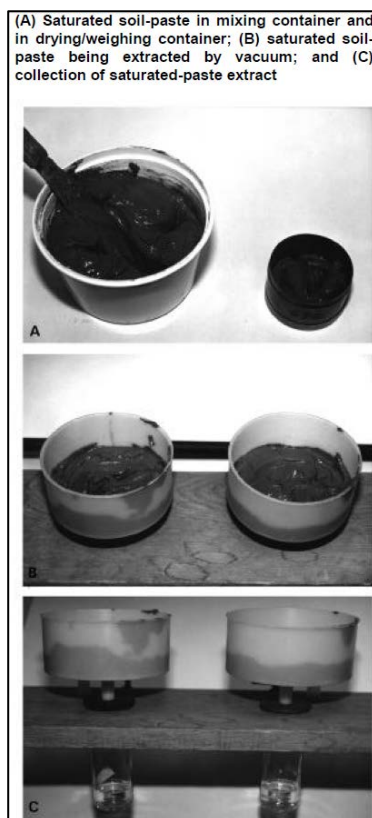


Figuur 1

Zoutschadefunctie van landbouwgewassen volgens Maas en Hoffman (1977). Bron: Kroes et al., 2009.

De concentraties van de verschillende zouten in het bodemvocht rond de wortelzone zijn in principe het meest representatief om deze relatie vast te stellen. Dit is immers het water dat door de plant wordt opgenomen. Het is echter in de praktijk lastig en kostbaar om bodemvocht te extraheren voor chemische analyse onder veldcondities, omdat de vochtgehalten in de onverzadigde zone in de regel laag zijn. Bovendien moet voor de interpretatie de verhouding tussen water en bodem ten tijde van deze extractie worden gestandaardiseerd, want de zoutconcentraties in het bodemvocht worden door deze verhouding sterk beïnvloed.

Het zoutgehalte in de bodem wordt daarom gewoonlijk bepaald volgens een gestandaardiseerde procedure die aan deze bezwaren tegemoet komt (Rhoades, 1999). In het laboratorium wordt gedemineraliseerd water aan een aan lucht gedroogd bodemmonster toegevoegd totdat na enkele uren een geroerde, volledig met water verzadigde pasta ontstaat. Deze wordt aangeduid als 'saturated soil-paste'. Hieraan wordt een watermonster, 'saturated paste extract' genoemd, onttrokken ter bepaling van de geleidbaarheid, chemische samenstelling (kat- en anionen), pH en andere kenmerken. Foto's van deze procedure zijn weergegeven in Figuur 2. Het volume water in de 'saturated soil-paste' is door de verzadiging met gedemineraliseerd water beduidend hoger dan onder veldcapaciteit⁵. De water/bodem verhouding van een 'saturated soil-paste' is afhankelijk van de textuur van de bodem, en in het algemeen goed te relateren aan het vochtgehalte onder veldcondities.

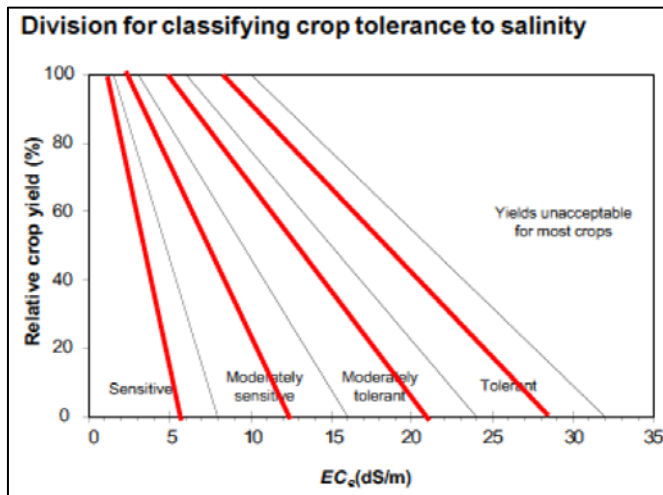


Figuur 2

Illustraties 'saturated soil-paste' om zoutgehalten van bodems te bepalen; bron: Rhoades et al., 1999

⁵ Het watergehalte dat in de bovenlaag van de grond wordt aangetroffen, na een natte periode gevolgd door een periode van uitzakking (duur: enige tot meerdere dagen). De zuigspanning ligt bij veldcapaciteit meestal tussen 200 en 500 hPa ($pF = 2,3 - 2,7$), afhankelijk van de grondwaterstandsdiepte. Wegens deze afhankelijkheid kan de veldcapaciteit geen constante zijn voor de desbetreffende grondsoort. Bron: Hydrologische Woordenlijst, NHV, 2002.

Omdat het elektrisch geleidingsvermogen EGV een gemakkelijk te meten parameter is, worden in de meeste internationaal gepubliceerde experimenten zoutgehalten van bodems daarom uitgedrukt in het EGV van een 'saturated paste extract' van deze bodems (Rhoades et al., 1999; Maas en Hoffmann, 1977). Voorbeelden van generieke 'Maas en Hoffman' zoutschadefuncties zijn gegeven in Figuur 3. Deze relaties vormen de basis van het in €ureyopener 1.0 gebruikte protocol om zoutschade bij beregening van landbouwgewassen te kwantificeren.



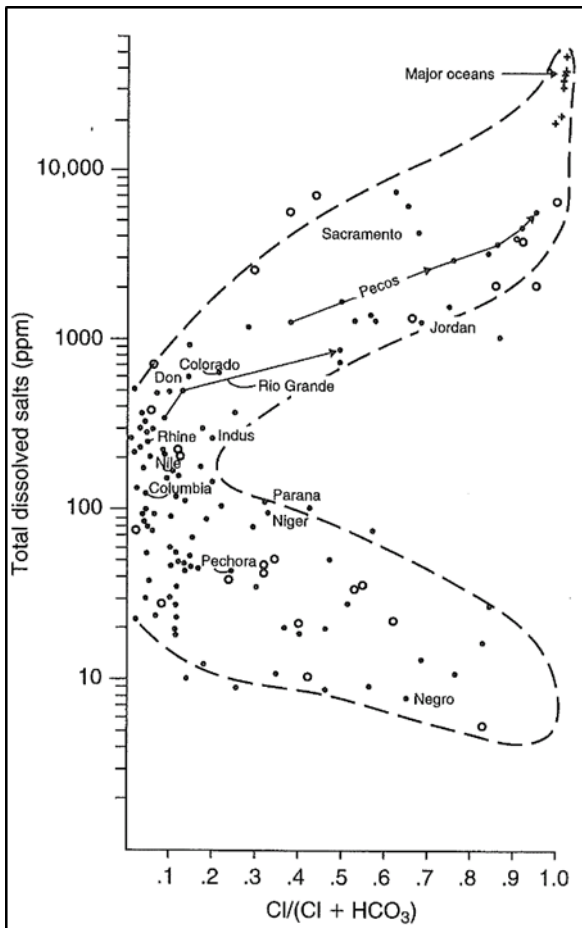
Figuur 3

Relaties tussen de opbrengstreductie van landbouwgewassen en het elektrisch geleidingsvermogen EC van de vloeistof die uit de 'saturated soil-paste' werd onttrokken, volgens Maas en Hoffman (1977) Bron: Van Bakel en Stuyt, 2011

In het NHL - en dus ook in €ureyopener - wordt in regionale wateren niet met EGV's maar met chloridegehalten gerekend. Deze worden representatief geacht voor het water waarmee in de landbouw wordt beregend. Om de zoutschadefuncties van Maas en Hoffman toe te kunnen passen is het dus nodig om chlorideconcentraties te vertalen naar bijbehorende EGV's. Het EGV van water is gecorreleerd met de totale hoeveelheid aan geladen ionen in een oplossing. Als de temperatuur, pH en de belangrijke kationen en anionen van een watermonster bepaald zijn, kan het EGV worden berekend. In zoete tot vrij brakke wateren zijn de simpele relaties $EGV (\mu S/cm) \approx 100 \times \Sigma \text{ kationen (meq/l)}$, en $EGV (\mu S/cm) \approx 100 \times \Sigma \text{ anionen (meq/l)}$ adequaat. Voor nauwkeuriger berekeningen die ook bij hogere zoutgehalten geldig zijn moeten echter complexere relaties worden gebruikt.

Met deze relaties is echter nog geen verband gelegd tussen het EGV en het chloridegehalte. Als de zouten in het water hoofdzakelijk bestaan uit natrium en chloride, zoals bij regenwater en zeewater doorgaans het geval is, kan het verband tussen chloride en EGV goed worden gelegd. Figuur 4 illustreert dat in zeewater en in regenwater gevoede wateren (in feite verdund zeewater) chloride het belangrijkste anion is. In grondwater, rivieren en meren zijn echter ook andere zouten in oplossing. Dit komt door interacties tussen water en sediment, zoals het oplossen van kalk, mineralisatie van organisch materiaal of uitwisseling van kationen met kleimineralen, en door antropogene invloeden als lozing van afvalwater en toepassing van mest en kalk op landbouwgronden. Het EGV wordt dan ook deels bepaald door anionen als carbonaat (HCO_3^- ; zie Figuur 4), sulfaat en nitraat, en door kationen als calcium, magnesium en kalium⁶.

⁶ Vaak worden hydrochemische modellen zoals PHREEQC gebruikt die op basis van thermodynamische databases vanuit de gemeten oplossingen de speciaties van de opgeloste stoffen berekenen en het bijbehorende elektrisch geleidingsvermogen EGV (Appelo en Postma, 2005).



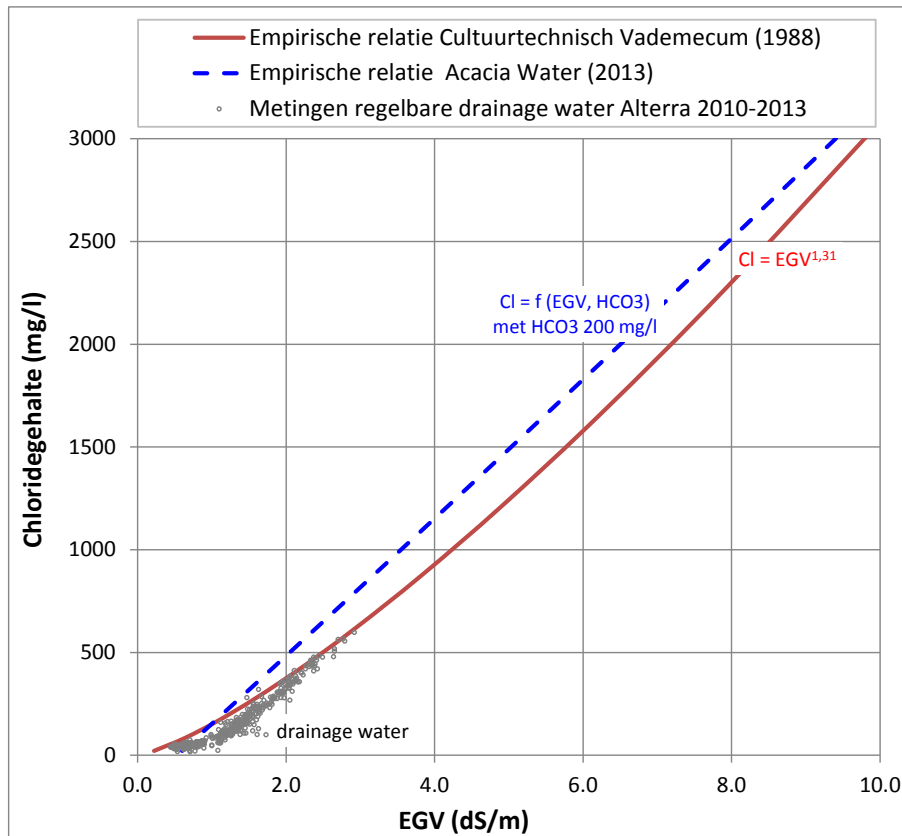
Figuur 4

Chemie van oppervlaktewater, uitgedrukt als de concentratie van opgeloste zouten, 'TDS' (ppm), als functie van de verhouding tussen Cl^- en HCO_3^- . Bij lage zoutconcentraties wordt oppervlaktewater vooral gevoed met regenrijk (grond)water zonder veel geochemische interactie; chloride domineert (rechtsonder). Naarmate oppervlaktewater meer door grondwater wordt gevoed stijgt de concentratie aan opgeloste zouten en daarmee het aandeel HCO_3^- , door oplossing van kalk en andere mineralen (midden, links). Door indamping nemen de concentraties verder toe, maar verdwijnt HCO_3^- door kalkneerslag, en verschuift de verhouding tussen Cl^- en HCO_3^- naar zeewater waarin chloride domineert (rechtsboven). Bron: Appelo (2005).

Als alleen het EGV van water bekend is, kan het chloridegehalte als volgt worden geschat (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988): $\text{Cl} \text{ (mg/l)} = 151 \times \text{EGV}^{1.31}$. Het elektrisch geleidingsvermogen EGV wordt ofwel uitgedrukt in milliSiemens per cm (mS/cm), ofwel in deciSiemens per meter (dS/m). Deze twee 'dimensies' zijn uitwisselbaar; de getalswaarde is hetzelfde. Deze relatie is weergegeven in Figuur 5 en geldig voor $\text{EGV} < 10$ dS/m. In het door KWR ontwikkelde (spreadsheet)model HGC 2.1, dat gebruikt wordt bij opslag, controle en typering van chemische analyses van watermonsters, zijn ook functies opgenomen die een relatie leggen tussen het EGV en chloridegehalten bij verschillende waterstofbicarbonaatgehalten (HCO_3^-). Acacia Water (2013) heeft op basis van alle gevalideerde grondwaterkwaliteitsmetingen in West Nederland (dinoloket) een empirische relatie afgeleid waarmee het chloridegehalte berekend wordt als functie van het EGV en het HCO_3^- -gehalte⁷. Deze relatie is voor een HCO_3^- -gehalte van 200 mg/l eveneens opgenomen in Figuur 5.

⁷ Drs. J. Velstra (Acacia Water), persoonlijke mededeling.

Omdat hier de conversie tussen EGV en chloride voor bodemvocht aan de orde is, is ter vergelijking in Figuur 5 een dataset opgenomen met metingen van drainagewater dat tijdens veldexperimenten van Alterra voor regelbare drainage in Ospel (Noord-Limburg) en op de proefboerderij Rusthoeve (Zeeland) werd bemonsterd. Duidelijk is te zien dat deze relatie bij toenemend chloridegehalte meer in overeenstemming is met die welke in het Cultuurtechnisch Vademecum (1988) beschreven is, en dat het chloridegehalte bij lage concentraties met beide empirische relaties structureel wordt overschat.



Figuur 5

Drie relaties tussen het elektrisch geleidingsvermogen EGV of EC (dS/m) en het chloridegehalte (mg/liter).

De relatie volgens het Cultuurtechnisch Vademecum heeft betrekking op de gemiddelde ionensamenstelling van grond- en oppervlaktewater in laag Nederland (mariene invloed) en is bruikbaar voor EGV-waarden tot 10 dS/m. Deze relatie is in Europeopener 1.0 gebruikt bij het omrekenen van het EGV naar het chloridegehalte.

De uit de door Maas en Hoffmann (1977) beschreven laboratoriumanalyses resulterende classificatie van de zoutgevoeligheid van landbouwgewassen - ook wel 'FAO-classificatie' genoemd (Rhoades et al., 1999) - is ondergebracht in Tabel 1. Deze classificatie is beschreven in Van Bakel en Stuyt (2011). Zoutschadefuncties volgens Maas en Hoffman als getoond in Tabel 1 zijn voor praktische toepassing in het onderzoek naar effecten van de zoutconcentratie van beregeningswater op landbouwgewassen echter niet direct bruikbaar. Deze functies - en hiermee geassocieerde zoutschadedrempels - zijn immers gebaseerd op

chlorideconcentraties die worden bepaald aan waterverzadigde bodemmonsters en niet aan - veel relevantere - bodemmonsters op veldcapaciteit⁸. De essentiële vraag is daarom: hoe vertaal ik de chlorideconcentratie, bepaald aan een waterverzadigd bodemmonster ('saturated soil-paste') in een chlorideconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone van landbouwgewassen op veldcapaciteit? Een 'saturated soil-paste' is immers, in vergelijking met verzadiging onder ongestoorde veldomstandigheden, oververzadigd en, wat de zoutconcentratie betreft, een verdunde oplossing, vergeleken met bodemwater bij veldcapaciteit.

Tabel 1

Per klasse uit Figuur 3 afgeleide parameters voor zoutschadefuncties volgens Maas en Hoffman, gebaseerd op chlorideconcentraties in de waterverzadigde bodemmonsters van de wortelzone van landbouwgewassen ('saturated soil-paste'), die dienen als indicatoren voor het chloridegehalte in de wortelzone.

Zoutgevoeligheidsklasse	Zoutschadedrempel		Zoutschadegevoeligheid (opbrengstdaling (%) bij toename chloridegehalte met 100 mg/l)
	Chloridegehalte (mg Cl/l)	Elektrisch geleidingsvermogen (dS/m) ⁹	
Gevoelig	300	1,69	8
Matig gevoelig	600	2,87	4
Matig tolerant	1200	4,87	2
Tolerant	2400	8,26	1

Bij de meeste gronden - (lemig) zand uitgezonderd - bevat een waterverzadigd bodemmonster ongeveer tweemaal zo veel water als bij veldcapaciteit (Ritzema, 1994¹⁰). **Op grond hiervan wordt aangenomen dat het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het bodemvocht in de wortelzone bij veldcapaciteit gemiddeld tweemaal zo hoog is als het EGV, gemeten aan een 1:1 extract uit een waterverzadigd bodemmonster ('saturated soil-paste') van deze wortelzone¹¹.** De conversie van EGV wordt daarom berekend volgens $EGV_{fc} = 2EGV_e$ (fc = veldcapaciteit; e = saturated paste extract).

Stap 2. De relatie tussen de zoutconcentratie van beregeningswater en de zoutconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone

De relatie tussen de zoutconcentratie van het beregeningswater en de zoutconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone is afhankelijk van de fysische eigenschappen van de bodem (buffering, capillaire nalevering vanuit het grondwater), indikking door verdamping via bodem en gewas en de meteorologische omstandigheden als verdunning met regenwater. Deze relatie is inzichtelijk gemaakt met behulp van het in €ureyopener V1 gebruikte deelmodel voor zoutschade aan landbouwgewassen: agrohydrologisch model SWAP. Dit model rekent dynamisch in de tijd aan bodemvochtgehalte en zoutconcentratie. SWAP kent de volgende bronnen van zout: van boven via neerslag en beregening; zijdelings via infiltratie van

⁸ De definitie van 'de chlorideconcentratie' in een bodemprofiel is niet eenduidig. De ruimtelijke variabiliteit speelt een grote rol, vooral bij uitdroging van de grond.

⁹ Berekend volgens het beschrijving in het Cultuurtechnisch Vademecum (1988).

¹⁰ Zie bijlage 1.

¹¹ Deze aanname is discutabel; afhankelijk van de grondsoort ligt deze factor tussen 1,5 en 3.

oppervlaktewater en van onderen via kwel en capillaire opstijging. Bronnen kunnen ook (incidenteel) als 'sinks' dienen, waarlangs zout uit het systeem kan verdwijnen.

Bij simulatie van het transport van conservatieve opgeloste stoffen, waaronder zouten, worden in SWAP de transportprocessen convectie, diffusie, dispersie en passieve opname door plantenwortels 'meegenomen'. Effecten van diffusie mogen doorgaans worden verwaarloosd ten opzichte van effecten van dispersie. Buffering van conservatieve stoffen vindt plaats in de verzadigde- en onverzadigde zones van de bodem (Kroes et al., 2009).

Bij aanzienlijke zoutgehalten zal SWAP de wateropname via het wortelstelsel van een gewas verminderen, en wel op basis van de in Stap 1 besproken zoutschadefunctie¹² van Maas en Hoffman (1977); zie Figuur 1. Om deze functie te kunnen toepassen worden gesimuleerde zoutconcentraties van het bodemwater omgerekend naar zoutconcentraties in de 'saturated soil-paste' van de betreffende bodem, volgens

$$c_{sat} = c_{act} \frac{\theta_{act}}{\theta_{sat} f}$$

met

- c_{sat} = de zoutconcentratie in de 'saturated soil-paste' (mg/cm³)
- c_{act} = de gesimuleerde zoutconcentratie in de vloeistoffase (mg/cm³)
- θ_{act} = het gesimuleerde volumetrische bodemvochtgehalte (cm³/cm³)
- θ_{sat} = het verzadigde volumetrische bodemvochtgehalte (cm³/cm³)
- f = een factor om oververzadiging in de 'saturated soil-paste' te verdisconteren¹³.

Vervolgens wordt uit de zoutconcentratie van de 'saturated soil-paste' een elektrische geleidbaarheid berekend volgens

$$EC_{sat} = a c_{sat}^b$$

met

- EC_{sat} = de elektrische geleidbaarheid van de 'saturated soil-paste' (dS/m)
- c_{sat} = de gesimuleerde zoutconcentratie in de 'saturated soil-paste' (mg/cm³)
- a en b : empirische coëfficiënten.

Als algemene regel wordt verondersteld dat het vochtgehalte in de 'saturated soil-paste' circa tweemaal zo hoog is als het vochtgehalte bij veldcapaciteit, en circa viermaal zo hoog als het vochtgehalte bij het verwelkingspunt. De waarde van de factor f hangt samen met de experimentele omstandigheden waaronder de 'Maas en Hoffman' zoutschadefunctie is bepaald. f is wel gerelateerd aan de bodemstructuur; grofweg geldt voor lichte gronden (zand) geldt $f < 2$, en voor zwaardere gronden (o.a. klei) $f > 2$. Vaak wordt voor f wordt een 'default' waarde van 2 aangehouden (Kroes et al., 2009).

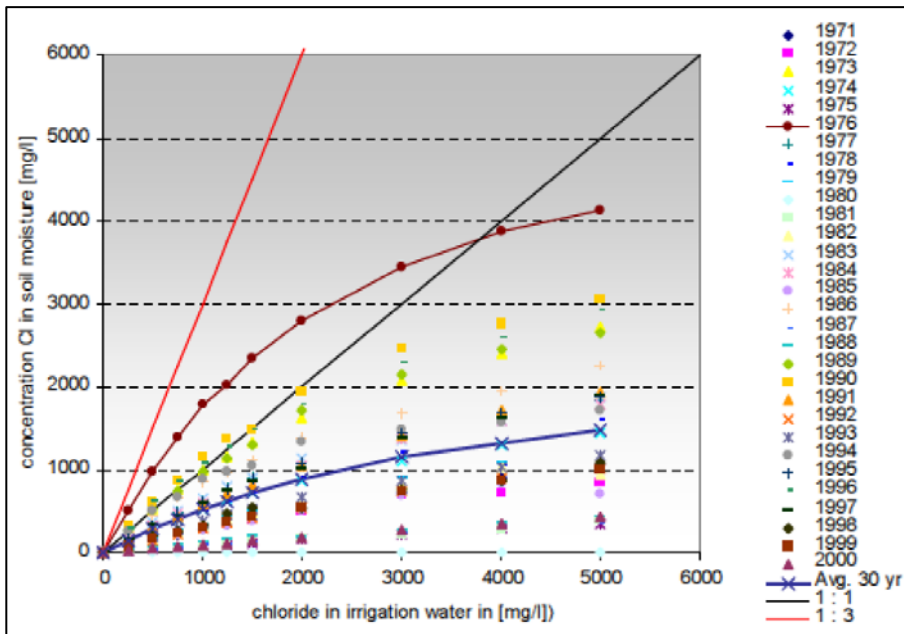
Met model SWAP¹⁴ is voor de periode 1971-2000 de chlorideconcentratie in het bodemvocht berekend, voor een zandige bodem waarop aardappelen worden geteeld. In de simulaties wordt berekend zodra de vochtspanning in de wortelzone onder een kritische waarde daalt. De berekeningen zijn herhaald voor beregeningswater / gietwater met chlorideconcentraties van respectievelijk 0, 50, 150, 250, 500, 750, 1250, 1500, 2000, 3000, 4000 en 5000 mg/liter. Uit de resultaten blijkt dat de relatie tussen de

¹² Hier ook 'reductiefunctie' genoemd.

¹³ De factor f kan voor elke bodemhorizont apart worden gespecificeerd.

¹⁴ De berekeningen voor €ureyeopener V1 zijn door Alterra uitgevoerd met SWAP-versie 3.2.22_test.

chlorideconcentratie in het beregeningswater en die in het bodemvocht sterk afhankelijk is van de meteorologische condities en dus van jaar tot jaar sterk varieert ('verdunningseffect'); zie Figuur 6.



Figuur 6

Verhouding tussen de seizoensgemiddelde chlorideconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone en in het beregeningswater voor de meteorieeks 1971-2000 en het gemiddelde van al die jaren, berekend voor aardappelen op zandgrond (Bron: Van Bakel en Stuyt, 2011).

De resultaten van de berekeningen (Figuur 6) geven aan dat het chloridegehalte¹⁵ van het bodemvocht in de wortelzone in droge jaren (bijvoorbeeld 1989, 1990, 1994, 1996) vergelijkbaar is met het chloridegehalte van het beregeningswater/gietwater. Dit geldt vooral bij bodems met beperkt vochtleverend vermogen, zoals zand. In het zeer droge en warme jaar 1976 is op de meest gevoelige grondsoort (zandgrond) echter sprake van een verdubbeling van deze concentratie. Er is voor gekozen om in deze analyse van zo'n verdubbeling uit te gaan: een *worst case*-benadering. **Op grond van dit resultaat en deze keuze wordt in het deelmodel voor zoutschade aan landbouwgewassen van €ureyeopener V1, ontwikkeld voor Rijnland, de zoutconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone van beregende landbouwgewassen verondersteld altijd twee keer zo hoog te zijn als die van het beregeningswater¹⁶.**

Op grond van het bovenstaande kunnen we nu een eenduidig verband leggen tussen het chloridegehalte van toegediend beregeningswater/gietwater en de hieruit resulterende zoutschade aan landbouwgewassen.

¹⁵ i.c. de gemiddelde waarde van dit gehalte tijdens het groeiseizoen.

¹⁶ Deze aanpak is 'nogal kort door de bocht'; het zou genuanceerder kunnen door beter rekening te houden met het de meteorologische omstandigheden van het bewuste jaar, bijvoorbeeld door te werken met foor model SWAP berekende 'zoektabellen'.

In **stap 1** hebben we geconstateerd dat zoutconcentraties in het bodemvocht in de wortelzone (bij veldcapaciteit) circa 2 keer zo hoog zijn als concentraties, gemeten aan waterverzadigde bodemmonsters ('saturated soil-paste') uit deze wortelzone. Dit is inherent aan de gevolgde meetprocedure, de hierbij gekozen uitgangspunten en gedane aannames.

In **stap 2** hebben we, op grond van berekeningen met model SWAP, vastgesteld dat het - in droge jaren - aan-nemelijk is dat zoutconcentraties in het bodemvocht in de wortelzone van beregende landbouwgewassen circa 2 keer zo hoog zijn als concentraties in het toegediende beregeningswater/gietwater¹⁷.

Het eindresultaat van dit alles is dat de factor 2 'omhoog', die gezet wordt in de stap om van een chlorideconcentratie in het beregeningswater naar de concentratie in de wortelzone te komen, wordt gecompenseerd door de factor 2 'omlaag' bij de stap van een chlorideconcentratie in het bodemvocht van de wortelzone naar de concentratie in de 'saturated soil-paste'. Dit betekent dat chlorideconcentraties in de 'saturated soil-paste' die gemakkelijk kunnen worden gemeten en in de zoutschadefuncties volgens Maas en Hoffman worden gebruikt, één op één geassocieerd mogen worden met chlorideconcentraties in toegediend beregeningswater en gietwater. De zoutschadefuncties volgens Maas en Hoffman als getoond in Tabel 1 zijn daarom direct bruikbaar voor praktische toepassing in het onderzoek naar effecten van de zoutconcentratie van beregeningswater/gietwater op landbouwgewassen¹⁸.

Meer informatie over de bepaling van het zoutgehalte van de bodem is te vinden in Rhoades et al. (1999).

2.2 Van vier naar zes gevoeligheidsklassen

In aanvulling op de vier bestaande gevoeligheidsklassen die in de vorige paragraaf werden besproken zijn de extra klassen **zeer gevoelig** en **extreem gevoelig** gedefinieerd (Tabel 2). Boomteelt in containers en potplanten vallen onder de klasse **zeer gevoelig** en glastuinbouw valt onder de klasse **extreem gevoelig**. Voor beide klassen is niet de meest gevoelige teelt genomen en is ook niet de meest gevoelige teeltwijze gekozen (i.c. substraatteelt). Deze zoutschadefuncties moeten daarom worden gezien als indicatief, want het geven van één relatie doet geen recht aan de grote verscheidenheid aan zoutgevoeligheden binnen de boomteelt en glastuinbouw.

¹⁷ Benadering is 'worst case', te weten voor een extreem droog jaar, en op een zandgrond.

¹⁸ Dit eindresultaat is prematuur, want het is een sterk vereenvoudigde versie van de complexe werkelijkheid. De conclusie zou genuanceerd moeten worden; dat kan door deze consistent te maken op grondsoort en gewas, en aan de orde te stellen hoe plausibel de uitgangspunten 'worst case' en 'zand' zijn; de laatste vooral voor laag Nederland.

Tabel 2

Per klasse afgeleide parameters voor de zoutschadefunctie, geldig voor het beregeningswater indien een indikkingsfactor 2 wordt gebruikt. Voor boomteelt en glastuinbouw zijn literatuurgegevens gebruikt.

Zoutgevoeligheidsklasse	Zoutschadedrempel (mg Cl/l)	Zoutschadegevoeligheid (% opbrengstdaling/100 mg Cl/l)	Literatuur
Gevoelig	300	8	Van Bakel en Stuyt, 2011
Matig gevoelig	600	4	Vvan Bakel en Stuyt, 2011
Matig tolerant	1200	2	Van Bakel en Stuyt, 2011
Tolerant	2400	1	Van Van Bakel en Stuyt, 2011
Extra categorieën voor boomteelt en glastuinbouw			
Zeer gevoelig	150	16	Adviesbasis voor de Bemesting van Boomkwekerijgewassen
Extreem gevoelig	75	50	Voogt, 2009

De parameters in Tabel 2 zijn gebaseerd op het in Van Bakel en Stuyt (2011) beschreven onderzoek.

2.3 Toekenning zoutgevoeligheid aan landgebruikscategorieën

Elke landbouwgerelateerde landgebruikscategorie volgens LGN6¹⁹, met landgebruik gebaseerd op satellietbeelden uit 2007/2008, wordt op grond van kennis, ontwikkeld door Van Bakel et al. (2011) ingedeeld in één van de zes zoutgevoeligheidsklassen in Tabel 2; het resultaat is weergegeven in Tabel 3.

In Van Bakel et al. (2009) is beschreven dat de zoutschadegevoeligheid van tulpen ter discussie staat. Decennia geleden stelde onderzoeker Ploegman (1972) al vast dat bolgewassen zoutgevoelig zijn. Hij legde de schadedrempel voor gladiool bij beregeningswater met een chloridegehalte van 100 mg/l, en kwam daarmee in de buurt van resultaten van buitenlands onderzoek. Ploegman is de enige onderzoeker die ook aan andere bolgewassen zouttolerantieonderzoek heeft verricht: tulp (Ploegman, 1972), hyacint, narcis en krokus (Ploegman, 1977) en lelie (Ploegman en Boontjes, 1981)²⁰. Volgens collega onderzoeker Van der Valk (1970) zijn tulpen echter matig zoutgevoelig²¹. Overigens is de vaststelling van schadedrempels op basis van de beschikbare gegevens soms arbitrair. Ploegman (1975) stelt deze bijvoorbeeld voor tulp op 130 mg Cl per liter bodemvocht vast, maar op basis van dezelfde gegevens zou ook rond 600 mg per l genomen kunnen worden (Dam et al., 2007).

¹⁹ Het LGN6 bestand is de jongste versie van een serie landgebruiksbestanden. Het LGN6-bestand onderscheidt 39 landgebruik typen. Het is een gridbestand met een ruimtelijke resolutie van 25 x 25 meter, met als referentiejaar 2007/2008. In het bestand worden de belangrijkste landbouwgewassen, bos, water, natuur en stedelijke klassen onderscheiden. Ten opzichte van LGN5 zijn enkele belangrijke veranderingen doorgevoerd. De geometrie en thematiek op hoofdklassen is nu volledig gebaseerd op het Top10-vector bestand (versie 2006). Verder is voor het stedelijk gebied aansluiting gezocht met het bestand 'Bestand Bodem Gebruik (BBG2003)' van het CBS en het bestand 'Bebouwd Gebied (BG2003)' van VROM. Daarnaast zijn de natuurlijke graslanden, rietmoerassen en duinen uit het bestand 'Basiskaart Natuur (BKN2006)' overgenomen. De bossen en heide zijn opnieuw geclassificeerd op basis van satellietbeelden uit 2007/2008. Tenslotte zijn enkele landgebruiksklassen verdwenen en toegevoegd.

²⁰ J. Boontjes en C. Ploegman. Zout beregeningswater en de bolproductie bij lilies. ICW, Wageningen. C. Ploegman en G.G.M. van der Valk. Invloed van zout beregeningswater op ontwikkeling van vijf-graden Tulpen C.V. 'Apeldoorn'. ICW, Wageningen.

²¹ G.M. van der Valk, 1970. Geschiktheid van zout oppervlaktewater voor beregening van tulpen.

Tabel 3

Classificatie van gevoeligheden voor zout van de LGN6-landgebruikscategorieën (alle toekenningen ontleend aan Van Bakel et al. (2011), met uitzondering van boomkwekerijen en glastuinbouw).

Landgebruiksvorm volgens LGN6	Zoutgevoeligheidsklasse (mg/l Cl)					
	extreem gevoelig	zeer gevoelig	gevoelig	matig gevoelig	matig tolerant	tolerant
Agrarisch gras						2400
Mais				600		
Aardappelen				600		
Bieten						2400
Granen					1200	
Overige gewassen			300			
Glastuinbouw	75					
Boomgaarden				600		
Bloembollen ('Ploegman')			300			
Bloembollen ('Van der Valk')				600		
Boomkwekerijen		150				
Fruïtkwekerijen			300			

Omdat de landgebruiksvorm 'bloembollen' in de meeste gebieden voornamelijk wordt ingenomen door tulpen zijn uiteindelijk twee zoutschaderelaties afgeleid (en vermeld in Tabel 3), te weten 'Tulpen Ploegman' en 'Tulpen Van der Valk', overeenkomend met de klasse 'gevoelig', respectievelijk 'matig gevoelig'. Voor meer informatie, zie Van Bakel en Stuyt (2011)²².

Uit de klimaatreeks 1971-2000 zijn voor het 10% droge jaar 1989 voor tien landbouwgewassen en vier bodemtypen (zand, zavel, klei en veen) zoutschaderelaties opgesteld uit chlorideconcentraties in beregeningswater en de hieraan gerelateerde, met model SWAP berekende relatieve gewasverdamping. Aangenomen is dat de gewasverdamping recht evenredig is met de opbrengstreductie. Omdat niet voor alle 40 combinaties van landbouwgewassen en bodemtypen SWAP-berekeningen zijn uitgevoerd, is een relatietabel opgesteld waarmee elke niet-gemodelleerde combinatie is 'gekoppeld' aan een wél-gemodelleerde combinatie met gras, aardappel en tulp. Deze actie levert voor twaalf agrarische landgebruiksvormen een set 'SWAP-1989 zoutschaderelaties' op; zie Tabel 4.

Deze procedure is herhaald voor het 1% droge jaar 1976, resulterend in een set 'SWAP-1976 zoutschaderelaties'. Op grond van deze zoutschaderelaties zijn de betreffende gewassen uiteindelijk ingedeeld in één van de zes zoutschadegevoeligheidsklassen: extreem gevoelig, zeer gevoelig, gevoelig, matig gevoelig, matig tolerant, tolerant; zie Tabel 2.

Voor bloembollen bestaat onduidelijkheid of deze 'gevoelig' zijn voor zout, of 'matig gevoelig'. Daarom zijn voor bloembollen twee relaties gebruikt: de 'Ploegman'-relaties, en de 'Van der Valk'-relaties. Alle relaties, ontleend aan de met SWAP-doorgerekende combinaties, zijn weergegeven in bijlage 2. In de figuren in deze bijlage zijn ook de relaties aangegeven volgens Roest et al. (2003).

²² Bakel, P.J.T. van en L.C.P.M. Stuyt, 2011. Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen, op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2201.

Tabel 4

Relaties tussen twaalf landgebruiksvormen, doorgerekende 'SWAP-gewassen' en de toegepaste zoutschaderelatie.

	Landgebruiksvorm	'SWAP-gewas'	SWAP-1989 zoutschaderelatie
1	Agrarisch gras	gras	SWAP_gras
2	Mais	aardappelen	SWAP_aardappel
3	Aardappelen	aardappelen	SWAP_aardappel
4	Bieten	gras	SWAP_gras
5	Granen	gras	SWAP_gras
6	Overige gewassen	tulpen	SWAP_tulp
7	Glastuinbouw	n.v.t.	tabel glastuinbouw
8	Boomgaarden	aardappelen	SWAP_aardappel
9	Bloembollen	tulpen	tabel Ploegman
10	Bloembollen minder gevoelig	aardappelen	tabel vd Valk
11	Boomkwekerijen	tulpen	tabel_boomkweek
12	Fruittkwekerijen	tulpen	tabel Ploegman

2.4 Thematische kaarten

Fysieke opbrengstreducties

De zoutschaderelaties, beschreven in paragraaf 2.3, zijn gebruikt om thematische kaarten te maken van de zoutschade door combinatie van verschillende gridbestanden. Voor berekening is gebruik gemaakt van het NHI, dat werkt met gridcellen van $250 \times 250 \text{ m}^2$. Het landgebruik is ontleend aan LGN6, een gridbestand met gridcellen afmetingen van $25 \times 25 \text{ m}^2$. De 1:50 000 bodemkaart is een vlakkenkaart en is vertaald naar 21 bodemfysische PAWN-eenheden, vervolgens omgezet naar een $25 \times 25 \text{ m}^2$ grid. Deze PAWN-eenheden zijn vervolgens geclusterd op grondsoort, volgens toekenningen in Tabel 5.

Tabel 5

Toekenning van PAWN-eenheden aan vier elementaire grondsoorten.

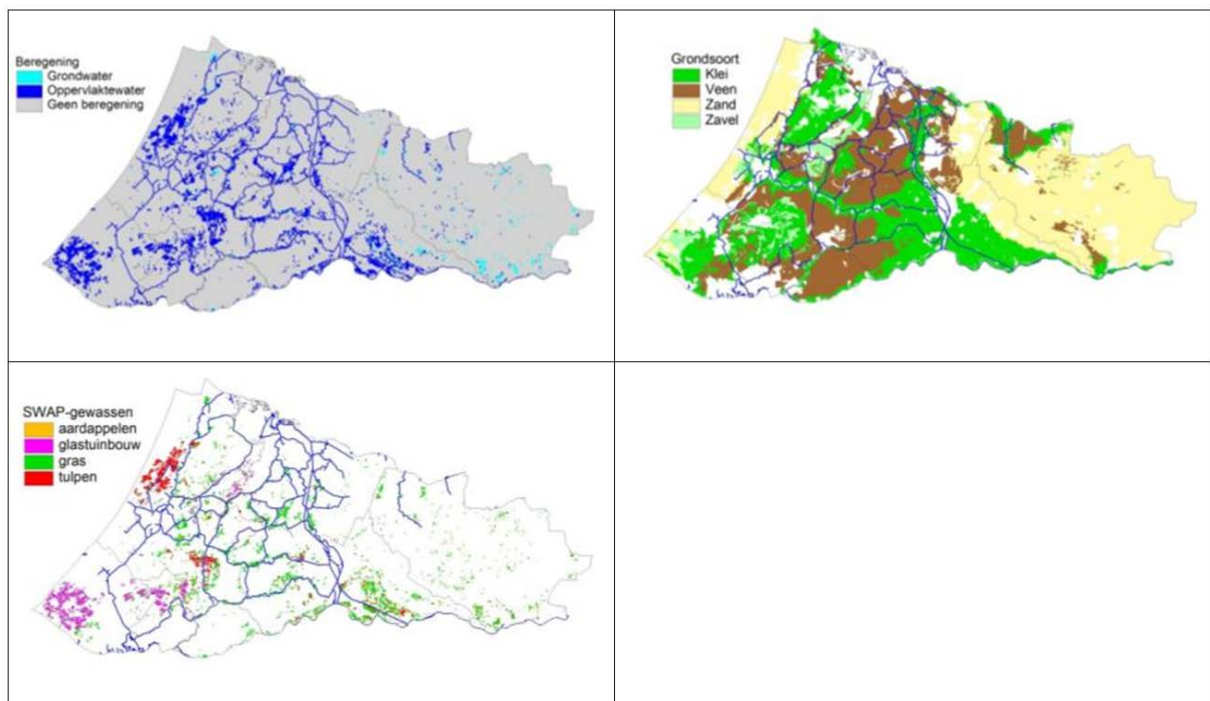
PAWN-eenheid	Grondsoort
1 t/m 6	veen
7 t/m 14	zand
16 t/m 20	klei
15, 21	Zavel/leem

²³ In dit NHI-onderdeel zit een relatief grote onzekerheid. 6,25 ha is vrij grof, in relatie tot het landgebruik. Zie ook http://www.nhi.nu/documenten/DR10/NHI2008DR10_v2_Berekening.pdf

Het resultaat is omgezet naar een 25 × 25 m gridbestand; ook voor de presentatie van de ruimtelijke beelden is gewerkt met een gridbestand van 25 × 25 m. De drie gridkaarten, met respectievelijk berekening, landgebruik en grondsoort, zijn vervolgens gecombineerd tot één 25 × 25 m gridkaart. Van elk element van deze kaart is bekend:

- het landgebruik volgens LGN6;
- de grondsoort;
- het wel of niet beregenbaar zijn en zo ja, wat is de bron: grondwater of oppervlaktewater.

Aan het landgebruik volgens LGN6 zijn vervolgens de 'SWAP-gewassen' gekoppeld, via de informatie in Tabel 4. In Figuur 7 zijn de kaarteenheden ruimtelijk weergegeven.



Figuur 7

Ruimtelijke eigenschappen gridcellen, berekening (linksboven), grondsoort (rechtsboven) en beregende 'SWAP-gewassen' (linksonder); zie tekst.

De berekeningen van zout schade aan landbouwgewassen zijn in €ureyeopener V1 gekoppeld aan het chloridegehalte van het oppervlaktewater waaruit wordt berekend. Van elke uit het oppervlaktewater 'beregembare' gridcel is de grondsoort bekend en het landgebruik volgens LGN6. Combinatie van deze gegevens bepaalt welke zoutchaderelatie wordt toegepast: een relatie, afgeleid uit de literatuur van de geïrrigeerde landbouw, uitgebreid met twee gevoeligheidsklassen (Tabel 2; pagina 22) of een relatie ontleend aan resultaten van SWAP-berekeningen (Tabel 4; pagina 24). Het bovenstaande is in bijlage 3 in een voorbeeld uitgewerkt. Bijlage 4 bevat grafische weergaven van de relaties tussen de chlorideconcentratie van het beregeningswater en de ruimtelijke vertaling (i.c. kaartbeelden) naar zout schade aan landbouwgewassen, uitgedrukt in reductie in drogestofopbrengst ten gevolge van verdampingsreductie (lang niet altijd relevant) en in €/ha. In bijlage 5 zijn de geschatte zoutgevoeligheden van de verschillende natuurbeheertypen weergegeven; bron: Dr. M.P.C.P. Paulissen en Drs. J.G.M. van der Greft (beiden Alterra).

2.5 Aandachtspunten

Constant chloridegehalte gedurende het groeiseizoen

Om rekentechnische en logistieke redenen is bij de SWAP-berekeningen verondersteld dat de chlorideconcentratie in het beregeningswater gedurende het beregeningsseizoen constant is. Dit is niet conform de werkelijkheid.

Met het groeistadium variërende zoutshadegevoeligheid

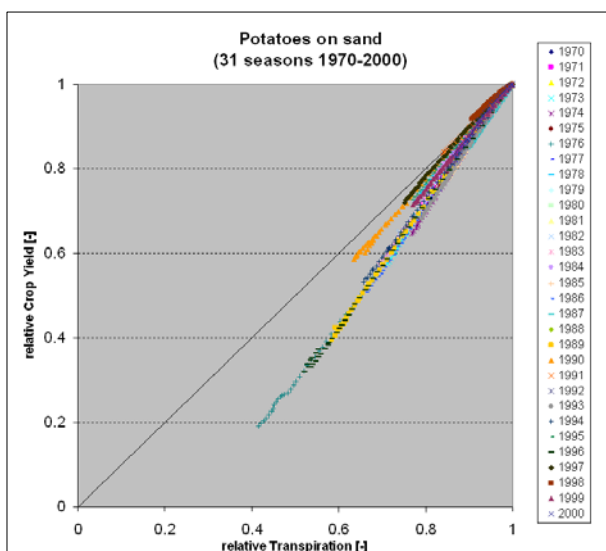
Bekend is dat de meeste gewassen gedurende de kieming en de verdere ontwikkelingsfase meer of minder gevoelig zijn voor verminderde mogelijkheden tot wateropname door de wortels. Vooral tijdens de vruchtzetting zijn veel gewassen gevoelig. Hiermee kan rekening worden gehouden door de met de tijd variërende zoutgevoeligheid van gewassen in komende analyses met €ureyeopener mee te nemen. In hoeverre de berekende opbrengstreductie hierdoor wordt beïnvloed is moeilijk aan te geven, maar gezien de achtergrond van de experimenten van Maas en Hoffman zal de berekende reductie bij een constant chloridegehalte in de wortelzone maximaal zijn.

Slim beregenen

De met SWAP berekende relaties zijn afgeleid met een beregeningsregime dat alleen is gekoppeld aan de vochtspanning in de bodem. Indien wordt berekend met chloridehoudend water moet de berekening ook worden afgestemd op de chlorideconcentratie in de wortelzone. Immers, door 'overberekening' kan worden voorkomen dat het chloridegehalte van het bodemwater in de wortelzone wegens 'indikking' oploopt. De met het model SWAP opgestelde zoutshadefuncties indiceren om die reden nog te grote opbrengstreducties.

Opbrengstreductie is gewasverdampingsreductie

In bovenstaande beschouwingen is de opbrengstreductie verondersteld evenredig te zijn met de verdampingsreductie ten gevolge van verzilting. In Van Bakel et al. (2009) is echter een berekening beschreven waarbij model SWAP gekoppeld is aan gewasgroeimodel WOFOST. Met deze gekoppelde modellen wordt (voor het beschreven geval) een tot ca. 50% grotere opbrengstreductie berekend; zie Figuur 8.



Figuur 8

Relatie tussen relatieve gewasverdamping en gewasopbrengst, berekend met een SWAP-WOFOST combinatie voor aardappelen op zand, voor 30 opeenvolgende hydrologische jaren en vijftien zoutconcentraties van het beregeningswater (Van Bakel et al. (2009).

De in dit rapport gepresenteerde opbrengstreducties worden daarom wellicht onderschat, waardoor een te optimistisch beeld ontstaat van de zoutschade. Bedacht moet echter worden dat de combinatie 'aardappel op zand' in het 'zoutgevoelige' deel van Nederland geen grote arealen beslaat, en deze qua zoutgevoeligheid een 'extreme' combinatie vertegenwoordigt.

De zouttolerantie van landbouwgewassen is afhankelijk van omgevingsfactoren

Het klimaat is van belang, omdat dat de transpiratie en de groei bepaalt. Naarmate de transpiratie, en dus de wateropname door het gewas, hoger is, is het voor de gewassen moeilijker om Na- en Cl-ionen buiten te sluiten. De zouttolerantie van gewassen is daardoor lager naarmate de transpiratie, bepaald door temperatuur, straling en luchtvochtigheid, hoger is. Ook is de beluchting van de bodem van belang. Het actief buitensluiten van zout door de wortels kost energie, die verkregen wordt door ademhaling. Voor deze ademhaling moet voldoende zuurstof aanwezig zijn. Bij de wortels concurreren Na-ionen met andere kationen. Een gewas kan Na makkelijker buitensluiten als de concentraties aan andere ionen, bij voorbeeld Ca en K, hoger zijn (Dam et al., 2007). Daarom is het van belang om een goed beeld te hebben van de chemische samenstelling van beregeningswater.

Naast beregeningswater kan zout via andere bronnen in de wortelzone worden gebracht. Te denken valt aan wellen, inundatie en infiltratie vanuit het oppervlaktewater, langdurige zoute kwel bij aanhoudende droogte en dergelijke. De chemische samenstelling van zulke bronnen kan afwijken van die van verzilt oppervlaktewater; die samenstelling moet daarom goed in ogenschouw worden genomen. Met bovenstaande aspecten is in de analyses geen rekening gehouden; in hoeverre dit invloed heeft op de resultaten is onbekend; nader onderzoek lijkt geen overbodige luxe, zeker in het licht van de afweging tussen het voorkómen van droogte-, en/of zoutschade.

Nieuwe concepten voor verdisconteren van de invloed van de osmotische potentiaal²⁴

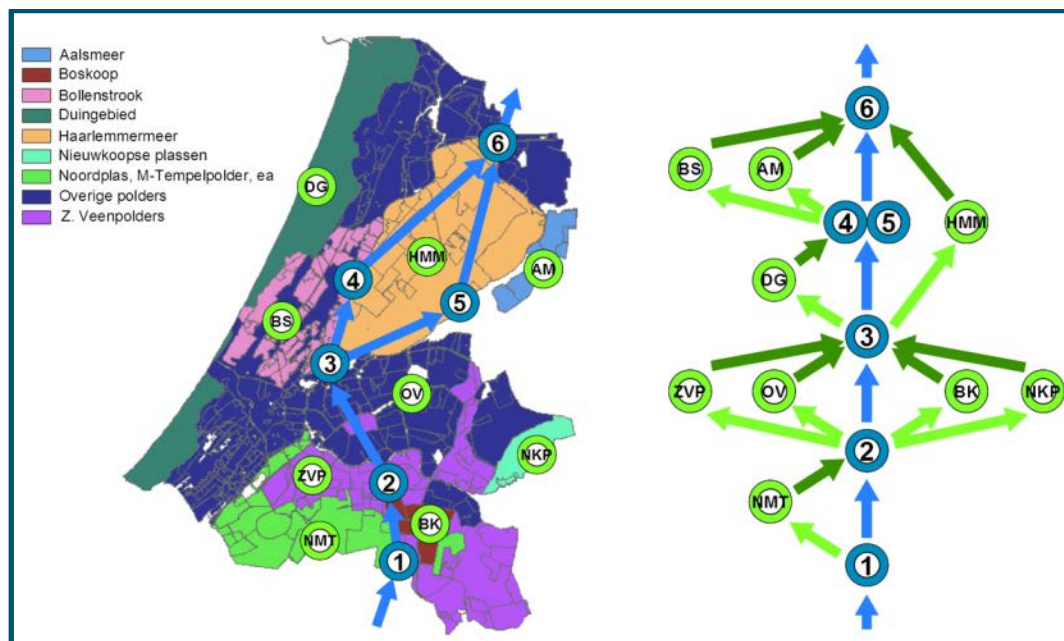
De osmotische potentiaal is eigenlijk de drijvende kracht achter zouttransport. Met de huidige concepten, zoals nu gebruikt, wordt dit indirect benaderd. Er zijn directere methoden in ontwikkeling (De Jong v Lier et al., 2008 en 2009) die er veel belovend uit beginnen te zien. Nader onderzoek en toetsing onder veldomstandigheden is nodig om de concepten uit te testen. Bovendien zal dit tot een andere samenhang tussen zoutschade en nat- en droogteschade leiden, waarvoor een nieuwe parametrisering nodig zal zijn.

²⁴ J.G. Kroes (Alterra), persoonlijke mededeling dd. 7 juni 2013

3 Module doorspoelen

3.1 Rekenschema

Het doorspoelmodel van €ureyeopener V1 van Rijnland bestaat uit een eenvoudige boomstructuur waarbij vanuit een boezem, die is opgedeeld in zes modelknopen, water wordt geleverd aan negen poldereenheden, en deze poldereenheden op hun beurt weer afwateren op de boezem. Deze modelstructuur is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9

Schematisatie van het beheergebied van Rijnland; links de indeling in poldereenheden en rechts de routing van de in- en uitlaat van de polders naar de zes onderscheiden knopen in de boezem.

Voor elk van de negen polders wordt een water- en zoutbalans opgesteld, gebruik makend van met het NHI berekende fluxen van neerslag, verdamping, kwel (wellen), drainage (ondiepe kwel), infiltratie en beregning. Deze fluxen zijn gebaseerd op NHI versie 2.1, en zijn gemiddelde waarden voor het groeiseizoen (april tot oktober) van het 10% droge jaar 1989. Het spreadsheetmodel is stationair: de modelvariabelen zijn tijdsafhankelijk. Hoewel het waterbeheer in Rijnland een zekere dynamiek kent is hiervoor toch gekozen, omwille van de gevraagde functionaliteit, namelijk: inzicht vergroten in effecten van waterbeheersmaatregelen en daarmee in de 'handelingsruimte zoekt water'. Deze functionaliteit komt juist bij een simpel, stationair rekenschema goed tot zijn recht.

3.2 Berekening doorspoelbehoefte verzoeting

Als referentie wordt een theoretische inlaat berekend die nodig is voor peilhandhaving. In formule: inlaat, nodig voor peilhandhaving = verdamping + infiltratie in de bodem + beregening – neerslag op open water - drainage - kwel. Bergingsveranderingen worden verwaarloosd. Met uit het NHI verkregen zoutconcentraties van het drainagewater en kwel wordt de resulterende zoutconcentratie van het polderwater berekend. Vervolgens wordt hieruit de doorspoelbehoefte berekend, en wel zo, dat de zoutconcentratie van het polderwater met zoeter inlaatwater wordt verdund tot de streefconcentratie in deze polder. In formule:

$$\frac{Q_{\text{doorspoelen}} \cdot Cl_{\text{doorspoelen}} + Q_{\text{eigen}} \cdot Cl_{\text{eigen}}}{Q_{\text{doorspoelen}} + Q_{\text{eigen}}} = Cl_{(\text{mengwater})} \leq Cl_{sl}$$

Uitwerking voor de doorspoelbehoefte levert dan:

$$Q_{\text{doorspoelen}} = Q_{\text{eigen}} \times \frac{(Cl_{\text{eigen}} - Cl_{sl})}{(Cl_{sl} - Cl_{\text{doorspoelen}})}$$

met:

- $Q_{\text{doorspoelen}}$ = doorspoelbehoefte (m³)
- $Cl_{\text{doorspoelen}}$ = chlorideconcentratie inlaatwater voor doorspoelen (mg/l)
- Q_{eigen} = 'eigen' polderafvoer = neerslag - verdamping_{open water} + drainage + kwel + inlaat_{peilhandhaving} (m³)
- Cl_{eigen} = chlorideconcentratie eigen polderafvoer (mg/l)
- $Cl_{\text{mengwater}}$ = chlorideconcentratie polderwater na menging met doorspoelwater (mg/l)
- Cl_{sl} = streefconcentratie chloride in de polder ('Serviceniveau'²⁵) (mg/l)

Alleen als de chlorideconcentratie van de eigen polderafvoer (Cl_{eigen}) groter is dan de streefconcentratie wordt een doorspoelbehoefte berekend. Hierbij kunnen zich de volgende situaties voordoen:

- $Cl_{\text{inlaat}} < Cl_{sl}$: het inlaatwater is zoeter dan de streefconcentratie van chloride in de polder (het voor die polder overeengekomen 'serviceniveau'). Het model berekent dan een doorspoelbehoefte waarbij de resulterende chlorideconcentratie in de polder de streefwaarde evenaart;
- $Cl_{\text{inlaat}} > Cl_{sl}$ en $Cl_{\text{inlaat}} < Cl_{\text{eigen}}$: het inlaatwater is zouter dan de streefconcentratie van chloride in de polder, maar zoeter dan het polderwater. Het model berekent dan een doorspoelbehoefte tot het polderwater een chlorideconcentratie bereikt die gelijk is aan ($Cl_{\text{inlaat}} + 50$ mg/l). Deze drempel van 50 mg/l is ingebouwd om te voorkomen dat onrealistisch grote doorspoelhoeveelheden worden berekend.

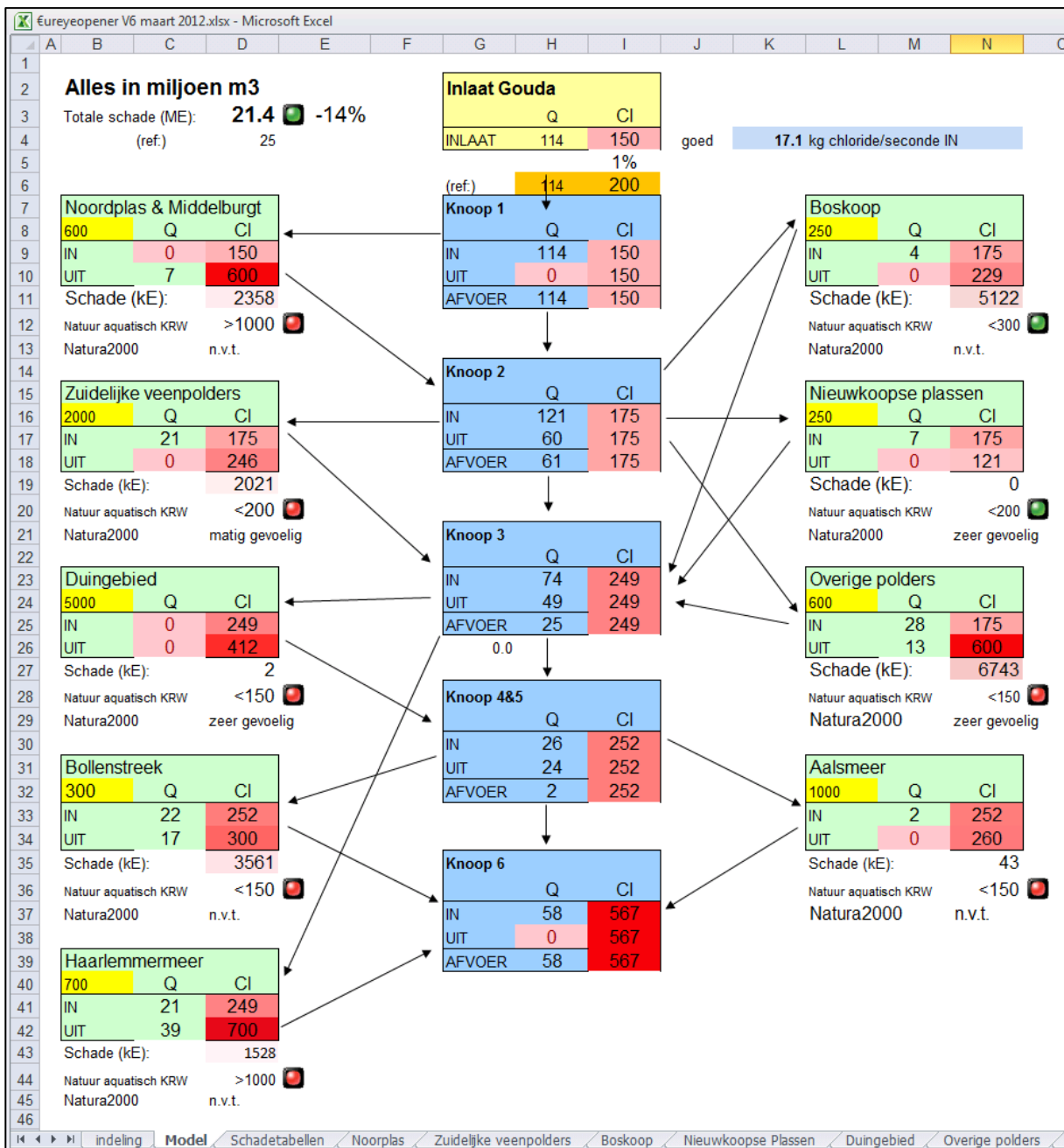
De doorspoelbehoefte die voor de polders wordt berekend, wordt onttrokken aan de boezem op de modelknoop waar de polders zijn aangesloten (de blauwe modelknopen in Figuur 9). Aan de inlaat bij Gouda, het bovenstroomse vertrekpunt van het doorspoelmodel, wordt een concentratie van het rijkswater (Hollandse IJssel) opgelegd. De hoeveelheid via Gouda ingelaten water (uitgedrukt in miljoenen m³ tijdens het gehele groeiseizoen) wordt zó berekend dat voor alle polders (t/m de meest benedenstrooms gelegen knoop) voldoende inlaatwater beschikbaar is om aan de doorspoelbehoefte van de aangesloten polders te voldoen. Voor elke polder wordt een streefniveau vastgesteld. Dit niveau kan vervolgens - bijvoorbeeld tijdens 'Joint Fact Finding'-sessies - volledig vrij worden aangepast; het (Excel-)model berekent dan de veranderende

²⁵ De streefconcentratie is in een voorlopende studie (Stuyt et al., 2011) aangeduid als het 'Serviceniveau' en is in de praktijk gericht op het meest zoutgevoelige landbouwgewas dat in de polder (in een significant areaal) voorkomt.

doorspoelbehoefte van deze polder en de consequenties van deze stap op de totale inlaatbehoefte. Er zal in veel gevallen sprake zijn van (al dan niet verwachte) verschuivingen van debieten en chloridegehalten in andere polders; effecten van ingrepen werken in principe door in het gehele systeem.

In Figuur 10 is een schermafbeelding opgenomen van het hoofdrekenchema (worksheet €ureyeopener met de boomstructuur). De per polder aangegeven in- en uitgaande debieten worden overgenomen uit afzonderlijke worksheets ('tabbladen'), waarbij Q_{in} bestaat uit inlaat voor peilbeheer + doorspoelbehoefte en Q_{uit} het netto overschot op de waterbalans in de zomer (Q_{in} plus de 'eigen' waterbalans van de polder). Het van boven- naar benedenstroomse verloop van het zoutgehalte in de boezem wordt per knoop berekend, op basis van de uit- en inkomende debieten en chloridevrachten. Additionele bronnen van water (met name RWZI's leveren een significant debiet) en chloride (zoutlek via sluizen is een belangrijke bron) in de boezem zijn verwaarloosd.

Zoutschade aan gewassen door berekening met verzilt oppervlaktewater is via metarelaties (in tabelvorm in tabbladen) aan het doorspoelmodel gekoppeld. Per polder wordt daarmee op een directe manier de zoutschade berekend als functie van de opgelegde streefconcentratie van het oppervlaktewater. In de spreadsheet wordt de zoutschade in alle polders gesommeerd tot de totale zoutschade aan landbouwgewassen in het beheersgebied van Rijnland. Op deze manier kan het spreadsheetmodel voor allerlei varianten (verschillende concentraties van het inlaatwater bij Gouda, verschillende streefconcentraties, afkoppeling van polders en dergelijke) onmiddellijk de totale inlaatbehoefte voor het doorspoelen berekenen en de bijbehorende zoutschade; per polder en totaal.



Figuur 10

Schermafbeelding van het rekenwerkblad van €ureyeopener met de centraal gelegen blauwe boezemknooppunten en de groene polders rechts en links hiervan. Geel gemarkeerde getallen zijn streefwaarden van het chloridegehalte van het oppervlaktewater in de polders; roodgekleurde getallen zijn berekende chloridegehalten van het oppervlaktewater in boezem en polders.

Zoutschade aan natuur berekent het model kwalitatief op basis van geschatte gevoeligheid voor zout van aquatische- en oeverbeheertypen binnen de Natura 2000-gebieden. Ook worden overschrijdingen van KRW-normen kwalitatief in kaart gebracht ('stoplicht'-indicaties). Een berekening met €ureyeopener V1 van Rijnland duurt minder dan één seconde; de modelgrootte is ca. 1Mb.

4 Module zoutschade aan natuur

4.1 Zoutschade aan natuur

Effecten van maatregelen op natuur worden kwalitatief geanalyseerd op grond van twee criteria, namelijk:

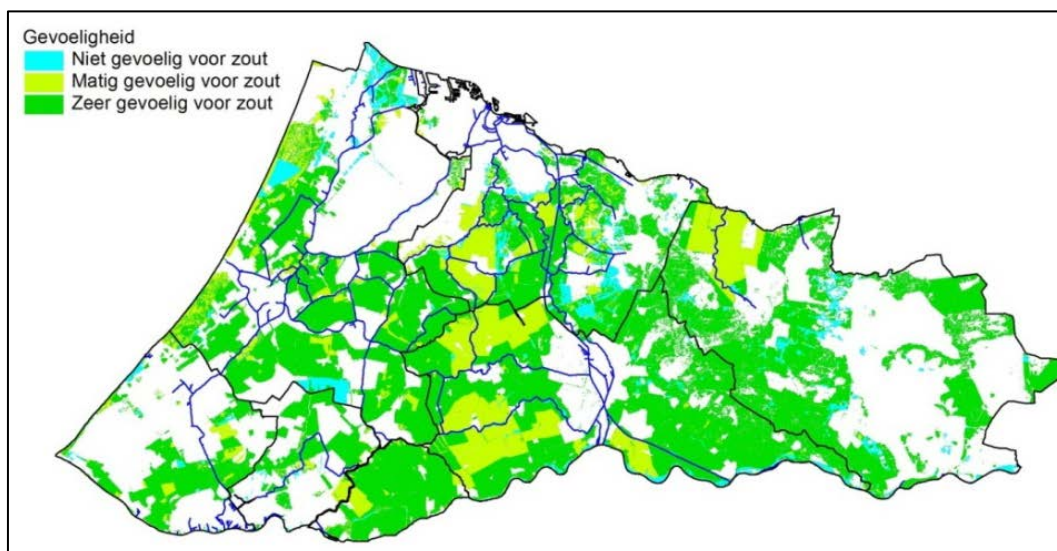
- de geschatte gevoeligheid voor zout van beheertypen binnen Natura 2000-gebieden;
- normen, geassocieerd met de EU Kaderrichtlijn Water (KRW).

Het in deze paragraaf getoonde kaartmateriaal beslaat de regio 'West Nederland' en is daarmee omvangrijker dan het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

4.1.1 Natura 2000-gebieden

Onder zoutgevoeligheid van natuur verstaan we in deze analyse schade *drempels*: boven (of beneden) welke chlorideconcentratie is sprake van zoutschade aan een natuurtype? Dit soort zoutschadedrempels zijn voor water- en natuurbeheerders het meest informatief en relevant. Anderzijds zijn voor de waaier aan natuurtypen die in laag Nederland voorkomen, zoutschade *drempels* moeilijker vast te stellen dan 'chloridebandbreedtes'.

De ligging van een zoutschadedrempel is gerelateerd aan het type zoutbelasting: gaat het om een incidentele en kortdurende 'zoutpiek', of is er sprake van geregelde en/of langdurige belasting? Daarnaast lijkt de ligging van een zoutschadedrempel afhankelijk van de vraag of deze betrekking heeft op herstelbare dan wel onherstelbare zoutschade. Vandaar dat in deze en andere recente studies (bijvoorbeeld Paulissen et al., 2011; Van der Gref van Rossum et al., 2012) gebruik is gemaakt van een schatting van de zoutgevoeligheid op basis van het oordeel van deskundigen.

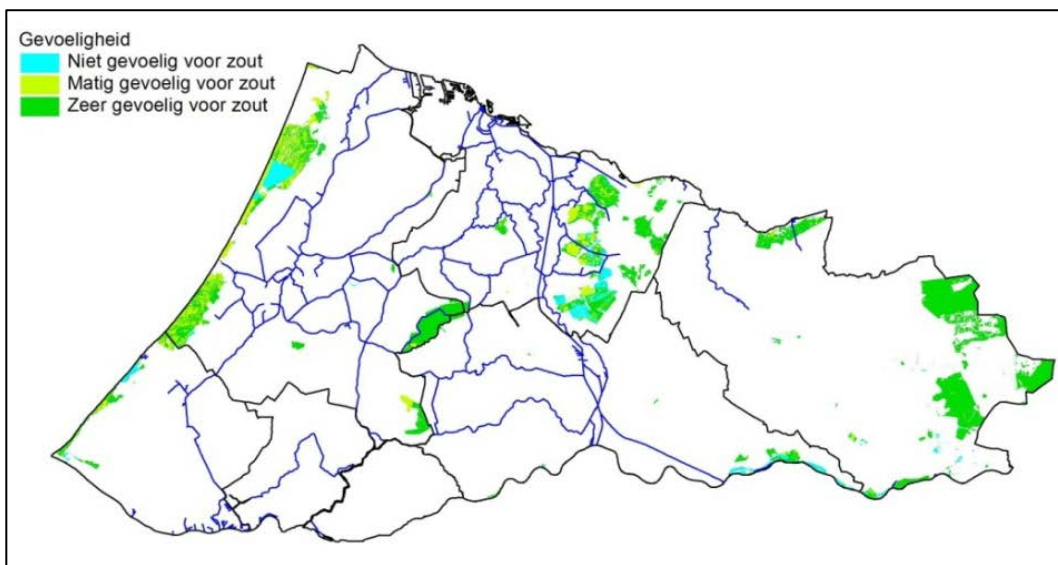


Figuur 11

Geschatte gevoeligheid voor zout van natuurbeheertypen in de regio West Nederland.

De geschatte zoutgevoeligheid van de diverse natuurbeheertypen wordt in deze analyse kwalitatief uitgedrukt in een zeer simpele 'stoplichtscore' (1 = niet gevoelig voor zout; 2 = matig gevoelig voor zout; 3 = zeer gevoelig voor zout). Voor vlakken op de kaart waarop meerdere beheertypen van toepassing zijn, is de hoogste waarde (de meest gevoelige score) toegekend. Het gepresenteerde kaartbeeld, zie Figuur 11, heeft betrekking op de geschatte gevoeligheid van de natuur voor zout, los van de vraag hoe groot de kans is dat de natuur in kwestie (een bepaald beheertype op een bepaalde locatie) daadwerkelijk aan zoutbelasting zal worden blootgesteld. De categorieën 'zeer gevoelig' en in mindere mate 'matig gevoelig' komen op de kaart het meeste voor, vaak over grotere vlakken. Het gaat hier vooral om terrestrische agrarische natuurbeheertypen. Aquatische- en oevernatuur beslaan 4% van het totale oppervlak natuur.

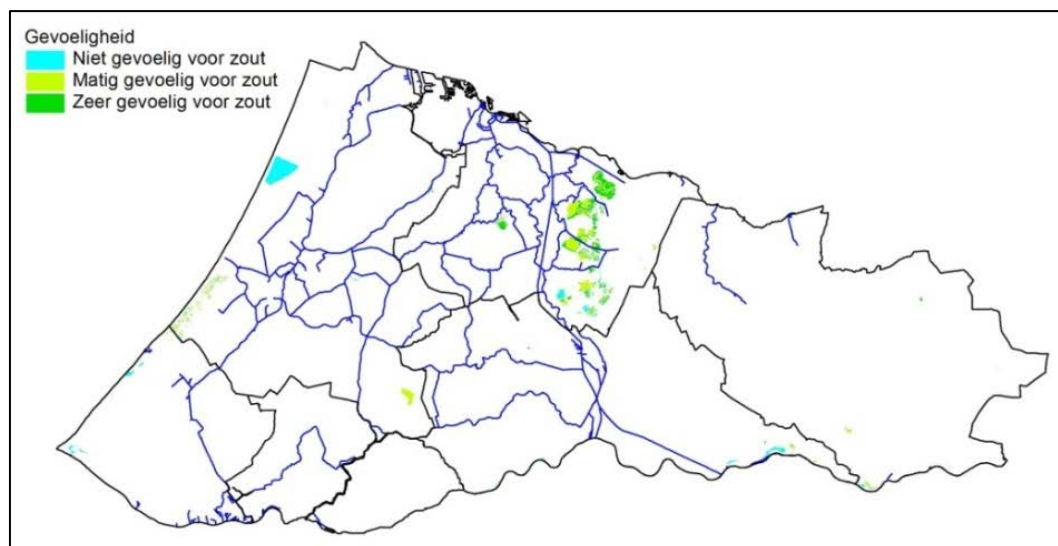
Vanwege hun bijzondere belang zijn in Figuur 12 alleen de Natura 2000-gebieden weergegeven. Ook binnen de Natura 2000-gebieden komt over grote oppervlakten de score 'zeer gevoelig voor zout' voor.



Figuur 12

Geschatte gevoeligheid voor zout van natuurbeheertypen binnen de Natura 2000-gebieden.

Slechts een deel van de Natura 2000-gebieden is aquatische- en oevernatuur: deze selectie is weergegeven in Figuur 13. Zoutschade aan aquatische- en oeverbeheertypen binnen de Natura 2000-gebieden is vooralsnog niet gekoppeld aan gerealiseerde chloridegehalten maar is alleen op kaart geclassificeerd als 'niet gevoelig voor zout', 'matig gevoelig voor zout' of 'zeer gevoelig voor zout'.



Figuur 13

Geschatte gevoeligheid voor zout van aquatische- en oeverbeheertypen binnen de Natura 2000-gebieden.

Vergelijking van Figuur 12 met Figuur 13 laat zien dat het ook hier grotendeels om terrestrische beheertypen gaat. Deze lopen naar verwachting bij blootstelling aan zout vanuit het oppervlaktewater weinig risico. De oostelijk gelegen gebieden zullen bovendien naar verwachting ook in de toekomst niet met een significante zoutbelasting vanuit het oppervlaktewater te maken krijgen. Hetzelfde geldt voor de duingebieden, hoewel daar wel een landinwaarts afnemende invloed van zoutspray vanaf zee heerst. Dit is echter een volstrekt natuurlijke karakteristiek van de kustduinen, waarop duinnatuur is ingesteld.

Aandachtspunt vormen eventuele drijvende kraggevegetaties in laagveengebieden zoals de Nieuwkoopse Plassen en het Oostelijk Vechtplassengebied. Hoewel zich in deze kraggen waarschijnlijk vrij gemakkelijk regenwaterlenzen vormen, onderscheiden zij zich van terrestrische natuur op percelen in die zin dat oppervlaktewater relatief gemakkelijk tot onder kraggen kan doordringen. Daarmee zou externe verzilting wellicht eerder voor kraggevegetaties een risico kunnen vormen dan voor 'echte' terrestrische percelen. In hoeverre dergelijke kraggevegetaties daadwerkelijk in contact kunnen komen met door oppervlaktewater aangevoerd zout - en hoe gevoelig ze daar dan voor zijn - is nog onvoldoende bekend en vormt onderwerp van lopend wetenschappelijk onderzoek aan Wageningen UR.

4.1.2 KRW-normen; achtergrond KRW zoutnormering en ecologische kwaliteit

De zoutnormering die in de Kaderrichtlijn Water (KRW) per type waterlichaam is afgesproken is afgeleid uit een analyse (door het RIVM) van dosis-effectstudies uit de internationale literatuur (Verbruggen et al., 2008). In deze analyse zijn milieurisicogrenzen afgeleid voor chloride in zoet oppervlaktewater en sediment en voor grondwater en bodem die niet door brak of zout water worden beïnvloed. De milieurisicogrenzen zijn op systematische wijze met zo actueel mogelijke toxicologische gegevens vastgesteld, conform de Europese Kaderrichtlijn Water (Van Vlaardingen en Verbruggen, 2007).

Het RIVM beschrijft het MTR (Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau) en ER (Ernstig Risiconiveau) voor oppervlaktewater²⁶, bodem en sediment. Dit zijn wetenschappelijk afgeleide waarden die dienen als advieswaarden. Deze milieurisicogrenzen hebben geen officiële status. Het merendeel van de gebruikte dosis-effectstudies voor chloride hebben betrekking op leefgemeenschappen en soorten in een aquatisch milieu. De normering is alleen bedoeld voor wateren die van nature zoet zijn. Dosis-effectrelaties voor terrestrische planten zijn in mindere mate beschikbaar.

Het RIVM heeft voor chlorideconcentraties geen humaan-toxicologische risicogrenzen afgeleid. Wel is er een kwaliteitsnorm van 150 mg/l voor chloride in oppervlaktewater, bestemd voor de bereiding van drinkwater (VROM, 1999). Deze norm is gebaseerd op organoleptische eigenschappen (smaak) en fysieke eigenschappen, zoals de corrosie van drinkwaterleidingen (Verbruggen et al., 2008). Chlorideconcentraties van meer dan 250 mg/l kunnen de smaak van drinkwater beïnvloeden (WHO, 1996, 2004). In de RIVM-studie zijn dosis-effect relaties meegenomen voor oppervlakte water dat gebruikt wordt als drinkwater voor vee. Men legt toxicologische risicogrenzen voor het vee bij chloride-gehalten van 1000 tot 2000 mg/l (Swartjes en Verbruggen, 2006).

De KRW-maatlat voor de ecologische toestand van oppervlaktewateren is geassocieerd met aquatische natuur; zie Tabel 6.

Tabel 6

Chlorideconcentraties (mg Cl/l; zomerhalfjaargemiddelden) in oppervlaktewateren, gekoppeld aan de ecologische toestand: Zeer Goede Ecologische Toestand (ZGET), Goede Ecologische Toestand (GET) en Matig of Slechtere Ecologische Toestand (Evers, 2006).

Watertype	Ecologische toestand (macrofauna)				
	zeer goed (ZGET)	goed (GET)	matig	ontoereikend	slecht
Grote rivieren (zoet)	≤ 150	≤ 150 ²⁷	≤ 200	≤ 250	≤ 250
Meren en plassen (zoet)	≤ 200	≤ 200 ⁵	≤ 250	≤ 300	≤ 300
Uitlopers grote rivieren (getijdenwater)	≤ 300	≤ 300 ⁵	≤ 350	≤ 400	≤ 400
Zwak brak water	300-3000	300-3000	<300		>3000
Kleine brakke tot zoute wateren	3000-10000	≥ 3000			<3000
Grote brakke tot zoute wateren (exclusief de zee)	10000-18000	≥ 10000			<10000

²⁶ De MTR voor chloride voor oppervlaktewater is in 1999 door VROM op 200 mg/l chloride vastgesteld. Verbruggen et al. (2008) hebben twee verschillende milieurisicogrenzen afgeleid; (i) het niveau waarbij geen schadelijke effecten zijn te verwachten (MTR) en (ii) een niveau waarbij mogelijk ernstige effecten voor ecosystemen zijn te verwachten (EReco). Voor chloride in oppervlaktewater zijn deze waarden op 94 en 570 mg/l vastgesteld. In de Kaderrichtlijn Water wordt uitgegaan van de eerder vastgestelde MTR van 200 mg/l (Evers, 2006, 2007).

²⁷ De bovengrens voor de GET is gelijk gesteld aan de (afgeronde) 95-percentielconcentratie van chloride in de zoete wateren. Voor zoete rivieren en zoete meren/plassen geldt een typologische (dat wil zeggen bij het desbetreffende watertype behorende) bovengrens van 300 mg Cl/l, maar deze bovengrens is relatief hoog ten opzichte van de feitelijke chlorideconcentraties in deze zoete wateren in Nederland (behalve in uitlopers van grote rivieren die worden beïnvloed door instroom van zeewater) en relatief hoog ten opzichte van het huidige MTR voor zoete wateren (200 mg Cl/l).

De indicatiewaarden voor chloride in de negen onderscheiden deelgebieden van Rijnland zijn ingevuld voor het meest zoutgevoelige KRW waterlichaam in de betreffende polder; zie Tabel 7.

Tabel 7

Indicatiewaarden voor chloride in de negen onderscheiden deelgebieden van Rijnland, ingevuld voor het meest zoutgevoelige KRW waterlichaam in het deelgebied (Evers et al., 2007). Identificatie van KRW typen: M1a = zoete sloten, gebufferd, op klei; M1b = zeer zwak brakke sloten op klei; M3 = gebufferde regionale kanalen; M8 = gebufferde laagveen sloten; M10 = laagveenvaarten en -kanalen; M22 = kleine ondiepe kalkrijke plassen; M25 = ondiepe laagveenplassen; M27 = matig grote ondiepe laagveenplassen; M30 = zwak brakke wateren. Bron: J. Veraart (Alterra), persoonlijke mededeling, 2012.

Deelgebied	boezem	sloten en plassen in polder	Natura 2000 voedend	zeer goed (ZGET)	goed (GET)	matig	ontoe-reikend	slecht
	KRW-type		Chloride, zomerhalfjaargemiddelde (mg/l) / BOEZEM					
Noordplas / Middelburg tempelpolder (NMTP)		M1b?	nee	1000	1000	150	100	50
Zuidelijke veenpolders (ZVP)		M8/M25	JA	200	200	250		300
Duingebied (DG)		M1a/M22	JA	150	150	200	300	400
Bollenstreek (BS)		M1a/M1b	nee	150	150	200	300	400
Haarlemmermeer (HMM)		M1b?	NEE	1000	1000	150	100	50
Boskoop (BK)		M8	NEE	300	300	350		400
Nieuwkoopse plassen (NKP)	M10/M3	M8/M27	JA	200	200	250		300
Overige polders (OV)		M8/M1a/M1b	?	150	150	200	300	400
Greenport Aalsmeer (AM)		M1a/M1b	NEE	150	150	200	300	400

In het rekeninstrument wordt de ecologische toestand van de oppervlaktewateren in het beheersgebied van Rijnland conform de opgave in Tabel 6 (pagina 36) automatisch geclassificeerd als 'zeer goed', 'goed', 'matig', 'ontoe-reikend' of 'slecht', afhankelijk van het chloridegehalte dat in een gesimuleerde situatie in de betreffende polder wordt gerealiseerd.

4.2 Vertaling naar euro's

De effecten van inlaat op de natuurtypen (beheertypen) zijn kwalitatief beoordeeld; er is geen poging gedaan deze beoordeling te vertalen in euro's.

5 Resultaten van modelanalyses

5.1 Geanalyseerde maatregelen

De projectgroep heeft de volgende maatregelen of handelingsmogelijkheden geïdentificeerd als zinvol, en dus geschikt voor analyse:

1. in sommige voorzieningsgebieden hogere zoutgehalten accepteren, i.c. negeren van bestaande, geaccepteerde drempelwaarden ('zoutnormen');
2. bij Gouda water met hoger chloridegehalte inlaten, dus mogelijkheden om de norm bij Gouda substantieel te verhogen;
3. gebieden als zelfvoorzienend beschouwen;
4. wellen dichten;
5. open waterpeilen opzetten tegen brakke kwel;
6. in bepaalde gebieden overschakelen op ander landgebruik / andere teelten;
7. alleen zoetwater aanvoeren waar nodig: zoetwater op de juiste plek, op juiste moment.

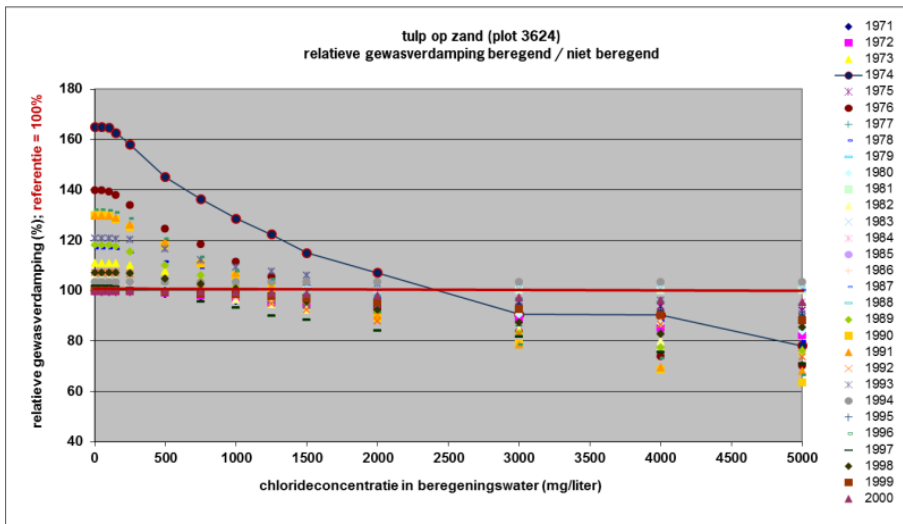
Een andere kansrijke maatregel - die hier niet is geanalyseerd - is het beter afstemmen van de berekening op het bodemtype.

Evaluatie van maatregelen die nu zijn vermeld in de conceptversie van de Blokkendoos DPZW

A) Prioritering doorspoeling versus beregening landbouw uit oppervlaktewater bij watertekort

Deze maatregel kan in de Blokkendoos blijven staan. Het effect ervan is niet in dit project geanalyseerd.

Nuancering bij deze maatregel: het is voor landbouw vaak beter om met zout water te beregenen dan niet te beregenen; veel agrariërs weten dit en doen dat ook. Droogteschade, veroorzaakt door niet te beregenen, zal doorgaans groter zijn dan zoutschade, veroorzaakt door te beregenen met verzilt oppervlaktewater. Pas bij aanzienlijke chlorideconcentraties zal de zoutschade ten gevolge van beregenen met verzilt oppervlaktewater de droogteschade overstijgen. Dit is te zien in Figuur 14, waaruit kan worden afgelezen bij welke chlorideconcentratie in beregeningswater de zoutschade de vermindering van de droogteschade door beregening gaat overtreffen. Voor 1974, het jaar met de meeste droogteschade (doorgetrokken lijn) is dat pas het geval bij beregeningswater met een chloridegehalte boven 2400 mg Cl/l.



Figuur 14

Met model SWAP gesimuleerde gewasverdamping voor tulp op zand voor de periode 1971-2000. De gewasverdamping bij niet beregenen is gesteld op 100% (horizontale rode lijn; referentiesituatie). Beregenen heeft zin als de relatieve gewasverdamping erdoor wordt vergroot tot boven de referentiesituatie. In 1974, het jaar met de meeste droogteschade (want het grootste effect van beregenen; doorgetrokken blauwe gegevensreeks) is dit het geval bij beregeningswater tot een chloridegehalte van ca. 2400 mg Cl/l. Bij hogere chloridegehalten zal zoutschade aan tulpen de vermindering van de droogteschade door beregening teniet doen, of erger: de relatieve gewasverdamping daalt tot waarden beneden de 100%. Deze referentiewaarde zegt niets over de dat jaar gerealiseerde waarde van de gewasverdamping; deze is elk jaar weer anders (Bron: Van Bakel et al., 2009).

B) Vermindering zoutgehalte bij aanvang zomerhalfjaar door extra doorspoelen in winterhalfjaar

Deze maatregelen wordt weinig zinvol geacht. Het systeem heeft weinig 'geheugen'; er is weinig bufferruimte om de lage chlorideconcentraties vast te houden²⁸.

5.2 Zoutschade aan de landbouw en natuur

De zoutschade die in €ureyeopener 1.0 aan diverse vormen van landbouw in Rijnland wordt berekend is gebaseerd op de meest actuele kennis die in februari 2012 voor de regio West Nederland op een rij is gezet (Van Bakel et al., 2012²⁹). Zoutschades worden berekend in k€/ha, maar gepresenteerd als totale schade voor de betrokken sectoren door de zoutschade per hectare te vermenigvuldigen met het areaal waarop de betreffende vorm van landbouw wordt bedreven.

De ecologische toestand van de oppervlaktewateren wordt, conform de opgave in Tabel 7, automatisch geclassificeerd als 'zeer goed', 'goed', 'matig', 'ontoereikend' of 'slecht', afhankelijk van het chloridegehalte dat als gevolg van deze maatregel in de desbetreffende deelgebied wordt gerealiseerd.

²⁸ Wat wel enig soelaas biedt (voor een gebied als Rijnland) is bij het vooruitzicht van het 'sluiten van Gouda', het systeem snel door te spoelen en vooral te beregenen (en bassins te vullen) zolang er nog water beschikbaar is. Hierdoor kan het systeem iets langer zonder wateraanvoer vanuit Gouda.

²⁹ Van Bakel, P.J.T., R. Kselik, H.T.L. Massop en L.C.P.M. Stuyt. 2012. Toelichting zoutschades Rijnland. Memo, opgesteld in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland (in voorbereiding).

5.2.1 De referentiesituatie

In deze paragraaf worden zeven maatregelen geëvalueerd in termen van waterinlaat, Cl-concentratie van het inlaatwater en zoutschade aan de landbouw per deelgebied, ten opzichte van een referentiesituatie. Tevens worden de effecten op de ecologische toestand van de oppervlaktewateren beschreven. Kosten van maatregelen zijn niet in kaart gebracht.

De effectiviteit van de geanalyseerde maatregelen is afgemeten ten opzichte van een referentiesituatie met de volgende kenmerken:

- het referentiejaar is het groeiseizoen (1 apr - 1 okt) van 1989, een '10% droog jaar'³⁰;
- in de referentiesituatie is de totale inlaat bij Gouda tijdens het groeiseizoen 114 miljoen m³, overeenkomend met gemiddeld 7,2 m³/s;
- de chlorideconcentratie van het inlaatwater bij Gouda is 200 mg/l;
- de voor de geschematiseerde deelgebieden nog acceptabele chlorideconcentraties zijn de geldende beheerswensen/normen/drempelwaarden;
- aan het benedenstroomse einde van het systeem (Noordzeekanaal) is de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater in de boezem opgelopen tot 621 mg/l;
- de totale zoutschade in de landbouw in het gebied bedraagt in de referentiesituatie €25 miljoen.

Figuur 15 is een schermafbeelding van het invoerscherm van €ureyeopener, dat in MS Excel is gebouwd. Hierop zijn de waarden van de referentiesituatie te herkennen.

De belangrijkste functie van €ureyeopener is dat gemakkelijk (al dan niet groepsgewijs³¹) inzicht wordt verworven in hoe het watersysteem reageert op voorgestelde veranderingen, welke veranderingen meer of minder effect hebben en wat de orde grootte van deze effecten is. In een vervolgstap zal het effect van de meest veelbelovende ingrepen moeten worden geëvalueerd met nauwkeuriger modellen.

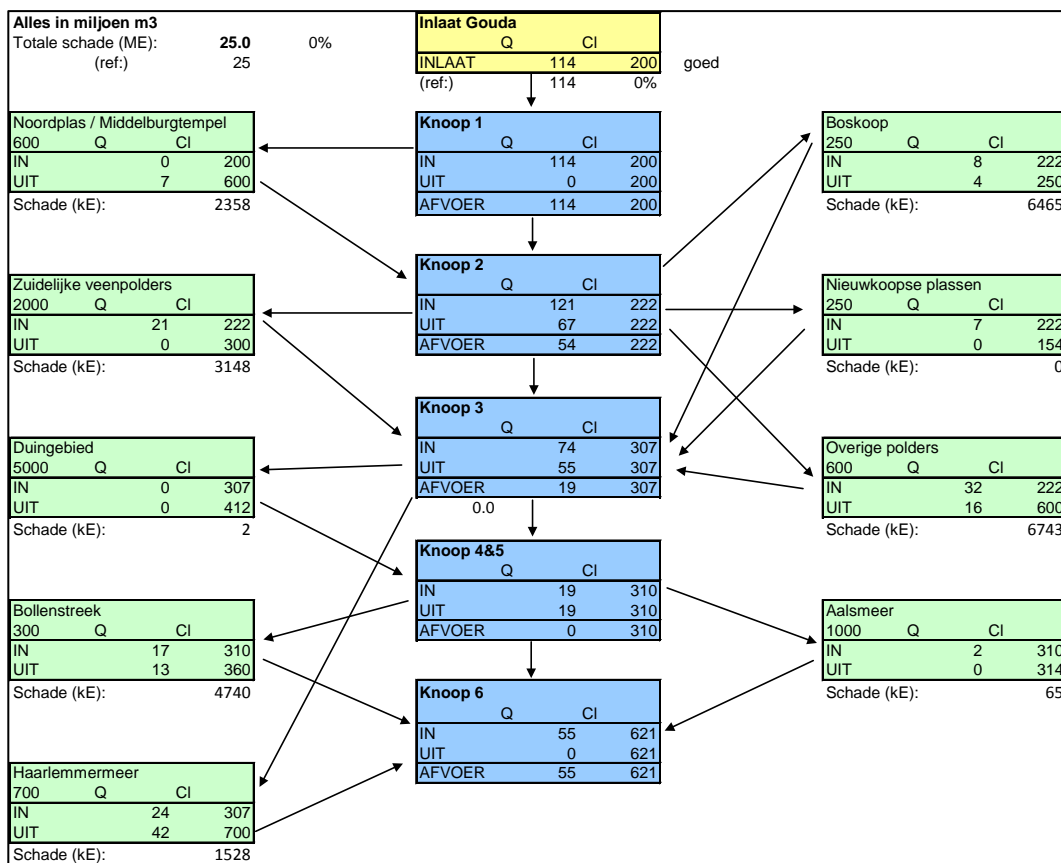
Om een indruk te krijgen van hoe het systeem op veranderingen reageert zijn gedurende de analyse van maatregelen ook variaties hierop doorgerekend, inclusief de effecten van deze variaties.

Een belangrijk punt dat bij de interpretatie van de analyseresultaten in het achterhoofd moet worden gehouden is de instelling die is gekozen voor het evenwicht tussen de doorspoelbehoefte van een deelgebied en de daar gewenste streefwaarde voor chloride ('chloridenorm'). Als de chlorideconcentratie in een deelgebied stijgt zal €ureyeopener proberen om de streefwaarde in dit deelgebied toch te 'halen' door aan dit gebied meer doorspoelwater toe wijzen. Deelgebieden gaan aanzienlijk meer doorspoelwater vragen als de chlorideconcentratie van het aangevoerde water hun streefwaarde/norm benadert. In werkelijkheid zal hier echter sprake zijn van beperkingen: om meerdere redenen (hydraulische capaciteit van de infrastructuur van het oppervlaktewater, beschikbaarheid van zoet water) zal niet onbeperkt water voor doorspoeling kunnen worden aangevoerd.

De effecten van onderstaande maatregelen op zoutschade in de landbouw zijn samengevat in Tabel 8; zie pagina 48.

³⁰ Een jaar met een neerslagtekort in het groeiseizoen dat gemiddeld één keer in de tien jaar voorkomt of overschreden wordt.

³¹ 'Joint Fact Finding'.



Figuur 15

Schermafbeelding van het rekeninstrument voor interactieve analyse van zoetwaterbeheer in Rijnland.

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater en de natuur

Qua ecologische toestand van oppervlaktewateren scoren in de referentiesituatie vier gebieden goed, nl. Noordplas, Haarlemmermeer, Boskoop en Nieuwkoopse plassen. De overige vijf gebieden scoren slecht.

Zoutschade aan aquatische- en oeverbeheertypen binnen de Natura 2000-gebieden wordt vooralsnog niet gekoppeld aan gerealiseerde chloridegehalten maar is op kaart (zie Figuur 12; pagina 34) geclassificeerd als 'niet gevoelig voor zout', matig gevoelig voor zout' of 'zeer gevoelig voor zout'.

5.2.2 Maatregel 1: In alle gebieden oppervlaktewater met hoger zoutgehalte toestaan

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

In alle gebieden wordt de chlorideconcentratie die nog acceptabel wordt geacht, verhoogd.

Effectiviteit

Bij een verhoging van het toelaatbare chloridegehalte van het aanvoerwater in alle gebieden in Rijnland met 100 mg/l t.o.v. de referentiesituatie daalt de inlaatbehoefte bij Gouda met 29 miljoen m³ (van 114 naar 85 miljoen, een daling van 25%, oftewel van 7,2 naar 5,4 m³/sec). De Haarlemmermeer, Overige polders en Zuidelijke veenpolders zijn dan nog de grootste vragers om doorspoelwater. De zoutschade in de landbouw loopt op naar €30,2 miljoen, een stijging met 21%.

Bij een verhoging van het toelaatbare chloridegehalte van het aanvoerwater in alle gebieden in Rijnland met 300 mg/l t.o.v. de referentiesituatie daalt de inlaatbehoefte bij Gouda naar 65 miljoen m³ (4,1 m³/s) en stijgt de zoutschade in de landbouw tot €32,5 miljoen (+30%). Als de inlaatconcentratie bij Gouda onder deze conditie van 200 naar 300 mg/l wordt verhoogd neemt de zoutschade in de landbouw toe tot €42,9 miljoen (+72%). Het merendeel van deze schade treedt op in Boskoop. Onder deze omstandigheden wordt het waard te overwegen om Boskoop zelfvoorzienend te maken. Ook bij hogere inlaatconcentraties zorgt voornamelijk Boskoop voor de toename van de totale zoutschade.

Ter vergelijking

Als de normen in alle gebieden met 100 mg/l ten opzichte van de referentiesituatie worden verlaagd dalen de schades niet veel, maar stijgt de inlaatbehoefte bij Gouda met 29% (9,3 m³/sec). De zoutbelasting (200 mg/l bij Gouda) is dan namelijk te hoog om de normen te kunnen halen.

Effecten de op ecologische toestand oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie verschuift voor twee gebieden de classificatie van 'goed' naar 'slecht', dit gaat om Boskoop en de Nieuwkoopse Plassen, voor de overige gebieden verandert de classificatie niet. Het hogere chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is mogelijk nadelig voor de drijvende kraggevegetaties aldaar.

Plassen of plassen?

5.2.3 Maatregel 2: Water met hoger chloridegehalte inlaten bij Gouda

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

Om met een hogere chlorideconcentratie van inlaatwater in de doelgebieden dezelfde concentraties te kunnen realiseren moet met meer water worden doorgespoeld: bij Gouda moet meer (brakker) water worden ingelaten om dit bij de gebruikers tot de gewenste concentraties te kunnen verdunnen.

In €ureyeopener kunnen de doorspoelhoeveelheden van de aangesloten gebieden zonder beperking worden opgevoerd. Als echter in (een volgende versie van) €ureyeopener een hydraulische bovengrens (capaciteitsbeperking) wordt gedefinieerd, zal de chlorideconcentratie in de gebieden sterker oplopen dan met de huidige versie gebeurt.

In de referentiesituatie is uitgegaan van 200 mg/l, maar de chloridenorm bij Gouda wordt nu ingesteld op 300 mg/l. De in de praktijk gehanteerde grens voor waterinlaat ligt op 250 mg/l.

Effectiviteit

Om met deze hoge chlorideconcentratie van inlaatwater dezelfde concentraties in de doelgebieden te kunnen handhaven moet met meer water worden doorgespoeld: er moet nu bij Gouda 127 miljoen m³ worden ingelaten (8,1 m³/sec). De zoutschade in de landbouw neemt toe naar €36,6 miljoen (toename met 46%). In Boskoop wordt nu niet meer de gewenste concentratie (250 mg/l) bereikt.

Om de effectiviteit van deze maatregel goed te kunnen beoordelen zou de vermeden droogteschade door het langer (tot hogere chloridegehalten) kunnen gebruiken van Gouda, en dus langer kunnen beregenen, moeten worden meeberekend.

Ter vergelijking

Verlaging van de inlaatconcentratie bij Gouda naar 150 mg/l zorgt voor een doorspoelvraag van 113 miljoen m³ (7,2 m³/sec). Deze daalt dus nauwelijks vergeleken met de referentiesituatie. De schade neemt af tot €21,4 miljoen t.o.v. €25,0 miljoen in de referentiesituatie.

Bij een inlaatconcentratie van 200 mg/l is de minimaal haalbare zoutschade in de landbouw in het gebied €19,1 miljoen. Daar staat tegenover dat de inlaatbehoefte bij Gouda dan stijgt tot maar liefst 195 miljoen m³ (12,4 m³/sec). Dus 81 miljoen m³ meer inlaat betekent €6 miljoen minder schade (ruim 7 cent per m³).

Bij een inlaatconcentratie van 300 mg/l is de minimaal haalbare schade €32,5 miljoen. De inlaatbehoefte bij Gouda is dan 250 miljoen m³ (15,9 m³/sec).

Bij een inlaatconcentratie van 300 mg/l en een maximale inlaat van 114 miljoen m³ (7,2 m³/sec, conform de referentiesituatie), stijgt de schade tot €37,3 miljoen. De zoutschade loopt vooral op in de Bollenstreek en in Boskoop, de meest zoutgevoelige gebieden.

Een inlaatconcentratie van 255 mg/l is de maximale concentratie die nog toelaatbaar is om de waterkwaliteit van de Nieuwkoopse Plassen op peil te houden. Bij 300 mg/l gaat het in dit gebied dus mis.

Bij een inlaatconcentratie van 120 mg/l (achtergrondconcentratie van Rijn, veel lager zal de concentratie waarschijnlijk niet kunnen worden) en een zoutschade in de landbouw van €25 miljoen, kan de inlaat dalen tot 61 miljoen m³ (3,9 m³/sec). De norm kan bij Boskoop dan iets omhoog tot 170 mg/l en dan nog is de zoutschade in Boskoop veel lager dan in de referentiesituatie. In het hele gebied loopt de doorspoelbehoefte sterk terug.

Als dan ook de norm voor de Bollenstreek wordt verhoogd tot 250 mg/l, stijgt de inlaatbehoefte tot 72 miljoen m³ (4,6 m³/sec), maar daalt de schade in de Bollenstreek met 50%.

Deze maatregel is min of meer analoog met het creëren van een inlaatpunt bovenstrooms van Gouda. Het water stroomt dan in onze schematisatie wel nabij Gouda het achterliggend gebied in.

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie verandert de classificatie voor drie gebieden; voor de Zuidelijke veenpolders en Aalsmeer verandert de classificatie van 'slecht' naar 'matig' en voor Bollenstreek van 'slecht' naar 'ontoereikend'. Het enigszins lagere chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is niet nadelig voor de drijvende kraggevegetaties aldaar.

5.2.4 Maatregel 3: Boskoop wordt zelfvoorzienend

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

In het gebied Boskoop wordt in €ureyeopener een chlorideconcentratie van 2000 mg/l toegestaan. Dit betekent dat Boskoop niet meer bepalend is voor de waterinlaat. Binnen het gebied van Boskoop zullen lokale maatregelen moeten worden genomen om zelfvoorzienendheid te realiseren.

Effectiviteit

Door het afkoppelen van Boskoop loopt de doorspoelbehoefte (de hoeveelheid water die bij Gouda moet worden ingelaten) niet terug. Ook voor de andere gebieden levert afkoppelen van Boskoop geen extra ruimte in de chloridegehalten op. De concentraties in het water benaderen namelijk sowieso al de normen van deze gebieden (met name de Bollenstreek is bepalend). Daardoor blijft de doorspoelbehoefte (inlaatbehoefte bij Gouda) toch in stand.

Opgemerkt dient te worden dat het zelfvoorzienend maken van Boskoop bij hogere inlaatconcentraties wel weer ruimte biedt, zie paragraaf 5.2.2 (pagina 42). Dit betekent dat er in de uitwerking van deze maatregel 'omslagpunten' zijn die aangestuurd worden door de inlaatconcentratie. Zij moeten nog worden verkend.

Ter vergelijking

Het afkoppelen van alleen *de Bollenstreek* heeft wel effect. De behoefte aan doorspoelwater daalt dan bij Gouda met 11%, tot 103 miljoen m³ (6,5 m³/sec). De 'benedenstrooms' gelegen Bollenstreek blijkt bij het zoetwaterbeheer de 'gevoelige schakel' in het systeem.

Overigens: afhankelijk van het type gewas is beregening in de Bollenstreek alleen in het voorjaar nodig, of gedurende het gehele zomerseizoen. De 'zomerbollen', zoals gladiolen en lelies zijn het meest gevoelig. Als het voor de Haarlemmermeer geaccepteerde chloridegehalte wordt verhoogd van 600 naar 2000 mg/l (Haarlemmermeer in feite zelfvoorzienend) kan de doorspoelvraag bij Gouda worden verlaagd naar 88 miljoen m³ (5,6 m³/sec). De zoutschade in de landbouw wordt hierdoor circa €1,8 miljoen hoger dan in de referentiesituatie.

Als de Haarlemmermeer én de 'Overige polders' worden afgekoppeld daalt de inlaatbehoefte bij Gouda voor doorspoeling tot 74 miljoen m³ (4,7 m³/sec).

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie blijft de classificatie bij maatregel 3 onveranderd.

Het chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is identiek aan de referentiesituatie daardoor veranderen de omstandigheden niet voor de drijvende kraggevegetaties aldaar.

5.2.5 Maatregel 4: Dichten van wellen

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

Alle belastingen van watersystemen met chloride via brakke kwel door wellen is in alle gebieden op nul gesteld. De diffuse kwel (=de kwel die niet via wellen het gebied belast) blijft gehandhaafd. Het daadwerkelijk afsluiten van wellen lijkt overigens moeilijk uitvoerbaar; bij afsluiting kunnen in de directe omgeving nieuwe wellen ontstaan.

Effectiviteit

Door deze maatregel is er voor doorspoeling bij Gouda 31 miljoen m³ (27%; 2,0 m³/sec) minder inlaat nodig. De zoutschade in de landbouw loopt terug tot €14,1 miljoen (afname van 44% t.o.v. de referentiesituatie).

De Haarlemmermeer heeft onder normale omstandigheden 25 miljoen m³ doorspoelwater nodig. Deze doorspoelbehoefte vervalt nagenoeg volledig als de wellen worden gedicht. De diffuse kwel in de Haarlemmermeer zorgt voor een geringe verhoging van de chloridegehalten. Deze verhoging is echter gering; van een significante toename van de doorspoelbehoefte is geen sprake.

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie verandert de classificatie voor drie gebieden, de gebieden Overige polders en Aalsmeer gaan van 'slecht' naar 'ontoereikend' en de regio Zuidelijke veenpolders verandert van 'slecht' naar 'matig'.

Het chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is enigszins lager dan in de referentiesituatie daardoor veranderen de omstandigheden nauwelijks voor de drijvende kraggevegetaties aldaar.

5.2.6 Maatregel 5: Peilopzet in oppervlaktewater tegen brakke kwel

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

In de 'kleipolders' wordt het oppervlaktewaterpeil opgezet, te weten polder de Noordplas, de Bollenstreek, de Haarlemmermeer en de 'Overige polders').

Het opzetten van peilen in de sloten heeft effect op kwel naar sloten en kwel onder de percelen. Vooral de kwel via 'upconing' onder sloten wordt teruggedrongen. Zowel het debiet van de kwel als de zoutvracht nemen af. Aangenomen is dat de diffuse kwel (debiet en concentratie chloride) met 20% afneemt wanneer het peil met ongeveer 20 cm wordt opgezet. De activiteit van wellen neemt met ongeveer met 10% af.

Effectiviteit

Door deze maatregel daalt de zoutschade in de landbouw nauwelijks, namelijk van €25,0 tot €23,7 miljoen.

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie verandert de classificatie voor twee gebieden; de Zuidelijke veenpolders en Aalsmeer gaan van 'slecht' naar 'ontoereikend'. Het chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is nagenoeg gelijk aan het gehalte in de referentiesituatie daardoor veranderen de omstandigheden nauwelijks voor de drijvende kraggevegetaties aldaar.

5.2.7 Maatregel 6: Verandering van landgebruik in de Bollenstreek

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

Bij deze maatregel is het landgebruik van de Bollenstreek veranderd en gelijkgesteld aan dat van het gebied 'Overige Polders'. De norm van de Bollenstreek is tot 600 mg/l verhoogd.

Overigens: verplaatsen van bollen en bamenteelt is een weinig realistische maatregel. In een nadere, toekomstige analyse kan daarom beter het effect worden geanalyseerd van andere typen gewassen en/of andere teeltvormen.

Effectiviteit (mate van vermindering doorspoelbehoefte)

De inlaatbehoefte daalt met bijna 10% tot 103 miljoen m³ (6,5 m³/sec). De zoutschade in de landbouw daalt dankzij deze wijziging in de Bollenstreek met 15%: van €25 tot €21,2 miljoen.

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie verandert de classificatie bij uitvoering van maatregel 6 niet.

Het chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is gelijk aan dat in de referentiesituatie; daarom veranderen de omstandigheden niet voor de daar aanwezige, drijvende kraggevegetaties.

5.2.8 Maatregel 7: Zoetweraanvoer sturen op behoefte: locatie, tijd, kwaliteit

Omschrijving, aannamen, uitgangspunten

In deze maatregel wordt de verdeling van schaars zoet water verbeterd door meer gericht te sturen op beoogde chloridenormen. Deze maatregel, die naar verwachting kan worden opgebouwd uit een scala van afgestemde inrichtings- en beheersmaatregelen is in het kader van dit project niet uitgewerkt. Er werd slechts één inrichtingsmaatregel gesimuleerd, namelijk lozing van het effluent van polder de Noordplas op de boezem *benedenstreams* van 'Boskoop'. Het voordeel is dat het inlaatwater niet door de Noordplas met zout wordt 'vervuild' voordat het in Boskoop komt, zodat in Boskoop lagere chlorideconcentraties kunnen worden

gerealiseerd. Uit deze analyse blijkt dat zoutconcentraties die in de Noordplas ontstaan grote invloed hebben op de concentraties in Boskoop. Als de invloed van de Noordplas op Boskoop wordt 'uitgeschakeld', wordt Boskoop dus minder met zout belast.

Effectiviteit

Als in deze variant de streefwaarde voor de Bollenstreek op 360 mg/l wordt gezet (i.c. het chloridegehalte dat daar in de referentiesituatie wordt gehaald) en de norm voor Boskoop 250 mg/l wordt gehandhaafd, blijft de inlaatbehoefte bij Gouda hoegenaamd gelijk, te weten 116 miljoen m³ (7,4 m³/sec), maar daalt de schade in Boskoop met 12%. Als de norm van Boskoop naar 210 mg/l wordt verlaagd daalt de schade in Boskoop aanzienlijk: met ca. 40%.

Effecten op de ecologische toestand van het oppervlaktewater

In vergelijking met de referentiesituatie verander de classificatie voor twee gebieden, de gebieden Zuidelijke veenpolders en Aalsmeer gaan van 'slecht' naar 'ontoereikend'.

Het chloridegehalte in de Nieuwkoopse Plassen is enigszins lager dan in de referentiesituatie, hierdoor veranderen de omstandigheden voor de drijvende kraggevegetaties niet in nadelige zin.

5.2.9 Effecten van de besproken maatregelen samengevat

De kentallen van de in paragraaf 5.2.2 t/m 5.2.8 besproken effecten van maatregelen ten opzichte van de referentiesituatie zijn samengevat in Tabel 8.

Tabel 8

Effecten van maatregelen op de zoutschade in de landbouw.

Maatregel nummer	Maatregel	Inlaat (miljoen m ³ , benodigd tijdens het groeiseizoen)	Inlaat (m ³ /sec, benodigd tijdens het groeiseizoen)	Cl van het inlaatwater bij Gouda	Zoutschade in de landbouw, totaal (M€)	Zoutschade in de landbouw, locatiegebonden (k€)									
						Aalsmeer	Boskoop	Bollenstreek	Duingebied	Haarlemmermeer	Nieuwkoopse Plassen	Noordplas, M-Tempelpolder e.a.	Overige Polders	Zuidelijke Veenpolders	
0	Referentiesituatie	114	7,2	200	25,0	65	6465	4740	2	1528	0	2358	6743	3148	
1	Zoutgehalte alle aandachtsgebieden +100 mg/l	85	5,4	200	30,2	62	9213	5541	2	1716	0	2358	8014	3312	
	Zoutgehalte alle aandachtsgebieden +300 mg/l	65	4,1	200	32,5										
	Zoutgehalte alle aandachtsgebieden +300 mg/l; inlaat 300 mg/l	65	4,1	300	42,9										
	Zoutgehalte alle aandachtsgebieden +300 mg/l; inlaat 500 mg/l	70	4,5	500	59,1	151	25867	8875	2	1929	9	2358	9885	9994	
	Zoutgehalte alle aandachtsgebieden -100 mg/l	147	9,3	200		64	7702	4733	2	1260	0	1834	5471	3081	
2	Bij Gouda water inlaten 300 mg/l	127	8,1	300	36,6	99	13898	6613	2	1528	3	2358	6743	5368	
	Bij Gouda water inlaten 150 mg/l	113	7,2	150	21,4	44	5140	3561	2	1528	0	2358	6743	2027	
	Minimum zoutschade landbouw bij 200mg/l inlaat	195	12,4	200	19,1										
	Minimum zoutschade landbouw bij 300mg/l inlaat	250	15,9	300	32,5										
	Minimum zoutschade landbouw bij 300mg/l inlaat	114	7,2	300	37,3										
	Bij Gouda water inlaten 120 mg/l; optimalisatie schade en inlaat	72	4,6	120	18,8	14	1293	2571	2	2030	0	2358	1500	1685	
3	Boskoop zelfvoorzienend maken	114	7,2	200	18,5	64	8693	4712	2	1528	0	2358	6743	3148	
	Haarlemmermeer zelfvoorzienend	88	5,6	200	26,8										
	Haarlemmermeer en Overige polders afkoppelen	74	4,7	200											
4	Dichten van wellen	83	5,3	200	14,1	27	6093	3561	2	524	0	264	1618	1996	
5	Peilen opzetten: wellen -10%, drainage -20%	102	6,5	200	23,7	51	6465	3561	1	1528	0	2359	6743	2977	
6	Verandering landgebruik in de Bollenstreek	103	6,5	200	20,3	73	6465	825	2	1528	0	2358	6743	3203	
7	Polder de Noordplas loost benedenstreams van Boskoop	116	7,4	200	21,9	67	3879	4749	2	1528	0	2358	6743	2624	
	Polder de Noordplas loost naar zee	114	7,2	200	21,9	59	3879	4749	2	1528	0	2358	6743	2624	

N.B. In alle maatregelen is het debiet van de waterinlaat bij Gouda geminimaliseerd bij volledige peilhandhaving in het gehele beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland, met behulp van de 'Solver' in MS Excel 2010.

Maatregel 4, het dichten van wellen, is vanuit landbouwkundig oogpunt de meest gunstige maatregel omdat deze leidt tot een duidelijke afname van de zoutschade in de landbouw. De praktische uitvoerbaarheid van deze maatregel lijkt vooralsnog een probleem. Verhoging van de chlorideconcentratie in de verschillende aandachtsgebieden (maatregel 1) leidt tot hogere zoutschades in de landbouw.

De effecten van de besproken maatregelen inclusief de referentiesituatie op de ecologische toestand van het oppervlaktewater zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9

Effecten van maatregelen op de ecologische toestand van het oppervlaktewater.

Maatregel, nummer	Maatregel	Inlaat (miljoen m ³ , benodigd tijdens het groeiseizoen)	Inlaat (m ³ /sec, benodigd tijdens het groeiseizoen)	Cl van het inlaatwater bij Gouda	Schade natuur								
					Aalsmeer	Boskoop	Bollenstreek	Duingebied	Haarlemmermeer	Nieuwkoopse Plassen	Noordplas, M-Tempelpolder e.a.	Overige Polders	Zuidelijke Veenpolders
0	Referentiesituatie	114	7,2	200	314 ¹	250 ¹	360	412	700	154	600	600	300
1	Zoutgehalte alle aandachtsgebieden +300 mg/l; inlaat 500 mg/l	70	4,5	500	634	550	387	412	1000	351	600	900	627
2	Bij Gouda water inlaten 120 mg/l; optimalisatie schade en inlaat	72	4,6	120	184 ¹	170	250	412	1123	111	600	760	230
3	Boskoop zelfvoorzienend maken	114	7,2	200	313	264	350	412	700	154	600	600	300
4	Dichten wellen	83	5,3	200	216 ¹	244	300	412	336	139	201	240	245
5	Peilen opzetten: wellen -10%, drainage -20%	102	6,5	200	260	250	300	330	700	150	600	600	292
6	Verandering landgebruik Bollenstreek	103	6,5	200	334	250	456	412	700	155	600	600	303
7	Polder de Noordplas loost benedenstrooms van Boskoop	116	7,4	200	321	210	360	412	700	136	600	600	275
	Polder de Noordplas loost naar zee	114	7,2	200	299	210	360	412	700	136	600	600	275

¹ Ecologische toestand van het oppervlaktewater: groen = goed, geel = matig, oranje = ontoereikend en rood = slecht.

Maatregel 1 geeft een duidelijke verslechtering van de ecologische toestand van het oppervlaktewater, terwijl maatregel 2 de grootste verbetering laat zien van de ecologische toestand van het oppervlaktewater. Voor de aquatische natuur in de Nieuwkoopse Plassen heeft alleen maatregel 2 een verhoging van de chlorideconcentratie tot gevolg, dit is mogelijk nadelig voor de kraggevegetatie aldaar.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Voor het in beeld brengen van de handelingsruimte rond het zoetwaterbeheer in tijden van schaarste in het Hoogheemraadschap van Rijnland is het onvermijdelijk om de aan te voeren volumina aan oppervlaktewater en het chloridegehalte hiervan in verband te brengen met de zoutschade aan landbouw en natuur. Om dit te bereiken is in zeer korte tijd een simpel conceptueel, deterministisch³² analyse instrument '€ureyeopener' ontwikkeld: een digitale 'knoppenkast' in Excel. Door aan diverse 'knoppen te draaien' worden allerlei effecten van mogelijke ingrepen en onderlinge verbanden simultaan inzichtelijk gemaakt. Het is nu mogelijk om, met inachtneming van gehanteerde aannames en uitgangspunten, snel en interactief de uitwerking van een heel scala aan maatregelen te verkennen.

Gedurende de analyses is gebleken dat de wijze waarop het watersysteem op opgelegde veranderingen reageert complex is. Het bleek noodzakelijk om gevoeligheidsanalyses uit te voeren en de 'werking' van het beheersgebied beter te doorgronden: hoe reageert het systeem op veranderingen, en hoe kan dat worden verklaard?

De vervolgstap is nader dimensioneren en optimaliseren van maatregelen. Hiermee is een start gemaakt. Nog niet alle opties zijn geanalyseerd en in beeld gebracht. Hoewel zeer bruikbare inzichten zijn ontstaan is de 'handelingsruimte zout' nog niet volledig in beeld. Daarvoor zijn additionele basisgegevens nodig en moeten aanvullende varianten op systematische wijze worden doorgerekend en geanalyseerd. Wel is duidelijk dat er handelingsruimte is, en dat dit geen druppel is op de gloeiende plaat.

Van een aantal maatregelen is het effect geanalyseerd; zie hoofdstuk 5 en Tabel 8. Daartoe zijn steeds één of enkele beheersparameters in het systeem gewijzigd. Sommige maatregelen hebben een significant effect (verhogen normen in deelgebieden zoals de Haarlemmermeerpolder, afkoppelen Bollenstreek). Anderen lijken nauwelijks effect te hebben. Het lijkt (met het inzicht van nu) vooral zinvol om een combinatie van maatregelen te treffen:

- toelaatbare chlorideconcentraties in gebieden verhogen;
- meer zelfvoorzienendheid in de meest zoutgevoelige gebieden;
- langer doorgaan met waterinlaat bij Gouda (grenswaarde voor chloride verhogen) en doorgaan met beregenen om droogteschade te voorkomen, ook als chloridegehalten oplopen³³.

Ten aanzien van het begrip 'handelingsruimte' kan worden opgemerkt dat dit in het licht van onze uitkomsten tot subjectieve interpretaties kan leiden. Voor de ene partij betekent dit een fikse besparing op ingelaten hoeveelheden oppervlaktewater bij Gouda, ten koste van een geringe stijging van schades. Voor de andere partij staat het voorkómen van schade bij het treffen van maatregelen als het loslaten van rigide chloridenormen ('ontstarren' van het zoetwaterbeheer) voorop. Handelingsruimte wordt dan

³² Een model dat een invoer volgens een vaststaande wetmatigheid omzet in uitvoer, zonder rekening te houden met onzekerheden.

³³ Van Bakel en Stuyt (2011): Alterra-rapport 2201 (2011); Stuyt en Van Bakel (2011): Alterra-rapport 2200 (2011).

'onderhandelingsruimte'. Wij beperken ons tot het rapporteren van de wijze waarop het systeem reageert als representatie van de handelingsruimte.

Een generieke conclusie van de analyse is dat de locatie van een gebied in de wateraanvoerketen ('vooraan', zoals Boskoop, of 'achteraan', zoals de Bollenstreek) in hoge mate bepaalt hoe de water- en chloridebalans van dit gebied reageert op veranderingen bij het waterinlaatpunt.

€ureyeopener moet op meerdere punten nog worden verbeterd, zoals een iets gewijzigde gebiedsindeling en het beschouwen van een gemiddeld hydrologisch jaar. Het is evenwel zaak om €ureyeopener simpel en transparant te houden. Het doel is immers om begrip te krijgen van de effecten van zoetwaterbeheer onder condities van zoetwaterschaarste en verzilting.

6.2 Aanbevelingen

In deze studie is slechts een beperkte set aan maatregelen verkend. Het verdient aanbeveling om in overleg met de actoren na te gaan of er andere maatregelen te bedenken zijn en deze vervolgens met €ureyeopener te verkennen. Hiertoe behoren ook combinaties van maatregelen.

Tijdens deze studie zijn een aantal kennishiaten geconstateerd. Gesignaleerde kennishiaten betreffen voornamelijk gegevens die nodig zijn om de uitkomsten in het juiste perspectief te kunnen plaatsen en om berekende debieten, concentraties en schades te kunnen toetsen en vergelijken met cijfers uit de praktijk. Het gaat om:

- wat is 'veel' en wat is 'weinig' t.a.v. vermeden schades en teruggedrongen inlaatdebieten bij Gouda;
- zijn de gebruikelijke schadefuncties voor bollen correct of te 'streng';
- hoe snel reageert het systeem op wijzigingen in de chlorideconcentratie bij Gouda;
- de vermeden droogteschade, door te berekenen met zouter water, moet in de afweging worden verdisconteerd;
- wat is de maximale waterdoorvoercapaciteit van het watersysteem in het gebied (watergangen, stuwen, kolken enz.);
- hoeveel kosten maatregelen in het hoofdwatersysteem om inlaat Gouda in stand te houden;
- wat zijn de operationele kosten van 1 miljoen m³ inlaat bij Gouda;
- natuur is soms zoutgevoelig, soms zoutminnend; de kennis van effecten van de mate en de duur van blootstelling is vooralsnog beperkt.

Een verdere verfijning van €ureyeopener, en daarmee beter inzicht in de mogelijke effecten, kan worden bereikt door een verfijning van de gebiedsindeling en door het analyseren van de effecten in een gemiddeld hydrologisch jaar, naast het in dit project gebruikte jaar 1989 dat staat voor een 10%-droog jaar. Ook moeten de kosten van maatregelen in beeld worden gebracht³⁴.

³⁴ Dit is inmiddels gerealiseerd in €ureyeopener V2, dat in het voorjaar van 2013 is ontwikkeld voor de Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden.

Literatuuropgave

- Acacia Water, 2013. Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Rapportnr. 278. 168 p. Adviesbasis voor de bemesting van de boomkwekerijgewassen. Pot en containerteelt. Proefstation voor de Boomkwekerij.
- Adviesbasis voor de bemesting van Boomkwekerijgewassen. Vollegrondsteelt. Proefstation voor de Boomkwekerij.
- Anonymus, 1957. Tolerance of gladioli to salinity and boron. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 69: 556-56.0
- Appelo, C.A.J. en D. Postma, 2005. Geochemistry, groundwater and pollution, 2nd edition. A.A. Balkema Publishers, Leiden.
- Bakel, P.J.T. van , R.A.L. Kselik, C.W.J. Roest en A.A.M.F.R. Smit, 2009. Review of crop salt tolerance in the Netherlands. Alterra Report 1926, Wageningen. Appendix 2.
- Bakel, P.J.T. van en L.C.P.M. Stuyt, 2011. Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen, op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen, Alterra-rapport 2201.
- Bakel, P.J.T. van, R. Kselik, H.T.L. Massop en L.C.P.M. Stuyt, 2012. Toelichting zoutshades Rijnland. Memo, opgesteld in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland (in voorbereiding).
- Beregening van bloembolgewassen, 1993 Lisse, 1993, Ed. 2, [6], 46 pp., 8 foto's, 9 tabellen, 9 bijlagen. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Bloembollen.
- Berghoef, J. en P. Elzinga, 1982. Calciumchloride vermindert bladverbranding bij 'Pirate'. Vakblad voor de Bloemisterij 37 (11) 1982: 32-33
- Boontjes, J. en C. Ploegman, (ongedateerd). Zout beregeningswater en de bolproductie bij lelies. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Dam, A.M. van, N. Reijers en N. van Wees, N. van, [jaar onbekend]. Bedreigt zout water de bollenteelt? PPO, Lelystad.
- Dam, A.M. van, O.A. Clevering, W. Voogt, Th.G.L. Aendekerk en M.P. van der Maas, 2007. Zouttolerantie van landbouwgewassen. Deelrapport Leven met zout water. Rapport PPO nr. 32 340194 00, Lelystad
- De Jong Van Lier, Q., J.C. van Dam en K. Metselaar, 2009. Root Water Extraction under Combined Water and Osmotic Stress. Soil Sci. Soc. Am., 73(3), 862-875. doi:10.2136/sssaj2008.0157
- De Jong Van Lier, Q., J.C. van Dam, K. Metselaar, R. de Jong en W.H.M. Duijnsveld, 2008. Macroscopic Root Water Uptake Distribution Using a Matric Flux Potential Approach. Vadose Zone 7(3), pp. 1065-1078. doi:10.2136/vzj2007.0083
- Eindevaluatie Onderzoek Verzilting en vernatting van de bodem; een collectief probleem van de bloembollensector? 2008 Productschap Tuinbouw, 2008 (PowerPoint presentatie)
- Evers, C.H.M., 2006. Getalswaarden voor de algemeen fysisch-chemische kwaliteitselementen. Lelystad, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA).
- Evers, C.H.M., 2007. Getalswaarden bij de Goede Ecologische Toestand voor oppervlaktewater voor de algemeen fysisch-chemische kwaliteitselementen temperatuur, zuurgraad, doorzicht, zoutgehalte en zuurstof. Amersfoort, RIZA & STOWA.
- Greft-van Rossum, J.G.M. van der, H.T.L. Massop, R.M.A. Wegman en M.P.C.P. Paulissen, Droogte, verzilting en binnendijkse natuur in de Zuidwestelijke Delta. Analyse autonome ontwikkeling en effecten deltascenario's. Wageningen, Alterra-rapport 2303.
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, J. Oldengarm en H.A. Gijsbertse, 2010. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra-Report 2012.

- Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2009. *SWAP version 3.2(26). Theory description and user manual*. Alterra-report 1649 (update 02), 284 pp., Alterra, Research Institute, Wageningen, The Netherlands.
- Liu W.C., G.D. Wu, T.P. Yao, F. Chen en W.H. Chen, 1998. Effects of soil factors and management practices on soil fertility and gladiolus growth in a slate alluvial soil. *Taiwan Sugar* 45 (3): pp. 20-25.
- Maas, E.V. en G.J. Hoffman, 1977. Crop Salt Tolerance - Current Assessment. *J. Irr.Drain.Div.* 1977 (6): pp. 115-134.
- Paulissen, M.P.C.P., S.A.M. van Rooij, J.W.J. van der Gaast, G.H.P. Arts, H.Th.L. Massop en P.A. Slim, 2011. *Klimaatgedreven verzilting: betekenis voor natuur en mogelijkheden voor klimaatbuffers*. Wageningen, Alterra-rapport 2161.
- Ploegman, C., 1978. Het chloride-ion in de grond in relatie tot de opbrengst bij tulpen. *Landbouwkundig tijdschrift*, jaargang 90 (2): pp. 40-43.
- Ploegman, C., 1972. De invloed van zout beregeningswater bij de gladiool cv 'Peter Pears'. *Nota 68*, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Ploegman, C., 1977. *Waterkwaliteit en bloembollenteelt*. Nota 954, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Ploegman, C. en G.G.M. van der Valk, (ongedateerd). *Invloed van zout beregeningswater op ontwikkeling van vijf-graden Tulpen C.V.*
- Ploegman, C. en G.G.M. Valk, 1971. De gevoeligheid van tulpen voor het zoutgehalte van beregeningswater tijdens de broei. *Weekblad voor Bloembollencultuur*, 1971, no. 12
- Ploegman, C. en J. Boontjes, 1981. Invloed van de zoutconcentratie van het bodemwater op de productie van drie leliecultivars. *Nota 1248*, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Ploegman, C. en A.H.M. van Heesen, 1980. De invloed van geïnfiltrerd oppervlaktewater op het zoutgehalte van het bodemvocht in de grond en op de productie van bolgewassen in de polder Anna Paulowna. *Nota 1172*, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Rahi T.S., R. Shukla, R.K. Pandey en S.K. Datta, 1998. Performance of ornamental crops in salt affected soils and use of gamma rays to develop salt resistant strains. *J. Nuclear Agric. Biol.* 27(4): pp. 253-263.
- Rhoades, J.D., F. Chanduvi en S. Lesch, 1999. Soil salinity assessment. Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *FAO Irr. & Drain. Paper 57*, FAO, Rome
- Ritzema, H.P. 1994. *Drainage Principles and Applications*. ILRI Publication 16, Second Edition (Completely Revisited).
- 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 zoutschade in Nederland met het RIZA-instrumentarium*. Briefadvies.
- Rijnders, E., 1989. Berekening van lrisen. *Waterkwaliteit en tijdstip vragen aandacht*. Vakwerk nr. 18, 1989, pag. 21-22.
- Strietman, H., 1971. De invloed van infiltratie met 'zout water op het chloorgehalte van het grondwater en de bolproductie. *Bedrijfsontwikkeling*, Editie Tuinbouw, jaargang 2, 1971(7-8):69-72
- Stuyfzand, P.J., 2012. Hydrogeochemical (HGC 2.1), for storage, management, control, correction and interpretation of water quality data in Excel® spread sheet. *KWR-rapport B111698-002*.
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, J.G. Kroes,, E J. Bos, M. van der Elst, B. Pronk, P.J. Rijk, O.A. Clevering, A.J.G. Dekking, M.P.J. van der Voort, M. de Wol en W.A. Brandenburg, 2006. *Transitie en toekomst van Deltalandbouw; indicatoren voor de ontwikkeling van de land- en tuinbouw in de Zuidwestelijke Delta van Nederland*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1132.
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel en H.T.L. Massop, 2011. *Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland*. Wageningen, Alterra-rapport 2200.
- Stuyt, L.C.P.M., 2012. *Kansrijkdom van anders omgaan met zout. Een druppel op de gloeiende plaat, of niet?* Memo 27 blz.
- Swartjes, F.A. en E.M.J. Verbruggen, 2006. *Toetsing van Chloride in grondwater*. Bilthoven, RIVM.

- Toussaint, C.G., 1968. Berekening bij tulpen op zandgrond. Mededelingen van de Directie Tuinbouw 31 (5) 1968: pp. 212-221, 6 figuren.
- Valk, G.G.M. van der, 1970. Geschiktheid van zout oppervlaktewater voor berekening van tulpen.
- Valk, G.G.M. van der, 1969. Invloed van de zoutbelasting van grondwater op de produktie van tulpen.
- Valk, G.G.M. van der en J.A. Schoneveld, 1963. Invloed van grondwaterstand op de produktie van enkele gewassen op klei- en zavelgronden. Mededeling nr. 29, Proefstation voor de groenteteelt in de vollegrond in Nederland.
- Verbruggen, E.M.J., C.T.A. Moermond, J.A. Janus en J.P.A. Lijzen, 2008. Afleiding van milieurisicogrenzen voor chloride in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem. Bilthoven, RIVM.
- Vlaardingen, P.L.A. van en E.M.J. Verbruggen, 2007. Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of 'International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands' (INS). Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Voogt, W, 2009. Verzilting oppervlaktewater en glastuinbouw. De gevolgen van een zout Volkerak-Zoommeer voor de watervoorziening in Zuidwest Nederland. Wageningen UR.
- VROM, 1999. Stoffen en normen 1999. Overzicht van belangrijke stoffen en normen in het Milieubeleid.
- WHO (Ed.), 1996. Health Criteria and other supporting information. Second edition ed., Vols.2. World Health Organisation. Geneva, Switzerland.
- WHO (Ed.), 2004. Recommendations. Third edition ed., Vols.1. World Health Organisation. Geneva, Switzerland.
- Wolf J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. van Zeijts, 2003. The integrated modeling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modelling & Software 18: pp. 597-617.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Rapport 2055, Stiboka. Wageningen.
- Wouwe, W. van, 1957. Zoutschade in de bloembollenteelt. Het vakblad voor Bloembollenteelt en -handel 10 (27): 11.
- Wijnen, G., 1969. Zoutgevoeligheid van de tulp. Verslag van watercultuur. IB, Haren.
- Wijnen, G., 1970. Verslag van watercultuur. Zoutgevoeligheid van gladiool. IB, Haren.
- Wijnen, G., 1969. Zoutgevoeligheid van de tulp. Verslag van watercultuur. IB, Haren.
- Wijnen, G., 1970. Verslag van watercultuur. Zoutgevoeligheid van gladiool. IB, Haren.
- Zoutdossier, (ongedateerd). KAVB, Alterra, Proefstation voor de Groenten- en Fruitteelt onder Glas te Naaldwijk.

Bijlage 1 Informatie over bepaling van het zoutgehalte van bodemwater

Bron: Ritzema (1994).

15 Salinity Control

J.W. van Hoorn¹ and J.G. van Alphen²

15.1 Salinity in relation to Irrigation and Drainage

The application of irrigation water means an input of salts. Irrigation water, even if of excellent quality, is a major source of soluble salts. If soil salinization is to be avoided, these salts have to be leached out of the rootzone by water percolating to the subsoil. This percolation water will cause the watertable to rise and has to be drained off because a second source of salinization in irrigated areas is capillary rise from a watertable. As groundwater is often somewhat saline, even a small amount of capillary rise can add greatly to the salinity of the rootzone. Drainage, either natural or artificial, is a necessary complement to irrigation. Whereas the aim of drainage in a humid area is to control soil water for better aeration, higher temperatures, and easier workability, its primary aim in irrigated land is to control soil salinity.

Section 2 of this chapter discusses soil salinity and sodicity. In view of the extensive literature on saline and sodic soils, only some general aspects of these soils and their classification will be treated. Section 3 deals with the salt balance of the rootzone and the leaching requirement. Because important assumptions are made about capillary rise and the leaching process, these subjects are treated in detail in Sections 4 and 5. Section 6 discusses the long-term salinity level and compares leaching fractions and percolation losses in the light of drain discharge criteria. As the sodicity of irrigation water can affect a soil's structure and permeability – key factors in the leaching process – the sodium hazard of irrigation water is discussed in Section 7. Finally, Section 8 presents some considerations on the reclamation of salt-affected soils, particularly of the leaching process.

15.2 Soil Salinity and Sodicity

15.2.1 Electrical Conductivity and Soil Water Extracts

Because of the strong relationship between the electrical conductivity, EC, of a soil extract and the soil's salt concentration, the salt content of a soil is commonly expressed by the EC. Measured at a reference temperature of 25 °C, the EC is nowadays expressed in decisiemens per m (dS/m). The older unit for electrical conductivity which is still frequently used is mmho/cm (1 mmho/cm = 1 dS/m). The salt concentration of a solution is expressed in 'old' units g/l, mg/l (= ppm), meq/l or new SI units kg/m³ and mol/m³. Similarly, the ion concentration is expressed in 'old' units meq/l or new (not used here) mol/m³. A milliequivalent is the mass of an ion or compound that combines with or replaces 1 mg of hydrogen, and equals the atomic or molar mass of the ion divided by its valency.

¹ Retired from Department of Water Resources, University of Agriculture, Wageningen

² International Agricultural Centre, Wageningen

533

Figure 15.1 shows the relation between the EC, expressed in dS/m, and the salt concentration, expressed in meq/l. For different ions and salts, Table 15.1A presents the relation between mg and meq, and Table 15.1B the average relation between meq/l, dS/m, mg/l, mg/meq, and the ratio meq/l to dS/m. The decrease in the ratio mg/meq is due to the relative increase in Cl⁻ ions over SO₄²⁻ and HCO₃⁻ ions with increasing salt concentration. The increase in the ratio meq/l to dS/m is due to the decreasing ion activity with increasing salt concentration. On the average, dividing the salt concentration in meq/l by a value between 10 and 12 yields the EC in dS/m.

To appraise soil salinity, we can measure the EC or the salt concentration in several soil water extracts. The most reliable appraisal is obtained by measuring the salt concentration in soil water at field capacity. This method yields the real salt concentration in soil water under field conditions and is directly related to plant growth. In a laboratory, it is difficult to obtain a sufficient amount of soil water from samples at field capacity.

Most commonly used for the appraisal of soil salinity is the saturation extract. We prepare a saturated paste by adding water to dry soil. We then obtain the saturation extract by applying suction to the saturated soil paste. For most soils – sand and loamy sand excepted – this paste contains about two times the amount of water at field capacity. One should therefore realize that the saturated paste is an oversaturated paste compared with saturation under undisturbed field conditions, and that the

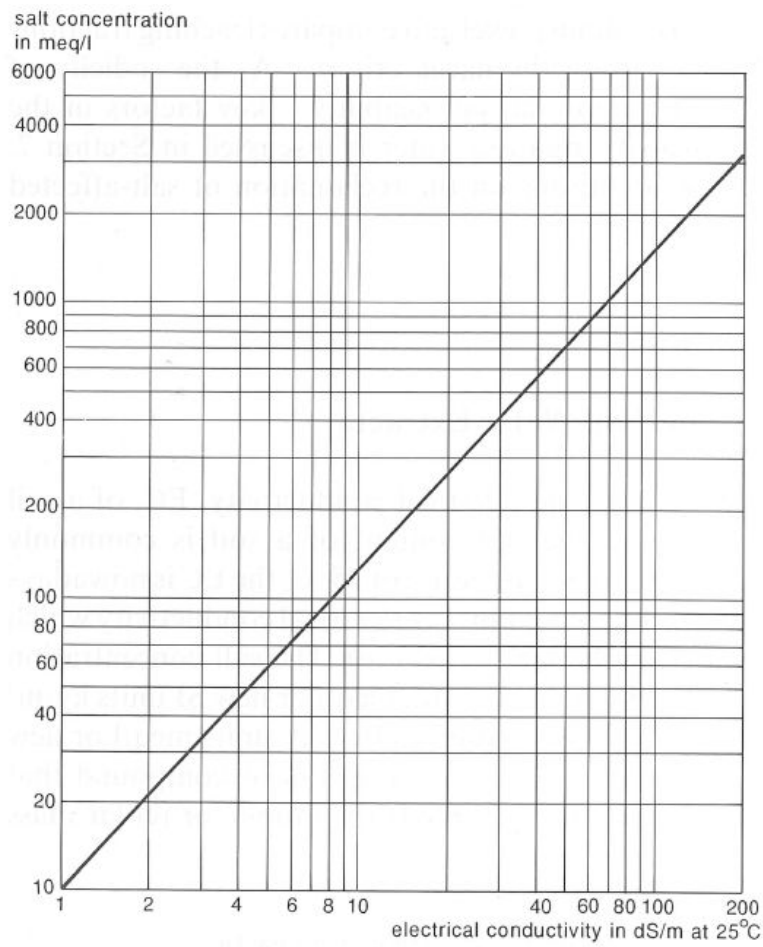


Figure 15.1 Relation between electrical conductivity and salt concentration (after Richards 1954)

534

Table 15.1A Relation between milligram and milliequivalent

Ion	mg/meq	Salt	mg/meq
Na ⁺	23	NaCl	58.5
K ⁺	39	CaCl ₂	55.5
Ca ²⁺	20	MgCl ₂	47.5
Mg ²⁺	12	Na ₂ SO ₄	71
Cl ⁻	35.5	CaSO ₄	68
SO ₄ ²⁻	48	MgSO ₄	60
HCO ₃ ⁻	61	NaHCO ₃	84
CO ₃ ⁻²	30	Ca(HCO ₃) ₂	81
		Mg(HCO ₃) ₂	73

Table 15.1B Average relation between meq/l, dS/m, mg/l, mg/meq, and the ratio meq/l to dS/m

meq/l	dS/m	mg/l	mg/meq	$\frac{\text{meq/l}}{\text{dS/m}}$
10	1	640	64	10
120	10	7000	58.3	12

saturation extract is a diluted solution compared with soil water at field capacity.

If samples are taken from the same soil in order to study changes in soil salinity, one should prepare the saturated paste by always adding the same amount of water to the air-dry soil. Otherwise, differences in EC_e may be due to differences in the paste's water content instead of those in salt content.

As the preparation of the saturation extract is laborious, soil water extracts 1:1 (100 g water per 100 g dry soil), 2:1, or a higher dilution are prepared for routine purposes. In general, enough water can be obtained by simply filtering the soil solution without using a suction apparatus.

In the case of highly soluble salts (e.g. chloride salts), the EC is almost inversely proportional to the water content and the following expressions can be used for conversion

$$EC_{fc} = 2EC_e \text{ and } EC_{1:1} = 2EC_{2:1}$$

where

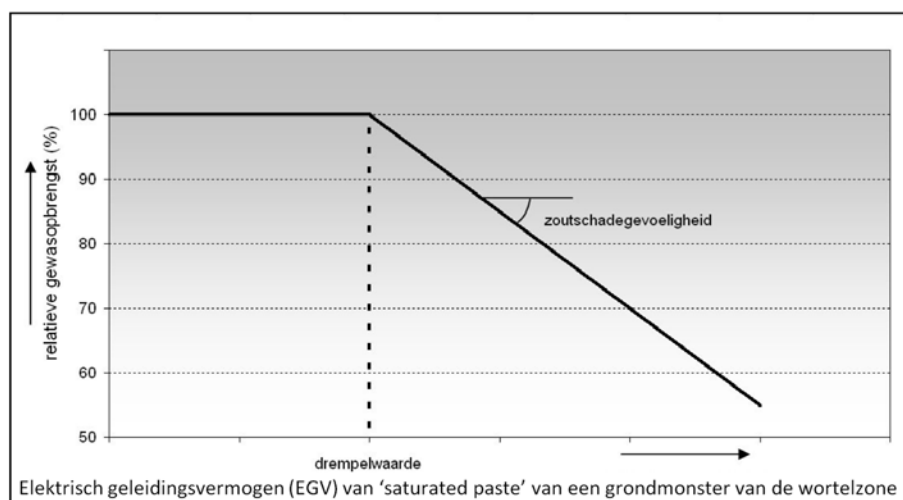
fc = suffix denoting field capacity

e = suffix denoting saturation extract

If slightly soluble salts such as lime (CaCO₃) and gypsum (CaSO₄) are present in the soil, one must be careful with the conversion of the EC or of the salt concentration obtained in a diluted extract. If solid lime or gypsum are the only salts present, each soil water extract, independent of the water-soil ratio, will contain the same concentration of these salts and will show the same EC.

Bijlage 2 Relaties tussen chlorideconcentratie in beregeningswater en gewasverdamping voor met model SWAP doorgerekende combinaties van bodems en gewassen

Bij bekende verbanden tussen i) de chlorideconcentratie in beregeningswater en in de 'saturated soil-paste', en ii) de chlorideconcentratie in de 'saturated soil-paste' en in de wortelzone kunnen deze worden omgezet in verbanden tussen de chlorideconcentratie in beregeningswater en de opbrengstreductie van landbouwgewassen (Roest et al., 2003). In model SWAP wordt het verloop van het chlorideconcentratie in elk compartiment van de wortelzone berekend; deze informatie kan worden omgezet in chlorideconcentraties die zouden zijn gemeten aan de 'saturated soil-paste' van bodemmonsters van deze compartimenten. Vervolgens worden de door Maas en Hoffman (1977) voorgestelde relaties toegepast. Op basis hiervan wordt per compartiment van de wortelzone de wateropname door een gewas gereduceerd; dit resulteert in een reductie in gewasverdamping; zie Figuur 16. De beperkingen van deze aanpak worden besproken in Van Bakel et al. (2009).



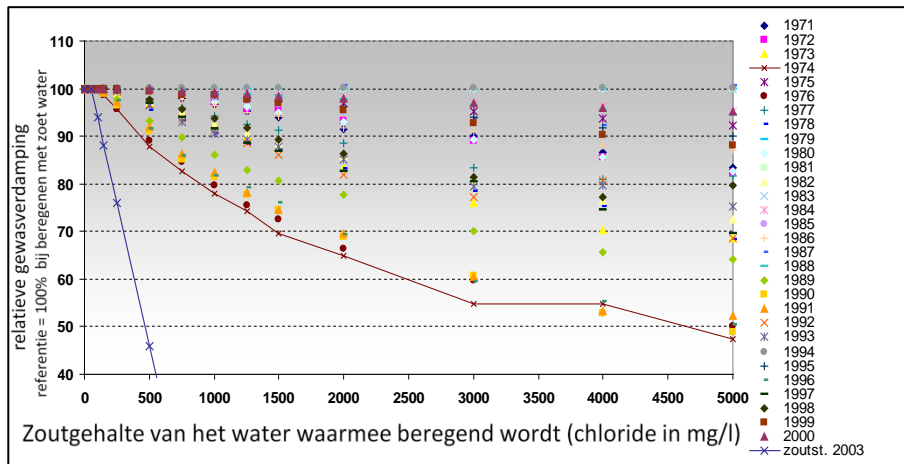
Figuur 16

De zoutschadefunctie van een landbouwgewas volgens Maas en Hoffman, met de parameters 'drempelwaarde' van het elektrisch geleidingsvermogen in de 'saturated soil-paste'³⁵ waarboven de gewasopbrengst daalt, en de 'zoutschadegevoeligheid' die een maat is voor afname van de gewasopbrengst bij verder oplopend zoutgehalte.

Rekenresultaten, geboekt met model SWAP zijn gebruikt om relaties te leggen tussen de chlorideconcentratie van beregeningswater en de relatieve gewasverdamping. In Van Bakel et al. (2009) zijn deze relaties

³⁵ zie Figuur 1 en begeleidende tekst op pagina 12

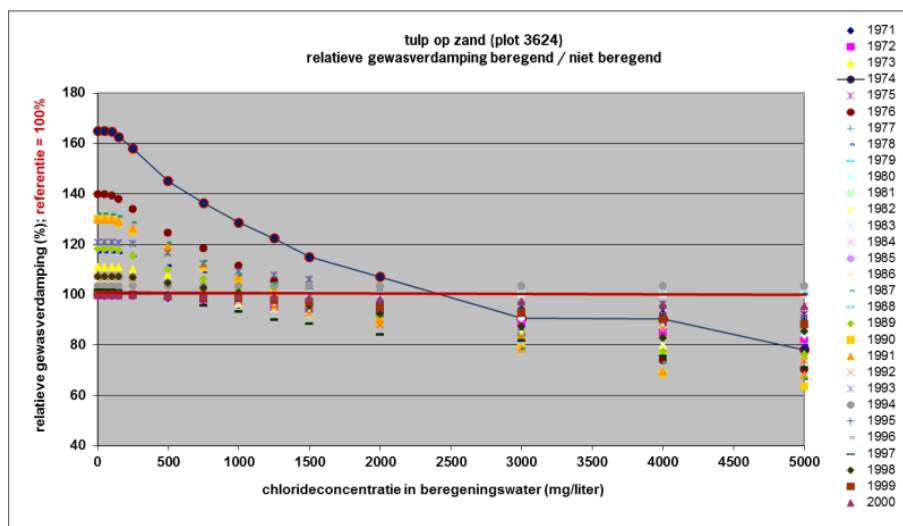
weergegeven voor de doorgerekende combinaties van vier gewassen en drie grondsoorten. Met de meteoreeks 1971-2000 zijn voor beregeningswater met tien verschillende, onveranderlijke chlorideconcentraties simulaties uitgevoerd. Figuur 17 geeft hiervan een voorbeeld. De relaties voor de jaren 1976 en 1989 zijn gebruikt als representanten van een 1%, respectievelijk 10% droog jaar.



Figuur 17

Met model SWAP gesimuleerde gewasverdamping voor tulp op zand voor de jaren 1971-2000. De gewasverdamping is maximaal (100%) bij beregening met zoet water. 1974 was het jaar met de meeste droogteschade (doorgetrokken bruine gegevensreeks); dat jaar vermindert de relatieve gewasverdamping bij toenemend zoutgehalte van het beregeningswater het snelst. Bron: Van Bakel et al., 2009.

Ook is elke combinatie van gewas en grondsoort doorgerekend als er niet wordt beregend. De daarbij berekende relatieve gewasverdamping (ten opzichte van beregening met 0 mg Cl/l in het beregeningswater) is een goede indicatie van de dan optredende schade; zie Figuur 18.

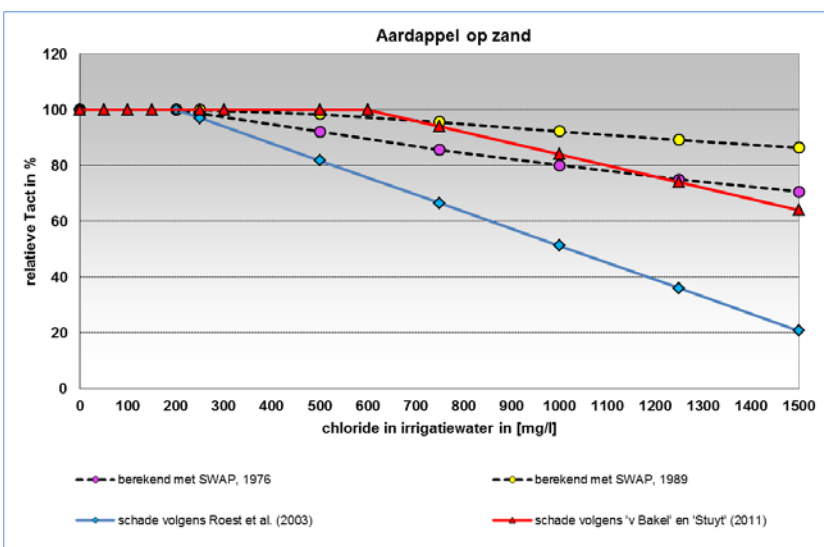
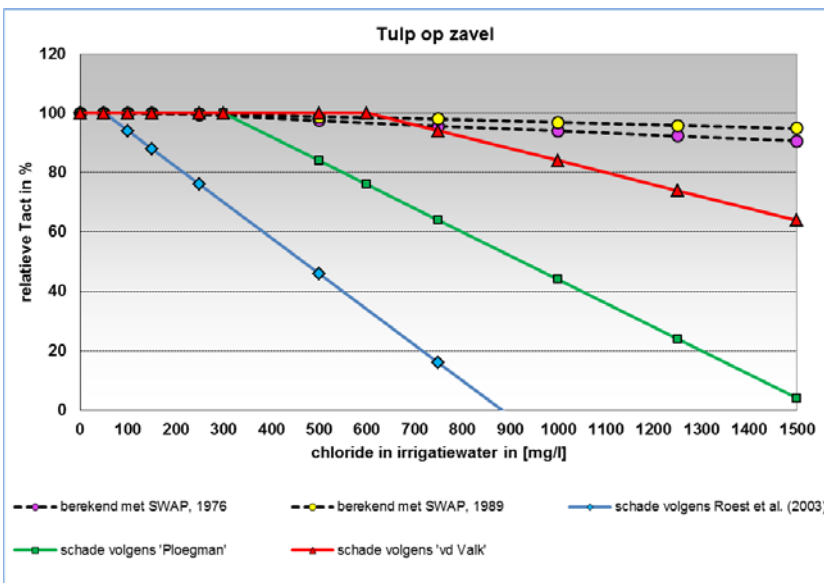
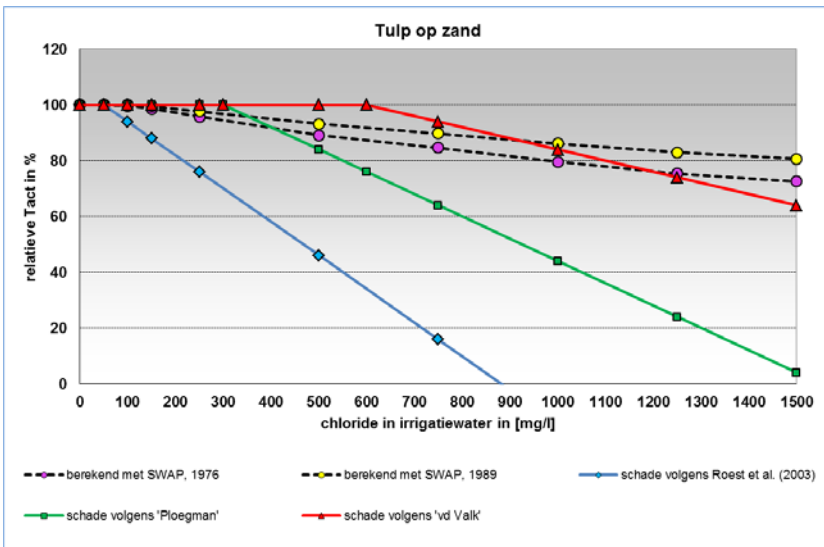


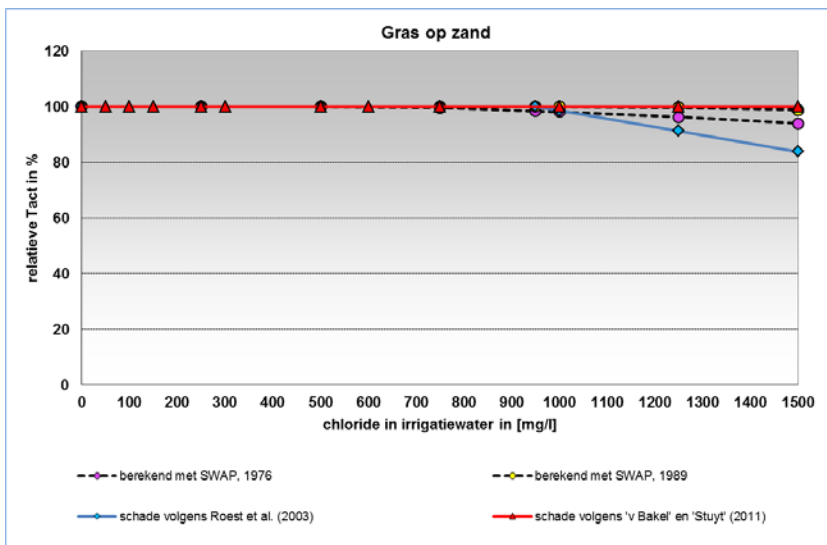
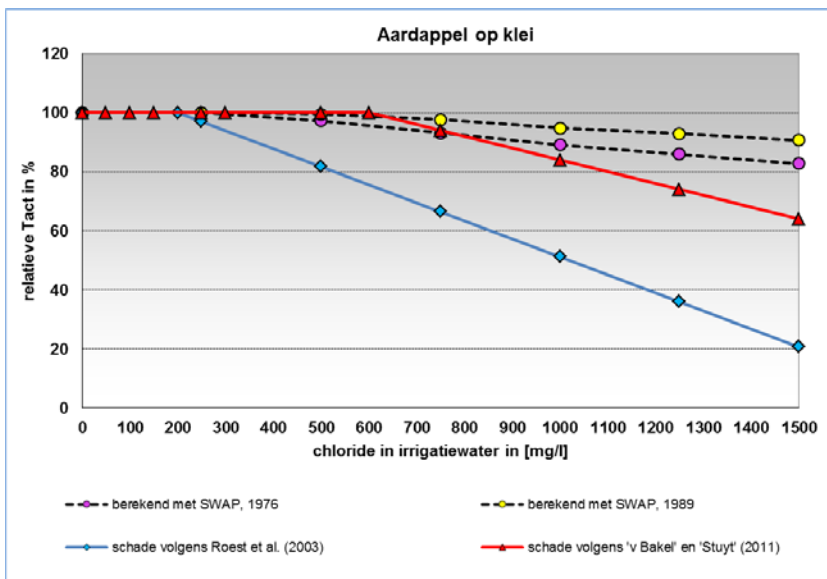
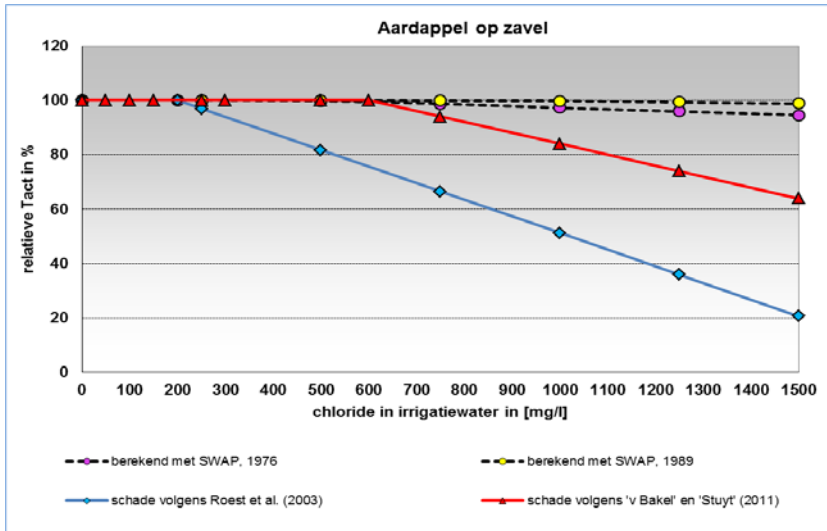
Figuur 18

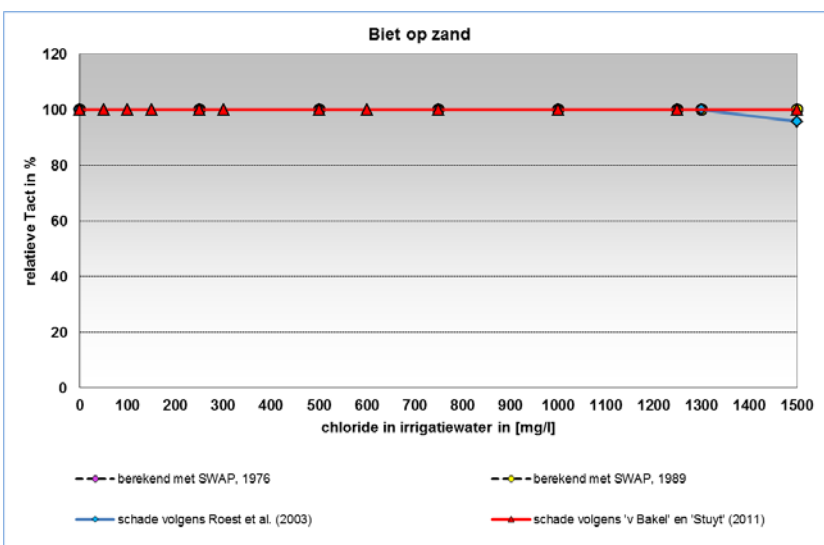
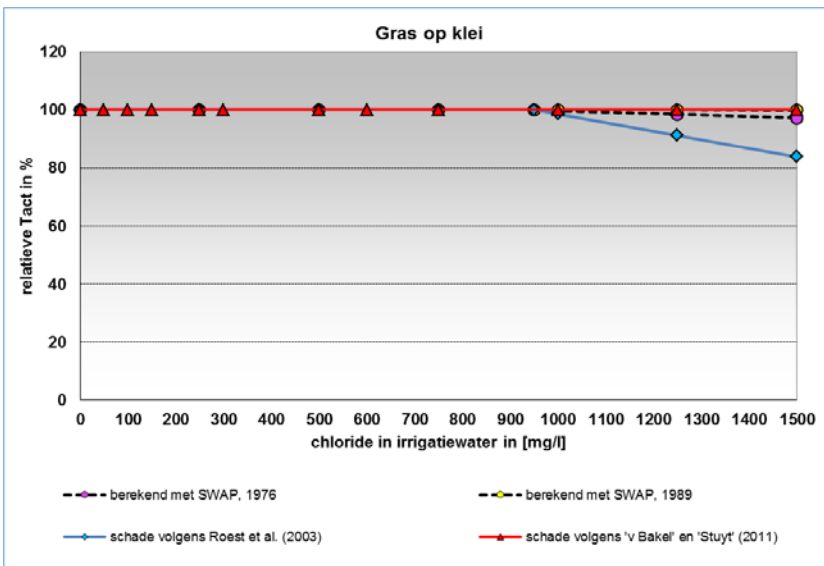
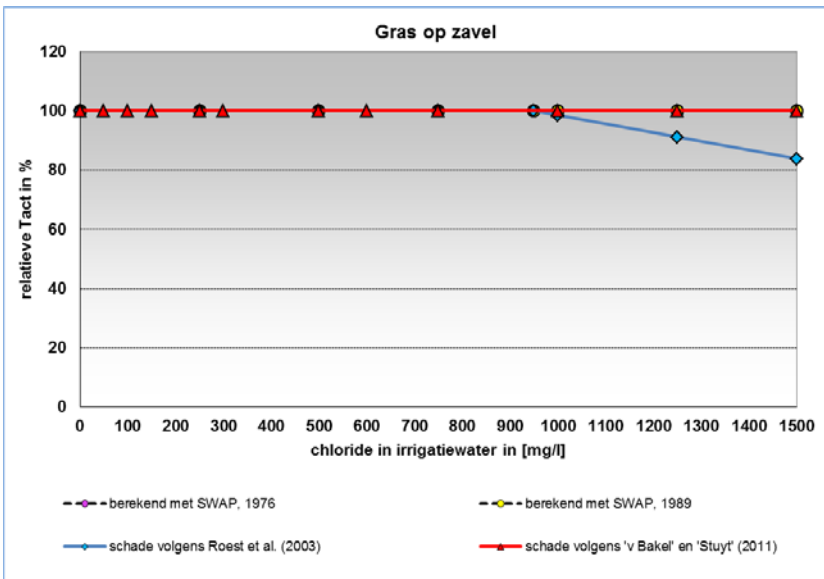
Met het model SWAP gesimuleerde gewasverdamping voor tulp op zand voor de periode 1971-2000. De gewasverdamping bij niet beregenen is gesteld op 100% (horizontale rode lijn; referentiesituatie). Beregenen heeft zin als de relatieve gewasverdamping erdoor wordt vergroot tot boven de referentiesituatie. In 1974, het jaar met de meeste droogteschade (want het grootste effect van beregenen; doorgetrokken blauwe gegevensreeks) is dit het geval bij beregeningswater tot een chloridegehalte van ca. 2400 mg Cl/l. Bij hogere chloridegehalten zal zoutschade aan tulpen de vermindering van de droogteschade door beregening teniet doen, of erger: de relatieve gewasverdamping daalt tot waarden beneden de 100%. Deze referentiewaarde zegt niets over de dat jaar gerealiseerde waarde van de gewasverdamping; deze is elk jaar weer anders (Bron: Van Bakel et al., 2009).

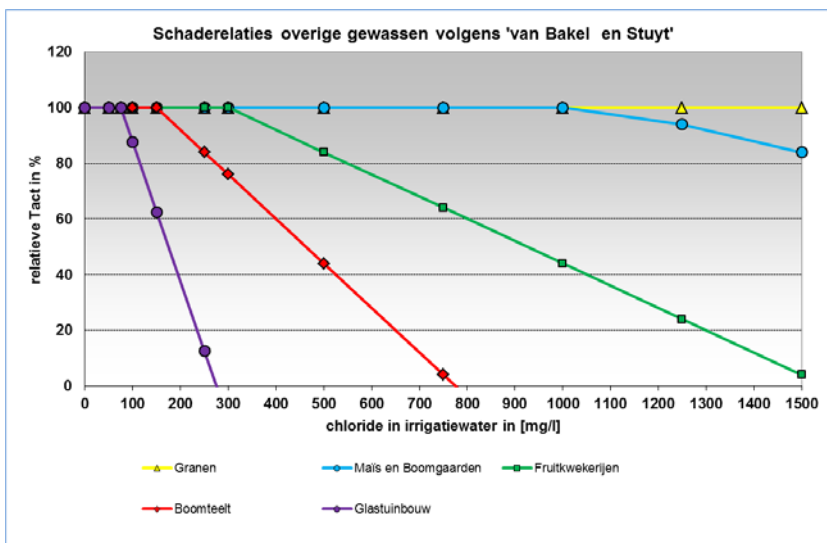
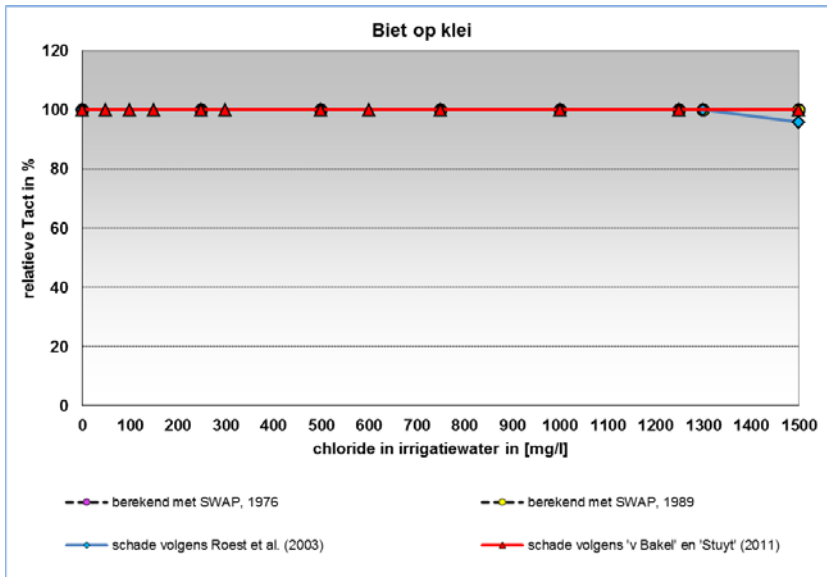
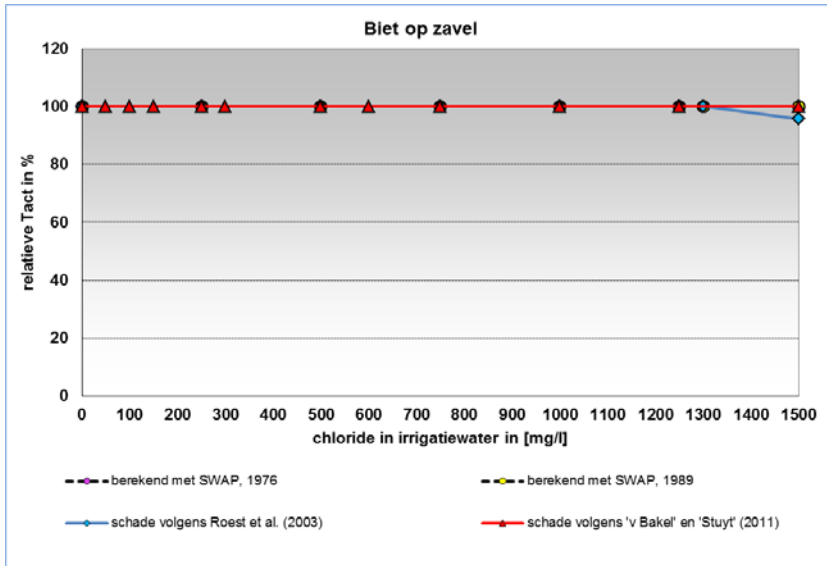
Met de informatie uit deze berekeningen is ook bij benadering te bepalen bij welke chlorideconcentratie van het beregeningswater de zoutschade de vermindering van de droogteschade door beregening gaat overtreffen. Voor het jaar met de meeste droogteschade (de doorgetrokken lijn in Figuur 18) is dat boven de 2000 mg Cl/l.

Hierna volgen, voor de volledigheid en ter illustratie, twaalf grafisch weergegeven relaties tussen de chlorideconcentratie in het beregeningswater en relatieve gewasverdamping voor diverse combinaties van teelt en bodem, hetzij doorgerekend met model SWAP, hetzij volgens andere bronnen.









Bijlage 3 Voorbeeldberekening zoutschade in de landbouw

De berekening van de schade aan landbouwgewassen door berekening met verzilt beregeningswater wordt hier aan de hand van een voorbeeld uitgewerkt. In Tabel 10 zijn enkele relatieve gewasopbrengsten in relatie tot het chloridegehalte van beregeningswater gegeven; dit betreft beregende situaties op zand, op basis van een 1% droog jaar (1976).

Tabel 10

Voorbeeld van relatieve opbrengsten in een 1%-droog jaar (1976) van enkele LGN6-gewassen op zand voor verschillende Cl-concentraties van het beregeningswater.

LGN6-gewas	SWAP-gewas	Chlorideconcentratie beregeningswater (mg/l)								Klasse
		50	150	250	500	750	1000	1250	1500	
Overige gewassen	Tulp	100	99	96	89	85	80	75	73	gevoelig
Boomkwekerijen	Tulp	100	100	84	44	4	0	0	0	zeer gevoelig
Fruitekwekerijen	Tulp	100	100	100	84	64	44	24	4	gevoelig
Agrarisch gras	gras	100	100	100	100	100	98	96	94	tolerant
Bieten	gras	100	100	100	100	100	98	96	94	tolerant
Granen	gras	100	100	100	100	100	98	96	94	matig tolerant

Voor de categorie 'Boomkwekerijen' zijn geen SWAP-berekeningen beschikbaar; daarom wordt bij deze categorie gebruik gemaakt van de zoutschadefuncties uit Tabel 2. Tabel 3 geeft aan dat het een zeer zoutgevoelig gewas betreft. Uit Tabel 2 is af te leiden dat de zoutschadedrempel op 150 mg/l Cl ligt, en de opbrengstderving per toename van 100 mg Cl/l met 16% toeneemt. We zien in Tabel 3 dat de opbrengst bij een chloridegehalte van het beregeningswater van 150 mg/l nog 100 % bedraagt, maar dat de opbrengst bij een gehalte van 250 mg/l tot 84% (100-16) is gedaald.

Voor de categorie Fruitekwekerijen ontbreken eveneens SWAP-berekeningen (Tabel 4); dit betreft een zoutgevoelig gewas met een zoutschadedrempel van 300 mg/l en een toename in de opbrengstderving van 8% bij elke toename van 100 mg Cl/l. De zoutgevoeligheid komt overeen met 'Tulp_Ploegman'. Bij beregeningswater met een chloridegehalte 250 mg Cl/l is de opbrengst nog 100%; bij een Cl-gehalte van 500 mg/l is de opbrengst gedaald tot 84% (100-2x8). Als het chloridegehalte toeneemt tot 750 mg Cl/l daalt de opbrengst tot 64% (84 -2,5x8).

De categorie 'Overige gewassen' heeft dezelfde zoutgevoeligheid als fruitekwekerijen. Voor deze categorie zijn wel berekeningen met SWAP beschikbaar. Het gewas 'tulp' wordt als representatief beschouwd voor overige gewassen; zie ook bijlage 1.

Agrarisch gras en bieten zijn zouttolerante gewassen; de zoutschade drempel ligt bij 2400 mg Cl/l. Granen zijn matig tolerant met een zoutschadedrempel op 1200 mg Cl/l. Voor deze gewassen zijn SWAP-berekeningen voor gras op zand als representatief genomen; zie Tabel 4 en bijlage 1.

Op basis van de nu toegekende zoutschaderelaties kunnen voor beregende combinaties grondsoort-gewas in West Nederland, voor een beperkte serie chlorideconcentraties - die gedurende het groeiseizoen constant worden gedacht - kaarten worden gemaakt waarop de zoutschade aan landbouwgewassen wordt weergegeven. Deze kaarten zijn opgenomen in bijlage 2.

Als gedurende het gehele groeiseizoen niet kan worden berekend ontstaat droogteschade. In Tabel 11 zijn de door SWAP berekende opbrengstreducties in 1989 en 1976 gegeven ten opzichte van de situatie dat wordt berekend met water met een chlorideconcentratie van 0 mg Cl/l.

Tabel 11

Opbrengstreducties van landbouwgewassen bij niet-beregenen, ten opzichte van beregenen met zoetwater. De vetgedrukte opbrengsten zijn berekend met SWAP.

gewas	Opbrengst bij niet beregenen (%)							
	1989				1976			
	zand	klei	zavel	veen	zand	klei	zavel	veen
tulp	85	90	100	90	72	80	100	80
gras	63	88	98	90	41	67	83	80
mais	71	88	99	85	50	75	95	70
aard	71	88	99	85	60	67	87	70
biet	95	100	100	95	70	95	100	80
graan	80	100	100	95	60	90	95	90
overig	70	90	95	90	60	80	90	80
boomkweek	0	0	0	0	0	0	0	0
fruit	85	90	95	95	70	80	90	90
boomgaard	100	100	100	100	100	100	100	100

Geldelijke opbrengstreducties

Per onderscheiden landgebruiksvorm zijn in de handleiding van model AGRICOM maximaal haalbare geldelijke opbrengsten gegeven; zie Tabel 12. Hiermee kan de fysieke opbrengstreductie worden omgezet in een geldelijke. Voor de glastuinbouw is uitgegaan van 30% grondgebonden teelten. Het uitgewerkte voorbeeld in Tabel 10 is op deze wijze vertaald naar €/ha in Tabel 13.

Tabel 12

Geldelijke opbrengsten per ha (bron: Handleiding AGRICOM).

Omschrijving	Geldelijke opbrengst (€/ha)	Opmerkingen
1 - Agrarisch gras	1.588	
2 - Mais	1.486	
3 - Aardappelen	3.638	
4 - Bieten	3.336	
5 - Granen	1.298	
6 - Overige gewassen	15.000	Niet uit AGRICOM maar geschat
8 - Glastuinbouw	1.000.000	Niet uit AGRICOM maar geschat
9 - Boomgaarden	?	Komen in gebied niet voor
10 - Bloembollen	66.910	
61 - Boomkwekerijen	56.000	
62 - Fruitkwekerijen	14.116	

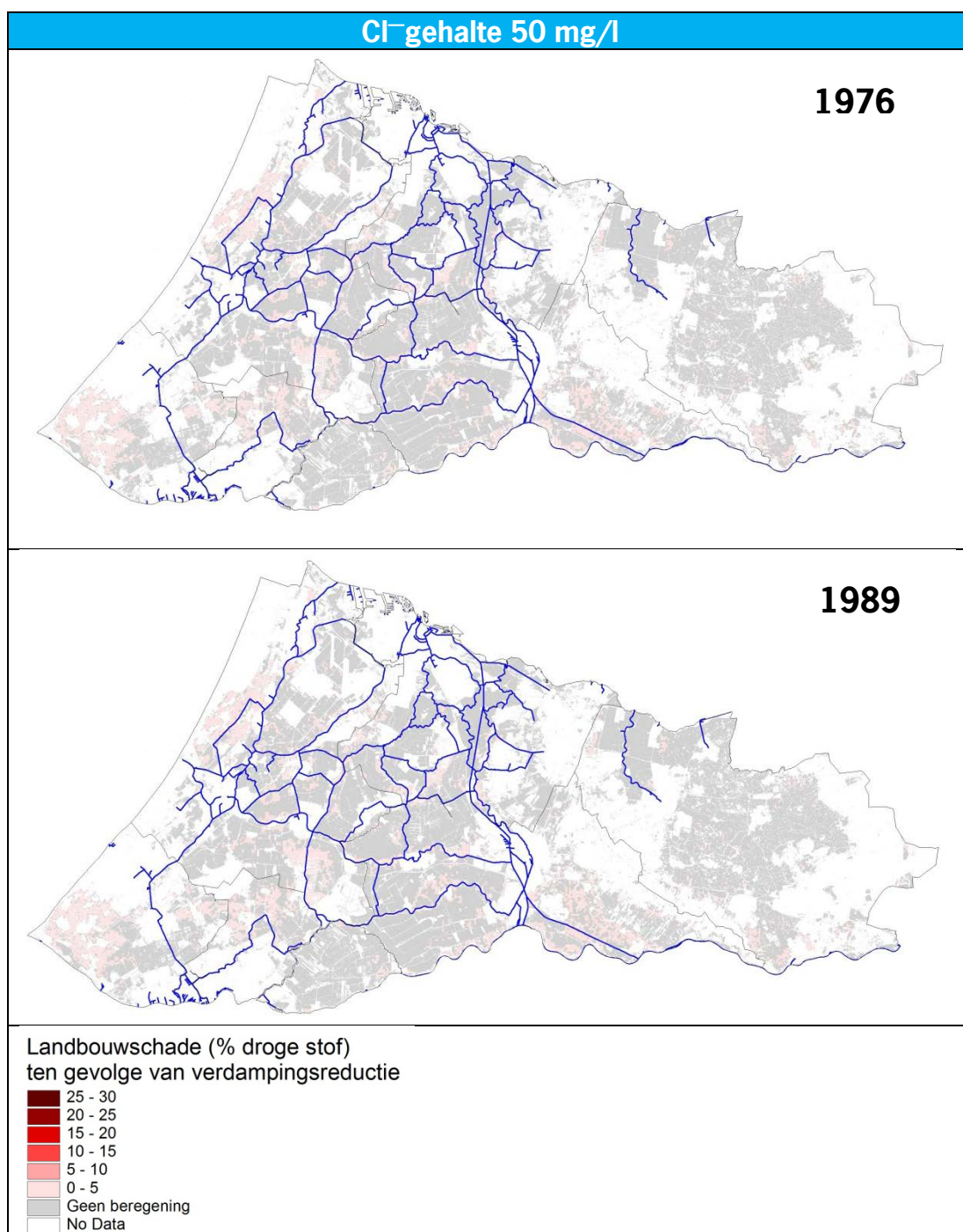
Tabel 13

Financiële schade (€/ha) voor het jaar 1976 van enkele LGN6-gewassen uit Tabel 10 voor verschillende chlorideconcentraties van beregeningswater.

LGN6	Gewas	Chlorideconcentratie beregeningswater							
		50	150	250	500	750	1000	1250	1500
Overige gewassen	Tulp	0	217	644	1.635	2.314	3.059	3.689	4.115
Boomkwekerijen	Tulp	0	0	8.960	31.360	53.760	56.000	56.000	56.000
Fruitkwekerijen	Tulp	0	0	0	2.259	5.082	7.905	10.728	13.551
Agrarisch gras	Gras	0	0	0	0	6	30	60	96
Bieten	Gras	0	0	0	0	13	62	126	201
Granen	Gras	0	0	0	0	5	24	49	78

Uitvoering van deze conversie levert een nieuwe set kaarten. Zie bijlage 4. De schade in de glastuinbouw boven de €50.000 per ha is niet verder opgesplitst, omdat het om zulke hoge bedragen gaat die in de praktijk nooit zullen voorkomen en er altijd maatregelen zullen worden getroffen om die schade te voorkomen.

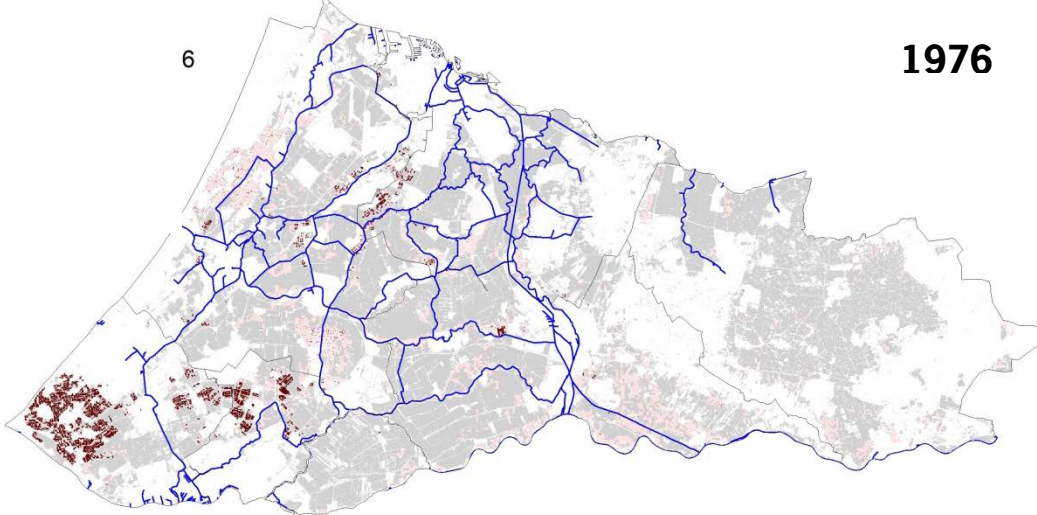
Bijlage 4 Zoutschade in de landbouw (% droge stof) gerelateerd aan de chlorideconcentratie van beregeningswater (kaarten)



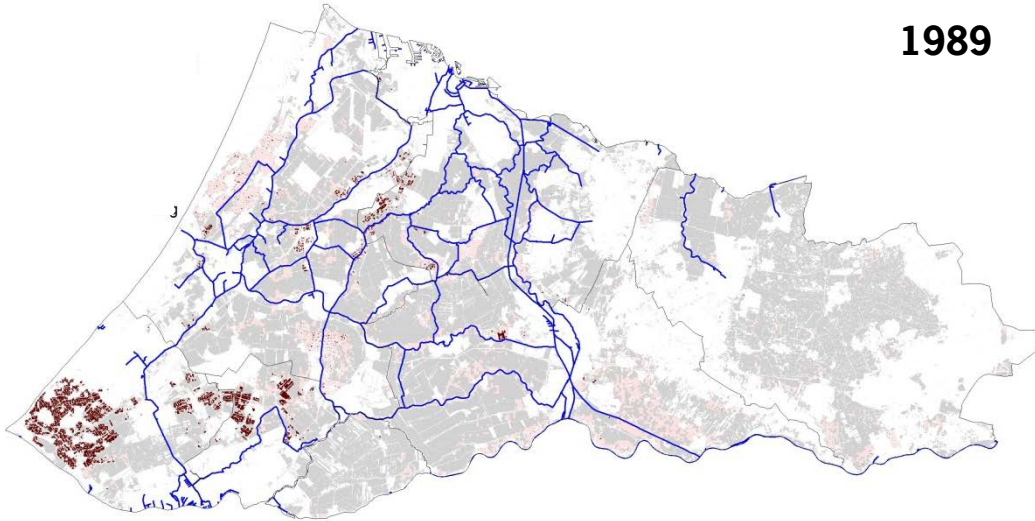
Cl⁻gehalte 150 mg/l

6

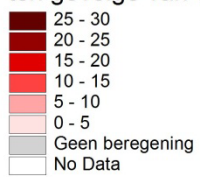
1976



1989

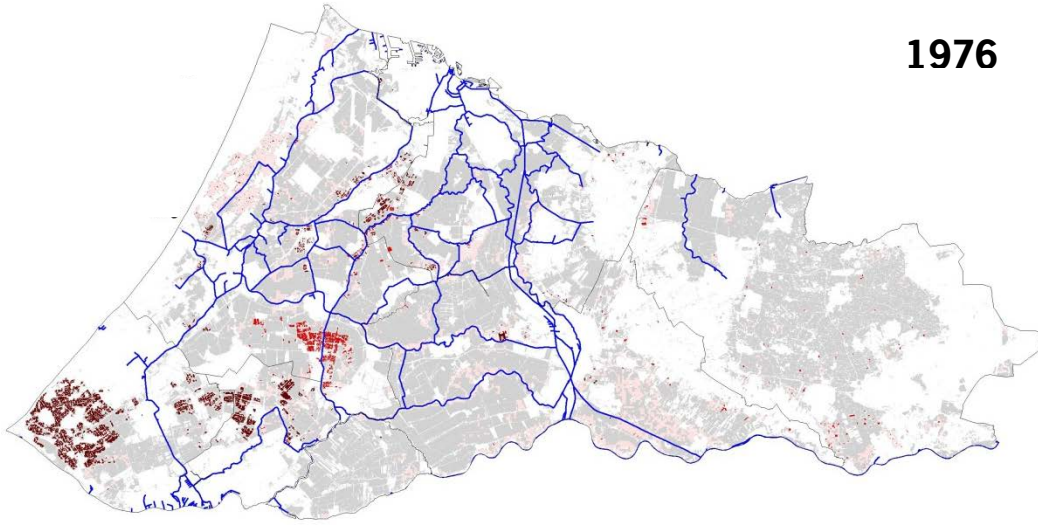


Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie

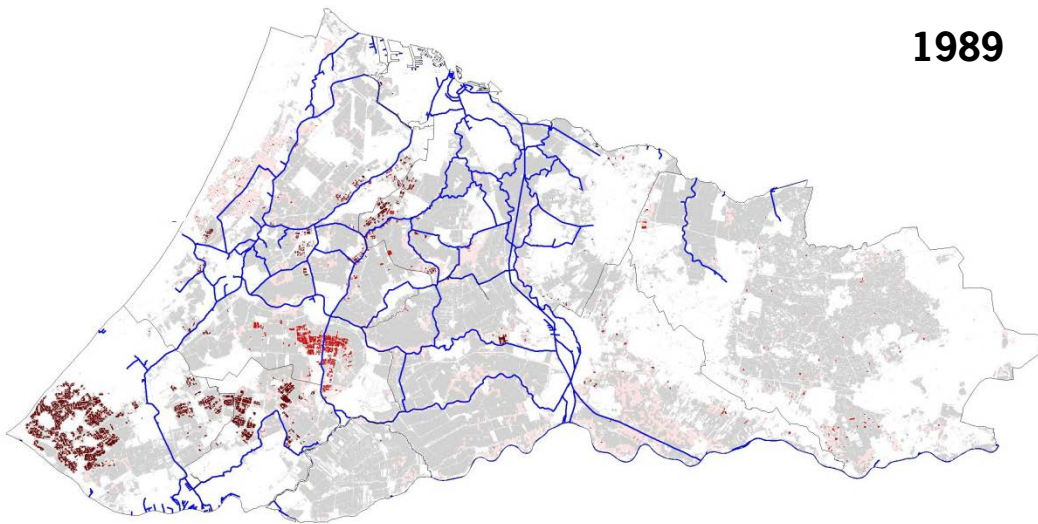


Cl⁻gehalte 250 mg/l

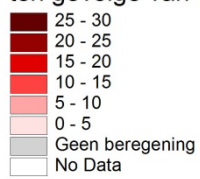
1976



1989

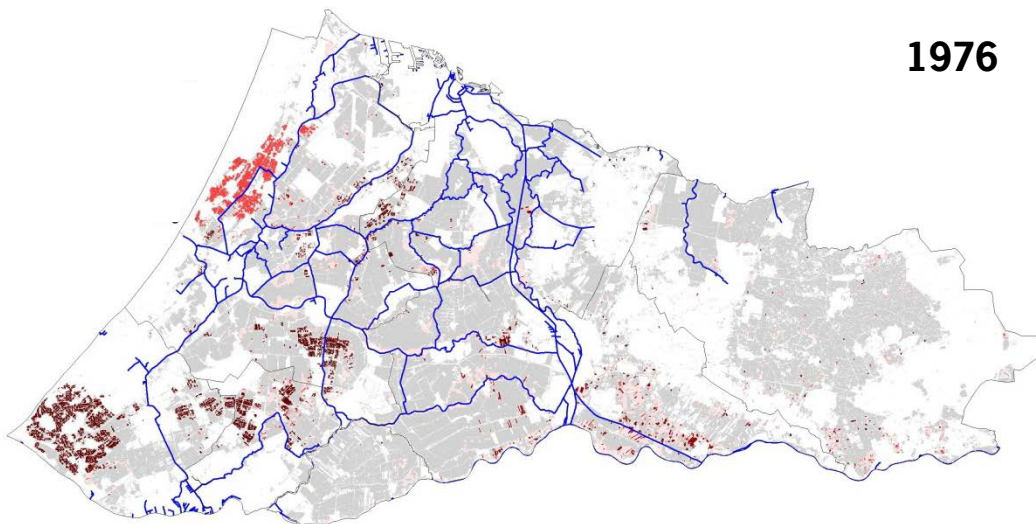


Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie

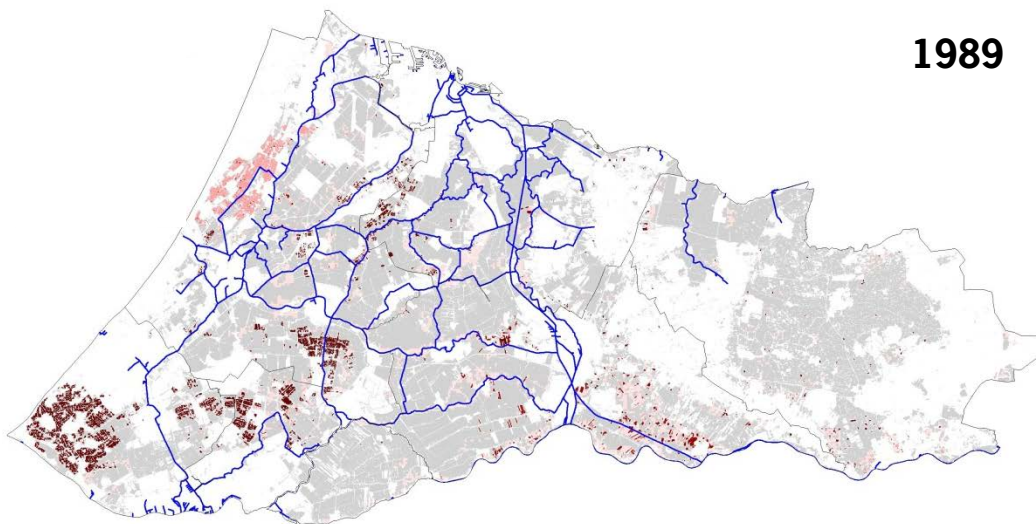


Cl⁻gehalte 500 mg/l

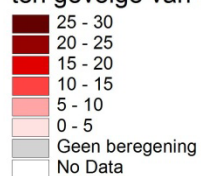
1976



1989

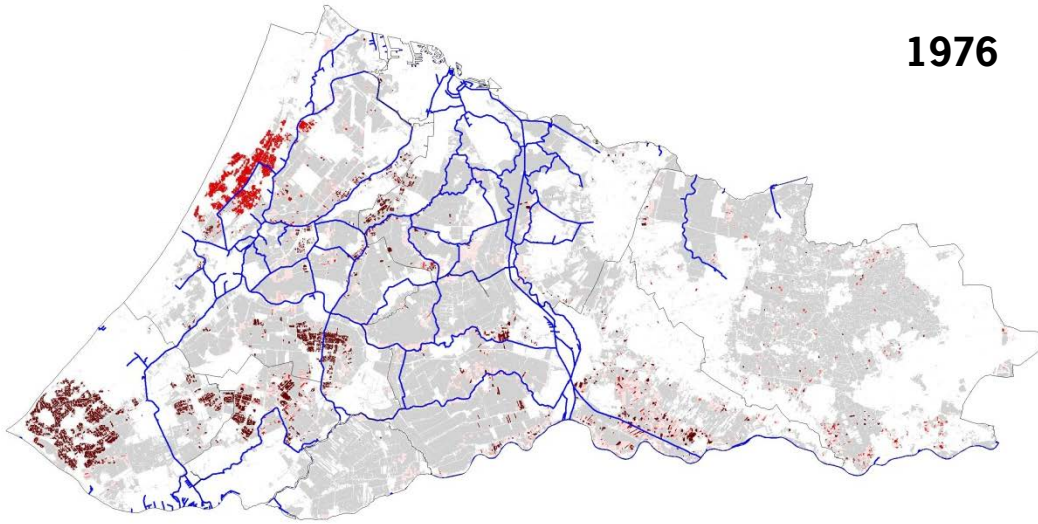


Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie

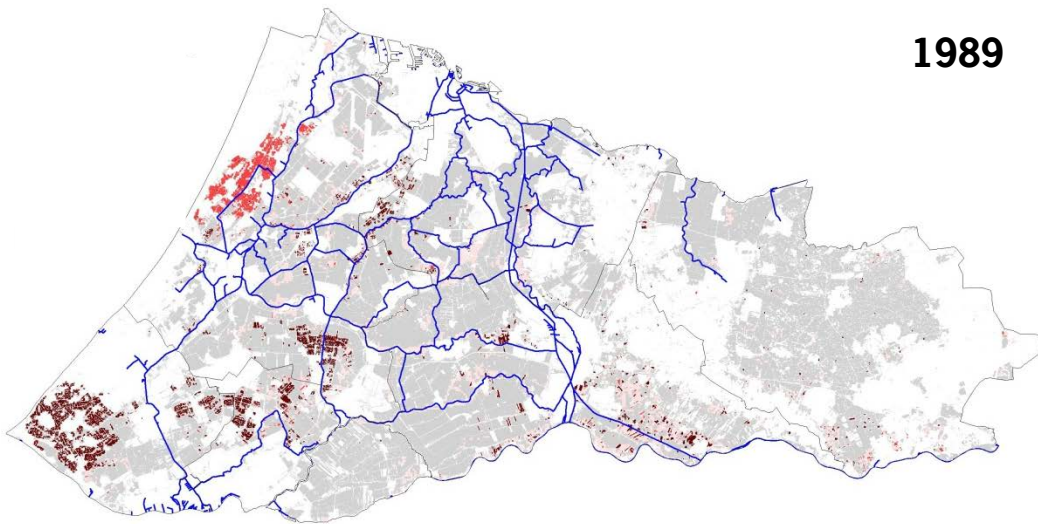


Cl⁻gehalte 750 mg/l

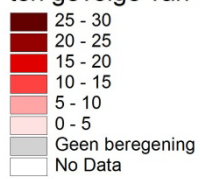
1976



1989

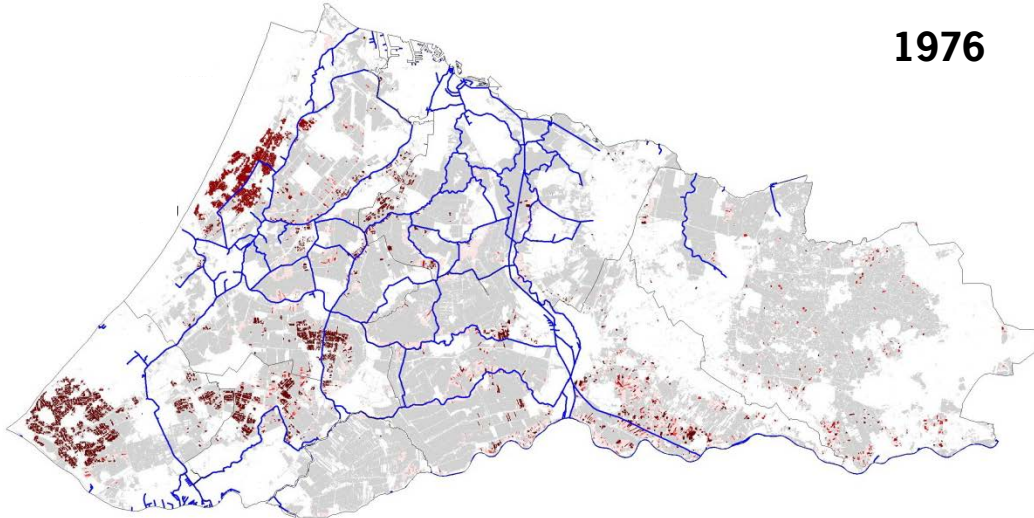


Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie

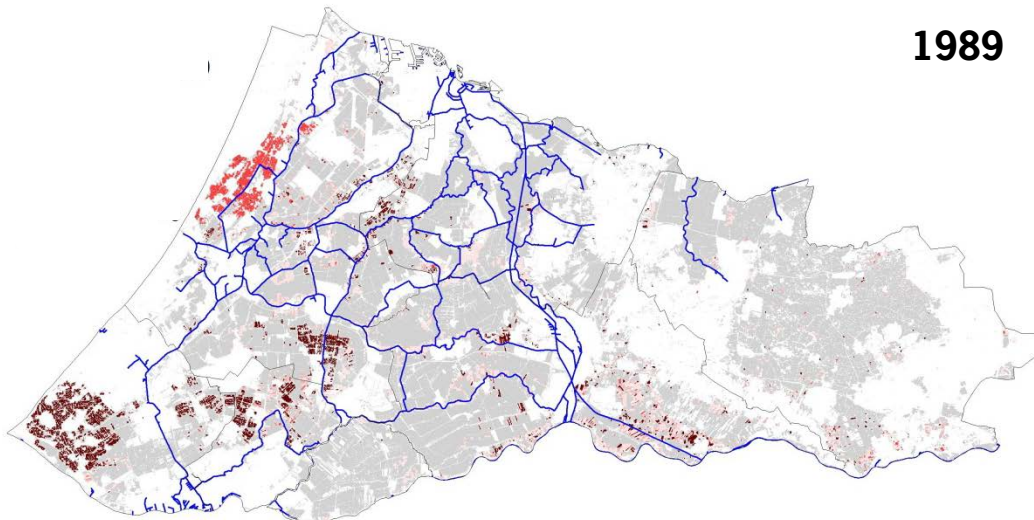


Cl⁻gehalte 1000 mg/l

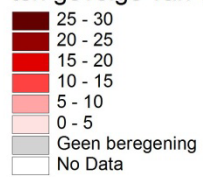
1976



1989

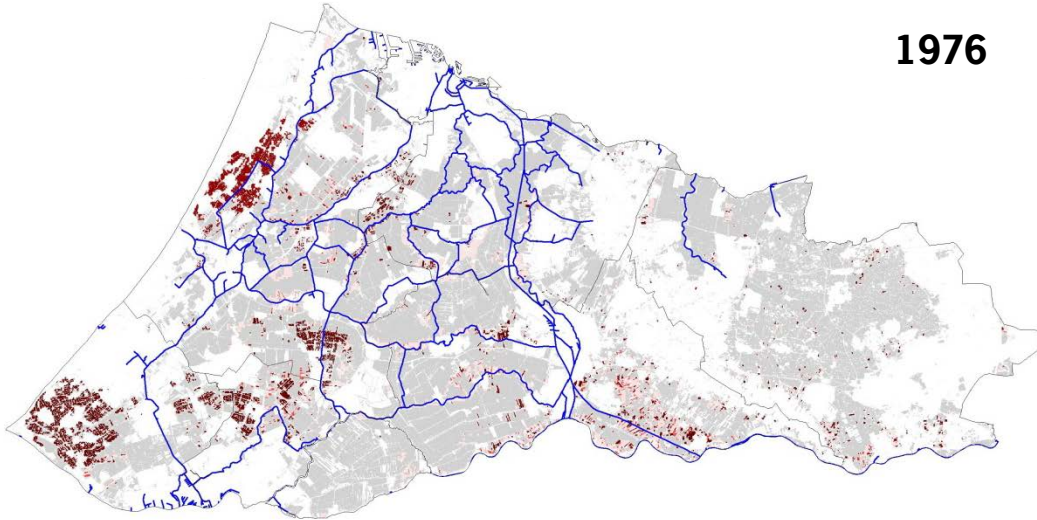


Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie

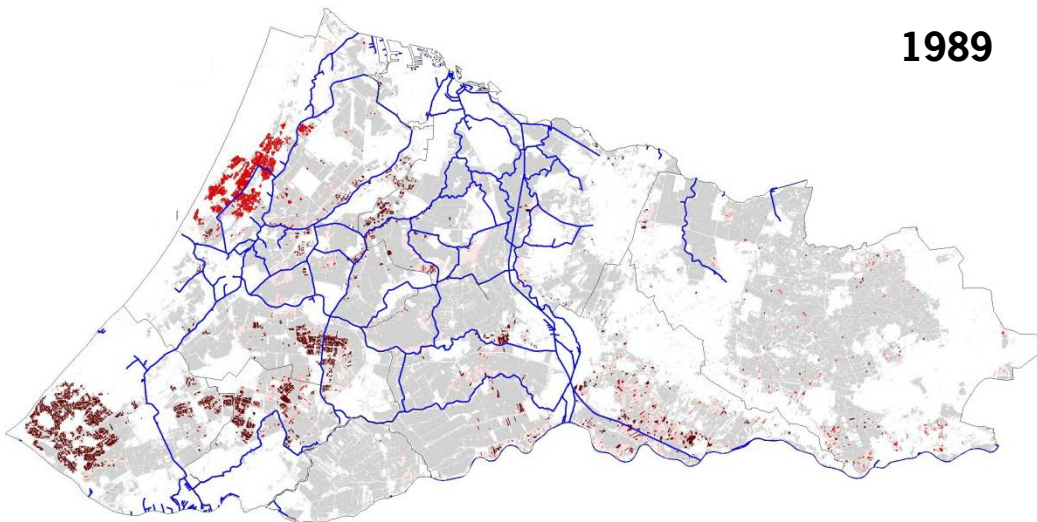


Cl⁻gehalte 1250 mg/l

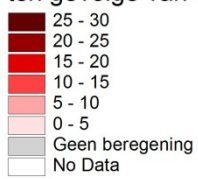
1976



1989

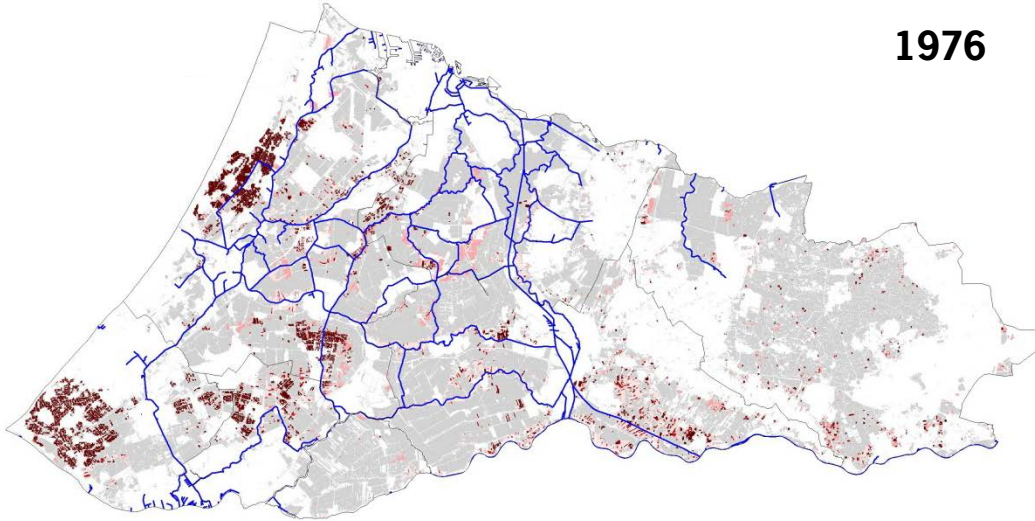


Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie

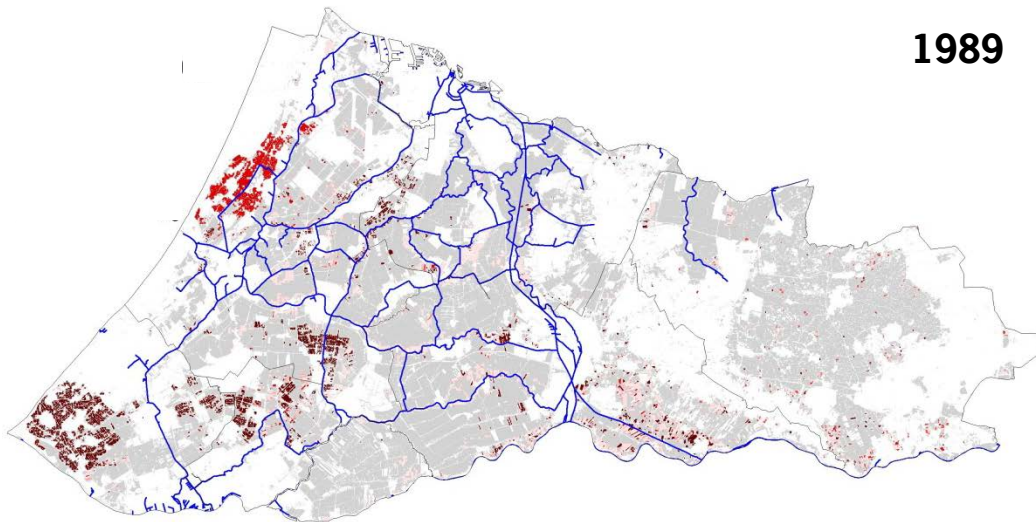


Cl⁻gehalte 1500 mg/l

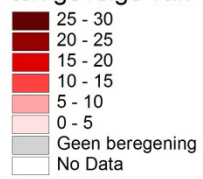
1976



1989



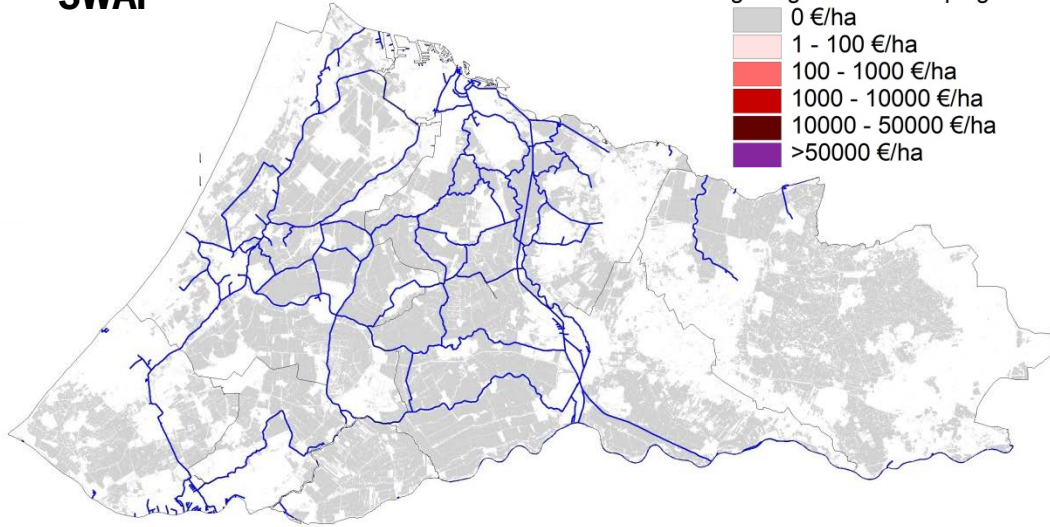
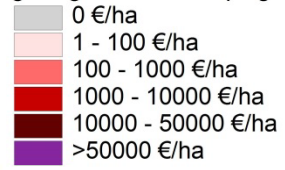
Landbouwschade (% droge stof)
ten gevolge van verdampingsreductie



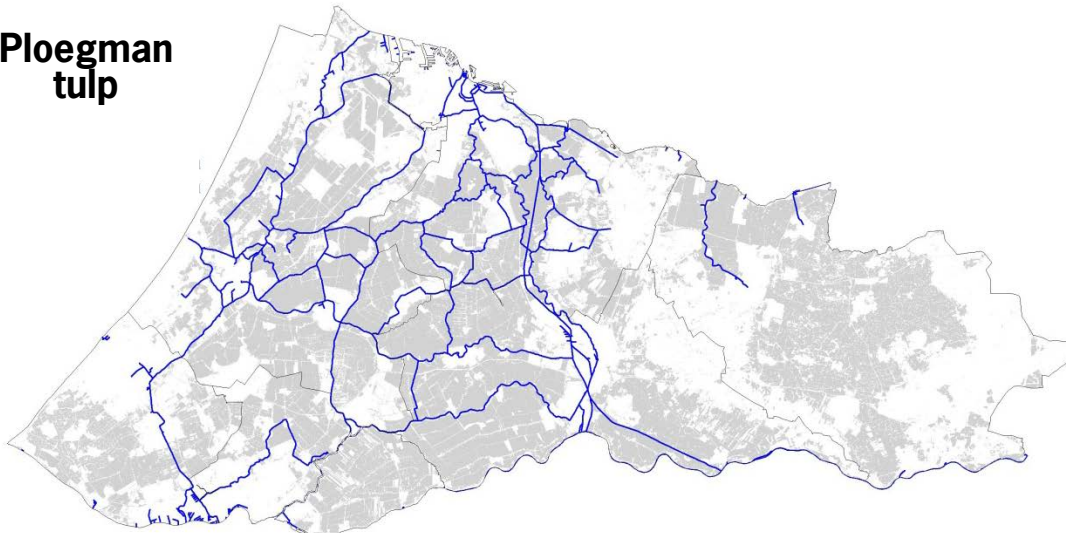
Cl⁻gehalte 50 mg/l

SWAP

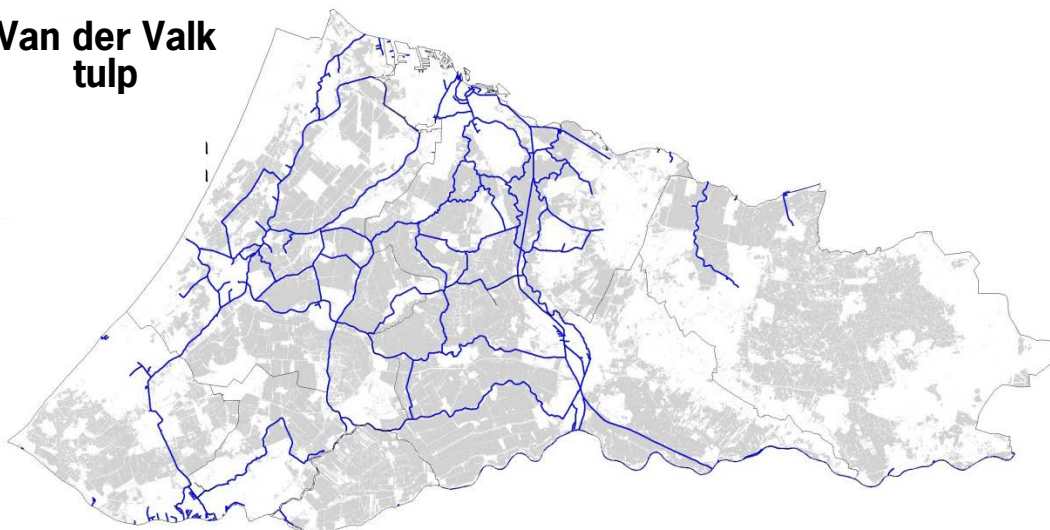
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



**Ploegman
tulp**



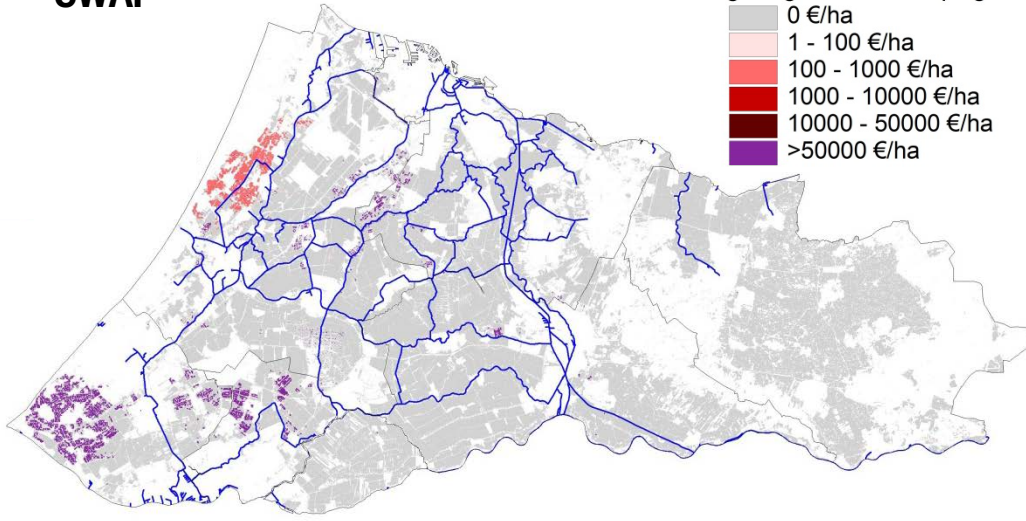
**Van der Valk
tulp**



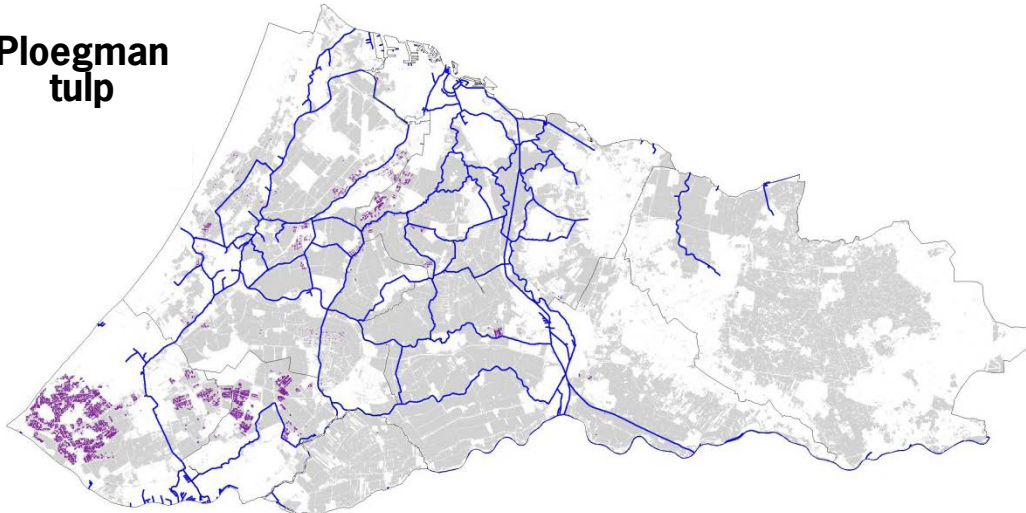
Cl-gehalte 150 mg/l

SWAP

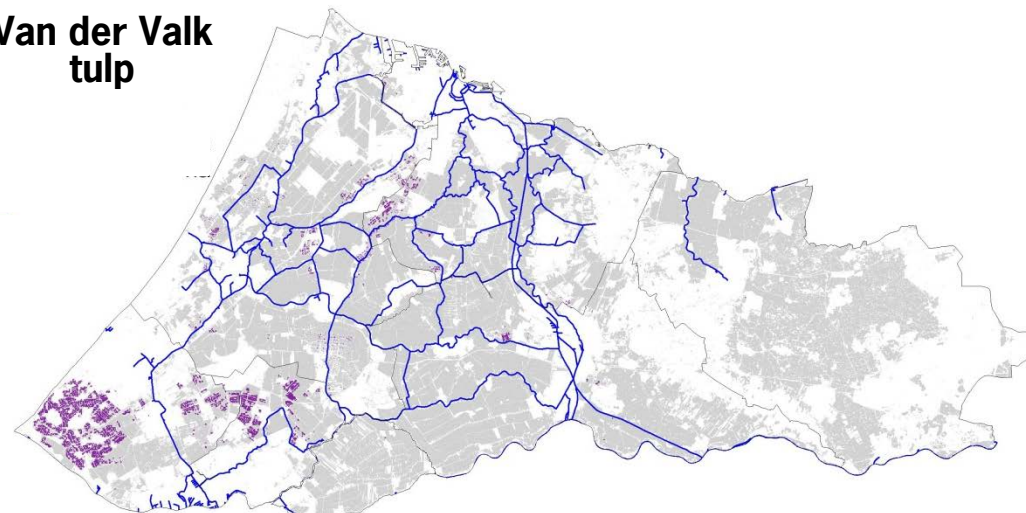
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



Ploegman
tulp



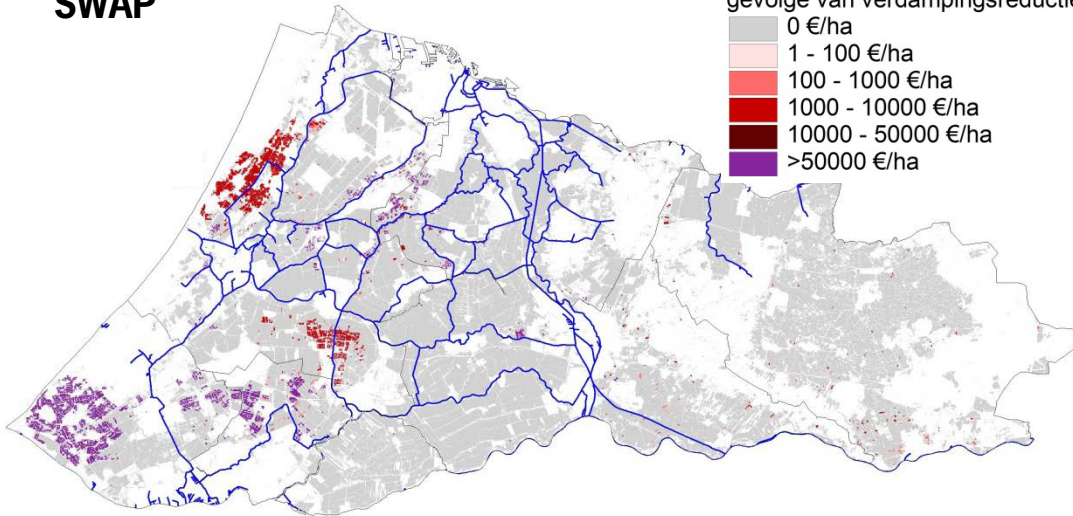
Van der Valk
tulp



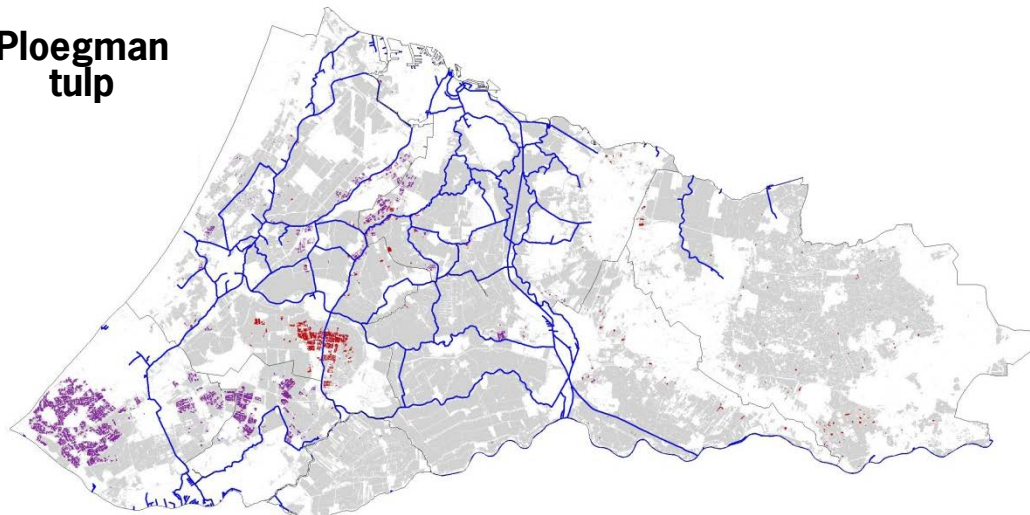
Cl⁻ gehalte 250 mg/l

SWAP

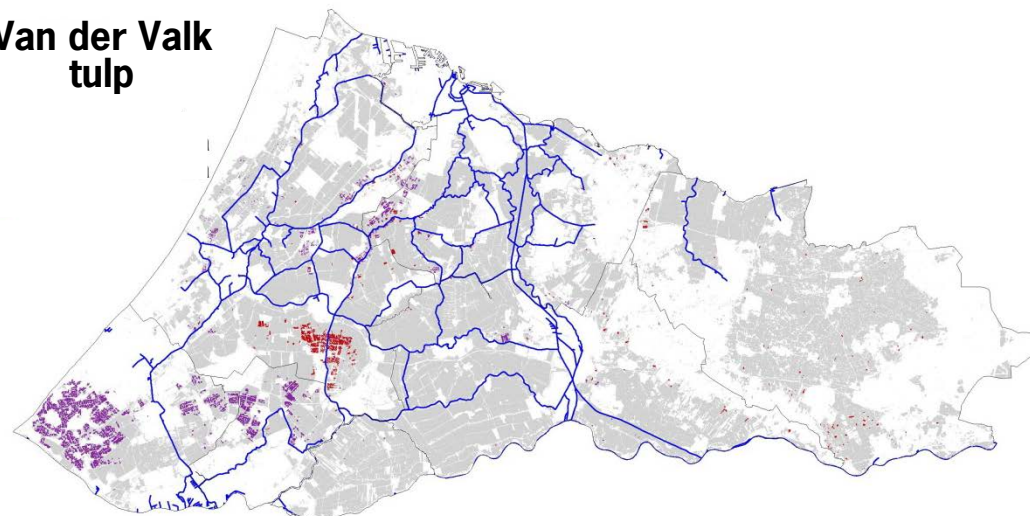
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



**Ploegman
tulp**



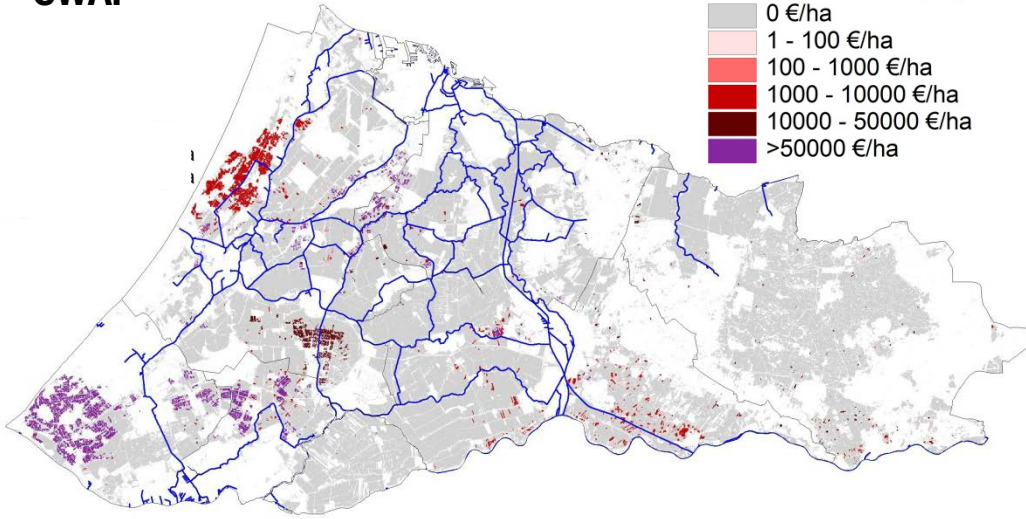
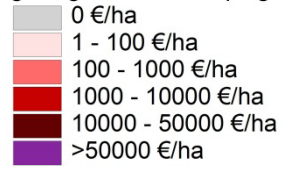
**Van der Valk
tulp**



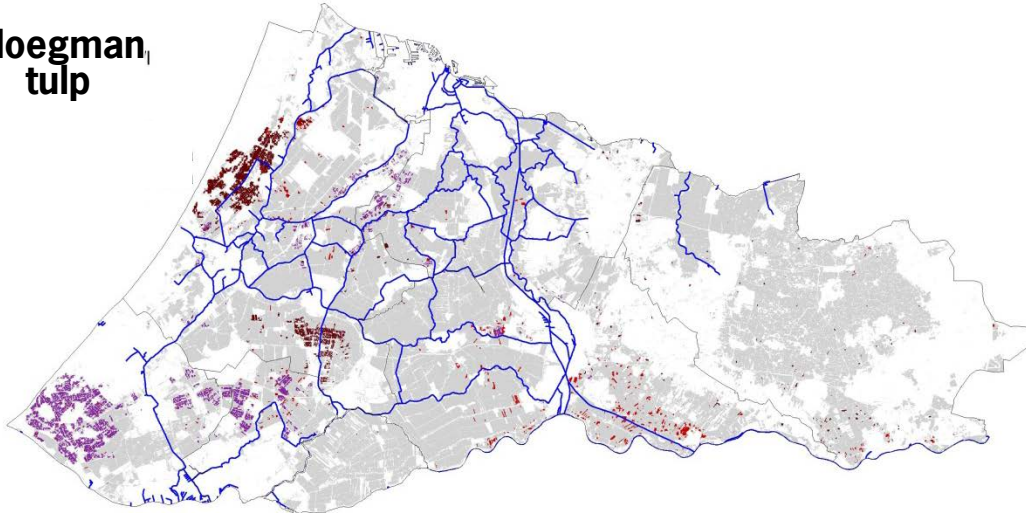
Cl⁻gehalte 500 mg/l

SWAP

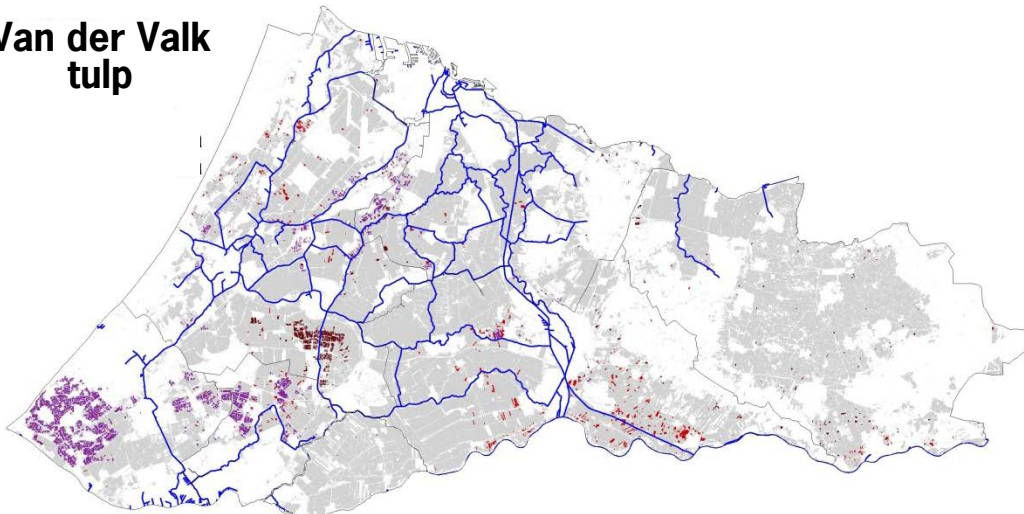
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



**Ploegman,
tulp**



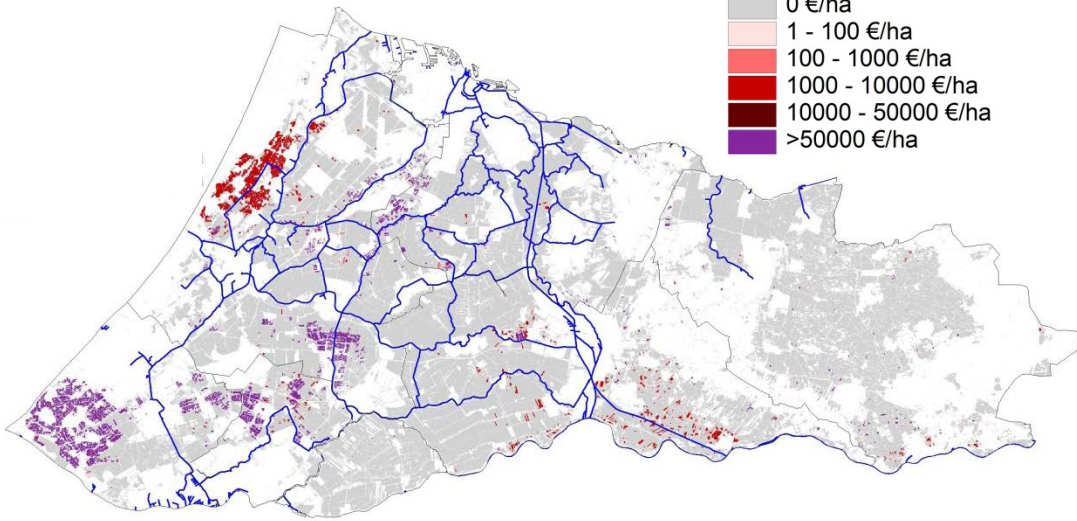
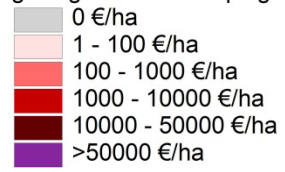
**Van der Valk
tulp**



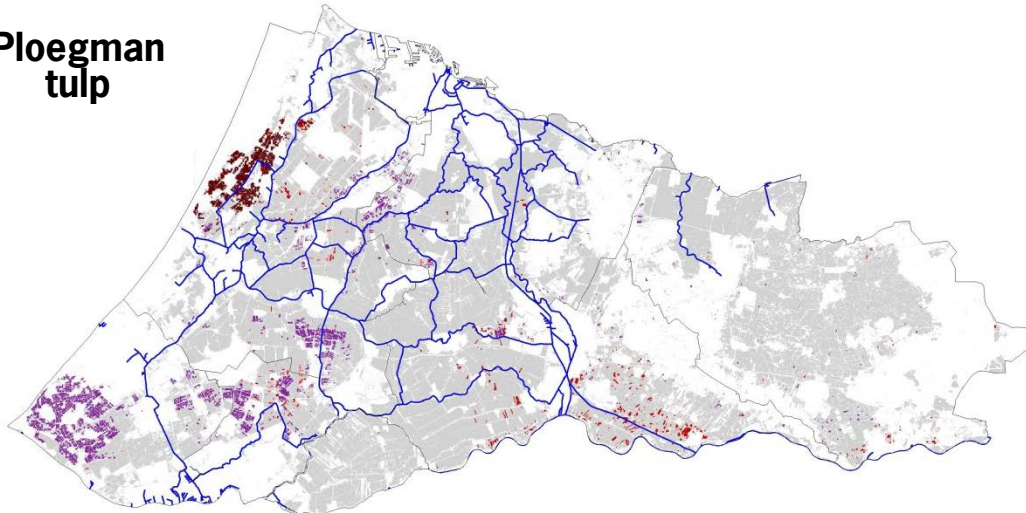
Cl⁻gehalte 750 mg/l

SWAP

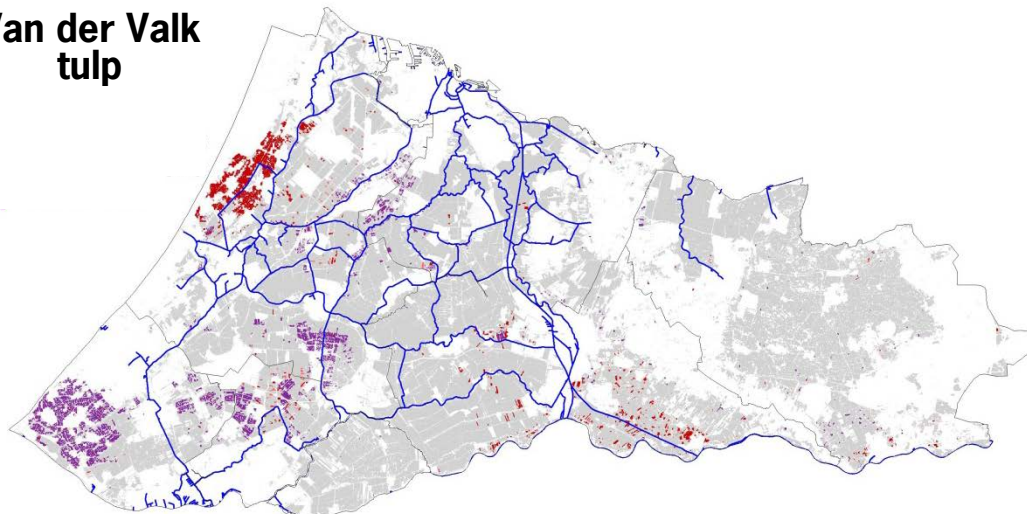
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



**Ploegman
tulp**



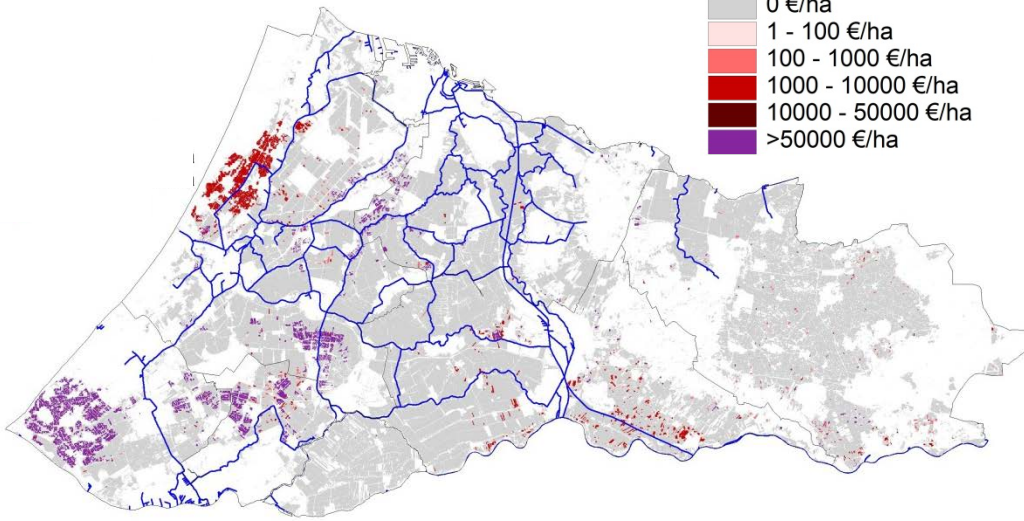
**Van der Valk
tulp**



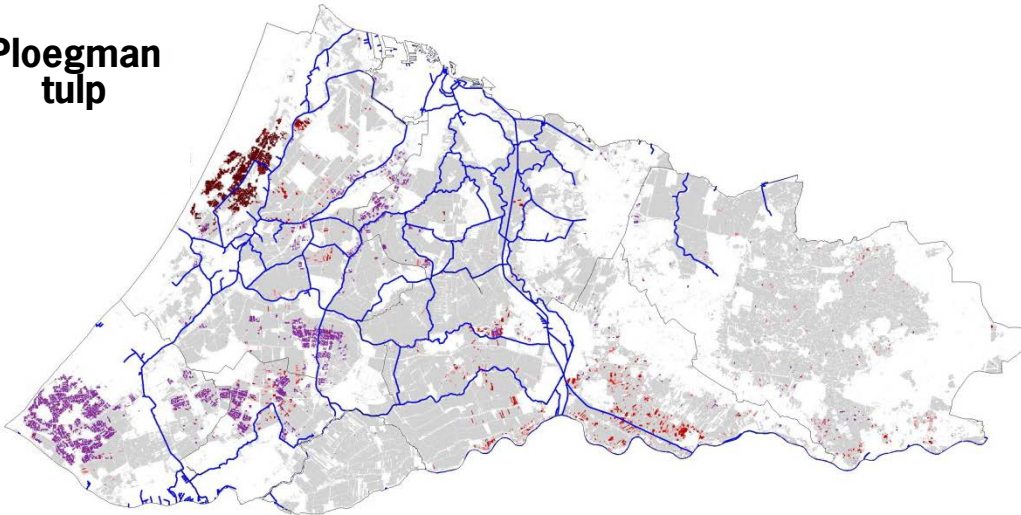
Cl⁻gehalte 1000 mg/l

SWAP

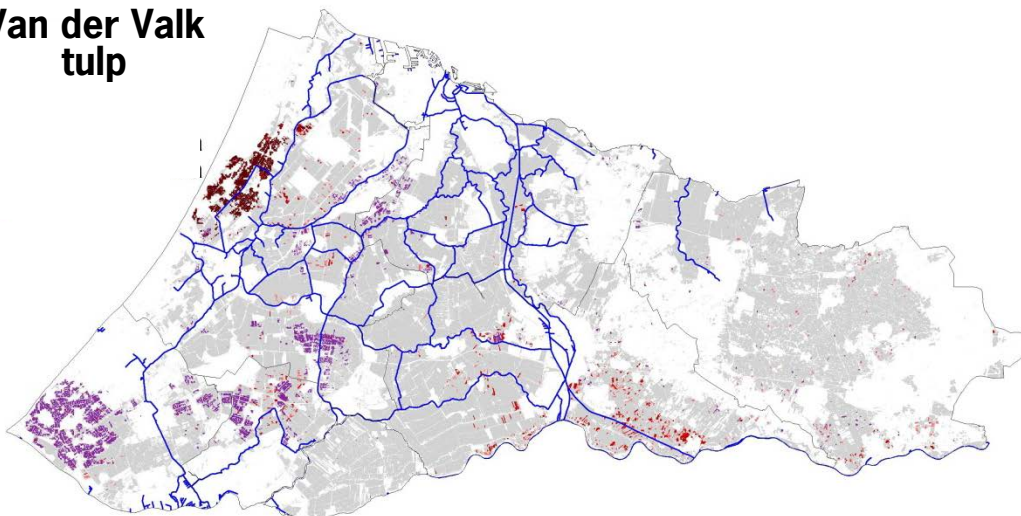
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



Ploegman
tulp



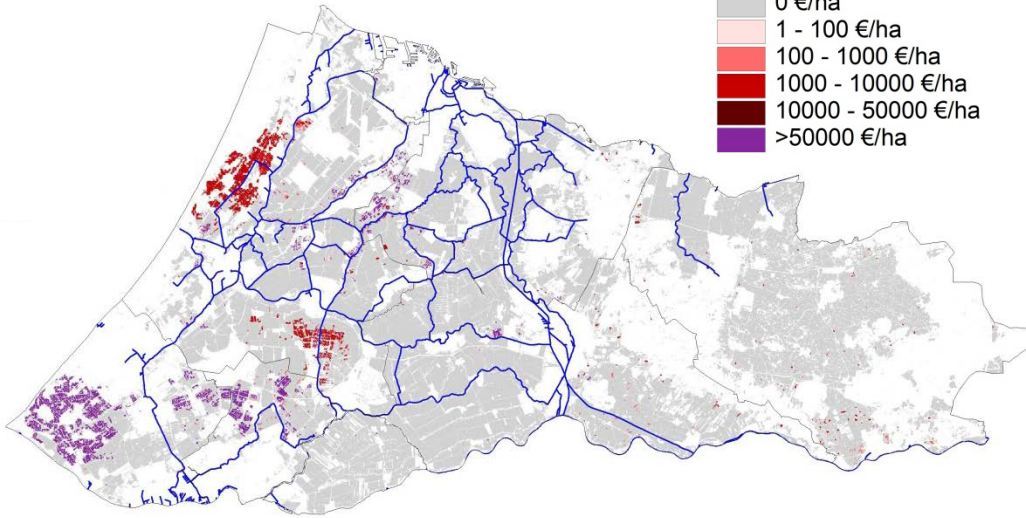
Van der Valk
tulp



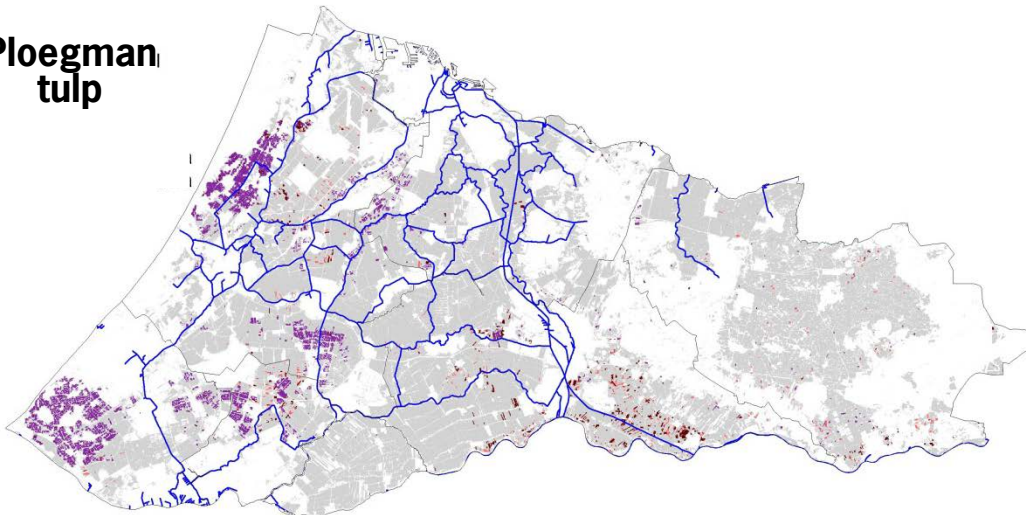
Cl-gehalte 1250 mg/l

SWAP

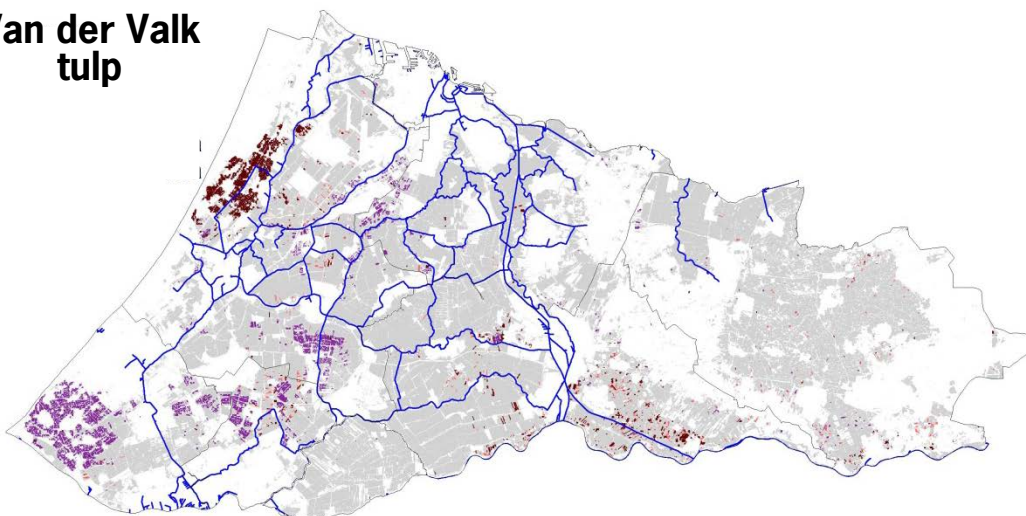
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



**Ploegman
tulp**



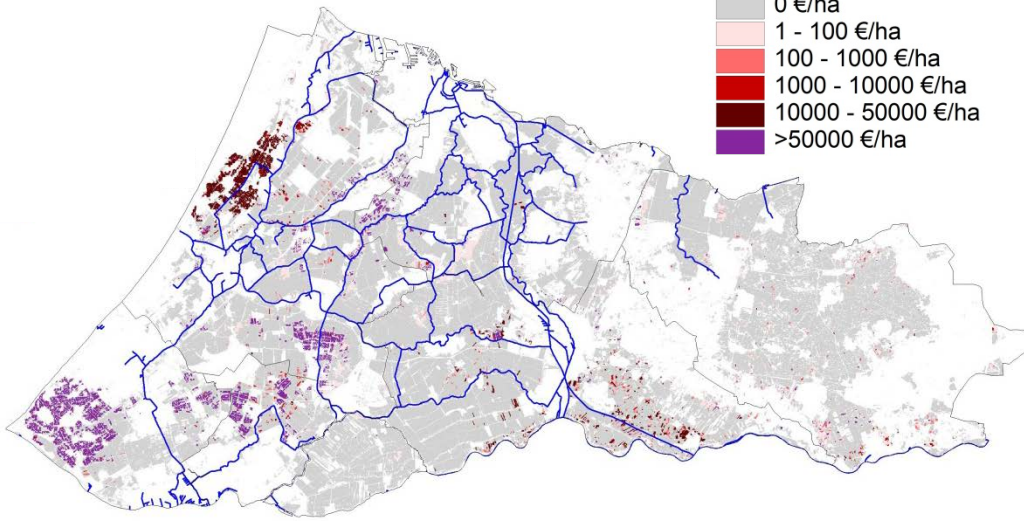
**Van der Valk
tulp**



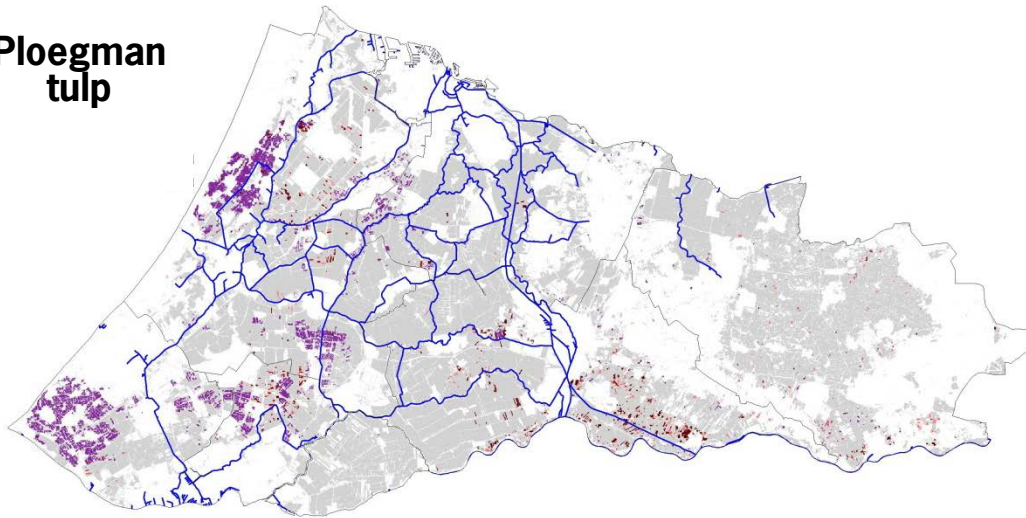
Cl⁻gehalte 1500 mg/l

SWAP

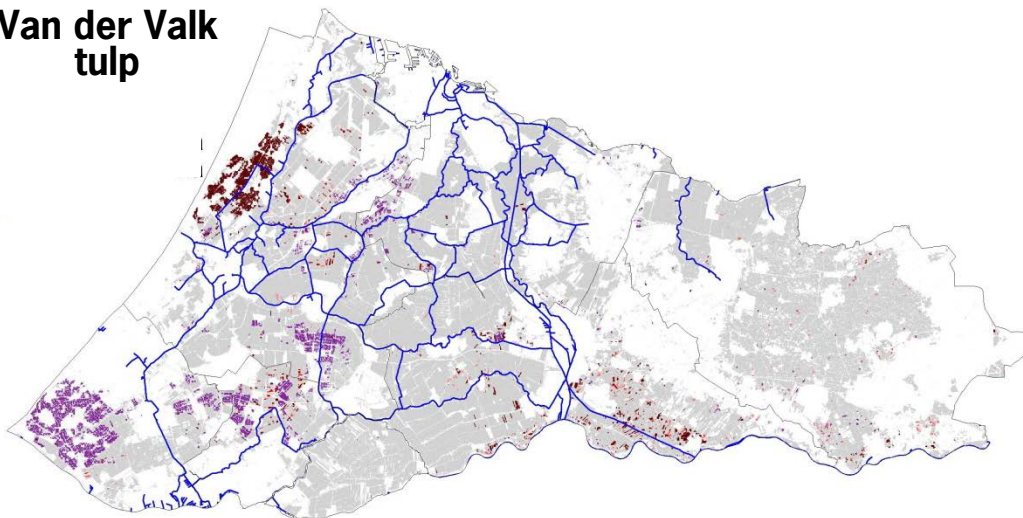
Landbouwschade (€/ha) ten
gevolge van verdampingsreductie



**Ploegman
tulp**



**Van der Valk
tulp**

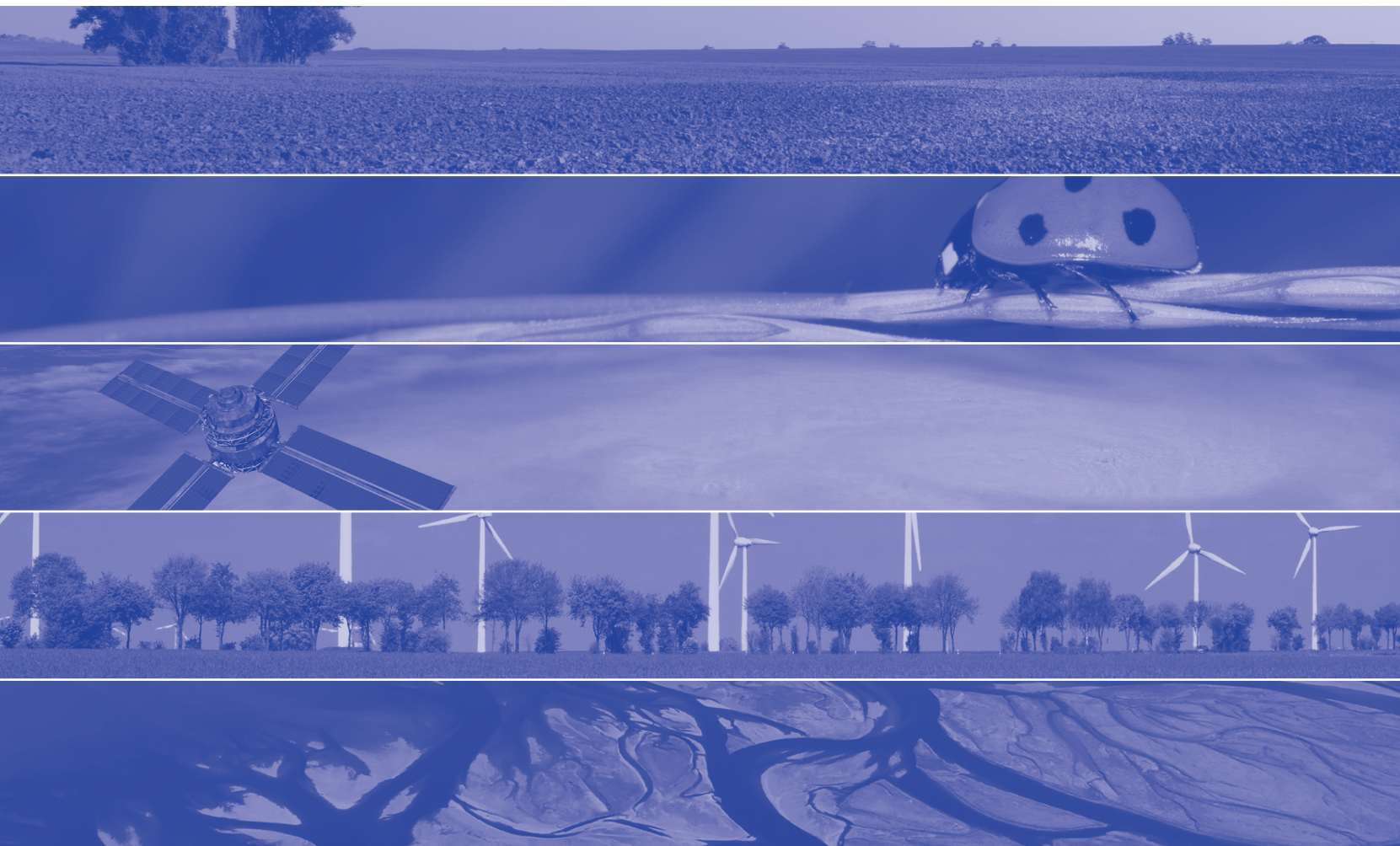


Bijlage 5 Beheertypen en geschatte zoutgevoeligheid

Bron: Dr. M.P.C.P. Paulissen en Drs. J.G.M. van der Gref (beiden Alterra).

BeheerTypecode	BT_naam	expliciet aquatisch of oevernatuurtype? (1 = ja, 0 = nee)	Gevoeligheidsklasse	1 = niet gevoelig 2 = matig gevoelig 3 = zeer gevoelig
A01.01	Weidevogelgebied	0	2	
A01.02	Akkerfaunagebied	0	2	
A01.03	Ganzenfoerageergebied	0	2	
A02.01	Botanisch waardevol grasland	0	3	
A02.02	Botanisch waardevol akkerland	0	3	
L01.01	Poel en klein historisch water	1	3	
L01.02	Houtwal en houtsingel	0	3	
L01.03	Elzensingel	0	3	
L01.04	Bossingel en bosje	0	3	
L01.05	Knip- of scheerheg	0	3	
L01.06	Struweelhaag	0	3	
L01.07	Laan	0	3	
L01.08	Knotboom	0	3	
L01.09	Hoogstamboomgaard	0	3	
L01.10	Struweelrand	0	3	
L01.11	Hakhoutbosje	0	3	
L01.13	Bomenrij en solitaire boom	0	3	
L02.01	Fortterrein	0	1	
L02.02	Historisch bouwwerk en erf	0	1	
L03.01	Aardwerk en groeve	0	1	
N00.01	Nog geen natuur	0	1	
N01.01	Grootschalig zout (getijden)water	1	1	
N01.02	Grootschalig duin- en kwelderlandschap	1	1	
N01.03	Grootschalige rivier- en moeraslandschap	1	1	
N01.04	Grootschalige zand- en kalklandschap	0	3	
N02.01	Rivier	1	1	
N03.01	Beek en Bron	1	3	
N04.01	Kranswierwater	1	3	
N04.02	Zoete Plas	1	2	
N04.03	Brak water	1	1	
N04.04	Afgesloten zeearm	1	1	

N05.01	Moeras	1	2	
N05.02	Gemaaid rietland	0	2	
N06.01	Veenmosrietland en moerasheide	0	3	
N06.03	Hoogveen	0	3	
N06.04	Vochtige heide	0	3	
N06.05	Zwakgebufferd ven	1	3	
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	1	3	
N07.01	Droge heide	0	3	
N07.02	Zandverstuiving	0	3	
N08.01	Embryonaal duin en strand	1	1	
N08.02	Open duin	0	2	
N08.03	Vochtige duinvallei	0	2	
N08.04	Duinheide	0	3	
N09.01	Schor of kwelder	1	1	
N10.01	Nat schraalland	0	3	
N10.02	Vochtig hooiland	0	2	
N11.01	Droog schraalgrasland	0	3	
N12.01	Bloemdijk	0	3	
N12.02	Kruiden- of structuurrijk grasland	0	3	
N12.03	Glanshaverhooiland	0	3	
N12.04	Zilt grasland en overstromingsweiland	1	1	
N12.05	Kruiden- en faunarijke akker	0	3	
N12.06	Ruigteveld	0	2	
N13.01	Vochtig weidevogelgrasland	0	2	
N13.02	Wintergastenweide	0	2	
N14.01	Rivier- en beekbegeleide bossen	1	3	
N14.02	Hoog- en laagveenbos	1	3	
N14.03	Haagbeuken- en Essenbos	0	3	
N15.01	Duinbos	0	3	
N15.02	Eiken-, Dennen- en Beukenbos	0	3	
N16.01	Droog bos met productie	0	3	
N16.02	Vochtig bos met productie	0	3	
N17.01	Vochtig hakhout en Middenbos	0	3	
N17.02	Droog hakhout	0	3	
N17.03	Park- of Stinzenbos	0	3	
N17.04	Eendenkooi	1	3	



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra